

Le navire antique comme instrument de commerce maritime : restitutions 3D, tonnage, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : Napoli A, Napoli C, Dramont E et Jules Verne 7

Pierre Poveda

▶ **To cite this version:**

Pierre Poveda. Le navire antique comme instrument de commerce maritime : restitutions 3D, tonnage, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : Napoli A, Napoli C, Dramont E et Jules Verne 7. Archéologie et Préhistoire. Aix-Marseille Université, 2012. Français. ⟨NNT : ⟩. ⟨tel-01807522⟩

HAL Id: tel-01807522

https://shs.hal.science/tel-01807522v1

Submitted on 21 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

THÈSE

Pour obtenir le grade de:

Docteur d'Aix-Marseille Université

Formation doctorale : « Espaces, Cultures et Sociétés »

Volume I

Présentée et soutenue publiquement

par :

Pierre POVEDA

le: 14/12/2012 à Aix-en-Provence

Le navire antique
comme instrument du commerce maritime :

restitutions 3D, tonnage, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : *Napoli A*, *Napoli C*, *Dramont E* et *Jules-Verne 7*.

Sous la direction de :

M. Patrice POMEY

Composition du Jury:

M. **Pascal ARNAUD**, *Professeur des Universités, Univ. Lyon II, Lyon* (rapporteur)
M. **Béat ARNOLD**, *Archéologue Cantonal, Laténium, Neufchâtel*
Mme. **Giulia BOETTO**, *Chargée de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Philippe JOCKEY**, *Professeur des Universités, AMU, Aix-en-Provence*
M. **Patrice POMEY**, *Directeur de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Éric RIETH**, *Directeur de Recherche au CNRS, Paris* (rapporteur)

Laboratoire d'accueil : Centre Camille Jullian
UMR 7299 CNRS - Aix-Marseille Université
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix-en-Provence

THÈSE

Pour obtenir le grade de:

Docteur d'Aix-Marseille Université

Formation doctorale : « Espaces, Cultures et Sociétés »

Présentée et soutenue publiquement

par :

Pierre POVEDA

le: 14/12/2012 à Aix-en-Provence

Le navire antique
comme instrument du commerce maritime :

restitutions 3D, tonnage, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : *Napoli A, Napoli C, Dramont E* et *Jules-Verne 7.*

Sous la direction de :

M. Patrice POMEY

Composition du Jury:

M. **Pascal ARNAUD**, *Professeur des Universités, Univ. Lyon II, Lyon* (rapporteur)
M. **Béat ARNOLD**, *Archéologue Cantonal, Laténium, Neufchâtel*
Mme. **Giulia BOETTO**, *Chargée de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Philippe JOCKEY**, *Professeur des Universités, AMU, Aix-en-Provence*
M. **Patrice POMEY**, *Directeur de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Éric RIETH**, *Directeur de Recherche au CNRS, Paris* (rapporteur)

Laboratoire d'accueil : Centre Camille Jullian
UMR 7299 CNRS - Aix-Marseille Université
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix-en-Provence

Remerciements

Lorsque l’on pense entreprendre une thèse, on s’attend généralement à une longue quête, laborieuse, solitaire et silencieuse. Tel un *Robinson Crusoé* en bibliothèque, la survivance semble passer par le déchiffrage d’innombrables articles afin de vaincre cette solitude universitaire que constitue notre sujet. D’autant plus seul, que ce ne sont pas les discussions avec *Vendredi*, notre ordinateur portable, à la conversation plus que limitée, qui nous permettent de répondre à toutes nos interrogations.

Pourtant, cette vision est bien éloignée de la réalité de cette thèse. De rencontres, de soutiens, de collaborations, de conseils et d’encouragements : voilà de quoi fut composé notre formidable quotidien durant ces quatre dernières années en tant que thésard. Cela peut tomber sous le sens, mais si aujourd’hui un point final peut être apposé à la dernière page du second volume de cette thèse, c’est bien grâce aux très nombreuses personnes qui ont pu, chacune à leur manière et dans leurs domaines respectifs, participer à la formation du présent travail. J’espère qu’ils trouveront à travers ces modestes remerciements la pleine expression de toute ma reconnaissance

Ma gratitude va avant tout à M. Patrice POMEY, formidable directeur de thèse, qui par sa présence, son soutien et ses avis toujours perspicaces a su me guider parfaitement à travers les écueils de mon travail. Plus qu’une simple formation, la richesse des conversations et des idées partagées avec lui m’ont été d’une aide inestimable. Sans lui, mon travail aurait certainement emprunté des routes sans destination. Je souhaite le remercier vivement pour cette arrivée à bon port !

Parallèlement à cet enseignement dispensé par M. POMEY, la fortune, qui fait parfois très bien les choses, a voulu que mon chemin d’apprentissage croise celui de Mme Giulia BOETTO et de Mme Sabrina MARLIER-SABOURAUD. Je n’oublierai pas qu’au-delà du fait de m’avoir fait confiance très tôt, en m’emmenant travailler pour la première fois sur une épave romaine, elles sont les deux principales personnes qui ont contribué, sur le terrain, à ma formation d’archéologue naval. Je leur en suis extrêmement reconnaissant, à la fois pour nos très riches collaborations, croates et napolitaines pour Giulia, arlésienne pour Sabrina, mais aussi pour leur amitié et leur soutien qui me sont très chers.

Dans l'ensemble particulier que forme le bureau d'archéologie navale, au côté des trois personnes précédemment citées, mon travail serait incomplet sans la présence de M. Robert ROMAN. Les échanges et le savoir qu'il m'a transmis sans compter, ont aussi nourri une grande partie de cette thèse. Sa présence, son soutien et son avis se sont ainsi révélés des aides toujours bienvenues. En espérant que l'on puisse encore longtemps discuter autour d'une maquette en construction ou autour de trois bouées en baie de Marseille.

J'aimerais par ailleurs remercier toujours au sein du Centre Camille Jullian, mon laboratoire d'accueil où nombre de personnes qui ont facilité la réalisation de ce travail. Il s'agit bien entendu des deux directeurs successifs du CCJ durant la durée de ma thèse, Mme Marie-Brigitte CARRE et M. Dominique GARCIA, qui ont participé à ma parfaite intégration au laboratoire et qui ont toujours permis la conciliation de mes activités de terrain avec la réalisation de cette thèse. Pour leur aide ponctuelle ou leur soutien je souhaite aussi remercier : Mme Véronique BLANC-BIJON, M. Michel BONIFAY, M. Loïc DAMELET, Mme Gracinda DAS NEVES, M. Vincent DUMAS, Mme Christine DURAND, Mme Vassiliki GAGGADIS-ROBIN, M. Philippe GROSCAUX, Mme Florence MOCCI, Mme Blandine NOUVEL, M. Lucien RIVET et Mme Stéphanie SATRE.

Mes remerciements s'adressent aussi à l'ensemble du personnel de la Bibliothèque d'Antiquités d'Aix-en-Provence (BIAA), et tout particulièrement à Mme Marie-Paule SEURE et M. Gérald BÉNIÈRE. Dans le laboratoire voisin, l'IRAA, le soutien et les encouragements inconditionnels de M. Jean-Marie GASSEND m'ont été d'une très grande aide. Qu'il en soit très grandement remercié. Enfin, de la même manière, les conseils prodigués par M. Michel RIVAL, ou encore les formations dispensées par M. Serge XIMENES m'ont été d'une grande utilité dans la réalisation de mon travail et de mon apprentissage.

Au sein du DRASSM, mes pensées s'adresseront au directeur M. Michel L'HOUR ainsi qu'à Mme Florence RICHEZ pour m'avoir fait confiance dès le début de ma thèse en m'accueillant dans leur département pour y effectuer mes premiers pas en archéologie navale et sous-marine. J'associe à ces remerciements Mme Marine JAOUEN et Mme Franca CIBECCHINI.

Parmi mes glorieux « aînés », je souhaite tout particulièrement remercier les membres de l'association Arkaeos ainsi que ceux de l'entreprise Ipso Facto qui ont grandement participé à ma formation tout en facilitant l'élaboration de ma thèse. J'aimerais donc remercier Mlle Souen FONTAINE ainsi que M. Mourad EL AMOURI, pour leur confiance à divers moments de ma thèse, ainsi que Mlle Sandra GRECK et M. Jean-Luc VERDIER, dont

les expériences rhodaniennes m'ont été d'une grande utilité. J'associe à ces remerciements M. Charles ARNULF. Qu'ils soient tous aussi remerciés pour leur amitié et leur soutien.

J'adresse aussi mes remerciements à M. David DJAOUI du Musée Départemental de l'Arles Antique (MDAA), qui m'a appris à faire la différence entre une amphore et une sigillée, ainsi qu'à M. François VIVIER, architecte naval, qui m'a prodigué des conseils avisés sur certains points plus techniques de ma thèse.

Concernant la réalisation pratique de cette thèse, j'aimerais remercier chaleureusement mes relecteurs-correcteurs patients et attentifs : Giulia BOETTO, Carine CENZON-SALVAYRE, Hélène de CHABERT-OSTLAND, Souen FONTAINE, Sabrina MARLIER, Jean Louis POVEDA, Nicolas RANCHIN-DUNDAS et bien entendu M. Patrice POMEY.

Enfin et de manière plus générale, je souhaiterais aussi remercier ceux qui m'ont soutenu durant cette période, parfois tout simplement par leur présence malgré une méconnaissance totale des navires de commerce antiques. L'ensemble de ma famille, et tout particulièrement mes parents, Hélène et Jean Louis, ainsi que ma sœur Marie. C'est peut-être lorsque nous étions enfants que tout cela a commencé : le port de Cnide, les amphores de Sögüt, le pont du *Baios*… Mes amis d'Aix, de Montpellier ou d'ailleurs : Camille CLERC, Victor POULIQUEN, Lucie LALANDE, Ilène GRANGE, Carine CENZON-SALVAYRE, Julien SALVAYRE, Titien BARTETTE, Aura FOSSATI et Marc FIROUD.

Pour terminer, mon existence de *Robinson Crusoé* n'aurait pas été aussi riche si je n'avais eu à mes côtés celle qui a su, avec sa vision très personnelle des navires de commerce antiques, m'apporter toute son amitié, son amour et son soutien. Anne, sans son humour, mon existence aurait été bien terne, sans sa patience, j'aurais passé moins de temps à discuter des plans avec *Vendredi*, sans sa présence le déroulement de cette thèse n'aurait pas été si doux et si agréable.

Table des matières

Remerciements :.....3
Table des matières :.....7
Index des figures : 13
Index des tableaux : 20
Résumés : 21

Introduction :.....23

1. Principes et méthodes de restitution :.....31
1.1. Les contraintes initiales : 32
1.1.1. Préservation et extension des vestiges utiles à la restitution : 32
1.1.2. Importance quantitative et qualitative de la documentation archéologique : 35
1.1.3. Détection et quantification des déformations : 36
1.2. Principes et développements d'une hypothèse de restitution : 38
1.2.1. *Capital Reconstruction* : quelle(s) méthode(s) ? 38
1.2.2. Restitution : certaine, probable ou possible ? 40
1.2.3. Interpréter, tester, évaluer et soumettre : la restitution en archéologie navale comme une science exacte ? 42
1.2.4. « *Specific* » et « *incomplete experiments* » : 44
1.2.5. Concept de « *minimal reconstruction* » : 46
1.3. Synthèse : 47

2. Application :.....49
2.1. Etablissement du corpus et choix des épaves : 50
2.2. Méthodes de restitution et d'analyse :.....51
2.3. Détail du processus de restitution : 57
2.3.1. Utilisation des sources de comparaison : 57

2.4. Détail du processus d'analyse hydrostatique et de stabilité : ... 65
2.4.1. Estimation du déplacement et du port en lourd ... 65
2.4.2. Analyses hydrostatiques et de la stabilité intacte : ... 73
2.5. Choix des outils : ... 82
2.6. Modèles virtuels : avantages et inconvénients ... 84
2.6.1. Facteurs positifs : ... 84
2.6.2. Facteurs négatifs et d'imprécision : ... 85

3. ***Napoli A*** : ... 95
3.1. Présentation : ... 95
3.1.1. Processus de formation de l'épave : ... 95
3.1.2. Description des vestiges : ... 95
3.1.3. Principes et méthodes de construction : ... 109
3.1.4. Datation: ... 110
3.1.5. Type et fonction de l'embarcation : ... 110
3.2. Remise en place des vestiges et recherche des formes : ... 112
3.2.1. Etat et degré de conservation des vestiges ... 112
3.2.2. Etat d'abandon du navire : ... 113
3.2.3. Documentation disponible : ... 113
3.2.4. Réalisation du plan de formes initial : ... 114
3.3. Reconstitution des parties conservées : ... 134
3.3.1. Charpente Axiale : ... 134
3.3.2. Bordé et préceintes : ... 134
3.3.3. Charpente transversale : ... 136
3.3.4. Vaigrage et charpente interne : ... 138
3.4. Restitution des parties disparues : œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement ... 140
3.4.1. Utilisation d'éléments iconographiques dans la restitution d'éléments ponctuels pour *Napoli A* : ... 140
3.4.2. Charpente axiale : ... 143
3.4.3. Charpente transversale : ... 145
3.4.4. Bordé et préceintes : ... 146

3.4.5. Vaigrage et charpente interne : 148
3.4.6. Structures du pont : 149
3.4.7. Structures du pavois : 155
3.4.8. L'aile de protection du gouvernail : 156
3.4.9. Le système de gouverne : 158
3.4.10. Mâture et gréement : 164
3.4.11. La pompe de cale : 175

3.5. Evaluation de l'hypothèse de restitution de *Napoli A* 176
3.5.1. Devis de poids du navire en lège : 176
3.5.2. Equipage et armement : 177
3.5.3. Espace disponible de chargement : 178
3.5.4. Estimations du port en lourd : 179
3.5.5. Analyse de six configurations de chargement : 182
3.5.6. Interprétations : 188

3.6. Conclusions : un bateau, un programme, plusieurs chargements ? 193
3.6.1. Remarques sur les qualités nautiques du navire : 194

4. ***Napoli C*** : 203

4.1. Présentation : 203
4.1.1. Processus de formation de l'épave : 203
4.1.2. Description des vestiges : 203
4.1.3. Principes et méthodes de construction : 215
4.1.4. Datation : 215
4.1.5. Type et fonction de l'embarcation: 217

4.2. Identification du type de navire : 219
4.2.1. Comparatifs iconographiques : 219
4.2.2. Eléments littéraires : 223
4.2.3. Comparatifs archéologiques : 225
4.2.4. Synthèse : 226

4.3. Remise en place des vestiges et recherche des formes : 227
4.3.1. Etat et degré de conservation des vestiges 227
4.3.2. Etat d'abandon du navire : 228

4.3.3. Documentation disponible : 228
4.3.4. Recherche des lignes d'eau et redressement des formes : 229
4.4. Reconstitution et remise en place des parties conservées : 234
4.4.1. Charpente Axiale : 234
4.4.2. Charpente transversale : 236
4.4.3. Bordé : 236
4.4.4. Vaigrage et charpente interne : 237
4.5. Restitution des œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement 239
4.5.1. Première hypothèse : un navire portuaire de charge à propulsion vélique ? 239
4.5.2. Seconde hypothèse : un navire de batellerie portuaire polyvalent à propulsion mixte? 250
4.6. Evaluation hydrostatique de l'hypothèse n°1 : un navire de charge 271
4.6.1. Devis de poids du navire en lège : 271
4.6.2. Equipage et armement : 272
4.6.3. Espace disponible de chargement : 274
4.6.4. Estimations du port en lourd : 275
4.6.5. Analyse de cinq configurations de chargement : 278
4.6.6. Interprétations : 282
4.6.7. Remarques sur les qualités nautiques du navire : 284
4.7. Evaluation hydrostatique de l'hypothèse n°2 : un navire de batellerie portuaire polyvalent à propulsion mixte 288
4.7.1. Devis de poids du navire en lège : 288
4.7.2. Equipage et armement : 288
4.7.3. Ports en lourd : 289
4.7.4. Remarques sur les qualités nautiques du navire : 291
4.8. Synthèse : 296

5. ***Dramont E*** : 301

5.1. Choix de l'épave : 301
5.2. Historique et présentation des vestiges : 302
5.2.1. Lieu et date de découverte : 302

5.2.2. Méthode employée durant la fouille : ... 302
5.2.3. Description des vestiges : ... 306
5.2.4. Type et fonction de l'embarcation : ... 320
5.3. Remise en place des vestiges et recherche des formes : ... 325
5.3.1. Etat de l'épave et documentation disponible: ... 325
5.3.2. Recherche des formes dans les parties conservées : ... 330
5.3.3. Définition des dimensions principales : ... 336
5.3.4. Reconstitution des parties conservées : ... 346
5.3.5. Critiques et limites d'une restitution des œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement : ... 350
5.3.6. Restitution de la cargaison : ... 351
5.4. Evaluation de deux hypothèses de restitution de l'épave *Dramont E* ... 360
5.4.1. Devis de poids du navire en lège : ... 360
5.4.2. Devis de poids de la cargaison : ... 362
5.4.3. Devis de poids total du navire chargé : ... 364
5.4.4. Analyses hydrostatiques et de la stabilité transversale : ... 364
5.5. Conclusions : trajet et route du navire avant son naufrage ... 376

6. ***Jules-Verne 7*** : ... 383
6.1. Présentation : ... 383
6.1.1. Processus de formation de l'épave : ... 383
6.1.2. Description des vestiges : ... 384
6.1.3. Principe et méthodes de construction : ... 391
6.1.4. Datation: ... 392
6.1.5. Type et fonction de l'embarcation : ... 392
6.1.6. Historique du processus de recherche sur l'épave *Jules-Verne 7* : ... 394
6.2. Processus de restitution du navire *Jules-Verne 7* : ... 401
6.2.1. Le modèle tridimensionnel des vestiges : ... 401
6.2.2. Réalisation du plan de formes : ... 404
6.2.3. Le modèle tridimensionnel de restitution : ... 406
6.2.4. Le plan de bordé développé : ... 410

6.3. Evaluation de l'hypothèse de restitution de l'épave *Jules-Verne 7* : 411
6.3.1. Devis de poids du navire en lège : 411
6.3.2. Espace disponible de chargement : 413
6.3.3. Estimations du port en lourd : 414
6.4. Interprétations et synthèse : 422
6.4.1. Une stabilité transversale limitée ? 422
6.4.2. Influence de la stabilité sur le programme et l'espace de navigation : 424
6.4.3. Conclusion et remarques sur les qualités nautiques du navire : 428

Conclusion :..... 431

Bibliographie :..... 437

Glossaire des termes techniques :..... 467

Index des figures

- *Napoli A*

n° de Planche	Titre	n° de page
Fig. 1	Vue générale des trois épaves découvertes sur le chantier de Piazza Municipio à Naples (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 96**
Fig. 2	Vue générale de l'épave A (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 96**
Fig. 3	Vue de la partie bâbord de l'épave dégradée par le passage d'un drain (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 97**
Fig. 4	Détail de réparations sur la première préceinte à bâbord (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 97**
Fig. 5	Différentes vues de l'état de dégradation de la charpente axiale au niveau du trait de Jupiter entre la quille et l'étrave (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 99**
Fig. 6	Détail d'une partie du bordé tribord ou la dégradation des virures laisse apparaître le réseau d'assemblage à tenons et mortaises (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 101**
Fig. 7	Détail d'une partie du bordé bâbord, ou l'on aperçoit les deux niveaux de préceintes conservés (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 101**
Fig. 8	Vue de détail d'une partie de la préceinte basse bâbord T9b (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 103**
Fig. 9	Détail d'une partie du bordé tribord ou l'on aperçoit les clous de fixation de la membrure au bordé (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 103**
Fig. 10	Vue d'ensemble de la charpente et des aménagements internes (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 105**
Fig. 11	Vue d'ensemble du vaigrage et du massif d'emplanture une fois les payoles démontées (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 105**
Fig. 12	Vue de détail de la carlingue ou l'on perçoit l'encastrement de celle-ci sur la membrure (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 106**
Fig. 13	Vue d'ensemble des différentes mortaises pratiquées sur la face supérieure de la carlingue (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 106**
Fig. 14	Vue de détail d'un assemblage de type *scarf*, entre Fi.1Ab et Fi.1Bb (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 107**
Fig. 15	Vue d'ensemble des différentes mortaises pratiquées au niveau des couples M12 - M14, pour recevoir les montants de la cage de la pompe de sentine (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 107**
Fig. 16	Vue de détail de la réparation du bordé, Rt5, sur tribord (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 108**
Fig. 17	Vue d'ensemble des tenons de réparations observables sur le flanc bâbord (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 108**
Fig. 18	Vue du niveau conservé vers la poupe de l'épave (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 111**
Fig. 19	Vue d'ensemble de la dégradation des têtes de membrures (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 111**
Fig. 20	Présentation des possibilités de placement du livet de pont.	**p. 118**
Fig. 21	Plan de formes de l'hypothèse de restitution de l'épave *Saint-Gervais III* proposé par Robert Roman (Tirée de : Roman, 1997).	**p. 123**
Fig. 22	Coupe transversale de restitution au niveau du couple 127/128 de l'épave *Laurons 2* (Tirée de : Gassend, Liou, Ximénès, 1984).	**p. 124**

Fig. 23	Plan de formes de restitution de l'épave *Laurons 2* par Robert Roman et Jean-Marie Gassend (Tiré de: Roman, 1997).	**p. 124**
Fig. 24	Plan de formes de restitution de l'épave de *Cavalière* par Jean-Marie Gassend (Tirée de: Charlin, Gassend, Lequément, 1978).	**p. 127**
Fig. 25	Représentation du maître-couple restitué ainsi que le déplacement correspondant aux divers enfoncements (Tirée de: Charlin, Gassend, Lequément, 1978).	**p. 127**
Fig. 26	Restitution du niveau des préceintes en fonction des diverses hypothèses de hauteur de livet sur M 30.	**p. 129**
Fig. 27	Présentation des trois hypothèses principales concernant les dimensions générales de la restitution.	**p. 130**
Fig. 28	Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel (vue de bâbord).	**p. 135**
Fig. 28 bis	Vue de dessous de la restitution du bordé sur le modèle tridimensionnel.	**p. 135**
Fig. 29	Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel.	**p. 137**
Fig. 30	Planimétrie et projection longitudinale des vestiges de l'épave *Laurons 2* (tiré de: Gassend *et al*., 1984).	**p. 147**
Fig. 31	Système d'assemblage des baux de l'épave *Punta Ala*, IIIème s. ap. J.-C. (tiré de Ferrandi, 1980).	**p. 153**
Fig. 32	Système d'assemblage des baux de l'épave *County Hall*, IIIème - IVème s. ap. J.-C. (tiré de Marsden, fig.6, p.17).	**p. 153**
Fig. 33	Détail de la muraille et des aboutissements des surbaux sur le bas-relief du sarcophage de Sidon, Beyrouth, (IIème s. ap. J.-C).	**p. 154**
Fig. 34	Détail du pavois sur la stèle de *Kalleinikos* (Sinope, IIIème s. ap. J.-C).	**p. 155**
Fig. 35	Détail de l'aile de protection du gouvernail du navire du monument funéraire de *Naevolia Tyché* (Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.).	**p. 156**
Fig. 36	L'aile de protection du gouvernail de l'épave *Laurons 2*, vue depuis l'avant (Photo: CCJ-CNRS).	**p. 157**
Fig. 37	L'aile de protection du gouvernail de l'épave *Laurons 2*, vue depuis le dessus (Photo: CCJ-CNRS).	**p. 157**
Fig. 38	Partie d'une aile de protection découverte sur l'épave *Port-Vendres V* (Tiré de : Jézégou, Descamps, 1998, fig.2).	**p. 159**
Fig. 39	Présentation de la partie conservée du gouvernail sur l'épave *Laurons 2* et hypothèse sur son maniement (Tiré de : Gassend, 1998, fig.3).	**p. 159**
Fig. 40	Détail de l'un des gouvernails remonté sur le graffito du navire *Europa* (Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.).	**p. 163**
Fig. 41	Détail de l'étai avant du navire de gauche sur le bas-relief votif du *Portus Augusti*. (Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.).	**p. 169**
Fig. 42	Détail du système de haubanage sur le navire de gauche sur le bas-relief votif du *Portus Augusti*. (Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.).	**p. 170**
Fig. 43	Caps-de-mouton découverts dans l'anse des Laurons (Tiré de : Ximémès, Moerman, 1990, fig.7).	**p. 171**
Fig. 44	Poulies découvertes sur l'épave *Grand-Ribaud D* (Tiré de : Hesnard et *al*., 1988, fig. XLIV).	**p. 171**
Fig. 45	Quinçonneaux découverts sur l'épave de *Grado* (en haut) et de *Laurons II* (en bas), (Tiré de : Beltrame, 2000).	**p. 171**
Fig. 46	Détail du calcet double et du système de hissage de la vergue sur le navire de gauche sur le bas-relief votif du *Portus Augusti* (Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.).	**p. 172**
Fig. 47	Détail du calcet double sur la stèle de *P. Clodius Quirinalis*, (Trieste, Ier s. ap. J.-C.).	**p. 173**
Fig. 48	Détail du palan sur le navire du monument funéraire de *Naevolia Tyché* (Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.).	**p. 174**
Fig. 49	Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.	**p. 181**
Fig. 50	Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements.	**p. 181**
Fig. 51	Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements.	**p. 185**
Fig. 52	Représentation des lignes de flottaison au niveau du maître-couple dans une configuration en lège et en charge avec un chargement de 23,45 t.m.	**p. 187**
Fig. 53	Carte de la baie de Naples illustrant le régime des vents dominants et différents trajets.	**p. 190**
Fig. 54	Schéma illustrant la répartition de certaines forces agissant sur le navire lorsque celui-ci est soumis à un vent de travers.	**p. 190**
Fig. 55	Illustration du VMG potentiel au près pour des conditions de navigation idéales.	**p. 196**
Fig. 56	Illustration du VMG potentiel au près pour des conditions de navigation difficiles.	**p. 196**

- *Napoli C*

n° de Planche	Titre	n° de page
Fig. 57	Vue générale des trois épaves découvertes sur le chantier de Piazza Municipio à Naples (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 204**
Fig. 58	Vue générale de l'épave C au début de la fouille (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 204**
Fig. 59	Profil bâbord de l'étambot mis à jour lors de la fouille de la section arrière de l'épave. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 206**
Fig. 60	Vue de l'étambot depuis l'arrière découvert lors de la fouille de la section arrière de l'épave (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 206**
Fig. 61	Vue de l'extrémité avant de la quille découverte lors de la fouille de la section avant de l'épave. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 206**
Fig. 62	Vue de l'assemblage en trait de Jupiter réalisé entre la quille et l'étambot. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 207**
Fig. 63	Vue de l'assemblage en trait de Jupiter réalisé entre la quille et l'étambot, avec la clé de blocage encore en place. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 207**
Fig. 64	Vue d'une partie de la face extérieure du bordée bâbord au niveau des couples M17 à M20 (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 207**
Fig. 65	Détail de réparations sur la face externe du bordé bâbord (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 209**
Fig. 66	Détail de deux tenons de réparation sur la face externe du bordé (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 209**
Fig. 67	Vue de l'aboutissement des virures du bordé au niveau de la marotte. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 209**
Fig. 68	Vue de la membrure depuis le maître-couple jusqu'à la marotte (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 211**
Fig. 69	Détail de l'unique trou d'anguiller central et des évidements triangulaires pratiqués sur le dos des membrures (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 211**
Fig. 70	Vue de la marotte depuis tribord avant (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 212**
Fig. 71	Vue de la marotte depuis l'avant (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 212**
Fig. 72	Vue de la marotte depuis tribord avant (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 212**
Fig. 73	Vue depuis l'avant des deux séries de vaigres latérales (sur quatre niveaux) et de deux vaigres centrales de substitution (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 214**
Fig. 74	Vue depuis tribord des deux séries de vaigres latérales (sur quatre niveaux) et de deux vaigres centrales de substitution (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 214**
Fig. 75	Vue des longerons de soutient de la marotte (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 214**
Fig. 76	Vue depuis le dessus, de la marotte et des aboutissements des deux longerons (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 216**
Fig. 77	Vue de la dégradation par les organismes xylophages des têtes de membrures du flanc tribord (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 216**
Fig. 78	Vue d'ensemble du niveau de dégradation et de déformation de l'épave (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 216**

Fig. 79	Vue de détail de la dégradation d'usage du bordé sur sa face inférieure, qui laisse apparents les tenons d'assemblage (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 218**
Fig. 80	Vue depuis le dessous des conséquences sur les formes de l'épave du système de relevage mis en place lors de la fouille (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 218**
Fig. 81	Vue depuis le côté des conséquences sur les formes de l'épave du système de relevage mis en place lors de la fouille (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte ; G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 218**
Fig. 82	L'épave *Toulon 2*, dernier quart du Ier s. ap. J.-C. (tiré de Brun 1999, fig. 1010; Photo: CCJ-CNRS).	**p. 224**
Fig. 83	Les deux *horeiae* toulonnaises, dernier quart du Ier s. ap. J.-C. (tiré de Brun 1999, fig.1010; Photo: CCJ-CNRS).	**p. 224**
Fig. 84	Comparaison des plans de bordé développé de la restitution de l'épave *Napoli C*	**p. 231**
Fig. 85	Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel de l'hypothèse n°2 de restitution.	**p. 235**
Fig. 86	Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel de l'hypothèse n°1 de restitution.	**p. 235**
Fig. 87	Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel de l'hypothèse n°2.	**p. 253**
Fig. 88	Comparaison des différentes restitutions de hauteur du livet en fonction des diverses hypothèses.	**p. 255**
Fig. 89	Plan de l'embarcation *Pisa C* (tiré de Bruni 2000).	**p. 261**
Fig. 90	Section transversale au maître-couple de l'épave *Pisa C* (tiré de Bruni 2000).	**p. 261**
Fig. 91	Vue de la zone pontée avant de l'épave *Pisa C*, les deux garde-corps formant le pavois ont déjà été recouvert par la protection blanche en résine de verre. (Photo: H.-B. Maugiron; CEA, Arc-Nucléart).	**p. 261**
Fig. 92	L'aile de protection, le pavois et le pont arrière de l'épave *Laurons 2*, vus depuis le dessus (Photo: CCJ-CNRS).	**p. 263**
Fig. 93	L'aile de protection, le pavois et le pont arrière de l'épave *Laurons 2*, vue depuis l'avant (Photo: P. Foliot, CCJ-CNRS).	**p. 263**
Fig. 94	Planimétrie de l'épave *Ercolano*, Ier s. ap. J.-C. (tiré de Ferroni, Meucci, 1989, fig.4).	**p. 265**
Fig. 95	Section transversale de l'épave *Ercolano*, Ier s. ap. J.-C. (tiré de Steffy, 1994, fig.3.56).	**p. 265**
Fig. 96	Vue en coupe des proportions de l'épave *Toulon 2*, Ier s. ap. J.-C. (relevés: J.-M. Gassend, CNRS-IRAA; G. Boetto, CNRS-CCJ et V. Dumas, CNRS-CCJ).	**p. 265**
Fig. 97	Stèle de *Blussus*, Ier ap. J.-C. (Pekary, 1999, Dm-66).	**p. 268**
Fig. 98	Stèle de Cologne, Ier –IIIème ap. J.-C. (Pekary, 1999, Dk-60).	**p. 268**
Fig. 99	Détail de la scène de remorquage figurant sur un bas-relief de la tombe n°78 découverte sur l'Isola Sacra, IIème ap. J.-C. (Pekary, 1999, I-O 30, p.196).	**p. 269**
Fig. 100	Enfoncement et assiette de la restitution n°1 de *Napoli C* en fonction de la répartition d'un chargement de 13,2 t.m (Δ= 20 t.m).	**p. 273**
Fig. 101	Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.	**p. 277**
Fig. 102	Représentation des différentes lignes de flottaison du navire vu de face.	**p. 277**
Fig. 103	Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple.	**p. 277**
Fig. 104	Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.	**p. 283**
Fig. 105	Comparaison des différents moments de redressement de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.	**p. 285**
Fig. 106	Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°2 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.	**p. 293**
Fig. 107	Comparaison des différents moments de redressement de l'hypothèse de restitution n°2 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.	**p. 295**

- *Dramont E*

n° de Planche	Titre	n° de page
Fig. 108	Plan du site en septembre 1968 (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 303**
Fig. 109	Amphores du niveau supérieur éparpillées par les pilleurs (tiré de: Santamaria, 1995).	**p. 305**
Fig. 110	Amphores du niveau inférieur encore en place (tiré de: Santamaria, 1995).	**p. 305**
Fig. 111	Plan de répartition des amphores. Synthèse des travaux de 1968 et de la fouille (1981-1991) (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 307**
Fig. 112	Coupe longitudinale de la quille (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 309**
Fig. 113	Détail du profil de la quille et du brion d'étrave (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 309**
Fig. 114	Détail du profil de la quille et de l'étambot (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 309**
Fig. 115	Planimétrie générale du bordé (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 311**
Fig. 116	Planimétrie générale de la membrure (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 313**
Fig. 117	Vue depuis le sud-ouest de l'épave, après prélèvement de la cargaison et d'une partie du massif d'emplanture (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 315**
Fig. 118	Vue depuis le sud des membrures M8 à M20 (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 315**
Fig. 119	Coupes transversales des couples C5 à C15, sur lesquelles on aperçoit aussi en partie le bordé, la préceinte basse et la quille (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 316**
Fig. 120	Coupes transversales des couples C17 à C27, sur lesquelles on aperçoit aussi en partie le bordé, les préceintes et la quille (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 317**
Fig. 121	Coupes longitudinales des couples C31 à C35, sur lesquelles on aperçoit aussi en partie le bordé et la quille (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 318**
Fig. 122	Détails des membres C11, C14, C23, C24, C28 et C30 (Santamaria, 1995).	**p. 318**
Fig. 123	Vue depuis le sud-ouest du massif d'emplanture, entre ses deux carlingots (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 321**
Fig. 124	Vue depuis l'ouest des membrures C4, C5, C6 et C7 (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 321**
Fig. 125	Planimétrie générale des vestiges de la coque (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 323**
Fig. 126	Relevés de détail du pied de mât, de la cavité d'emplanture et des cavités annexes (à gauche) et des différentes parois du fourreau d'étambrai (à droite), (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 324**
Fig. 127	Le pied de mât en place; on distingue à gauche la paroi avant du fourreau d'étambrai et, au premier plan, la paroi latérale bâbord, légèrement déplacée de sa position initiale, contre la carlingue (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 324**
Fig. 128	Après dépose des parois du fourreau d'étambrai et du pied de mât, on aperçoit la carlingue, la cavité d'emplanture ainsi que les deux mortaises qui recevaient les tenons de la paroi avant du fourreau (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 324**
Fig. 129	Vue de sections transversales brutes, remis sur le même plan, en se fiant au droit du dessus de quille.	**p. 327**
Fig. 129 bis	Vue de sections transversales brutes, remis sur le même plan, en se fiant aux relevés planimétriques et à la symétrie des varangues.	**p. 327**
Fig. 130	Superposition dans une échelle identique des détails de l'étrave et de l'étambot avec la coupe longitudinale de la quille (tiré de : Santamaria, 1995).	**p. 329**
Fig. 131	Vue de la remise en place des coupes transversale des vestiges sur les coupes du plan de formes de restitution.	**p. 333**
Fig. 132	Vue de la remise en place des coupes transversale des vestiges sur les coupes du plan de formes de restitution.	**p. 334**
Fig. 133	Vue du modèle virtuel des vestiges remis en forme.	**p. 337**
Fig. 134	Vue du modèle virtuel des vestiges remis en forme avec les premières courbes transversales de restitution.	**p. 337**
Fig. 135	Vue du modèle virtuel des vestiges remis en forme avec un premier prolongement des élancements et l'ébauche du plan de formes de restitution.	**p. 337**
Fig. 136	Vue de la remise en place des amphores conservées au sein du modèle virtuel.	**p. 352**
Fig. 137	Vue de la restitution de la hauteur du livet, au niveau du maître-couple, dans le cas de la restitution d'un unique niveau d'amphores.	**p. 352**
Fig. 138	Vue de la restitution de la hauteur du livet, au niveau du maître-couple, dans le cas de la restitution de deux niveaux d'amphores.	**p. 352**

Fig. 139	Schémas de répartition des amphores: en rouge le rangement en carré, en bleu le rangement en quinconce.	**p. 354**
Fig. 140	Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.	**p. 368**
Fig. 141	Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du couple M20 et les tirants d'eau correspondant.	**p. 368**
Fig. 142	Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.	**p. 373**
Fig. 143	Représentation des différentes lignes de flottaison, au niveau du couple M20, pour la deuxième hypothèse de restitution.	**p. 373**
Fig. 144	Enfoncement et assiette de la restitution n°2 de *Dramont E*, en lège et chargée.	**p. 375**
Fig. 145	Représentation des courants et vents dominants durant les mois de Juillet-Août dans l'est du bassin occidental de la Méditerranée (d'après l'Atlas of pilot charts, 2002, NIMA).	**p. 377**
Fig. 146	Représentation des routes potentielles, éventuellement suivies par *Dramont E*, en fonction des vents dominants (d'après l'Atlas of pilot charts, 2002, NIMA).	**p. 377**

- *Jules-Verne 7*

n° de Planche	Titre	n° de page
Fig. 147	Plan général de la partie de la place Jules-Verne où ont été découvertes les épaves romaines ainsi que les deux épaves grecques, visibles en haut à droite (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS).	**p. 385**
Fig. 148	Plan de détail des deux épaves grecques (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS).	**p. 385**
Fig. 149	Vue de la maquette des vestiges (Photo: CCJ-CNRS, Réalisation de la maquette : R. Roman, CCJ-CNRS).	**p. 387**
Fig. 150	Vue de la maquette "carton" de vérification des formes (Photo: CCJ-CNRS, Réalisation de la maquette : M. Rival et R. Roman, CCJ-CNRS).	**p. 387**
Fig. 151	Vue de la maquette des vestiges remis en forme (Photo: L. Damelet, CCJ-CNRS, Réalisation de la maquette: R. Roman, CCJ-CNRS).	**p. 387**
Fig. 152	Plan de formes de la première hypothèse de restitution (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS).	**p. 388**
Fig. 153	Planimétrie de détail du bordé conservé de l'épave *Jules-Verne 7*. (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS).	**p. 390**
Fig. 154	Vue zénithale de la fouille après le marquage des structures du bordé (Photo: CCJ-CNRS).	**p. 390**
Fig. 154 bis	Vue de la planimétrie des vestiges remis en place conformément aux recollages mis en évidence par Arc-Nucléart (Juillet 2012).	**p. 393**
Fig. 155	Schéma du système d'assemblage par tenons et mortaises du bordé de *Jules-verne 7* (Dessin : M. Rival CCJ-CNRS).	**p. 395**
Fig. 156	Assemblages par ligatures au niveau de la réparation de l'une des virures de *Jules-Verne 7* (Photo : CCJ-CNRS).	**p. 395**
Fig. 157	Axonométrie représentant le mode d'assemblage des varangues avec les allonges (Dessin : M. Rival, CCJ-CNRS).	**p. 395**
Fig. 158	Axonométrie représentant le mode d'assemblage des couples de revers avec le pavois et la lisse positionnée au niveau du livet (Dessin : M. Rival, CCJ-CNRS).	**p. 399**
Fig. 159	Aperçu des assemblages de la membrure au niveau du maître-couple M6 (Dessin : P. Poveda).	**p. 399**
Fig. 160	Plan de l'épave *Gela 1* sur lequel on aperçoit notamment l'organisation de la charpente axiale interne (tiré de Freschi, 1991).	**p. 399**
Fig. 161	Vue du modèle des vestiges (en haut) et des vestiges remis en place (en bas).	**p. 400**
Fig. 162	Vues du modèle tridimensionnel des vestiges remis en place.	**p. 400**
Fig. 163	Comparaison des coupes hors-membres du nouveau plan de formes de restitution avec les coupes transversales des vestiges remis en place.	**p. 403**
Fig. 164	Comparaison des coupes hors-membres du nouveau plan de formes de restitution (en rouge) avec les coupes hors-bordé du premier plan de formes (en vert).	**p. 405**
Fig. 165	Comparaison des élévations longitudinales des deux hypothèses de restitution.	**p. 407**

Fig. 166	Comparaison des profils verticaux avant et arrière des deux hypothèses de restitution de *Jules-Verne 7*.	**p. 409**
Fig. 167	Vues depuis l'avant des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements.	**p. 415**
Fig. 168	Représentation des lignes de flottaison dans une configuration en lège et en charge avec un chargement de 16,19 t.m (Charg.2°).	**p. 419**
Fig. 169	Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements.	**p. 421**
Fig. 169 bis	Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle d'immersion du livet, en fonction de divers chargements.	**p. 421**

Index des tableaux

n° de Tableau	Titre	n° de page
Tab. 1	Dimension principales de l'épave *Napoli A*.	**p. 98**
Tab. 2	Moyennes des rapports L/hBQP des représentations iconographiques sélectionnées	**p. 120**
Tab. 3	Les restitutions d'épaves de bateaux d'époque romaine.	**p. 125**
Tab. 4	Les restitutions des épaves de *Cavalière* et *Laurons 2*.	**p. 125**
Tab. 5	Récapitulatif des différentes hauteurs sous barrot obtenues à partir des six rapports de référence (*Napoli A).*	**p. 128**
Tab. 6	Récapitulatif des dimensions principales des trois hypothèses de restitution des dimensions (*Napoli A).*	**p. 131**
Tab. 7	Dimensions principales de l'hypothèse n°2 de *Napoli A.*	**p. 133**
Tab. 8	Premier groupe de comparatifs iconographiques.	**p. 141**
Tab. 9	Deuxième groupe de comparatifs iconographiques.	**p. 141**
Tab. 10	Troisième groupe de comparatifs iconographiques.	**p. 142**
Tab. 11	Les rapports de dimensions de la mâture mesurés à partir de l'iconographie (1).	**p. 165**
Tab. 12	Les rapports de dimensions de la mâture mesurés à partir de l'iconographie (2).	**p. 166**
Tab. 13	Les rapports de dimensions de la vergue mesurés à partir de l'iconographie.	**p. 166**
Tab. 14	Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°2 (*Napoli A).*	**p. 176**
Tab. 15	VMG aux allures de près de diverses reconstructions de navires grées d'une unique voile carrée (tiré de Whitewright, 2011, tab.3, p.9).	**p. 195**
Tab. 16	Résumé des performances des navires à voile carrée de Méditerranée antique pour des conditions optimum de vent et de mer (tiré de Whitewright, 2011, tab.6, p.10).	**p. 197**
Tab. 17	Corpus d'iconographies d'*horeiae* sur lequel nous nous sommes particulièrement basés (*Napoli C*).	**p. 220**
Tab. 18	Représentations d'*horeiae* à étrave verticale.	**p. 242**
Tab. 19	Représentations d'*horeiae* à étrave inclinée.	**p. 242**
Tab. 20	Représentations d'*horeiae* présentant leur tableau à la poupe.	**p. 242**
Tab. 21	Résumé des dimensions de la première hypothèse de restitution (*Napoli C*).	**p. 243**
Tab. 22	Représentations d'*horeiae* présentant leur tableau à la proue (pelle-gouvernail axiale)	**p. 252**
Tab. 23	Dimensions et proportions de l'épave *Toulon 2.*	**p. 254**
Tab. 24	Résumé des dimensions de la deuxième hypothèse de restitution de *Napoli C*, déduites des rapports de proportion de l'épave *Toulon 2.*	**p. 256**
Tab. 25	Résumé des dimensions de la deuxième hypothèse de restitution (*Napoli C*).	**p. 257**
Tab. 26	Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°1 (*Napoli C*).	**p. 272**
Tab. 27	Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°2 (*Napoli C*).	**p. 288**
Tab. 28	Rappel des dimensions principales des vestiges de l'épave *Dramont E*.	**p. 335**
Tab. 29	Eléments iconographiques utilisés lors de la recherche des proportions de la restitution de *Dramont E*.	**p. 340**
Tab. 30	Les dimensions principales de l'hypothèse de restitution de l'épave *Port-Vendres 1*.	**p. 341**
Tab. 31	Résumé des différents creux pouvant être restitués (*Dramont E*).	**p. 342**
Tab. 32	Résumé des différents creux pouvant être restitués à partir de la répétition de trois, quatre ou cinq niveaux de préceintes (*Dramont E*).	**p. 342**
Tab. 33	Récapitulatif des dimensions des deux hypothèses de restitution (*Dramont E*).	**p. 344**
Tab. 34	Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°1 (*Dramont E*).	**p. 361**
Tab. 35	Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°2 (*Dramont E*).	**p. 361**
Tab. 36	Résumé des poids unitaires de chacun des modules d'amphore restitués (*Dramont E*).	**p. 363**
Tab. 37	Résumé du devis de poids pour le premier niveau d'amphores (*Dramont E*).	**p. 363**
Tab. 38	Résumé du devis de poids pour le deuxième niveau d'amphores (*Dramont E*).	**p. 363**
Tab. 39	Résumé du devis de poids de la cargaison pour les deux hypothèses (*Dramont E*).	**p. 364**
Tab. 40	Indications sur le replacement des éléments transversaux (*Jules-Verne 7*).	**p. 402**
Tab. 41	Résumé du devis de poids de la nouvelle restitution, en lège (*Jules-Verne 7*).	**p. 412**

Résumé

La présente thèse se construit sur deux problématiques principales : la première porte sur l'amélioration des techniques d'étude liées à la restitution des navires antiques, conséquence d'un renouvellement des outils de travail, nottement par l'usage intensif de l'informatique, la seconde est liée à la production d'informations supplémentaires sur les qualités nautiques et la capacité commerciale des navires restitués, à travers l'apport des analyses physiques tirées des modèles virtuels.

Ce programme est ici appliqué à quatre épaves : une épave grecque archaïque du VIème s. av. J.-C., *Jules-Verne 7*, deux épaves romaines du Ier s. ap. J.-C., *Napoli A* et *Napoli C* et enfin une épave plus tardive, du Vème s. ap. J.-C., *Dramont E*. Pour chaque épave restituée, l'étude se décompose en deux parties distinctes mais étroitement interdépendantes : une ou plusieurs hypothèses de restitution sont tout d'abord définies sur la base rigoureuse des vestiges conservés et de différents éléments de comparaison (iconographiques, ethnologiques, sources littéraires). Par la suite, c'est une analyse simple de certaines caractéristiques physiques de la restitution qui est entreprise en s'intéressant à ses divers enfoncements, à la répartition des poids et des volumes ou encore à sa stabilité transversale. L'intérêt particulier porté aux caractéristiques des carènes restituées permet ensuite, d'ébaucher dans les grandes lignes le programme ainsi que l'espace de navigation des navires originaux. Il s'agit grace à cette approche spécifique de s'intéresser au navire antique en tant que système fonctionnel, mais aussi et surtout en tant qu'outil principal et vecteur du commerce maritime.

Mots-clé : archéologie ; antiquité ; Méditerranée ; archéologie navale ; restitution ; architecture navale ; commerce maritime ; méthodologie ; maquette ; 3D

Abstract

This thesis is built around two main subjects: the first pertains to the question of improving the technics of study related to the reconstitution of ancient ships following a renewal of in tools utilized for the task. The second subject is linked to the production of additional information on the nautical qualities and the sailing capabilities of the hypothetical reconstituted ships based on the analysis of virtual models.

We applied this program to four wrecks: a Greek wreck from the archaic period dated to the VIth c. B.C., *Jules-Verne 7*, two Roman wrecks from the Ist c. A.D., *Napoli A* and *Napoli C*, and finally to a late roman period wreck from the Vth c. A.D., *Dramont E*. For each wreck, the study is divided into two separate sections that are closely related and interdependent. First, we sought to define one or more valid hypotheses based rigorously on the remains preserved and on various elements of comparison (iconographic and ethnographic parallels, literary sources). Thereafter, we planned a simple analysis of some physical characteristics of the reconstituted ship focusing on its various draughts, displacements and transversal stability according to different distributions of weights and volumes. This focus on the characteristics of the hypotheses of reconstitution allows us, to some extent, to outline in broad terms the utilization programs and the navigational areas of the original ships. We intend in this way to focus on the ship as a functional system, but also and especially as the main vector of ancient maritime trade in the Mediterranean.

Key-words : archaeology ; antiquity ; Mediterranean ; naval archaeology ; reconstitution ; naval architecture ; maritime commerce; methodology ; model ; 3D

Introduction :

« Pourquoi et comment restitue-t-on les navires antiques à partir de leurs vestiges ? »

Si une telle question se pose en préambule de ce travail de recherche doctoral, c'est certainement parce qu'elle constitue l'un des nœuds gordiens de l'archéologie navale depuis ses débuts et qu'elle fut aussi l'un des fondements du travail que nous présentons ici. Au sein même de la communauté scientifique, la question prête largement à débat : les questionnements principaux, qui ont pu être soulevés, portent avant tout sur la pertinence et l'authenticité de ces restitutions ainsi que sur la quantité d'informations supplémentaires que celles-ci peuvent réellement apporter à l'étude des épaves[1]. Par conséquent, il n'est donc pas forcément aisé de distinguer clairement les enjeux, les outils ou encore les méthodes qui vont constituer tel ou tel travail de restitution.

Toutefois, dans le cadre d'une recherche motivée uniquement par le savoir, on peut considérer comme une constante le fait que lorsqu'il restitue, l'archéologue naval va s'intéresser de la façon la plus aboutie qui soit, par la reconstitution des formes, des structures et des modes de propulsion, au navire d'origine sous son triple aspect de machine, d'ensemble fonctionnel et de lieu de vie[2]. Il s'agit donc bien, par la restitution, de compléter et d'achever un processus initié durant la fouille. Restituer serait ainsi l'un des objectifs principaux de l'archéologue naval.

Il nous semble qu'au-delà de cette vision globale, à laquelle nous adhérons pleinement, nous pouvons cependant distinguer des niveaux intermédiaires de réflexion qui répondent plus prosaïquement à la question « pourquoi restituer ? ». Ces diverses justifications du travail de restitution relèvent de problématiques variées qui vont se poser à l'archéologue à différents stades de sa recherche.

En premier lieu, la restitution parait être un moyen efficace d'améliorer et de valider l'interprétation finale d'une épave. Sur ce point, les travaux de J. R. Steffy nous paraissent fondateurs[3]. Ils ont très nettement démontré l'intérêt d'une recherche tridimensionnelle qui permet d'approfondir l'identification archéologique de chaque partie des vestiges en

[1] McGrail, 1992, p. 353-355 ; Goodburn, 1993, p. 199-203 ; Mardsen, 1993, p.206-207 ; Westerdahl, 1993, p. 205-206 ; Coates, McGrail, *et al.* , 1995, p. 293-301 ; Crumlin-Pedersen, 1995, p. 303-306.
[2] Pomey, Rieth, 2005, p. 142.
[3] On remarquera tout particulièrement ses travaux sur l'épave de *Yassi Ada* (Steffy, 1982, p. 65-86) ; de *Serçe Limani* (Steffy, 2004, p. 153-169) ou encore son ouvrage sur l'interprétation des vestiges de navires (Steffy, 1994).

permettant leur replacement adéquat dans un modèle interprétatif global de l'épave et du navire d'origine. Avec la production de maquettes de restitution, on parvient ainsi à valider et à exprimer physiquement l'ensemble du travail d'interprétation et de documentation effectué en amont, lors de la fouille et du traitement des données. Les travaux des principaux centres d'archéologie navale reconnus à travers le monde, le bureau d'archéologie navale du Centre Camille Jullian ne faisant pas exception, témoignent de l'importance accordée à cette méthode de recherche ainsi qu'au souci de produire des restitutions, conçues comme des appuis d'importance à la consolidation de l'interprétation archéologique[4].

Dans un second temps, la réalisation d'une restitution permet aussi, sous certaines conditions, de proposer des analyses qui ne pourraient être menées directement sur les vestiges de l'épave[5]. Formes de carène, capacités de transport, modes de propulsion, vitesses, qualités nautiques, répartition des espaces, lieux de vie : autant d'éléments qui vont faire l'objet d'une attention toute particulière puisqu'ils permettent, par leur évaluation, d'aborder le navire sous ses trois aspects principaux : machine, ensemble fonctionnel et lieu de vie. La restitution permet alors de replacer l'épave au sein des problématiques plus vastes de l'histoire maritime, de l'histoire économique ou bien encore de l'histoire des sciences et techniques. Dès lors, à travers notamment la restitution, comme l'a bien résumé O. Crumlin-Pedersen, l'archéologie navale peut se replacer au cœur d'enjeux scientifiques plus larges, tout d'abord ceux de l'archéologie maritime, et plus généralement ceux de la connaissance des mondes anciens[6].

Enfin, on ne peut galvauder la dimension éminemment pédagogique de la restitution d'un navire à partir des vestiges parcellaires qui en ont été conservés. Si cela ne se pose pas forcément comme l'une des préoccupations scientifiques initiales de l'archéologue naval, la divulgation publique des résultats de l'étude d'une épave, à travers notamment la présentation muséographique des vestiges, n'en demeure pas moins l'une des enjeux incontournables de la recherche. Or, cette transmission du savoir, ne peut s'effectuer que par le biais de représentations graphiques, de maquettes, de modèles virtuels ou de reconstructions à l'échelle 1:1. Soit, autant de supports qui nécessitent dans un premier temps la réalisation d'une restitution valide.

[4] On notera aussi que le recours aux maquettes, dans les différents stades d'une étude d'archéologie navale, ne se cantonne nullement à une période ou un type de navire en particulier puisque cette technique a pu être mise en œuvre, sous différentes formes, sur des navires aux fonctions très variées, pour toutes époques et dans toutes sortes de régions du monde (Steffy, 1982a, p. 65–86 ; Steffy, 1994 ; Pomey, Rieth, 2005, p. 142-149 ; Pomey, 2006, p. 63-68 ; Bischoff, 2003, p.71-79 ; Rieth, Gaucher, 2010b, p.171-204).
[5] Voir *Infra*, Chapitre II.
[6] Crumlin-Pedersen, 1998, p. 3.

Nous pouvons le voir, les raisons et les problématiques qui favorisent la mise en place d'une étude de restitution ne manquent pas. Pourquoi donc, se poser la question de leur réalisation ? Au-delà du « pourquoi ? », c'est donc plutôt la question du « comment ? » qui fait plus particulièrement débat. Les problèmes que pose une telle entreprise entretiennent très souvent un flou sur l'authenticité des hypothèses proposées, à tel point qu'ils peuvent même nous amener à nous questionner, au-delà de la méthode à mettre en place, sur la validité intrinsèque du principe de restitution.

La plupart du temps, l'objet de la restitution, l'épave, n'est conservé que de façon très partielle. Afin de compléter et de rendre à l'épave sa forme, sa structure et ses éléments directionnels d'origine, on est donc contraint d'avoir recours à des hypothèses qui vont s'avérer avoir des valeurs différentes, puisqu'elles se basent sur des éléments dont la nature et la validité sont très hétérogènes : témoignages sur l'épave en elle-même de parties disparues, parallèles archéologiques, iconographiques ou ethnographiques[7]. Etymologiquement, le terme de « restitution » rend finalement bien compte indirectement du caractère hypothétique de la démarche : « rétablir, rendre et reconstituer ce qui a disparu »[8]. Or c'est justement sur ce point précis que l'on peut s'interroger : a-t-on assez de données objectives pour poser telle ou telle hypothèse, et si c'est le cas, comment fait-on pour les mettre en œuvre de façon pertinente?

A ce sujet, on peut clairement distinguer les principaux risques qui peuvent s'insinuer au sein du travail de recherche lors du dressement d'une hypothèse de restitution. Eviter toute forme de subjectivité, de modernisme et de déterminisme peut être conçu comme un *credo* initial. Au risque sinon, pour celui qui restitue d'en dire plus sur la façon dont lui et ses contemporains conçoivent une période historique plutôt que d'apporter de réels enseignements sur la période en question. La « trière antique », reconstruite en 1861 par Dupuy de Lôme et Jal, est très certainement l'un des exemples les plus significatifs d'une telle dérive[9]. Aujourd'hui, comme nous le verrons dans le premier chapitre, la méthodologie qui a été posée depuis une cinquantaine d'année, et pour laquelle la bibliographie se révèle bien fournie, permet d'éviter ces principaux écueils en définissant à la fois les objectifs qui peuvent être raisonnablement posés avant le travail de restitution mais aussi les outils, les méthodes et les niveaux de développement des hypothèses qui permettent de répondre correctement à des problématiques particulières. Sous conditions, il s'avère donc tout à fait possible de réaliser des restitutions qui soient justifiées, malgré leur caractère hypothétique, et qui puissent donc

[7] Voir *Infra*, Chapitre I.
[8] Définition du *Petit Robert 1* (ed. 1988).
[9] Rieth, Pomey, 2001, p. 239-266.

permettre de répondre de manière objective à des interrogations archéologiques auxquelles on n'aurait pas pu fournir de réponses par la simple étude des vestiges.

Restituer un navire d'origine à partir de son épave, se révèle donc comme un processus cohérent et nécessaire dans toute démarche de recherche en archéologie navale. C'est sur ce postulat que nous avons fondé notre première approche du travail présenté dans cette thèse. Mais sa structure ainsi que son contenu repose sur d'autres fondements, qu'il nous convient d'aborder dans cette introduction. Il ne s'agit pas en effet simplement d'une mise en application, sur différentes épaves, de principes et de méthodes déjà établis. Notre propos, dans la présente thèse, étant avant tout d'ordre méthodologique, nous avons estimé que l'apparition de nouveaux outils pouvait générer des changements dans la manière de former et vérifier les hypothèses de restitution, tout en apportant la possibilité de répondre à de nouvelles problématiques.

La généralisation de l'outil informatique dans les études archéologiques est aujourd'hui acquise. Depuis la fouille jusqu'à la publication, les différentes étapes de la recherche ont fait l'objet de mutations pratiques qui n'épargnent nullement l'archéologie navale. C'est plus particulièrement avec la généralisation des relevés tridimensionnels, sous forme de scan, de photogrammétrie ou de bras de relevés, associés aux logiciels de C.A.O[10] 3D, que le processus de restitution se voit complètement métamorphosé dans ses outils. Vis-à-vis des principes de base, la restitution s'effectue de manière identique. Cependant l'enrichissement du corpus des données originales, tant qualitativement que quantitativement, notamment par le biais des relevés tridimensionnels, ouvre un champ de possibilités, qui était difficilement atteignable précédemment et qu'il faut désormais pouvoir appréhender entièrement si l'on veut projeter par exemple une remise en place des vestiges et une restitution[11]. Ceci intervient de manière contemporaine avec la généralisation d'outils dont la vocation est d'aider à la perception et au travail dans des environnements tridimensionnels virtuels[12].

Tout comme l'apport des maquettes et des modèles réduits a pu, dans la deuxième moitié du XXème s.[13], faire évoluer la manière de restituer un navire à partir d'une épave,

[10] C.A.O : Conception Assistée par Ordinateur.
[11] On peut ainsi prendre l'exemple du navire de Beutin, découvert dans la Canche près de Beutin (Rieth, Texier, 2009, p. 40-47).
[12] *AutoCad*™, *Rhinocéros*™, *Catia*™ : autant d'outils de C.A.O dont il est fait régulièrement usage dans le domaine archéologique depuis la phase de relevés sur le terrain jusqu'à la présentation muséographique.
[13] Steffy, 1994 ; Pomey, 2006, p. 63-68 ; Rieth, Gaucher, 2010a, p. 36-39 ; Rieth, Gaucher, 2010b, p.171-204.

l'outil informatique se présente comme un nouveau tournant technologique tout à fait comparable. Par ailleurs, il ne remet pas en cause nous le verrons, l'utilisation des maquettes et des méthodes graphiques utilisées jusqu'alors, mais se pose plutôt en outil complémentaire.

Au-delà de ces premiers aspects techniques, on soulignera surtout que le fait de restituer un navire avec l'appui de l'informatique permet aussi de développer des problématiques qui demeuraient jusque-là difficilement abordables. Ainsi, les capacités de calcul des outils d'architecture navale, aujourd'hui à la disposition de l'archéologue, permettent d'évaluer plus rapidement les tonnages, les déplacements et les stabilités des restitutions[14]. Ce qui nous permet de déterminer, pour une large plage de conditions, les potentialités de chargement ou de sécurité à la mer d'une restitution. Définir les caractéristiques physiques principales de la carène à partir d'une restitution peut donc nous permettre, dans une certaine mesure, d'ébaucher dans les grandes lignes le programme ainsi que l'espace de navigation de ce navire[15]. Il s'agit donc bien par ce biais de s'intéresser au navire antique en tant que système fonctionnel, mais aussi et surtout comme le principal outil et vecteur du commerce maritime.

Notre travail se construit donc sur ces deux problématiques principales : la première porte sur la question de l'amélioration de la technique et du changement d'outils du point de vue de la restitution, la seconde est quant à elle liée à la production d'informations supplémentaires sur les qualités nautiques et la capacité commerciale des navires restitués, à travers l'apport des analyses physiques tirées des modèles virtuels. Pour chaque épave à restituer, notre travail se décompose ainsi en deux parties distinctes mais étroitement interdépendantes : dans un premier temps, on va s'attacher à définir une ou plusieurs hypothèses de restitution sur la base rigoureuse des vestiges conservés et des différents éléments de comparaison. Par la suite, c'est une analyse simple de certaines caractéristiques

[14] On constate ainsi un corpus relativement fourni d'études d'archéologie navale qui ont eu recours à ce type de technologie. Pour le monde Méditerranéen antique on notera l'étude menée grâce au logiciel *MAAT-Circé*, sur lequel avait été produit une première analyse hydrostatique et de stabilité de la *Madrague de Giens*, réalisée par P. Pomey et M. Pommellet, directeur de *Sistre International* qui développe ce logiciel. On peut voir une vue du modèle virtuel utilisé à cette occasion dans une publication récente de P. Pomey (Pomey, 2011, p. 49, fig.3.9). Pour d'autres contextes, on retiendra les travaux conduits par une équipe allemande sur les cogues hanséatiques (Brandt, Hochkirch, 1995), de F. Castro sur l'épave du *Pepper Wreck* (Castro, 2005, p. 112-124 ; Santos, Fonseca, Castro, 2005 ; Santos, Fonseca, Castro, 2007) ou encore de V. Bischoff sur le drakkar d'Oseberg (Bischoff, 2012 [à paraître]).

[15] La notion d'espace de navigation renvoie au milieu dans lequel le navire va évoluer, à la fois d'un point de vue géographique, mais aussi culturel et socio-économique (Pomey, Rieth, 2005, p. 38). En s'intéressant à l'espace de navigation d'un navire on va donc, en plus de s'interroger sur l'espace géographique dans lequel il va naviguer, également tenter de percevoir comment son milieu a pu influencer ses caractéristiques architecturales. La notion de programme renvoie, quant à elle, à la fonction ainsi qu'aux conditions d'utilisation fréquentes que va rencontrer le navire. En s'intéressant à ce « cahier des charges », on va par conséquent tenter de percevoir l'influence qu'ont pu avoir l'utilisation et la fonction supposées du navire sur ses caractéristiques architecturales (Prelses, Paulet, 2000, p. 241-248).

physiques de la restitution que l'on va entreprendre en s'intéressant à ses divers enfoncements, à la répartition des poids et des volumes ou encore à sa stabilité transversale.

Nous appliquons ici ce programme à quatre épaves : une épave grecque archaïque du VIème s. av. J.-C., *Jules-Verne 7*, deux épaves romaines du Ier s. ap. J.-C., *Napoli A* et *Napoli C* et enfin une épave plus tardive du Vème s. ap. J.-C., *Dramont E*. Malgré l'apparente complémentarité chronologique de ces épaves, un tel corpus n'a pas pour autant comme ambition première de faire de notre travail une étude comparative, à l'inverse de ce qui a pu être fait par le passé[16]. Nous verrons plus loin les raisons qui ont motivé la formation d'un tel corpus. Plus que sur les données, qui ont été produites ici et qui pourront bien entendu faire l'objet d'études comparatives ultérieurement, lorsque la quantité d'épaves restituées et étudiées de la même manière aura atteint un seuil significatif, nous avons voulu mettre l'accent sur la mise en application de nos procédés de restitution et d'analyse. Les quatre épaves qui font l'objet d'une restitution sont donc à considérer comme les premières mises en application de nos méthodes. Une analyse critique et pluridisciplinaire de la méthode que nous proposons, nous paraît, en effet, être une réelle nécessité avant de pouvoir valider et exploiter les enseignements qu'elle a pu générer sur les tonnages, sur les qualités nautiques ou bien encore sur les espaces de navigation des navires restitués. Enfin, soulignons que nous avons souhaité rendre ce travail aussi accessible que possible afin que celui-ci soit abordable et utilisé par les divers acteurs de la recherche en histoire maritime. La plupart des principes physiques dont il est fait usage ici relèvent du bon sens[17] et nous espérons que ceux-ci n'apparaitront pas trop obscurs au lecteur non averti. Dans le cas où certains points leur sembleraient peu accessibles, nous espérons qu'ils trouveront dans le glossaire ainsi que dans les définitions des principes mécaniques de base du navire les données nécessaires pour bien saisir toutes les particularités de nos travaux. De la même manière, l'outil informatique, et particulièrement ceux de C.A.O, ne doivent pas être considérés comme des outils inaccessibles, mais plutôt comme des ateliers virtuels dont l'utilisation grâce à leur ergonomie actuelle, ne nécessite pas plus de compétences que celles nécessaire pour manier, les outils traditionnels d'un maquettiste.

[16] Roman, 1997.

[17] Comme le note R. Frances : « *La statique du navire ne recours jamais à de hautes théories mathématiques. Elle fait surtout appel au bon sens et s'efforce d'attirer l'attention sur un certain nombre de points que ni le constructeur ni le marin ne peuvent se permettre d'ignorer sans faire courir au navire des risques sérieux.* » (Frances, 1977).

Enfin, avant de traiter particulièrement des restitutions et des analyses de ces épaves, il nous a paru essentiel et nécessaire de revenir, dans une première partie, sur les principes et méthodes qui ont, par le passé, été proposés en archéologie navale sur le travail de restitution et qui ont formé une importante base de réflexion pour notre travail. Ensuite, nous détaillerons les principes et processus que nous avons finalement mis en place dans la présente thèse, avant d'aborder une à une chacune des restitutions réalisées et analysées.

1. Principes et méthodes de restitution en archéologie navale :

Selon Keith Muckelroy, un navire peut s'étudier sous trois aspects différents [18]:

- En tant que machine conçue pour servir de moyen de transport.
- Comme un ensemble fonctionnel relevant d'un système économique ou militaire.
- Comme une communauté fermée avec « sa hiérarchie, ses coutumes et ses conventions propres ».

Afin de s'intéresser au navire selon ces trois différentes perspectives, il est généralement nécessaire de procéder, à partir de l'épave, à un long travail de recherche qui a pour objectif final de produire une restitution du navire original qui permette de mener cette étude en détail. Cependant il s'agit là d'un travail complexe pour lequel les contraintes sont au moins aussi nombreuses que les inconnues et dont la base, reposant souvent sur les seuls vestiges, va se voir agrémenter, selon les cas, d'ajouts dont l'origine sera variable : iconographie, parallèles archéologiques, éléments textuels, etc… Compte-tenu de la grande part d'interprétations et d'hypothèses qui vont rythmer et régir ce travail, on comprend que le débat portant sur les problématiques, les méthodes de restitution et l'expérimentation navale a pu amener au fil du temps à la formation de véritables règles et d'écoles à part entière dont les conceptions se rejoignent parfois sans pour autant toujours s'accorder. Notre but, dans cette première partie, sera de revenir brièvement sur les différentes interrogations qu'a pu soulever la pratique de la restitution en archéologie navale, en revenant sur certains exemples particuliers faisant office de jalons méthodologique tout en profitant de l'occasion pour introduire aux méthodes que nous avons finalement sélectionnées et que nous aborderons plus prosaïquement dans la seconde partie.

[18] Muckelroy, 1978, p. 215 à 225; Pomey, Rieth, 2005, p. 16.

1.1. Les contraintes initiales :

Dans la plupart des cas, l'objet d'étude de l'archéologue naval, l'épave, se présente sous la forme de vestiges parcellaires et déformés de ce que pouvait être le navire d'origine[19]. La volonté de reproduire une image complète du navire originel est une tâche complexe qui suppose que l'on dispose d'une multitude de données et de compétences qui sont *a priori* difficile à rassembler. Dans ce contexte, certains éléments vont permettre de définir, avant toute chose, s'il s'avère effectivement possible de conduire une recherche permettant la restitution de la charpente du navire, de son système de propulsion, de sa gouverne, etc…. La possibilité de mener une telle étude est fonction de la nature même du site étudié : de la quantité de vestiges découverts, de la façon dont ils ont été conservés et en fin de compte de la manière dont ceux-ci ont pu être documentés et étudiés. Autant de prérequis que l'on ne saurait ignorer et que nous rappellerons brièvement ici.

1.1.1. Préservation et extension des vestiges utiles à la restitution :

1.1.1.1. Restitution des épaves les mieux conservées :

Il est aujourd'hui communément admis, depuis la mise en place des premiers travaux sérieux en archéologie navale expérimentale, que la qualité ainsi que la précision d'une restitution se fondent avant tout sur l'importance quantitative des vestiges archéologiques mais aussi sur la qualité de leur préservation[20]. Plus ceux-ci seront abondants, plus la restitution pourra se soustraire aux aléas qu'entraine le recours à des hypothèses basées sur divers éléments étrangers au gisement d'origine. Par ailleurs, plus grande sera l'abondance de données à intégrer au modèle de restitution, plus faible sera le degré d'imprécision et d'erreur atteint dans la recherche des formes et le replacement de tous ces éléments.

Cette conception qui limite donc, *a priori*, l'application d'un véritable projet de restitution aux seuls vestiges conservés extensivement et qualitativement, ne soulève aucunement le débat dans le cadre de la restitution spécifique d'une épave particulière[21]. Toutefois, deux objections peuvent être soulevées qui vont, dans une certaine mesure, nuancer cette première assertion. D'une part, la conservation et la découverte de certaines parties significatives,

[19] Pomey, Rieth, 2005, p. 142-143.
[20] McGrail, 1992, p. 354 ; Westerdahl, 1993, p. 205; Steffy, 1994, p. 214-215; Crumlin-Pedersen, 1995, p. 304; Crumlin-Pedersen, 1999, p. 140; Pomey, Rieth, 2005, p. 143.
[21] McGrail, 1992, p. 354; McGrail, 2006, p. 10.

particulièrement caractéristiques de la géométrie ou de la structure de la carène, créent un contexte beaucoup plus favorable à la réalisation d'une bonne restitution plutôt que la conservation en extension d'un même élément *n* fois répliqué[22]. La découverte du massif d'étrave ou de l'étambot, qui vont permettre d'établir le profil longitudinal précis de la restitution, ou bien encore d'un élément permettant d'établir le niveau exact du pont, sont autant de points particulièrement remarquables qui vont améliorer grandement l'exactitude de la restitution proposée. Dans le même ordre d'idée, la localisation des parties conservées de l'épave vont avoir une influence directe et majeure sur la qualité de la restitution. Tout comme pour la céramologie, pour laquelle la découverte d'un simple fragment de col ou d'un fond représente un apport bien plus significatif qu'une importante partie de la panse dénuée de ces extrémités, la découverte sur une épave des formes archéologiques significatives, qui peuvent pour un navire être définies par ses extrémités ou encore par la limite supérieure du bordé, va grandement influencer la qualité de la restitution proposée.

1.1.1.2. Restitution des épaves conservées à un degré moindre :

Malgré cette première constatation, il est néanmoins possible de procéder au dressement d'une hypothèse de restitution pour des épaves dont les vestiges s'avèrent plus limités. La difficulté et le caractère hypothétique de la restitution se révèleront alors plus élevés mais n'entraveront pas nécessairement l'aboutissement du projet et la production, à travers l'hypothèse de restitution, de nouvelles informations concernant la fonction et l'utilisation du navire d'origine. A ce titre, les travaux menés par J. R. Steffy sur l'épave byzantine du VIIème s. ap. J.-C. *Yassi Ada I,* dont la conservation se révèle tout à fait fragmentaire (environ 10% du navire d'origine), sont emblématiques d'une restitution nécessaire et satisfaisante malgré une épave dont le degré de conservation est plus que limité[23].

A ce propos, J. R. Steffy distingue deux types de travail de reconstitution [24]: d'un côté les « *contributory reconstructions* » et les « *capital reconstructions* » de l'autre. Dans le premier cas, il s'agit d'épaves dont la préservation extensive s'avère très limitée. Malgré cela, elles se révèlent pouvoir fournir un certain nombre d'informations d'importance et peuvent donc faire l'objet d'une reconstruction partielle. Pour symboliser ce type de reconstruction, Steffy prend l'exemple du rostre en bronze du IIème s. av. J.-C., découvert à Athlit en 1980, au large des

[22] Steffy, 1994, p. 216; J. R. Steffy utilise alors, pour illustrer son propos, l'hypothèse de la découverte d'un navire *Sister Ship* de l'épave de *Serçe Limani*. Voir aussi *infra*, le concept de "*contributory reconstructions*" dressé toujours par J. R. Steffy.
[23] Steffy, 1982, p. 65-86.
[24] Steffy, 1994, p. 215-221.

côtes israéliennes[25]. La nature fragmentaire de ce type de vestige (il n'est en effet constitué que de seize morceaux de bois emprisonnés dans une cellule de bronze, formant le rostre d'un navire de guerre) ne permet pas de reconstruire le navire en entier, mais apporte néanmoins des informations essentielles et inédites sur la marine de guerre de l'époque classique. Le terme de *capital reconstructions* désigne quant à lui les gisement dont l'étude va permettre la production d'un plan de formes et d'un plan de structure représentant un apport majeur à la connaissance de l'architecture navale et à l'histoire maritime d'une période donnée.

Si nous admettons bien évidemment le principe tout à fait logique de cette classification dressée par Steffy, il nous semble cependant que l'usage du terme *reconstruction*[26], même pris dans sa stricte signification anglaise, paraît extrêmement ambigu pour désigner ces études « contributives». En effet, celles-ci ne font pas forcément toujours l'objet d'une recherche de reconstruction à proprement dit, mais plutôt d'une simple analyse archéologique qui ne s'ouvre pas forcément sur un réel processus de restitution, même partiel. Il nous semble aussi relativement ambigu de se limiter à ces deux termes de *capital* et *contribury*, puisque *a priori* la plupart des épaves vont venir se classer dans l'une ou l'autre des catégories indépendamment de la quantité de vestiges préservés, mais plutôt en fonction de l'extension de l'étude qui en est faite et des résultats qui en découlent. L'étude de l'épave de *Yassi Ada*, préservée à seulement 10 %, aurait très bien pu s'avérer au départ comme une *contribury research*, avant de devenir une *capital reconstruction* sous l'effet du long travail de restitution mis en place par J. R. Steffy. De la même manière, plus récemment, on remarquera que l'expérience conduite par l'équipe danoise du musée des navires vikings de Roskilde sur la reconstruction *The Sea Stallion from Glandalough*, s'est soldée par un apport scientifique d'importance malgré le fait que la reconstitution ne soit initialement basée que sur les vestiges de l'épave *Skuldelev 2*, qui ne représente que 25 % du navire complet[27].

Dans cette même perspective, on pourrait aller jusqu'à considérer que dans un contexte d'expérimentation, la création d'une « hypothèse flottante » qui ne se fonderait sur aucun vestige archéologique mais sur diverses sources (textuelles, iconographique, ethnographiques) peut être envisagée et revêtir une certaine forme de validité scientifique[28]. Elle est alors considérée, par S. McGrail, comme une « *representative experiment* »[29], à l'inverse des reconstitutions spécifiques qui sont quant à elles basées sur des sources de nature

[25] Casson, Steffy, 1991; Steffy, 1994, p. 59-62.
[26] Si l'on tient compte de la définition anglaise pour "*reconstruction*" donnée par V. H. Fenwick (Fenwick, 1993, p. 197): "*Vessel constructed using the evidence from surviving form, dimensions, materials and technology originally employed*".
[27] Nielsen, 2006, p. 16 ; Bill *et al*., 2007; Crumlin-Pedersen, 2008, p. 150-152; Crumlin-Pedersen, Damgård-Sørensen, Ravn, 2012, p. 49.
[28] McGrail, 1992, p. 354 ; Pomey, Rieth, 2005, p. 152.
[29] McGrail, 2006, p. 9.

archéologique. Les objectifs et questionnements scientifiques de ces deux types d'expérimentation sont à considérer sur des plans bien différents, ce qui les rend tous deux à la fois valides et complémentaires. C'est le cas par exemple, lorsque les hypothèses flottantes permettent de répondre à des questionnements et de vérifier la validité de certaines hypothèses, pour lesquels les connaissances issues de l'archéologie traditionnelle n'ont pas permis d'apporter de réponse convaincante[30].

Au final, on notera donc que la validité globale d'une hypothèse de restitution se fonde avant toute chose sur la quantité de vestiges préservés, mais qu'elle provient aussi en bonne partie de la rigueur et de la manière dont ceux-ci vont être exploités et questionnés. Au-delà donc de la quantité de vestiges préservés et de leur qualité de conservation, se pose une seconde contrainte initiale d'importance : l'extension et la qualité de la documentation.

1.1.2. Importance quantitative et qualitative de la documentation archéologique :

Le recours à une documentation archéologique riche et précise conditionne en grande partie l'authenticité et la précision de l'hypothèse proposée au final. On pourrait considérer initialement que la reconstitution ne peut s'effectuer sans être en possession d'au moins une planimétrie détaillée, sur laquelle apparaissent distinctement les différentes parties composant la coque, ainsi que d'un certain nombre de coupes effectuées régulièrement dans le sens transversal et d'au moins une effectuée sur l'axe longitudinal. Toutefois, il s'agit bien là d'un niveau tout à fait restreint et minimum de documentation qui ne pourra offrir que peu de possibilités de vérification. Puisqu'il est certes plus difficile de faire coïncider un plus grand nombre de données, c'est par la quantité de ces points d'interconnexion validés au sein d'une restitution, que l'on va pouvoir définir la fiabilité d'une forme restituée[31]. Il apparaît en effet que si une quantité importante d'éléments (comme par exemple la charpente axiale, la

[30] La reconstruction d'une trirème grecque de la période classique est, à n'en pas douter, le meilleur exemple de ce type de démarche qui diffère de la restitution d'une épave. L'*Olympias*, construite en Grèce entre 1985 et 1987 sur la base de toutes les sources disponibles sur le sujet (essentiellement littéraire et iconographiques), a ainsi notamment permis de démontrer la validité du principe de répartition des rameurs sur trois étages de bancs de nage, qui demeurait jusqu'à cette expérimentation une interrogation technologique majeure. Les différentes campagnes de test menées ont ainsi permis de constater que les hypothèses qui avaient été posées, permettaient non seulement au navire de se déplacer convenablement mais aussi d'atteindre des vitesses comparables avec celles connues à travers diverses sources littéraires (Coates, Morrison 1987, p. 87-90 ; Morrison, Coates, 1987 ; Morrison, Coates, 1996 ; Coates, Platis, Shaw, 1990 ; Coates, 1991, p. 70-71 ; Morrison, Coates, Rankov, 2000 ; Rankov, 2009, p. 34-51). A la lumière de l'expérience de l'*Olympias*, on comprend bien comment une telle expérience à l'échelle 1/1 permet de valider une hypothèse. Toutefois, rien ne prouve qu'il en fût nécessairement ainsi, puisque cela demeure seulement une hypothèse vérifiée par l'expérimentation.

[31] Pomey, Rieth, 2005, p. 143.

membrure et le bordé) trouve sa place de manière parfaitement adaptée et homogène au sein de la restitution, celle-ci ne peut qu'être entérinée, puisqu'*a priori* la cohérence d'un grand nombre d'éléments ne peut amener qu'à la restitution d'une seule et unique solution qui ne peut que s'accorder avec la réalité antérieure du navire étudié. Quoi qu'il en soit, si les relevés le permettent il est préférable de prendre en compte l'élément discriminant le plus petit par la taille, par exemple pour la plupart des épaves romaines l'ensemble du réseau de tenons et mortaises du bordé, ce qui pourra garantir une acuité de détails suffisamment précise à même d'infirmer ou de valider définitivement la restitution. Nous ne reviendrons pas en détail ici sur les différents types de documentations archéologiques. On notera seulement, en guise de conclusion sur ce point, que la quantité ainsi que la nature des différents relevés (manuels, photogrammétrique ou bien réalisés à l'aide d'un théodolite, etc…) pourront dès le début du processus, nous renseigner sur le degré d'authenticité que l'on pourra obtenir dans la restitution finale.

1.1.3. Détection et quantification des déformations :

L'histoire même de l'épave entraine la formation d'un gisement sur lequel on peut observer le résultat des différentes forces qui se sont appliquées au navire depuis son abandon ou son naufrage : poids de la cargaison, nature du fond, degré d'ensablement, influence de la courantologie… Autant d'éléments qui vont remodeler les éléments du navire au point, parfois, de bouleverser complètement la forme et la cohérence de l'ensemble. On ne peut ignorer, non plus, les nouvelles contraintes qui s'appliquent aux vestiges lors de la découverte et de la fouille et qui peuvent eux-aussi entrainer une modification importante des formes[32]. La fouille de l'épave *Napoli C* nous semble sur ce point symptomatique des déformations taphonomiques qui peuvent apparaître sur une carène après sa découverte[33].

La déformation des bois qui composent la charpente s'apparente donc parfois à une véritable métamorphose qui peut entraver le travail de restitution : la rétractation des bois peut ainsi simplement s'estimer par les dimensions de percements ronds à l'origine et que l'on découvre avec une forme elliptique[34]. De tels éléments viennent renforcer le caractère primordial de la phase d'enregistrement qui va très souvent permettre de répondre aux interrogations soulevées par ces distorsions. A titre d'exemple, on signalera ainsi que les

[32] Crumlin-Pedersen, McGrail, 2006, p. 54.
[33] Voir *Infra*, la partie concernant la reconstitution des parties conservées de la charpente axiale de l'épave *Napoli C*.
[34] McGrail, 1978, p. 123-125.

nombreux relevés à l'échelle 1/1 effectués sur les vestiges de l'épave du chaland gallo-romain de Bevaix, sur lesquels apparaissent de très nombreuses coupes transversales des éléments de la charpente du bateau, permettent d'examiner très précisément la dendromorphologie de chaque pièce en précisant la manière dont les bois ont été débités et finalement dans quelle mesure ceux-ci ont pu subir des phénomènes de déformations après le naufrage du chaland[35].

Dans le cadre d'une restitution, il convient donc de percevoir avec exactitude la présence de ces déformations et leur importance afin de pouvoir les corriger et retrouver les formes originelles des pièces. Les méthodes pour y parvenir sont nombreuses et variées, mais toutes s'accordent sur l'attention particulière portée aux vestiges avec, en général, la création de modèles de l'épave, virtuels ou réduits, sur lesquels on va pouvoir tenter, par redressements successifs, de retrouver les formes d'ensemble d'origine[36]. L'une des voies privilégiées consiste à recréer le modèle exact des vestiges tels que ceux-ci ont été découverts *in situ*, afin d'avoir un point de référence absolu avant de commencer les redressements[37]. Selon les déformations qui ont affecté la carène, on peut alternativement : soit tout simplement commencer à rajouter les parties manquantes si l'on considère les déformations comme nulles ou insignifiantes, soit tenter, à partir de l'ensemble de ces pièces, une remise en place globale de tous les éléments jusqu'à ce que ceux-ci décrivent une forme homogène et harmonieuse. On obtient ainsi un plan des vestiges redressés, complété d'un modèle des vestiges remis en place qui va servir de base pour compléter la restitution[38].

[35] Arnold, 1992, p. 56-61.
[36] Voir *infra*
[37] Steffy, 1994, p. 224-225, "*Fragment Models*"; Pomey, 2003, p. 57; Pomey, Rieth, 2005, p. 144; McGrail, 2006, p. 11; McGrail, 2009, p. 18
[38] Pomey, 2003, p. 58; McGrail, 2006, p. 11 et p. 14; McGrail, 2009, p. 18

1.2. Principes et développements d'une hypothèse de restitution :

Sauf exceptions notables, les vestiges d'épaves ne représentent en général qu'une certaine fraction du navire d'origine. A partir du moment où les formes de toutes les parties préservées ont pu être retrouvées par l'établissement d'un modèle des vestiges remis en place, il convient de tenter de restituer l'ensemble des parties manquantes et détruites du navire. Ce sont généralement les parties les plus hautes, c'est-à-dire les œuvres mortes (superstructures, gréement, système de gouverne, etc…) qui ont disparu et ne peuvent donc être restituées à partir des seuls vestiges. Recourir alors à des documents de comparaisons, qu'ils soient archéologiques, iconographiques, ethnographiques ou textuels, paraît être le moyen le plus raisonnable pour compléter la restitution à partir du moment où l'usage de ceux-ci se révèle pertinent et est proprement justifié[39]. L'utilisation de ces sources extérieures se révèle soumise à certaines conditions et mènent à l'établissement de différents niveaux de restitution, plus ou moins avancés, qui sont le résultat de diverses philosophies de restitution qu'il convient de présenter ici individuellement.

1.2.1. *Capital Reconstruction* : quelle(s) méthode(s) ?

Nous avons déjà rapidement évoqué les différences posées par J. R. Steffy entre les « *contributory reconstructions* » et les « *capital reconstructions* ». Comme nous l'avons vu, c'est seulement dans le cas de ces dernières que l'on va être amené à entreprendre une restitution complète du navire en ce qui concerne sa structure, ses aménagements, son gréement, etc… La base du processus de restitution est ici l'utilisation des maquettes de vérification pour chacune des étapes. Cette technique s'est essentiellement développée, sous la houlette de J. R. Steffy, à partir de l'étude de trois épaves (*Kyrenia*, *Yassi Ada* et *Serçe Limani*) fouillées par les équipes d'archéologie maritime de l'Université américaine *Texas A&M*[40]. Deux types de modèles peuvent être particulièrement distingués :

[39] Crumlin-Pedersen, 1996, p. 115-116; Fraga, 2004, p. 590-593; Pomey, Rieth, 2005, p. 143; McGrail, 2006, p. 9; Crumlin-Pedersen, McGrail, 2006, p. 55.
[40] Steffy, 1982, p. 65-86; Steffy, 1994, p. 214-234.

- Le « *Mold-and-Batten model* »[41] : qui consiste en un modèle fait de lattes, fixées sur des gabarits de couples en contre-plaqué, et qui est destiné à vérifier la cohérence et le lissage d'un plan de restitution par intégration des données concernant le bordé. Cette maquette a pour ambition première de vérifier de manière aisée et précise la validité des lignes restituées de la coque, ce qui est une tâche difficile à accomplir lorsque l'on tente de l'effectuer uniquement à la planche à dessin. On notera que cette technique de recherche ne peut s'appliquer avec succès qu'à des carènes dont le bordé d'origine s'avère naturellement lissé et dépourvu de réparations, d'incongruités ou bien encore de bordés à la découpe irrégulière.
- Un « *fragment model* », qui correspond à une maquette de tous les vestiges remis en place et qui se base sur le plan de formes validé par la réalisation de la maquette de vérification précédente. J. R. Steffy, note que, quelle qu'en soit l'échelle (généralement réalisée au 1/10ème), ce modèle demeure perfectible étant donné que la précision de réalisation n'est pas satisfaisante en ce qui concerne certains détails tels que les angles des cans ou les détails des fractures.

Au final, ces deux types de maquettes permettent la mise en place d'une reconstruction plus détaillée des parties conservées de l'épave. Cette méthode d'étude très précise permet, dans le même temps, la restitution de certaines parties entièrement disparues mais qui ne sont suggérées que par de très légers indices laissés sur les vestiges : comme par exemple la restitution des barrots transversaux sur l'épave de *Yassi Ada* qui peut être déduite de la présence de certains espacements plus importants que la moyenne au sein de la maille de la membrure[42].

Cependant, au-delà de cette interprétation fine de l'épave, il n'y a pas plus de précision sur la manière dont vont être restituées les différentes parties qui ont complètement disparu et qu'il s'agit de restituer sur la base d'une comparaison avec d'autres éléments archéologiques, iconographiques, anthropologique ou littéraires. Sur ce point précis il apparaît donc difficile de pouvoir juger, à partir des travaux de J. R. Steffy, de la manière dont on doit aborder les parties les plus hypothétiques de nos restitutions[43].

[41] Steffy, 1994, p. 221-224.
[42] van Doorninck, 1982, p. 52 et *Reassembly Drawing II.*
[43] A ce titre la description précise du processus ayant abouti à la formation de la maquette de restitution des structures de la coque de l'épave *Yassi Ada*, ainsi que les plans de structures qui y sont associés, ne nous est fournie que partiellement par Steffy. Par conséquent, cela ne nous permet pas de juger de la pertinence de la restitution des parties les plus hypothétiques telles que le mât, la hauteur du livet, la nature de l'étambrai, l'importance des aménagements internes (bien que la découverte

1.2.2. Restitution : certaine, probable ou possible ? [44]

Basée sur les mêmes principes pratiques que ceux développés par J. R. Steffy (avec le recours à une série de maquettes des vestiges en place puis remis en forme, auxquelles viennent s'adjoindre divers modèles de vérification et de restitution) une vision plus nette et plus segmentée des différents niveaux de restitutions nous est proposée par Patrice Pomey dans un article consacré aux reconstructions des deux épaves grecques de la place Jules Verne à Marseille et dans lequel celui-ci distingue trois phases principales de gradation dans le processus restitutif[45]. Au-delà de l'aspect purement pratique et de la manière dont on va projeter les étapes finales de la restitution, le raisonnement proposé ici se révèle le complément parfait aux interrogations posées précédemment, avec une description détaillée non seulement des trois niveaux de validité des hypothèses que l'on sera amené à rencontrer le plus souvent, mais aussi des éléments et de la manière qui vont nous permettre de les établir:

- Un premier niveau de restitution que l'on considère comme « certain », traite de la restitution des éléments dont la présence au sein de la charpente du navire ne fait aucun doute. Il s'agit alors de restituer des pièces manquantes dont la position, la morphologie et l'assemblage peuvent être déduits avec un grand niveau de certitude, soit par analogie avec des pièces encore conservées sur l'épave (comme une membrure qui aurait disparue au sein de la maille), soit par déduction avec les pièces conservées qui lui étaient assemblées et qui attestent de sa présence (comme un massif d'étrave trouvant sa place au niveau du trait de Jupiter en avant de la quille et qui s'appuierait sur les fourcats encore conservés). Pour prendre l'exemple d'un cas qui nous intéresse particulièrement dans cette thèse : la restitution de l'emplanture du mât de l'épave *Jules-Verne 7* se fonde ainsi sur la présence, sur la face supérieure de la quille, de mortaises qui peuvent être interprétées, à partir de la comparaison avec l'épave *Gela 1*, comme les logements des languettes destinées à la fixation de ce massif.

---

de certains objets archéologiques permettent de restituer de façon justifié la localisation de la cabine, ainsi que de la descente), les superstructures, les aménagements du pont, etc…

[44] Pomey, 2003, p. 57-65 ; Pomey, Rieth, 2005, p. 142-149.

[45] Cette méthode étant par la suite reprise est enrichie dans l'ouvrage de P. Pomey et E. Rieth consacré à l'archéologie navale (Pomey, Rieth, 2005, p. 142-149).

- Un second niveau de restitution « probable » permet de détailler, à partir d'éléments analogues et contemporains, la nature et la présence de parties disparues mais dont l'existence n'est avérée que par de légers indices. On va pouvoir déduire à partir de ces indices l'emplacement et la nature de l'élément disparu, mais c'est par la comparaison avec d'autres éléments archéologiques que l'on va pouvoir déterminer la morphologie ainsi que le système fonctionnel probable de cet élément. C'est par exemple le cas pour la pompe de cale d'une épave d'époque romaine, dont le mécanisme a éventuellement pu être récupéré après l'abandon du navire, mais dont la présence originelle semble acquise au vue des trous d'épontille dans le vaigrage et de l'espace aménagé au milieu du demi-couple situé directement en-dessous. Autant d'indices qui décrivent sans aucun doute la zone de sentine où devait s'effectuer le pompage. La restitution probable du type de pompe peut alors s'effectuer par comparaison avec d'autres pompes découvertes sur des épaves de navires comparables ayant navigué à la même période[46].

- Enfin, le dernier niveau, de restitution « possible » concerne l'ensemble des parties les plus hypothétiques dont la restitution ne peut s'effectuer qu'au conditionnel en s'appuyant du mieux possible sur des sources archéologiques, iconographiques et ethnographiques qui soient les plus pertinentes et cohérentes du point de vue chronologique et culturel et en rapport avec l'objet à restituer. Dans le cas des bateaux méditerranéens d'époque antique, on se reposera plus volontiers sur les deux premiers champs(les comparaisons archéologiques et les divers documents iconographiques), sans pour autant négligé l'ethnographie, tant les disparités de conception et de construction entre les traditions navales anciennes et celles qui nous sont parvenues peuvent s'avérer importantes[47]. Il s'agit par exemple, dans la plupart des cas, de restituer le système de gouverne ou encore le gréement, deux éléments qui ont généralement complétement disparu.

Il est à souligner que dans tout travail de restitution, l'usage des deux premiers niveaux doit bien entendu être privilégié. Par ailleurs, la limite entre ce qui relève des vestiges d'une part, et de la restitution, d'autre part, qu'elle soit certaine, probable ou possible, doit être clairement explicitée afin de parer à toute ambiguïté.

[46] Exemples que l'on pourra éventuellement trouver dans : Carre, Jézégou, 1984, p. 115-143 ; Carre, 2007, p. 51-56.
[47] A l'inverse de l'archéologie navale des espaces nordiques ou une « *living tradition* » (qui se traduit par une parfaite continuité depuis l'époque médiévale jusqu'à nos jours dans le savoir-faire, les outils et les types d'embarcations fabriquées) permet d'appréhender de manière plus fine et plus « familière » des vestiges pouvant être parfois relativement mal conservés.

Malgré le caractère pertinent et universel d'une telle classification, on notera cependant qu'il ne s'agit pas à proprement parler d'une méthode de restitution mais plutôt d'un classement de valeur, par ailleurs indispensable, du travail de restitution effectué. Il faut, afin de trouver une description plus concrète des méthodes à mettre en place lors d'un processus de restitution, se tourner vers des articles dont l'objectif s'avère différent.

1.2.3. Interpréter, tester, évaluer et soumettre : la restitution en archéologie navale comme une science exacte[48] ?

L'une des premières tentatives de compilation des méthodes et principes à appliquer aux travaux de restitution et d'expérimentation en archéologie navale est paru dans un article collégial daté de 1995, pour lequel on ne dénombre pas moins de dix signataires, tous d'origine britannique[49]. J. Coates et S. McGrail y proposent la mise en place d'une méthodologie rigoureuse dans le domaine de l'archéologie navale expérimentale, qui serait inspirée de celle appliquée traditionnellement dans le champ des « sciences dures ». Pour les auteurs, le travail de restitution, abordé ici dans le contexte plus général de l'expérimentation, doit être considéré comme l'équivalent de n'importe quelle recherche scientifique et peut donc se décomposer en six étapes successives :

- 1 : Observer
- 2 : Interpréter et poser une hypothèse
- 3 : Tester l'hypothèse
- 4 : Evaluer les résultats des tests
- 5 : Publication et diffusion des résultats des étapes 1-4 (avec comme objectif l'obtention d'un retour critique sur les résultats obtenus)
- 6 : Réexamen des étapes précédentes suite aux remarques générées à l'étape 5

Cependant, les auteurs soulignent que l'application d'une telle méthode à l'archéologie navale et maritime ne peut s'effectuer qu'à condition de respecter certaines prérogatives et de considérer certains principes de base comme indispensables :

- Pour ce qui concerne les contraintes liées à la nature fragmentaire et torturée des vestiges sur lesquels vont s'appliquer la réflexion de restitution, les auteurs présentent des conditions

[48] Coates, McGrail, Brown, Gifford, Grainge, Greenhill, Marsden, Rankov, Tipping, Wright, 1995, p. 293-301.
[49] *Ibid.*

similaires à celles débattues dans la première partie de ce chapitre : une épave conservée extensivement de façon suffisante et étudiée de manière méticuleuse selon les critères adéquats d'une étude archéologique.

- La mise en place de l'hypothèse interprétative à partir des vestiges, ainsi que la manière dont on va la développer afin de compléter la restitution, s'avère l'articulation cardinale de cette méthode. Etant donné que nulle expérience de restitution ne peut être exempte de toute conjecture, il convient, afin de compléter les lacunes inhérentes à la nature de l'objet étudié, de déterminer à chaque étape quelle solution hypothétique s'adapte le mieux à toutes les données fournies par les vestiges, tout en rassemblant le plus d'arguments sous la forme de comparaisons archéologiques, iconographiques, ethnographiques ou bien encore issues de sources littéraires.

- Afin d'appliquer et de vérifier la validité de ces hypothèses, le recours à des maquettes des vestiges, tels que découverts *in-situ* ou bien sous une forme remontée, est alors à considérer comme le moyen le plus aisé. L'utilisation des outils informatiques, de façon complémentaire aux maquettes, est aussi proposée par les auteurs comme une manière efficace de valider les diverses hypothèses, par intégration des nouveaux types de relevés et par l'apport de l'imagerie virtuelle.

- L'un des points particulièrement mis en valeur dans cet article porte sur la combinaison nécessaire des compétences pour l'obtention d'une hypothèse de restitution réussie. Cette assertion se base sur la nature variée des documents utilisés dans la reconstitution. Une approche archéologique et historique est ainsi nécessaire pour l'analyse des données issues de la fouille. Des compétences en modélisme pour les maquettes ou en modélisation pour les modèles virtuels sont aussi souhaitables afin d'atteindre un degré de détail suffisant dans les phases de vérification. Enfin, des connaissances particulières en termes de navigation, de charpenterie et d'architecture navale sont aussi essentielles pour pouvoir saisir tous les enjeux de la restitution d'une embarcation ainsi que toutes les implications de chaque point proposé au sein de l'hypothèse.

- Enfin, il s'agit de proposer une publication complète et exhaustive de tous les éléments rassemblés lors de la production de l'hypothèse de restitution. Les auteurs soulignent ainsi que n'importe quelle entreprise expérimentale, ou de restitution incomplète, peut être considérée comme nulle si celle-ci n'a pas fait l'objet d'un partage au sein d'une communauté à même d'en révéler les défauts et de proposer la correction d'éventuelles défauts.

Il n'est pas inutile de signaler que dans la suite de cet article, dont le sujet porte essentiellement sur la question de l'archéologie expérimentale, les auteurs traitent aussi longuement de l'intérêt des reconstructions à l'échelle 1/1 vis-à-vis notamment des simulations virtuelles et des programmes d'expérimentation conduits sur modèles réduits. Nous ne reviendrons pas tout de suite sur les positions à vocations polémiques qui sont alors avancées par le groupe d'auteurs[50]. Nous nous y attarderons cependant dans le second chapitre de cette thèse, dans lequel nous détaillerons notre propre philosophie de restitution ainsi que les méthodes que nous avons utilisées et qui font largement appel aux nouvelles technologies.

1.2.4. « *Specific* » et « *incomplete experiments* » [51]:

Toujours dans le cadre d'un article concernant en particulier l'archéologie expérimentale, S. McGrail revient en détail sur les différentes étapes qui doivent jalonner tout travail de reconstruction d'un navire historique basé sur des vestiges archéologiques. Son raisonnement rejoint, donc dans les premières étapes les préoccupations propres à une restitution se limitant à la production de modèles réduits de recherche. Si cette méthode peut sembler être une simplification de celle proposée par le même auteur précédemment, on soulignera cependant l'introduction d'une notion fondamentale avec la possibilité d'avoir plusieurs hypothèses concomitantes. En cela, cet article représente une rupture avec le caractère systématique et absolu de la méthode précédente.

On peut distinguer quatre phases distinctes du travail de restitution :

- La phase A : consiste essentiellement en une compilation et une évaluation de tous les éléments portant sur la fouille en elle-même : que ce soit les rapports de fouilles, les banques de données et toute autre forme d'éléments de comparaison. Par « évaluation », l'auteur entend bien ici le phénomène d'interprétation des vestiges afin d'identifier précisément la nature et la fonction de ce qui a été découvert : différentes interprétations générant automatiquement des résultats variés dans les phases postérieures.
- La phase B : consiste en la création d'une maquette des vestiges non pas tels qu'ils ont été découverts et inventoriés *in situ*, mais plutôt remis en place afin de s'adapter aux

[50] Voir les réponses qui leur sont faites : Crumlin-Pedersen, 1999, p. 140 ; Crumlin-Pedersen, 2006, p. 3.
[51] McGrail, 2006, p. 8-15.

formes du navire d'origine. Il ne s'agit en aucun cas d'y pratiquer certains ajouts, la maquette se limitant à la quantité de vestiges découverts, mais bien de remettre en place les fragments déplacés, de réassembler les parties morcelées et de redresser les affaissements localisés.

- La phase C : consiste en un développement du modèle constitué lors de la phase B. Si suffisamment d'éléments de comparaison existent, il est dès lors possible d'adjoindre au modèle des vestiges remis en place les éléments nécessaires pour compléter la coque et lui associer les éléments nécessaires à sa propulsion et à sa direction. Cette étape faisant largement appel à des éléments de comparaison archéologiques, ou d'autre nature, pour dresser convenablement l'hypothèse de restitution.
- Enfin, la phase D : correspond à la reconstruction, à partir du modèle obtenu en phase C, d'un modèle à l'échelle 1/1 du navire ainsi restitué, qui devra être testé à travers un programme d'expérimentation rigoureux.

En ce qui concerne les trois premières phases, S. McGrail met particulièrement l'accent sur la nécessité de publier les résultats obtenus lors de chaque étape intermédiaire afin que ceux-ci puissent faire l'objet d'une étude critique de la part de la communauté scientifique, pouvant amener à des modifications en profondeur de la restitution. C'est seulement après la prise en compte de ces apports extérieurs que l'on pourra se projeter sur la phase suivante[52].

Ce procédé de restitution tient compte notamment du fait que chaque étape peut amener à la production de résultats bien divers selon les choix restitutifs qui ont été posés lors des étapes antérieures. Il est ainsi tout à fait envisageable que l'on se retrouve face à la production de deux modèles distincts de restitution, qui seraient les conséquences de la part de subjectivité qui intervient dans le dressement des hypothèses successives, depuis l'étape A jusqu'à l'étape C[53]. Il est tout aussi concevable, que le processus de restitution se retrouve bloqué, généralement dans la troisième phase, face à la multiplicité des hypothèses de restitution. Seule une concertation et une reprise de la documentation en phase A pourrait alors éventuellement débloquer le processus de développement de la restitution afin de l'amener jusqu'à son terme.

[52] Ce procédé est illustré par S. McGrail avec l'exemple de l'embarcation romano-celtique de *Barland's farm* (Nayling, 1998; Nayling, McGrail, 2004).

[53] McGrail cite ainsi les exemples des épaves *Ferriby 1* et *Brigg 2* qui se révèlent dotées chacune de deux hypothèses de restitution bien différentes (pour Ferriby 1 : McGrail, 2001, fig. 5.17 et Wright, 1990, p. 113-116 ; Pour Brigg 2 : McGrail, 1994 ; McGrail, 2001, p. 187-188, fig. 5.20 et Roberts, 1992, p. 245-258). L'origine des différences entre les deux restitutions se révélant dans les deux cas comme la conséquence d'interprétations divergentes, au niveau de la phase A, sur l'identification de la nature des vestiges.

1.2.5. Concept de « *minimal reconstruction* » [54]:

Ce dernier concept, développé par S. McGrail et O. Crumlin-Pedersen dans un article de l'*International Journal of Nautical Archaeology*, trouve son origine, de l'aveu même des auteurs, dans la multiplication de restitutions de navire comportant des éléments fantaisistes ne pouvant être justifiés scientifiquement.

La volonté des auteurs est aussi de renforcer l'idée d'une possible multiplicité des hypothèses de restitution, également valides vis à vis des vestiges, telle qu'elle avait pu être évoquée dans l'article précédent de S. McGrail. Par « *minimal reconstructions* », ils mettent en avant le fait de proposer une ou plusieurs hypothèses de restitution, qui soient essentiellement basées sur un modèle des vestiges remis en forme et dont le degré de parachèvement par des hypothèses diverses s'avère le plus réduit possible.

Il s'avère bien entendu toujours envisageable d'en compléter les lacunes à partir d'éléments de comparaison pertinents. On devra dès lors particulièrement veiller à ce que ce modèle de restitution demeure exempt de tout ajout étranger injustifié ou anachronique et soit épargné par les améliorations basées sur des conjectures issues de notre savoir actuel dans le domaine de l'architecture navale.

Pour les épaves les mieux conservées en extension, pour lesquelles une reconstruction complète paraît être un objectif raisonnable, la difficulté sera de déterminer une ou plusieurs hypothèses minimalistes pour définir le mode de propulsion, le type de gouverne et enfin la façon dont se complétait la coque[55]. La volonté de demeurer toujours objectif peut ainsi donc amener à la production de plusieurs hypothèses fonctionnelles qui soient toutes, de façon équivalente, le résultat d'une intégration valide et vérifiée des vestiges[56].

Compte-tenu des conditions d'objectivité et de clarification posées par le principe minimaliste, la publication de toutes ces différentes hypothèses de restitution, ou du moins des plus convaincantes scientifiquement, se révèlera un prérequis nécessaire et d'importance afin que le débat puisse s'engager dans la façon de considérer tel ou tel point de restitution[57]. La validation définitive de la restitution ne pouvant intervenir qu'après que les hypothèses,

[54] Crumlin-Pedersen, McGrail, 2006, p. 53-57.
[55] Afin d'illustrer ce concept de « *minimal reconstruction* », S. McGrail avait, dans des publications précédentes (McGrail, 1984, p. 39 : McGrail, 2004, p. 64) utilisé l'exemple de diverses reconstitutions tout à fait différentes d'une même statue d'époque classique, obtenues à partir de seulement trois fragments.
[56] McGrail, 1984, p. 23.
[57] Pour illustrer plus fortement ce concept de reconstruction minimale, O. Crumlin-Pedersen réalise un second article, dans le même numéro de l'IJNA, exactement à la suite du premier, qui reprend ce concept en l'appliquant à un commentaire critique des restitutions produites à partir de l'épave d'un navire de l'Age du bronze découvert à Douvres (Crumlin-Pedersen, 2006, p. 58-71) ; Sur l'épave de Douvres, voir : Clark, 2004a ; Clark, 2004b ; Darrah, 1994, p. 96-123 et p. 164-188 (dans : Clark, 2004a) ; Marsden, 2004, p. 17-19 (dans : Clark, 2004b) ; Roberts, 2004, p. 189-210 (dans : Clark, 2004a).

soumises à la critique, aient reçu une approbation de la part de la communauté scientifique habilitée.

1.3. Synthèse :

L'analyse des critères initiaux, permettant la réalisation d'une hypothèse de restitution, ainsi que la lecture des différents articles constituant la précédente liste, non exhaustive mais bien représentative des différentes méthodes de restitution, met plutôt en avant l'idée d'un consensus global sur la manière de mettre en œuvre la restitution d'un navire à partir d'une épave. L'essentiel des points de mésentente portant avant tout sur l'ultime étape expérimentale qui n'est pas l'objet direct de la présente thèse.

Pour résumer, il nous semble que sept points sont particulièrement mis en avant par les différents chercheurs et mériteront donc d'être pris en compte dans notre travail :

- Un processus de restitution ne se justifie que si celui-ci s'applique à une épave dont les vestiges sont suffisamment bien préservés, qualitativement et quantitativement avec toutes les nuances que cela comporte, afin de réaliser un travail qui se révèle judicieux au final.

- La validité de la restitution provenant aussi de l'enregistrement rigoureux qui a été fait des vestiges, il s'avère donc tout à fait nécessaire en premier lieu de posséder une documentation fournie et précise des vestiges.

- Le recours à des modèles de travail apparaît comme une nécessité afin de bien prendre en compte toute la complexité d'un site tel qu'une épave de navire antique. La production d'un premier modèle des vestiges bruts et d'un second portant sur leur remise en place dans leur forme originale semble ainsi deux étapes indispensables du processus de restitution.

- C'est la formulation d'une hypothèse première, fruit de l'interprétation des vestiges, qui va amener à la restitution à proprement dit. Compléter les vestiges et le modèle de restitution (notamment en ce qui concerne la charpente disparue, l'appareil de gouverne et le mode de propulsion), se révèle dès lors possible, à la condition que les éléments restitués s'accordent en tout point avec les vestiges et se fondent sur des éléments de comparaison

pertinents, qu'ils soient archéologiques, iconographiques, ethnographiques ou encore issus des sources littéraires.

- Une étude de restitution pourra amener selon les cas et en fonction du caractère hypothétique des restitutions, à la production de plusieurs hypothèses également valides vis à vis des vestiges et des sources de comparaison.

- On considérera qu'une hypothèse de restitution, basée sur le modèle des vestiges remis en place, peut se décomposer en différents grades de validité : restitution certaine, probable ou possible.

- Enfin, tout travail de restitution devra s'accompagner d'une publication détaillée de toutes les étapes ayant menées à sa production afin que les choix et les hypothèses formulés puisse faire l'objet d'une critique constructive.

Pour en revenir au postulat initial de Muckelroy qui nous propose d'étudier le navire selon trois perspectives distinctes, nous rajouterons que, si le processus de restitution peut apparaître comme une simple combinaison de conjectures à résoudre de manière systématique, les méthodes qui dictent cette démarche de recherche ne doivent cependant jamais faire oublier que le navire s'avère bien plus qu'un simple élément fonctionnel à étudier indépendamment de toute chose. Comme le soulignait J. R. Steffy, un navire antique pouvait aussi transporter au-delà de sa simple cargaison et son équipage, une quantité fabuleuse de savoirs que l'on ne peut négliger. Contexte historique, économique, sociétal et maritime, seront autant de points de vue qui devront être abordés à l'aune de la reconstitution du navire : en considérant le navire comme principal vecteur et marqueur de l'histoire d'un espace maritime et sa reconstitution comme le moyen le plus adéquat de traduire, à partir des vestiges, les indices de ces périodes passées.

2. Application :

Le but recherché à travers notre travail de thèse porte principalement sur l'adaptation des méthodes de restitution et d'analyse des carènes, telles qu'elles sont pratiquées en archéologie navale, aux nouveaux outils informatiques. Loin de révolutionner le genre, il s'agit donc plutôt d'une évolution provenant en premier lieu d'une transformation radicale des outils de travail.

Toutefois, comme on pourra s'en apercevoir dans le détail de notre méthode, ces mutations matérielles permettent une remise en question permanente des résultats qui nous obligent en conséquence à présenter plusieurs hypothèses. Si, comme nous avons pu le voir dans la partie précédente, la multiplication des propositions dans le premier stade de restitution ne bouleverse pas les usages, il n'en va pas tout à fait de même avec les analyses hydrostatiques et de stabilité. Les capacités de calcul des outils d'architecture navale, aujourd'hui à la disposition de l'archéologue, permettent en effet d'esquisser un portrait polymorphe des tonnages, des déplacements et des stabilités à partir de nos restitutions. Ce qui permet, chose nouvelle, de faire ressurgir une vision bien plus nuancée de ce que devait être l'usage potentiel d'un navire de commerce dans l'antiquité. Ébaucher dans les grandes lignes le programme et l'espace de navigation d'un navire à partir des analyses produites sur une restitution, tel sera l'un des enjeux principal de notre travail. Au final, il s'agit donc bien de s'intéresser au navire antique en tant que système fonctionnel, mais aussi et surtout comme le principal outil et vecteur du commerce maritime.

Dans cette seconde partie nous reviendrons plus en détail sur les méthodes que nous avons choisies d'appliquer lors des phases de restitution et d'analyse. Dans un premier temps, nous établirons les bases de la méthode de restitution et d'analyse que nous avons appliquée avant de revenir en détail, dans un second temps, sur les moyens mis en œuvre ainsi que sur divers éléments utilisés afin de bâtir nos hypothèses et nos raisonnements. L'ensemble des éléments, remarques et conditions posées dans cette partie correspondant à l'assise méthodologique mise en œuvre sur toutes les épaves étudiées dans la suite de cette thèse.

2.1. Etablissement du corpus et choix des épaves :

La sélection des épaves qui font l'objet d'une recherche particulière au sein de cette thèse s'est effectuée essentiellement sur la base d'opportunités diverses et ne poursuit pas une volonté particulière de classification ou de comparaison. L'objectif du présent travail s'avérant plutôt méthodologique, il s'agissait donc de sélectionner des entités qui se prêtaient tout d'abord et de façon adéquate à la mise en place de nos processus de recherche et d'analyse. Les seules conditions à respecter dans le choix de ces épaves étaient donc que celles-ci puissent souscrire de manière satisfaisante aux contraintes initiales qui limitent la mise en place d'un programme de restitution, telles que nous les avons définies précédemment : une préservation en extension et en qualité des vestiges qui soit associée à une documentation abondante et précise de ceux-ci permettant d'en établir une analyse et une interprétation approfondie[58].

Nous aborderons de façon plus précise la manière dont nous avons intégré chaque épave au corpus dans les parties consacrées spécifiquement à chacune d'entre-elles. Notons ici cependant, que la variété des niveaux de conservation et des méthodes d'enregistrement et d'analyse que l'on constate sur l'ensemble des épaves sélectionnées permet de couvrir un spectre assez large qui se révèle au final assez exhaustif : avec, dans certains cas, la présence d'une documentation de base très restreinte et perfectible (*Dramont E*) que l'on peut opposer à la documentation riche et détaillée des exemples plus récents (*Napoli A* et *C*) ; ou encore avec, d'une part, des épaves à la conservation complexe et limitée (*Jules-Verne 7*) et d'autre part, des épaves qui se révèlent, au contraire, remarquablement bien conservées (*Napoli A*). De la même manière, il apparaît intéressant de noter que ce corpus, formé de manière fortuite, a aussi permis de mettre en application nos méthodes sur un large spectre chronologique et typologique. Cela nous a notamment permis d'éviter des répétitions méthodologiques tout en évaluant la pertinence et l'adaptation de notre méthode à ces différents types de supports.

Enfin, soulignons que l'ordre de présentation des épaves au sein de cette thèse ne s'effectue pas selon un ordre chronologique. Nous avons en effet choisi de présenter tout d'abord les deux épaves de Naples qui symbolisent sans doute l'application la plus « normale » de notre méthode de restitution et d'évaluation. Les épaves, *Dramont E* et *Jules-Verne 7*, faisant plutôt office de point particulier d'expérimentation, nous avons donc pris le parti de les renvoyer en seconde partie.

[58] Voir *Supra*, Chapitre I, la partie concernant les contraintes initiales.

2.2. Méthodes de restitution et d'analyse :

La façon dont nous avons conçu notre travail de restitution et d'analyse repose en très grande partie sur les principes généraux que nous avons énumérés dans la synthèse de notre premier chapitre. L'idée d'une simple mise en application de principes déjà édictés peut donc être retenue initialement comme le fondement de notre travail.

Cependant, compte-tenu des légères différences de perception au sein des divers auteurs, ainsi que des spécificités techniques générées par l'usage intensif de l'outil informatique, il nous a semblé nécessaire de bien préciser quelles ont été exactement les méthodes et les principes qui ont régi le dressement et l'analyse de nos restitutions. Il s'agissait, non seulement de préciser les étapes, mais aussi la philosophie même de la restitution, en détaillant les types d'interrogations posées et la manière d'y répondre.

Au final, quatre phases peuvent être distinguées, et les interactions qui existent entre elles sont présentées dans le diagramme suivant **(Fig. A)**.

- Phase 1° : Analyse archéologique

Dans cette première phase d'analyse habituelle, qui s'apparente fortement à la phase A décrite par McGrail dans son article de 2006, l'objectif sera de produire et évaluer tous les éléments disponibles sur l'épave (que ce soit la documentation même des vestiges ou les éléments de comparaisons archéologiques ou iconographiques) afin de poser une première hypothèse interprétative sur le navire d'origine[59]. L'analyse des modes de construction et de conception du navire, tout autant que sa morphologie, doivent alors permettre de le reclasser au sein d'un groupe architectural plus large, dont les caractéristiques peuvent, par comparaison, nous amener à établir quels pouvaient être le type et la fonction de notre navire, son mode de propulsion ainsi que son type de direction.

- Phase 2° : Remise en forme des vestiges

Dans notre diagramme, nous faisons apparaître cette phase sur un même niveau que la phase d'analyse archéologique. Cela s'explique par le fait qu'une chronologie de réalisation stricte ne se justifie pas dans la réalisation de ces deux étapes. Nous estimons en effet que la

[59] McGrail, 2006, p. 8-15.

recherche des formes initiales des vestiges ne peut générer que le dressement d'une seule et unique solution de remontage qui est indépendante de l'analyse interprétative réalisée sur les vestiges. En effet, bien que l'analyse archéologique des vestiges et leur interprétation, interviennent traditionnellement bien avant la recherche des formes originales du navire, il n'en demeure pas moins que cette dernière étape peut être réalisée indépendamment (ou en parallèle), si l'on se fie strictement aux « indications de remontage » que nous offrent les vestiges. On peut aussi considérer que la recherche des formes initiales, d'une manière détachée de l'interprétation avancée des vestiges, permet aussi de s'affranchir du risque déterministe qui veut que l'on restitue ce qui convient le mieux à l'interprétation que l'on a produite de l'épave. Pour autant, en ce qui concerne les quatre épaves étudiées ici, l'analyse archéologique et les bases interprétatives ont été posées avant la réalisation de cette phase de remontage des vestiges.

Concrètement, nous avons donc tout d'abord réalisé un modèle virtuel des vestiges bruts, permettant la reconstitution de tous les éléments découverts ainsi que l'établissement, après redressement des déformations, d'un plan de bordé développé de ces vestiges[60]. Dans le même temps, nous avons tenté de dresser un premier plan de formes à partir des formes conservées sur les divers éléments transversaux. Deux modèles de vérifications sont alors produits : l'un virtuel, l'autre matériel baptisé « maquette carton »[61], qui sont basés sur ce premier plan de formes et qui présentent simultanément la remise en place à la fois des éléments transversaux et du bordé. De ces deux modèles, nous avons extrait de nouveaux plans de bordé développé destinés à être comparés avec celui tiré initialement du modèle des vestiges. Une recherche circulaire par ajustements successifs des deux modèles de redressement a dès lors eu lieu jusqu'à ce que l'on obtienne une cohérence d'ensemble satisfaisante permettant de valider définitivement celui-ci.

Cette seconde phase permet donc l'obtention d'un modèle des vestiges remis en place ainsi que la base initiale du plan de formes de restitution qui sera complété lors des étapes successives.

[60] Nous nous sommes ici, limités à la production de modèles virtuels des vestiges. Il est cependant souhaitable de doubler celui-ci par une maquette.

[61] Le principe de la « maquette carton » est de vérifier l'adéquation du bordé sur la forme restituée à partir des formes transversales. Dans cette phase de redressement transversale, une trop grande ouverture aura pour conséquence, dans cette phase de vérification, de faire apparaître des vides que la largeur des bordés ne permet pas de combler. Inversement une trop grande fermeture des formes transversales aura pour conséquence de faire apparaître des chevauchements des bordés. Le modèle virtuel, fonctionne exactement sur le même principe, à ceci près que la largeur mesurée des virures n'est pas reporté tout à fait de la même manière que pour la « maquette carton ».

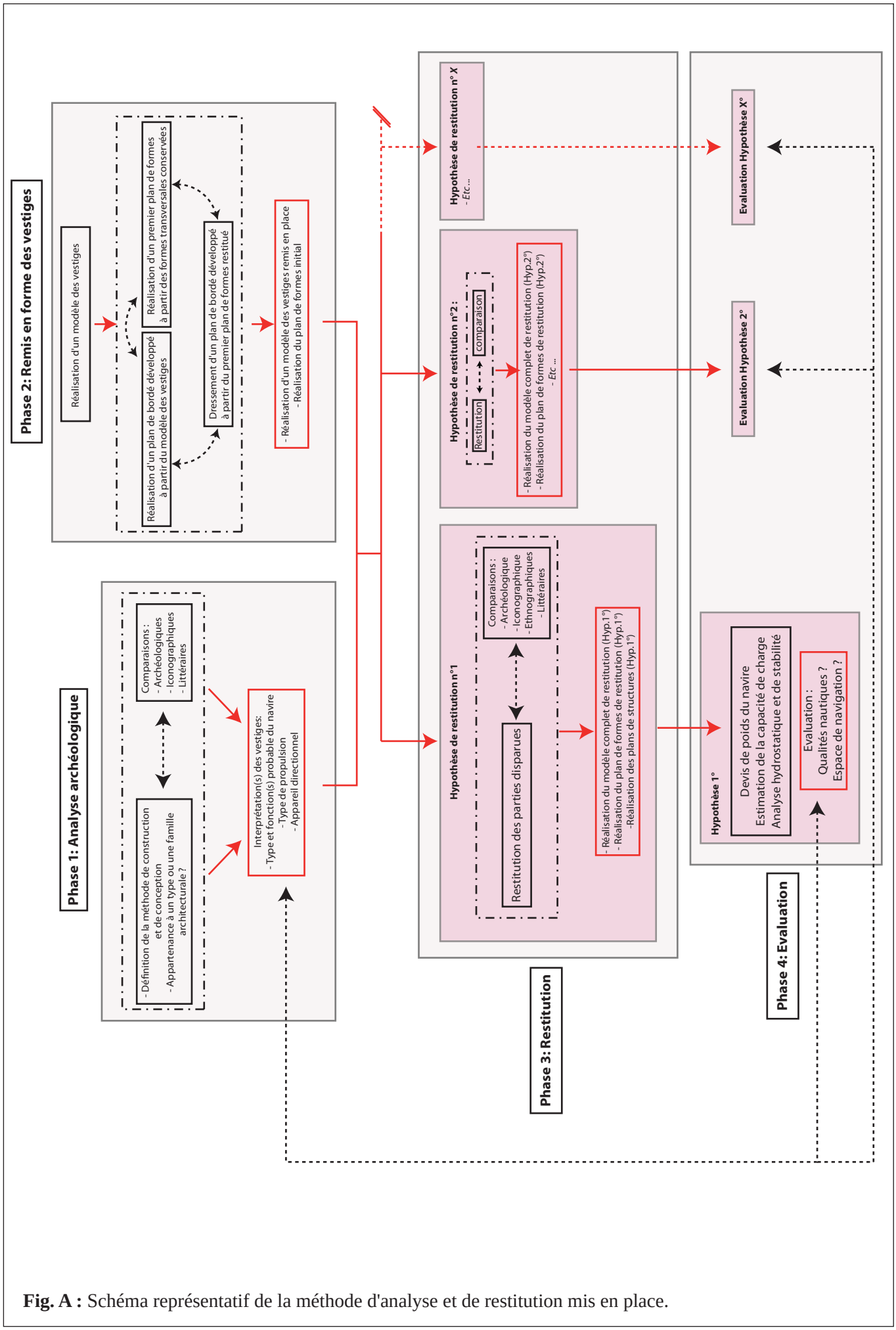


Fig. A : Schéma représentatif de la méthode d'analyse et de restitution mis en place.

- Phase 3° : Restitution

- Restitution minimale :

Les deux étapes précédentes, qui définissent la ou les hypothèses principales d'interprétation ainsi que la forme originale de tous les vestiges conservés, permettent d'établir un certain nombre d'hypothèses de restitution minimale qui prennent la forme d'un modèle des vestiges remis en forme, agrémentés de certains points essentiels de restitution : restitution de la carène, position et forme de l'appareil de gouverne, position et représentation du mode de propulsion, définition des dimensions principales[62]. Cette étape est généralement représentée dans notre travail, par une vue combinée des vestiges remis en forme, replacés sur le longitudinal tiré du plan de formes de l'hypothèse de restitution en question.

- Restitution complète :

Chaque hypothèse pourra faire l'objet, par la suite et en parallèle, d'un développement plus ou moins avancé, qu'il conviendra d'illustrer et de justifier de manière équivalente. La mise en place de tous les éléments hypothétiques au sein d'une restitution devra s'appuyer exclusivement sur des points de comparaisons pertinents et de natures variées (archéologique, iconographique, ethnographique ou issue de documents littéraires). Nous verrons précisément, dans la troisième partie du présent chapitre, comment considérer l'usage et le recours à de tels éléments de comparaison.

S'il s'avère qu'une hypothèse complète de restitution peut être réalisée, il convient dès lors d'intégrer l'ensemble de ces données dans un modèle complet, basé sur le modèle des vestiges, afin de bien vérifier la validité de chaque élément restitué avec l'ensemble des vestiges. La production d'un plan de formes finalisé pour cette hypothèse, ainsi que divers plans de structure, sur lesquels seront distinctement notifiées les parties conservées des parties restituées, est alors indispensable pour bien expliciter les choix restitutifs.

Concernant le degré de finition et d'achèvement d'une telle hypothèse de restitution : nous verrons qu'il est tout à fait envisageable de définir dans le détail un système fonctionnel, qui puisse correspondre en premier lieu aux vestiges de l'épave et dont la composition s'accorde en tous points avec les témoignages les plus pertinents issus de l'archéologie et de l'iconographie. Il faudra cependant en accepter le caractère tout à fait hypothétique. A l'instar

[62] A l'image de ce que proposaient O. Crumlin-Pedersen et S. McGrail dans leur article de 2006 (Crumlin-Pedersen, McGrail, 2006, p. 53-57).

de Jean Boudriot dans son introduction à la monographie concernant le *Bonhomme Richard*[63], nous ne pouvons malheureusement que constater la vraisemblance de toute cette partie hypothétique de notre restitution. On retrouve là, le niveau de restitution « possible » proposé par P. Pomey.

Sur ce point, deux remarques s'imposent :

- D'une part, chaque hypothèse de restitution complète ne s'avère être qu'un développement de l'hypothèse minimaliste à laquelle on doit pouvoir se référer en permanence. Au-delà donc de la validité et du caractère plus ou moins hypothétique de la restitution de tel ou tel élément, c'est tout autant la présentation distincte et explicite de ces différents niveaux qui doit être considérée comme une règle initiale indispensable à l'établissement d'une hypothèse complète et détaillée. Cela, afin d'éviter toute confusion en permettant un retour rapide et compréhensible à la partie minimale et d'origine correspondant aux vestiges conservés et remis en forme[64].

- D'autre part, dans la perspective d'une étude hydrostatique et de stabilité, il s'avère nécessaire de définir le plus précisément possible un devis de poids « approché » de tous les éléments du navire, afin d'en étudier l'importance et la répartition. Comme nous le verrons, les analyses hydrostatiques et de stabilité qui sont pratiquées sur nos hypothèses de restitution génèrent des résultats qui doivent être considérés plutôt comme des ordres de grandeur. Afin de générer des ordres de grandeur plus réduits et plus représentatifs il est donc nécessaire de recourir à des devis de poids qui soient les plus précis possibles et qui ne peuvent donc se baser que sur des modèles un tant soit peu détaillés. Etablir un modèle suffisamment précis, mais toujours pertinent, afin d'obtenir des ordres de grandeur assez significatifs pour l'analyse hydrostatique et de stabilité : tel est le compromis essentiel qu'il faudra constamment réévaluer lors de la phase de restitution.

[63] « *Je ne doute pas que l'aspect général de mes reconstructions soit juste, toutefois je ne peux que reconnaitre, en ce qui concerne les infinis détails de configuration, de gréement et d'armement, la vraisemblance de mes plans avec les habitudes de l'époque, ainsi qu'avec les maigres informations propre à notre navire.* ». Jean BOUDRIOT, Introduction à la version anglaise de *: The Bonhomme Richard*. Boudriot, 1987.

[64] Dans notre travail, une ligne de tirets rouge joue ce rôle de démarcation sur nos planches de présentation.

- Phase 4° : Evaluation

La partie correspondant à l'évaluation des hypothèses de restitution ne se pose pas comme une étude globale du comportement du navire à la mer. Il aurait été nécessaire pour cela de mettre en place une batterie de test beaucoup plus importante, nécessitant des moyens exceptionnels, ce qui s'est révélé impossible lors de cette thèse[65]. Le choix s'est donc porté sur une interrogation minimale des caractéristiques nautiques de base de nos restitutions. Nous avons ainsi interrogé de façon simplifiée nos modèles afin de répondre à deux questions spécifiques :

- Quels pouvaient être les déplacements du navire et les ports en lourd qui y étaient associés ?
- Quelle était sa stabilité en fonction de ces différents déplacements ?

L'objectif d'une évaluation aussi minimale, était de pouvoir définir globalement, par ordre de grandeur, à la fois les capacités de charge et la capacité de la restitution à affronter dans ces conditions un certain niveau de mer et un certain niveau de vent. Par la comparaison des résultats obtenus lors de cette évaluation avec l'interprétation initiale de la fonction du navire, nous aspirions à définir de manière plus précise le programme de navigation potentiel de celui-ci ainsi que son espace de navigation privilégié.

Nous reviendrons en détail dans la quatrième partie de ce chapitre sur la mise en application précise de ces évaluations, en relevant leurs apports, leurs inconvénients ainsi que leurs limites.

[65] Sur le sujet de l'évaluation et des simulations par les modèles numériques, nous estimons, comme Crumlin-Pedersen (Crumlin-Pedersen, 2006, p. 6), qu'il paraît difficile, voire impossible, de produire des analyses exhaustives et toujours représentatives d'un système aussi complexe qu'un bateau. Malgré l'utilisation importante que nous faisons de l'ordinateur et des simulations numériques, nous nous posons donc tout de même en opposition sur ce sujet à la vision de Coates, McGrail et de leurs collègues (Coates, McGrail, *et al.*, 1995, p. 293-301). Nous reviendrons plus en détail sur ce paradoxe dans notre conclusion.

2.3. Détail du processus de restitution :

Au-delà de l'aspect théorique de la restitution, comme nous venons de le développer, nous avons voulu ici revenir rapidement et plus prosaïquement sur la façon de traiter les différentes sources nécessaires à l'établissement d'une restitution pertinente, ainsi que sur les différentes spécificités de l'outil informatique qui s'est révélé notre outil privilégié de travail.

2.3.1. Utilisation des sources de comparaison :

2.3.1.1. Les relevés originaux :

La démarche de notre recherche se basant sur la production d'un modèle virtuel intégrant l'ensemble des données originales de fouilles, modèle qui serait un pendant virtuel de la maquette des vestiges en place, il s'agissait, en ce qui concerne les relevés de fouille, de pouvoir intégrer l'ensemble de ces données dans un même modèle afin de les replacer dans une échelle commune et dans leurs positions respectives. Pour ce faire, nous avons dû composer, selon les cas, avec deux éventualités : lorsque la documentation originale est de nature purement manuelle et lorsque, au contraire, elle s'avère d'emblée numérisée.

- Relevés manuels :

Dans le cas d'une documentation graphique manuelle, la chaîne opératoire commande d'abord la reproduction du dessin par le biais d'un logiciel de D.A.O. Cela permettant à la fois de rendre compatible le nouveau format de fichier du dessin avec les programmes de C.A.O et de publication utilisés ultérieurement, mais aussi de vectoriser le trait du dessin, réduisant de ce fait la perte d'information liée à une mise à échelle d'importance qui pourrait entrainer la pixellisation du document original. Une fois cela appliqué à l'ensemble des relevés produits durant la fouille, ceux-ci sont consécutivement replacés dans le modèle tridimensionnel en tenant compte de leur position et en faisant se coordonner les relevés planimétriques et en coupe. Au sein du petit groupe d'épaves que nous avons eu à traiter durant notre travail, *Dramont E* représente sans doute le cas d'étude le plus emblématique de l'application de notre méthode sur des relevés manuels traditionnels. Le fait de retravailler avec notre méthode sur l'architecture d'une épave ne présentant qu'une documentation graphique manuelle

réduite nous est d'ailleurs apparu comme une motivation première justifiant en partie ce choix de l'épave *Dramont E*. Les résultats ainsi obtenus nous semblent d'ailleurs prouver la validité de notre démarche. A côté de cela, et de façon plus commune, les relevés manuels cohabitent volontiers avec d'autres types de mesures (théodolites, photogrammétrie, relevés lasers, etc…). Ils sont alors soustraits au même traitement de vectorisation et rejoignent les autres relevés dans le modèle tridimensionnel.

- Autre type de relevés :

A ce jour, l'origine et la nature des relevés disponibles pour l'archéologie navale, tant en terrestre qu'en sous-marin, tendent à se multiplier : relevé photogrammétriques, topographie, scanner par balayage, relevé à l'aide d'un bras de numérisation, etc… Pour autant, tous ont en commun le fait d'avoir leurs résultats (la plupart du temps sous forme de points, de lignes ou de surfaces) gérés au travers d'un programme informatique dont le langage s'avère généralement assez peu éloigné des standards compris par la plupart des logiciels de C.A.O.. Il est donc très facile d'intégrer l'ensemble de ces relevés au sein d'un modèle tridimensionnel, quand bien même ceux-ci seraient d'origines variées. Dans le cadre de notre travail de thèse, outre les relevés manuels dont nous avons parlés précédemment, nous n'avons finalement rencontré qu'une très petite variété de relevés autres que ceux provenant de l'usage d'un théodolite. Si un scanner à balayage a bien été effectué sur les épaves de Naples, il ne nous a pas semblé nécessaire d'y recourir directement étant donné que la masse de données rassemblées dans les relevés manuels et topographiques nous a semblé largement suffisante[66]. On notera cependant que depuis le début de notre travail de thèse nous avons été amené à travailler sur divers projets d'archéologie navale dans lesquels ont été mis en œuvre de nombreux types de relevés et que ceux-ci se révèlent tout à fait compatibles avec notre méthode[67].

S'ils constituent donc en eux-mêmes un modèle virtuel simplifié des vestiges ces relevés de terrain se révèlent donc en plus de cela, une base solide de vérification du modèle de

[66] On n'oubliera pas ainsi, qu'indirectement le nuage de point généré à partir du balayage scanner, a bien été utilisé puisque la planimétrie dont nous avons fait usage dans nos modèles de *Naples A* et *C* sont issus après traitement de ces mêmes nuages de points.

[67] La fouille du chaland gallo-romain *Arles-Rhône 3* (fouille conduite sous la direction de Sabrina Marlier, MDAA/CG13) fut ainsi l'occasion de mettre en œuvre un outil de relevé par palpage similaire à un bras articulé de type *Faro-Arm* ©, dont le résultat final (un modèle tridimensionnel filaire de l'ensemble de l'épave) se prête parfaitement à la mise en place de notre méthode d'étude. De la même manière plusieurs épaves relevées par le biais de la photogrammétrie (on soulignera notamment l'épave de Caska en Croatie, fouillée sous la direction de Giulia Boetto, CNRS-CCJ) semblent pouvoir aussi faire l'objet d'un travail de restitution et d'étude comme celui que nous proposons ici, sans que le mode de relevé ne vienne interférer grandement dans la méthode et le résultat final, sinon pour les améliorer.

restitution. On notera en effet que ces relevés replacés, à la même échelle et dans leurs positions respectives, restent accessibles, modifiables et visibles dans le modèle virtuel de restitution. La superposition des deux modèles permet d'avoir une vision globale des altérations et des déformations touchant les vestiges et aussi d'apprécier avec quelle latitude la restitution permet le redressement de certaines parties.

2.3.1.2. Analogies archéologiques :

Comme nous l'avons souligné, l'objet de la restitution en archéologie navale s'avère la plupart du temps être une épave dont la conservation nous amène à ne connaître qu'une partie, plus ou moins parcellaire, du navire originel. La mise en place d'un programme de restitution et d'analyse s'accompagne donc nécessairement, afin de combler ces lacunes, d'un travail de comparaison dans lequel on va avoir notamment recours à des exemples archéologiques présentant certaines analogies avec l'épave étudiée.

On peut distinguer très clairement deux situations bien différentes pour lesquelles on va faire appel à des exemples archéologiques extérieurs : d'une part lors de la recherche des dimensions générales de la restitution, en cherchant à déterminer un rapport de proportion rationnel pour l'épave étudiée à partir de ceux de restitution de navires comparables ; et d'autre part lors de la restitution d'éléments ponctuels disparus sur l'épave étudiée, mais retrouvés par ailleurs dans un contexte similaire. Selon que l'on se place dans l'une ou l'autre situation, le recours à ces comparaisons archéologiques sera régi selon des principes bien différents, dont il faut relever ici les nuances.

- Recherche sur les rapports de proportion :

Dans le cas d'une étude dimensionnelle, le corpus des restitutions de navires antiques est aujourd'hui assez développé pour nous permettre d'établir des comparaisons dimensionnelles pertinentes entre celles-ci et l'épave que nous devons restituer, en faisant usage de critères discriminant rigoureux basés sur : la proximité chronologique, typologique et, dans la mesure du possible, fonctionnelle observées avec l'épave dont nous nous proposons de projeter la restitution. Il s'agit donc ici de traiter avec des épaves qui ont fait l'objet d'une restitution graphique argumentée et qui rassemblent divers caractéristiques justifiant leur utilisation dans

notre démarche : une datation comparable, des espaces de navigation comparables[68], une fonction similaire et enfin des méthodes et principes de constructions analogues. Sans cela, la mise en parallèle des différents rapports de dimensions se révèlerait tout à fait impropre et nous conduirait à la restitution de dimensions tout à fait biaisées dans leurs fondements. Nous développerons particulièrement la mise en place de cette méthode à l'occasion de la restitution des navires de Naples et plus particulièrement de l'épave A.

- Restitution d'éléments particuliers :

La restitution d'éléments disparus ponctuellement représente le second cas de figure pour lequel un recours à des exemples archéologiques s'avère nécessaire. Il nous a semblé que dans ce contexte, les critères déterminant la validation d'une comparaison archéologique pouvaient être légèrement plus lâches. S'il est toujours souhaitable de fonder ces comparaisons sur des analogies archéologiques situées dans des espaces géographiques, fonctionnels et temporels qui soient les plus similaires possibles à ceux de l'épave à restituer, il nous semble toutefois acceptable d'élargir notre corpus comparatif lorsque l'on en vient à traiter de la restitution d'éléments architecturaux ou d'accastillage plus ponctuels et généraux. Par exemple : il n'existe pour le cas particulier des *horeia* aucun témoignage archéologique portant sur la nature précise de leur appareil de gouverne. Cependant au regard des diverses représentations iconographiques, il semble fort probable que le gouvernail devait être latéral et s'approcher de ce qui a pu être découvert sur d'autres épaves qui n'étaient manifestement pas des *horeiae* telle que, par exemple, l'épave *Laurons 2*[69].

Dans ce cas, la référence archéologique ne se fait pas entre deux navires aux fonctions et aux types similaires. La justification archéologique peut alors paraître limitée et commande un renforcement de l'argumentaire par le biais d'autres points de raisonnement, au premier rang desquels on retrouve les éléments iconographiques. Nous verrons que, dans le cas précis des appareils de gouverne des *horeiae*, l'observation de l'iconographie ne laisse alors plus planer aucun doute[70].

[68] Il ne s'agit donc pas forcément d'une épave découverte à proximité de celle que l'on souhaite restituer.
[69] Gassend, 1998, p. 197-201.
[70] Cf. *Infra*, le chapitre concernant la restitution de l'épave *Napoli C*

2.3.1.3. Eléments iconographiques :

La validité de l'usage d'un élément iconographique dans le cadre d'une étude de restitution est soumise à plusieurs problèmes de nature très variée qui ont déjà fait l'objet d'études approfondies[71]. Au premier rang de ceux-ci, c'est le fait que les représentations de navires s'avèrent la plupart du temps bidimensionnelles qui va représenter un écueil notoire. A l'exception de quelques rares objets, tels que des bases de colonnes, des *ex-voto* ou encore des lampes à huile naviformes, la plupart des navires figurés le sont sur des surfaces planes, ce qui implique la majorité du temps une représentation de profil limitant de fait notre perception des proportions de ceux-ci. A cela vient s'ajouter une interrogation permanente sur l'échelle utilisée qui nous empêche de connaitre la taille réelle des sujets figurés. On peut toutefois souligner que les rapports de proportions observables entre les différentes parties visibles demeurent généralement identiques à ceux de la réalité, à l'exception notable cependant des personnages qui, par convention, sont toujours représentés plus grands. Enfin, en tenant compte de la part d'interprétation, de restitution, voire de pure imagination de l'artiste, c'est aussi son habilité même qui va jouer un rôle déterminant dans la qualité de la représentation tout autant que le matériau et le support choisi pour celle-ci. L'ensemble de ces points remarquables rend relativement ardue l'utilisation de l'iconographie dans un travail de restitution. A partir de cela, il nous semble pouvoir cependant distinguer, à l'image de ce que l'on a proposé pour les comparaisons archéologiques, une différence majeure dans l'usage des sources iconographiques selon que l'on se place dans le cadre d'une recherche des dimensions du navire ou bien dans la restitution d'un élément ponctuel.

- L'usage de l'iconographie dans la recherche des rapports de proportion :

Au regard des problèmes évoqués ci-dessus, la recherche des rapports de proportion à travers l'iconographie, semble donc se heurter à des écueils majeurs qui paraissent souvent rédhibitoires. A cela on ne manquera pas d'ajouter deux autres détails tout aussi pénalisants : le bas de quille n'est presque jamais figuré et seul le niveau du pavois est généralement distinguable. Dans le cadre d'une extrapolation de la hauteur du creux des restitutions à partir de l'iconographie, soit le rapport de proportion le plus souvent recherché sur les représentations de profil bidimensionnelles, on se doit donc de composer plutôt avec une

[71] Basch, 1987 ; Pomey, 1978b, p. 20-29.

hauteur approximative au niveau du maître-couple, entre le haut du pavois et le bas de quille. Bas de quille, dont la ligne inférieure, généralement invisible, doit faire l'objet d'une nouvelle approximation. Si l'on tient compte, en plus, du fait que les rapports déduits de l'observation d'un corpus s'établissent généralement sur une plage de valeurs relativement ample, on ne peut que constater l'inadéquation, *a priori*, de cette méthode[72].

On ne peut toutefois condamner de prime abord cette méthode qui a démontré ponctuellement son adéquation avec un processus de restitution archéologique objectif et argumenté. De manière isolée, on constate ainsi que certaines iconographies se révèlent être particulièrement fidèles vis-à-vis de la réalité et qu'elles peuvent donc tout à fait constituer une base argumentaire solide dans le cadre d'une restitution des dimensions. L'exemple typique de ce genre d'exception est sans nul doute le navire situé à gauche de Neptune sur la mosaïque du *frigidarium* des termes de Thémétra[73]. Le navire qui y est représenté, nous laisse apercevoir clairement le profil de sa carène qui présente de très nombreuses analogies avec celle de l'épave de la *Madrague de Giens*[74] : même proue concave ; même quête arrière égale au 1/3 de la longueur totale ; même élancement avant, moins prononcé, égal au 1/4 de la longueur, position semblable du mât de proue au 1/4 avant. On note cependant, que la hauteur de la coque est proportionnellement beaucoup plus grande que celle que l'on devrait établir pour le navire de la *Madrague de Giens*, si l'on devait le restituer[75]. Toutefois, l'ensemble de ces points communs désigne manifestement une représentation soignée et fidèle d'un navire ayant bien existé et que l'on peut objectivement utiliser dans le contexte d'une restitution du navire de la *Madrague de Giens*[76].

On est ici en droit de se questionner sur les arguments qui vont fixer les bases d'une comparaison entre un élément iconographique ponctuel et des vestiges archéologiques. Il s'agit pour l'essentiel d'une concordance entre les proportions des parties préservées avec celles distinguables sur la représentation, comme pour la *Madrague de Giens*, mais aussi, dans la mesure du possible, d'une concordance chronologique et fonctionnelle entre le navire

[72] Cf. *Infra* à propos des recherches de rapports de proportions à travers l'iconographie pour la restitution de l'épave *Napoli A*.
[73] Pomey, 1997, p. 89 ; Basch,1987, p. 487, fig. 1109 ; Pomey, 1982, p. 147, fig. 8.
[74] Pomey, 1982, p. 149.
[75] Une restitution des formes a déjà été effectuée par Michel Rival, sous la direction de Patrice Pomey. Elle n'a cependant été publié que très succinctement dans l'ouvrage de Michel Rival, consacré à la charpenterie navale romaine (Rival, 1991, p. 205, pl. 59).
[76] Au-delà des concordances proportionnelles entre la représentation de Thémétra et la *Madrague de Giens*, on note aussi des concordances structurelles frappantes qui nous amènent à considérer une véritable parenté entre ces deux éléments. Ainsi le début de la quête d'étambot sur l'épave correspond exactement au lieu d'implantation des deux épontilles postérieures du puits de la pompe de cale. On note que ces deux épontilles présentent des proportions deux fois plus importantes que les épontilles avant. Or sur le navire de Thémétra ce détail se reconnait au niveau du pont puisque dans le prolongement immédiat de l'endroit où doivent se situer ces épontilles on note deux montants de fortes dimensions qui servent notamment à créer un point d'appui pour le mât lorsque celui-ci est abattu (communication personnelle de P. Pomey).

représenté et le navire originel restitué[77]. L'exemple emblématique d'un tel usage de l'iconographie dans une démarche restitutive est sans doute aussi à trouver dans l'étude des épaves de Fiumicino, dirigée par Giulia Boetto[78]. Dans le cas de trois épaves (*Fiumicino 1, 2* et *3*), l'étude architecturale menée sur les vestiges a permis de mettre en évidence un type particulier de navire qui relève d'une véritable famille de navires : celle des *Naves Caudicariae*, dont les représentations sont relativement nombreuses et très identifiables, pour une période correspondant à celle d'utilisation de ces navires, à la fois à Rome et à Ostie, soit directement sur la zone de découverte des épaves. En effet, bien que ces représentations ne se révèlent pas aussi précises que celle du navire des thermes de Thémétra, on y distingue toutefois des caractéristiques morphologiques remarquables qui permettent de les rattacher aux trois premières épaves de Fiumicino[79] : un mât excentré vers la proue, une coque caractérisée par une poupe haute et très incurvée, une proue plutôt élancée et une cale ample. L'iconographie fournit dans ce cas un ensemble de données qui permet de s'appuyer sur une base moyenne de proportions assez fiable pour concevoir son utilisation dans le cadre d'une restitution[80].

- L'iconographie dans la restitution d'éléments ponctuels :

Au-delà des problèmes d'échelle, qui vont particulièrement altérer nos possibilités d'utilisation de l'iconographie dans la restitution des parties hautes disparues, nous pouvons tout de même convenir du fait que, très ponctuellement, la précision de certaines représentations permet de s'avancer, objectivement et prudemment, sur la nature précise d'un élément de la structure du navire, et ce aussi bien pour le gréement, les superstructures que pour le gouvernail.

Ainsi, des détails particulièrement explicites nous semblent pouvoir être intégrés à nos restitutions lorsque ceux-ci présentent un certains nombres d'arguments justifiant de leur

[77] Du point de vue chronologique, ce n'est manifestement pas le cas pour le navire représenté à Thémétra (IIIème s. Ap. J.-C.). Représentation qui est plus récente d'au moins deux siècles par rapport à l'épave de la *Madrague de Giens* (Ier s. av. J.-C). Pour autant cet écart ne permet pas, pour autant, d'écarter la comparaison entre cette représentation et cette épave. Si cela pose un évident problème d'interprétation, plusieurs arguments peuvent être avancés. Au premier rang, il s'agit de poser l'hypothèse de la persistance des rapports de proportions et de la structure générale de ce type de navire malgré les changements structuraux qui ont pu apparaître durant la période intermédiaire. A cela s'ajoute la possibilité de la reproduction d'un modèle préétabli de mosaïque. Si l'existence de « cartons » de modèles est aujourd'hui une hypothèse tout à fait réfutée par les spécialistes (Bruneau, 1984, p. 241-272), il paraît néanmoins possible que d'autres vecteurs (céramiques, tissus) aient pu amener à la reproduction de certains motifs (*Ibid.*). Au final, demeure cependant une réelle ambiguïté interprétative.
[78] Boetto, 2006.
[79] *Ibid*., Vol. II, fig. 257-262, p. 181-183.
[80] *Ibid*. Vol. I, p. 256.

usage. Au premier rang de ces conditions, il s'agit tout d'abord de vérifier que l'élément iconographique en question relève bien d'un contexte général analogue à celui de l'épave que l'on doit restituer. On va ainsi rechercher prioritairement : une concordance fonctionnelle, en utilisant des représentations de navires de commerce lorsqu'il s'agit de restituer un navire de cette fonction, si possible présentant a priori des dimensions proches ; une concordance temporelle ; et enfin une concordance géographique. Par ailleurs, on favorisera la restitution des éléments structurels qui ont pu être à la fois identifiés dans les représentations iconographiques mais dont certains exemples ont pu aussi être découverts dans le contexte archéologique d'une épave aux caractéristiques similaires. C'est ici notamment le cas pour divers petits éléments se rapportant au gréement, tels que les moques, les poulies ou encore les cabillots, qui font régulièrement l'objet de découvertes sur les sites portuaires et sur les épaves, et dont la destination réelle peut être confirmée par l'iconographie.

2.3.1.4. Analogies ethnographiques :

En dernier lieu et dans une moindre mesure, nous nous sommes aussi appuyés sur des exemples d'ordre ethnographique lorsque ceux-ci semblaient pouvoir venir confirmer l'interprétation proposée d'un élément iconographique ou archéologique dont la destination demeurait incertaine. En limitant les recours à des exemples ethnographiques et en particulier méditerranéens, nous avons cependant tenté de nous affranchir d'une vision trop moderniste qui viendrait indubitablement corrompre notre démarche.

2.4. Détail du processus d'analyse hydrostatique et de stabilité :

Comme nous l'avons défini précédemment, une fois produite l'hypothèse de restitution, on va s'attacher à déterminer quels pouvaient être les déplacements du navire, ses ports en lourd ainsi que sa stabilité en fonction de ces différents déplacements. L'objectif par ce questionnement étant de percevoir, dans la mesure du possible, la capacité commerciale du navire originel à travers la détermination de son espace de navigation et de son programme.

2.4.1. Estimation du déplacement et du port en lourd

L'étude du tonnage et du déplacement est initialement l'un des objectifs principaux d'une recherche portant sur la restitution des formes de la carène d'un navire de commerce. Il s'agit par-là de s'intéresser au navire en tant que vecteur du commerce maritime, en tentant de définir le plus précisément possible son rôle et son importance au sein d'un système économique donné. On va donc rechercher en priorité quelles pouvaient être les quantités maximales et moyennes de marchandises transportées et dans quelles conditions celles-ci ont pu être transportées.

Dans le cadre spécifique d'une étude de restitution ayant engendré la restitution des formes de la carène et de l'architecture du navire de façon précise et argumentée, il nous est permis de procéder à des estimations concernant : le volume total de la carène, le poids du navire et le volume de cale disponible. Par ce biais, on peut réussir à définir avec précision la capacité de transport de nos restitutions et ainsi d'en évaluer son impact économique.

2.4.1.1. Devis de poids du navire en lège:

Le fait de s'attarder particulièrement sur l'estimation du poids du navire en lège peut paraître étrange dans le cas d'une étude portée surtout sur la capacité de chargement et sur l'importance commerciale. Pour autant, la mesure de poids du navire lège permet, dans un premier temps, de définir des données essentielles si l'on veut procéder à une analyse poussée de l'hydrostatique et des qualités nautiques d'une restitution ; dans un second temps, cela permet aussi de bien percevoir la part du port en lourd par rapport au déplacement total. La réalisation d'un modèle tridimensionnel précis de l'hypothèse de restitution permet ainsi d'estimer précisément le volume ainsi que le centre de gravité de chacune des pièces

constituant la charpente du navire. Parallèlement, l'étude xylologique systématique ou partielle permet une identification des essences de bois utilisées qui nous autorise à attribuer à chacune de nos pièces un poids spécifique précis.

La détermination particulière de la masse volumique des bois s'est révélée problématique : d'importantes différences apparaissent si l'on se base alternativement sur les caractéristiques des bois de construction comme étant verts, secs ou encore humides. Si l'on prend pour exemple le poids de la membrure de du navire *Napoli A*: celui-ci connait une variation de près de 500 Kg (pour un volume total de 1,957 m^3) selon que l'on considère le poids spécifique du noyer à l'état sec (720 Kg) ou encore à l'état vert (1000 Kg)[81]. Nos connaissances sur la mise en pratique du débitage des grumes dans l'Antiquité ne nous permettent malheureusement pas d'être catégoriques. L'étude des textes antiques, traitant de la charpenterie navale, produite par Michel Rival dans sa thèse ne permet pas d'établir avec précision le taux hygrométrique des bois mis en œuvre au moment de la construction[82]. Il nous semble cependant que si l'on s'en tient au moment du lancement du navire, le texte de Plutarque nous renseigne avantageusement sur le taux de dessiccation du bois. Le bateau devant être dressé sur sa quille un certain laps de temps, afin qu'un séchage s'opère sur le bois et sur les assemblages :

> « *S'il doit être mis à flot alors que ses joint sont encore humides et glissants, ceux-ci se relâcheront tous quand ils seront secoués par les vagues et prendront l'eau*. »
>
> (Plutarque, *De Fortuna Romanorum*, 321, 9[83])

Il nous a donc paru plus pertinent de considérer un poids spécifique pour chaque essence correspondant à un taux de dessiccation un peu avancé. Faute de pouvoir nous appuyer sur des moyennes fiables pour des taux intermédiaires de séchage (20% ou 25%[84]), nous nous sommes donc rabattus sur des valeurs dûment mesurées correspondant à l'équilibre

[81] Valeur moyenne du poids spécifique du bois pour 1m^3, à l'état sec à 15% d'humidité (Rival, 1991, p. 82, Tabl.2).
[82] Rival, 1991, p. 121-122, note n°74.
[83] La traduction suivante nous est donnée directement par M. Rival (Rival, 1991, p. 121-122 et p. 145, note n°74). On trouve toutefois aux éditions des Belles Lettres la traduction complète du passage par F. Frazier et C. Froidefond : « *Car, de même que, pour construire un vaisseau marchand ou une trirème, il faut asséner des coups redoublés à grand renfort de marteaux, de clous, de chevilles, de scies et de haches, mais qu'on doit ensuite le laisser reposer et se consolider le temps requis jusqu'à ce que les liens qui assemblent les pièces tiennent bien et que les jointures aient pris de la consistance, car s'ils sont tirés à la mer quand les pièces sont encore fraichement rapportées et leur assemblage fragile, l'ensemble se disloquera dans les remous et fera eau de toutes parts,* […]. » ; Frazier, Froidefond, 1990, p. 54.
[84] Kenn Jensen mentionne, à propos des navires vikings, un taux médian d'humidité de 22% à 35% pour les caractéristiques mécaniques des bois des charpentes (Jensen, 1999, p. 80).

hygroscopique des bois dits « secs à l'air », soit à 15% d'humidité. Valeurs que l'on retrouvera dans les tableaux de comparaisons des essences présentés par Michel Rival[85].

L'utilisation de ces poids spécifiques induit l'hypothèse d'un bateau dont les bois formant la charpente sont partiellement secs et non pas encore séjourné trop longuement dans l'eau. En d'autres termes, nous traitons ici de devis de poids concernant des navires « neufs ». Il ne nous est pas apparu possible de pondérer nos résultats en tenant compte d'une imprégnation en eau des bois due à un séjour prolongé dans l'eau. En ce qui concerne la marine traditionnelle en bois, il est cependant de coutume d'observer, avec le temps passé à la mer d'une carène, une variation de la densité des bois de la coque menant à la variation du poids en lège de la carène et donc de la flottaison[86]. Si ce phénomène peut rester limité, il ne peut cependant pas être négligé dans l'interprétation du tonnage d'un navire. Avec l'âge, une réduction du port en lourd, par augmentation du déplacement lège de tout navire marchand n'est ainsi pas à exclure.

2.4.1.2. Tonnage ou port en lourd ?

Si l'on s'en réfère au glossaire nautique d'Augustin Jal nous obtenons à l'article « *Jaugeage* » la définition suivante : « *Désigne à la fois la capacité partielle ou totale d'un bâtiment et l'ensemble des règles qui servent à la détermination de cette capacité* »[87]. Le jaugeage, ou tonnage, termes similaires, renvoient donc au calcul complexe et arbitraire, dans un but le plus souvent légal, de la capacité d'un navire. Le terme de capacité désignant ici tout à la fois le volume disponible et le poids accepté en charge par le navire. Si l'on peut calculer le tonnage brut, ou jauge brute, soit le volume intérieur total du navire, on peut aussi calculer le volume utilisable sur le plan commercial, soit le tonnage net, ou encore jauge nette. La difficulté dans cet exercice est souvent venue du fait qu'il fallait exprimer l'importance de la capacité de charge d'une carène à l'aide d'unités devant tenir compte de critères aussi différents que le poids, le volume et l'encombrement. La compréhension des calculs de tonnage s'avère d'autant plus compliquée si l'on considère que les unités de mesures utilisées et les formules de calcul n'ont cessé de varier dans l'espace et dans le temps[88]. Enfin, le dernier problème soulevé par la notion de tonnage provient du fait qu'un navire de commerce ne présente pas toujours des chargements tout à fait similaires en termes de poids et de

[85] Rival, 1991, Tabl.1, Tabl.2 et Tabl.3.
[86] Krantz, 1852, p. 33.
[87] Jal, 1970.
[88] Pomey, Rieth, 2005, p. 41-45 ; Nantet, 2010

volume. De fait, durant sa période d'utilisation, un navire va présenter différents déplacements lourds en fonction des conditions de chargement qui sont amenées à varier selon des facteurs très divers. Le tonnage qui désigne arbitrairement une seule et unique situation idéale de chargement se révèle donc comme un marqueur très limité de la configuration réelle du navire à la mer. Dans le contexte d'une étude des qualités nautiques de ces navires, le fait de se limiter uniquement au tonnage serait donc particulièrement réducteur.

C'est pourquoi on va principalement s'intéresser ici à deux autres notions plus simples d'utilisation, le port en lourd et le déplacement, qui définissent simplement les poids respectifs du navire et de son chargement. Ainsi si le tonnage est une notion pouvant relever à la fois du volume, du poids et de l'encombrement, le déplacement et le port en lourd sont par contre uniquement des mesures de poids. Le port en lourd correspond à la capacité maximale de charge du navire, c'est-à-dire le poids total qu'il peut accepter de l'équipage, des passagers et de la cargaison. Il s'exprime ordinairement aujourd'hui en tonnes métriques[89]. Le déplacement correspond quant à lui au poids du volume d'eau déplacé par le navire. Or on sait par Archimède que le poids de ce volume d'eau déplacé est équivalent au poids total du navire. On distingue de cette manière le déplacement lège, qui correspond au déplacement du navire à vide, et le déplacement en charge, qui correspond au poids du navire chargé. Exprimé lui aussi en tonnes métriques, le déplacement est une notion qui n'a été utilisée que tardivement, à partir de la deuxième moitié du XVIIIème siècle. Une relation simple à comprendre permet d'établir le lien entre ces deux éléments. Le déplacement, c'est en effet la somme du port en lourd du navire et de son poids spécifique.

2.4.1.3. Port en lourd théorique et ports en lourd potentiels :

Comme pour le tonnage, la notion de port en lourd que l'on va utiliser ici ne définit au final qu'une seule et unique situation correspondant à un chargement potentiel ou maximum du navire. De plus, la définition de la limite supérieure de la capacité de charge en poids qui détermine le port en lourd est, à l'image du caractère avant tout légal d'une jauge, établie de manière arbitraire, le plus souvent sur des critères de sécurité, à partir des hauteurs de franc-bord à préserver. Dans le cadre d'une étude archéologique, le point où placer cette limite supérieure nous est inconnue. La détermination du port en lourd d'une restitution se fait donc

[89] La tonne métrique représente la masse d'un mètre cube d'eau. Soit 1000 Kg.

encore de manière arbitraire sur la base de certains principes généraux que nous détaillerons ci-après.

En acceptant que l'on définisse systématiquement le port en lourd de la même manière, nous pouvons donc établir une base de comparaison théorique tout à fait significative. C'est ce que nous avons tenté de produire dans nos différentes études en établissant pour chacune un port en lourd théorique basé sur un même principe, auquel nous avons adjoint une étude plus détaillée et plus spécifique pour chaque restitution, ou nous avons cherché à analyser différentes configurations de chargement, plus éloignées du schéma arbitraire utilisé pour mesurer le port en lourd théorique. Nous avons par ailleurs tenté de donner en fonction du port en lourd dégagé, une estimation des tonnages de nos restitutions exprimés en unités de l'époque concernée.

2.4.1.4. Port en lourd théorique :

Jusqu'à présent, afin de définir le port en lourd théorique, les études hydrostatiques menées sur des restitutions de navires antiques se sont reposées sur deux méthodes tenant compte essentiellement de la hauteur du franc-bord :

- L'une consiste à considérer la position de la flottaison en lège comme correspondant à celle de la préceinte basse au niveau du maître-couple et la flottaison en charge située forcément en dessous de la préceinte haute[90]. Si cette méthode approchée nous paraît raisonnable dans son approximation pour certains cas, elle n'en demeure pas moins un présupposé qui ne nous paraît en rien universel et transposable sur l'ensemble des carènes antiques. Un simple coup d'œil aux sections transversales réalisées sur les parties conservées les plus larges de la Madrague de Giens permettent de se rendre compte de l'inadéquation de cette méthode pour cette épave : l'absence de préceinte basse sur la muraille rend caduque ce type d'évaluation.

- Dans la continuité de cette première méthode, une évaluation du déplacement lourd a été proposée par Jean-Marie Gassend et Robert Roman[91]. Elle repose sur le postulat suivant : en situation de navigation en pleine charge, un franc-bord de sécurité doit être maintenu afin que, suite à un coup de gîte de 10°, le livet ne se retrouve pas totalement immergé. Basée sur un principe élémentaire de sécurité, cette définition a le mérite de pouvoir être appliquée à n'importe quel type d'embarcation. Nous avons donc fait le choix d'utiliser cette seconde

[90] J.-M. Gassend propose pour l'épave 2 de l'anse des Laurons de voir la première préceinte comme ligne de flottaison ;
[91] Roman, 1997, p. 47.

solution afin de définir des ports-en-lourd théoriques pour nos restitutions. Pour chacune d'entre-elles, nous rappellerons ainsi la valeur du port en lourd théorique pour un déplacement ne garantissant l'immersion du livet qu'à partir de 10° de gîte.

On n'oubliera pas cependant que cette règle de sécurité est étroitement liée à une condition d'utilisation particulière qui ne s'adapte pas forcément à toutes les embarcations. Il serait ainsi tout à fait absurde de définir le port en lourd d'une embarcation fluviale en faisant usage d'une telle règle. Et même en milieu maritime, on remarque que cette condition de chargement ne peut être retenue comme une constante de chargement maximal. Nombre d'exemples ethnographiques nous sont ainsi parvenus démontrant, qu'exceptionnellement au moins, les navires de charge pouvaient évoluer avec un chargement extrêmement important, réduisant à presque rien le franc-bord et annihilant toute marge de sécurité à la gîte: *peramataki* grecs, *bracera* croates, allèges d'Arles, etc… Nous fournissons ici quelques exemples qui sont légion dans l'espace méditerranéen. Compte-tenu donc des capacités de calculs et d'analyse que nous offrent l'outil informatique et les logiciels d'architecture navale, qui lui sont associés, il nous est apparu comme nécessaire de projeter plusieurs configurations différentes de chargement et notamment des conditions où le chargement se révèle plus important que dans le cas du port en lourd théorique.

2.4.1.5. Ports en lourd potentiels :

On entend par là tester plusieurs configurations afin d'évaluer les caractéristiques respectives de ce que l'on peut considérer dans certains cas comme des ports-en-lourd potentiels. Il s'agit alors de mesurer pour diverses situations, depuis la navigation en lège jusqu'à un chargement maximum[92]: à la fois le degré de gîte générant l'envahissement du navire, celui générant une immersion du livet, mais aussi la stabilité transversale du navire[93]. En associant les résultats bruts de ces trois mesures, qui portent donc aussi sur l'appréciation des qualités nautiques, il nous est permis de juger de la pertinence d'une situation de charge en estimant ses avantages et ses désavantages tant d'un point de vue marin, que d'un point de vue commercial. Il s'agit en d'autres termes d'en apprécier le rapport « qualités nautiques / rendement économique ».

[92] Correspondant à une flottaison située quasiment au niveau du livet de pont.
[93] L'angle d'envahissement est atteint lorsque le niveau vertical de l'eau dépasse celui de l'une des ouvertures du pont. Dans le cadre de notre restitution il s'agit de l'angle de gîte pour lequel l'angle supérieur de l'hiloire central est submergé. Au-delà de cet angle, si l'on excepte la présence d'un panneau de fermeture, il est plus que probable que le navire embarque une quantité d'eau suffisante pour le faire chavirer et couler.

Au-delà donc de l'arbitraire du port en lourd théorique, on va s'attacher pour chaque restitution à tenter d'en dépeindre un portrait plus détaillé en définissant des plages de chargements très variés. Différents chargements donc, influençant grandement à la fois les qualités nautiques du navire ainsi que sa sécurité, qui doivent être considérés comme adaptés aux conditions d'utilisation réelles qui devaient nécessairement s'avérer variables en fonction du temps, du trajet envisagé, du contexte commercial, etc…

2.4.1.6. Comparaison du port en lourd théorique avec les formules de jauge :

Malgré les objections soulevées précédemment par l'utilisation du principe de jauge ou de tonnage dans notre étude il nous a paru intéressant de faire figurer dans nos analyses les résultats obtenus par l'application de certaines formules de jauge en usage au XVIIIème s. à nos restitutions. Le but étant ici de percevoir dans quelle mesure ces formules s'avèrent applicables aux navires de commerce antiques et voir comment des coefficients rectificateurs peuvent éventuellement s'adapter à différents type de carènes[94]. Par ailleurs nous voulions aussi tenter de traduire aussi, dans la mesure du possible, ce que pouvait être la jauge romaine de certaines de nos restitutions afin de les inscrire plus nettement au sein des corpus de tonnages qui nous sont connus au travers des sources textuelles et épigraphiques.

- Les formules de jauge de l'ancien régime :

Concernant les formules de jauge de l'ancien régime, deux d'entre-elles étaient susceptibles de pouvoir nous intéresser. Il s'agit d'une part de la formule issue de l'ordonnance de Colbert prononcée en 1681. Elle permet de calculer le port en lourd du navire en tonneaux dont le poids est de 2000 livres, soit 979 kilogrammes. La formule s'exprime ainsi :

$$\frac{\text{Largeur} * \text{Longueur} * \text{Creux}}{100} = \text{Port en tonneaux de 2000 livres}$$

Les distances sont ici mesurées de la manière suivante : pour la longueur, de « tête en tête », de la perpendiculaire à l'étambot jusqu'à la perpendiculaire à l'étrave ; pour la largeur, ce sera la largeur au maître couple, sans prendre en compte le bordé ; enfin pour le creux, du

[94] Pomey, 2009, p. 60-64.

dessus de la quille jusqu'au bau du premier pont. Notons que les mesures doivent se faire dans une unité bien particulière, ici en pied de France, ou pied du Roy (environ 32,5 cm).

La seconde nous vient de l'architecte naval français, Pierre Morineau en 1750[95], qui nous donne un aperçu des variations que l'on peut opérer à partir de ces formules, en fonction des formes de carène étudiées, et du volume que l'on désire calculer :

« Leur longueur en dehors de l'étrave à l'étambot sera multipliée par la largeur au maître-bau en dehors des membrures. Le produit sera multiplié par la moitié de la ditte largeur, considérée comme équivalente au creux à cet endroit. Le produit sera divisé par 90 pour les vaisseaux à fond plein et par 100 à ceux qui les auront un peu amaigris. Le quotient de la division sera le nombre de tonneaux de port en poids duquel ostant le quart, les trois-quarts restant seront celuy du port en encombrement dans les fonds de cale »

Ce qui nous donne, si on pose la formule :

- $\frac{\text{Longueur} * \text{Largeur} * \frac{1}{2}\text{Largeur}}{100} = \text{Port en tonneaux de 2000 livres}$
- le résultat peut alors être multiplié par $\frac{3}{4}$ pour obtenir le tonnage en tonneaux d'ordonnance de 1,44 m3

Les mesures doivent, encore ici, être exprimées en pieds du Roy (soit 0,235 m) afin que le résultat, exprimé quant à lui en tonneaux d'ordonnance de 1,44 m^3, s'avère exact. La conversion en tonnes s'effectue par le biais de deux équivalences : les ¾ de la jauge mesurée en tonneaux d'ordonnance correspondant au port en lourd mesuré en tonnes de deux mille livres, ce qui équivaut environ à 979 Kg.

Nous avons donc soumis chacune de nos hypothèses de restitution à chacune de ces formules. Dans le premier cas, il s'agissait de comparer le résultat obtenu avec le port en lourd théorique. Dans le second, il s'agissait de trouver quelle était le diviseur permettant de se rapprocher le plus du résultat obtenu avec le port en lourd théorique.

[95] P. Morineau, 1750.

2.4.2. Analyses hydrostatiques et de la stabilité intacte :

Au-delà des simples considérations sur le tonnage, le port en lourd et le déplacement, il nous a semblé qu'une analyse plus rigoureuse et plus détaillée, rendue possible par l'utilisation d'outils destinés originalement à l'architecte naval, de nos hypothèses de restitution sous l'angle de leurs caractéristiques physiques, devait logiquement nous permettre de mettre en lumière des particularités jusqu'alors ignorées du navire originel. A partir de nos modèles virtuels il est en effet possible de mesurer, entre autres, l'importance et la répartition des masses, la forme du flotteur et celle des œuvres mortes. Or ce sont bien là autant d'éléments qui permettent de définir sommairement le comportement à la mer d'un navire et sa capacité à accomplir une tâche donnée.

2.4.2.1. Rappel des principes physiques généraux et présentation des méthodes d'analyse sélectionnées :

Dans le cadre d'une analyse physique, le cas d'un navire sous voile se révèle un système de forces et de moments relativement complexes dont il est difficile de saisir toutes les nuances. Historiquement, si Archimède avait déjà posé les bases d'une réflexion dans sa *Théorie des corps flottants*[96], il faut attendre le XVIIème s. pour qu'un début de projection scientifique s'établisse dans la conception des carènes et seulement la deuxième moitié du XIXème s. pour que les différentes solutions de simulations (d'abord dans les bassins de carène, puis par le biais de l'informatique et en tunnel de soufflerie) permettent aux architectes navals et aux ingénieurs de se munir d'outils assez performants, leur permettant de mesurer à l'avance et avec une bonne précision les futures performances de leurs projets. Dans le domaine de l'archéologie navale, l'application de ces méthodes de simulation et de ces instruments demeure encore très restreinte, étant donné le coup financier généralement très élevé de ce type d'analyse[97]. Notre travail ne faisant pas exception, il nous était difficile de projeter financièrement et techniquement de telles études. C'est pourquoi nous avons privilégié une approche plus sommaire du système navire, en nous intéressant essentiellement à l'hydrostatique de nos restitutions et en particulier à leur stabilité transversale, tout en

[96] Pomey, Tchernia, 2006, p. 81-99 ; Pomey, Tchernia, 2005, p. 228-232 ; Zevi, 2001, p.95-114.
[97] On pense notamment aux travaux pratiqués par une équipe allemande sur les cogues hanséatiques (Brandt, Hochkirch, 1995), de F. Castro sur l'épave du *Pepper Wreck* (Castro, 2005, p. 112-124 ; Santos, Fonseca, Castro, 2005 ; Santos, Fonseca, Castro, 2007) ou encore de V. Bischoff sur le drakkar d'Oseberg (Bischoff, 2012 [à paraître]).

délaissant la plupart du temps les questions plus complexes de l'aérodynamique et de l'hydrodynamique.

L'étude hydrostatique et de stabilité du navire va se consacrer à analyser dans leur position initiale et à la gîte plusieurs éléments caractéristiques du navire : d'une part la forme de la partie immergée de la carène, la position du centre de gravité, la position du centre de carène et la disposition respective de ces deux centres en fonction de l'inclinaison du navire. L'avantage de cette méthode réside tout à la fois dans la possibilité technique de mener nous-même ces différentes analyses mais aussi dans le fait que celles-ci permettent de décrire dans les grandes lignes les qualités nautiques basiques du navire[98]. En nous intéressant à la stabilité du navire dans diverses conditions de chargement, on va pouvoir de cette manière évaluer la raideur à la toile du navire, soit sa capacité à porter plus ou moins de voilure et sa surface mouillée, qui va conditionner ses vitesses et sa facilité de déplacement dans les petits airs. Au final, cela nous permet de grossièrement décrire un cadre raisonnable d'évolution de nos restitutions en termes de force de vent et d'état de la mer.

- Stabilité transversale intacte : la courbe des bras de levier et la courbe des moments inclinants.

Lorsqu'il est immobile, le navire est soumis à deux forces : son poids, appliqué en son centre de gravité et dirigé vers le bas, et la poussée d'Archimède[99], appliquée en son centre de carène[100] et dirigée vers le haut. Afin que le navire se retrouve en condition d'équilibre statique, ces deux forces doivent être d'égale grandeur et leurs points d'application respectifs doivent se trouver alignés à la fois dans un plan transversal et dans un plan longitudinal. L'étude des formes de la carène ainsi que la disposition des masses vont donc contribuer à définir à la fois l'enfoncement (afin que la poussée d'Archimède devienne équivalente au poids total du navire), l'assiette et la gîte dans une position initiale (jusqu'à ce que centre de gravité et centre de carène soient alignés).

Partant de cette position, si le navire est soumis à une force qui tend à l'écarter de cet équilibre (l'effet du vent dans les voiles par exemple pour un navire à voile), le flotteur va prendre une inclinaison qui va entrainer un déplacement du centre de carène vers le bord

[98] Comme le note R. Frances : « *La statique du navire ne recours jamais à de hautes théories mathématiques. Elle fait surtout appel au bon sens et s'efforce d'attirer l'attention sur un certain nombre de points que ni le constructeur ni le marin ne peuvent se permettre d'ignorer sans faire courir au navire des risques sérieux.*» (Frances, 1977).

[99] Rappelons que la poussée d'Archimède qui s'applique à un corps immergé, complétement ou partiellement, dans un fluide dépend à la fois du volume de fluide déplacé ainsi que de la densité de ce même fluide.

[100] Le navire peut être considéré comme un flotteur, dont le volume qui est partiellement immergé est baptisé carène. Le centre de ce volume est le centre de carène.

incliné, et par conséquent du point d'application de la poussée d'Archimède. Cette dernière et le poids du navire forment alors un couple (forces parallèles d'égale intensité et de direction opposée) qui est caractérisé par son moment (égal au produit du poids du navire par le « bras de levier » formé par la distante latérale entre les deux points) qui est exprimé en Newtons par mètres (N.m). Selon les positions respectives du centre de carène et du centre de gravité, ce moment peut amener au redressement du navire, le ramenant dans sa position d'équilibre statique[101], ou au contraire à son retournement et à son chavirage[102]. La stabilité transversale d'un navire est donc intrinsèquement dépendante de deux facteurs : la répartition des poids du navire qui vont influencer la position en hauteur du centre de gravité, et la forme, notamment la largeur, de la carène qui va, quant à elle, influencer le déplacement latéral du centre de carène à la gîte. On distingue ainsi une stabilité de poids et une stabilité de forme.

Afin d'analyser la stabilité de nos restitutions, nous avons mesuré pour chaque degré[103] d'inclinaison la longueur du bras de levier (noté Gz) et nous l'avons reporté en ordonnée sur un graphique ou sont figurés en abscisse les angles de gîte : l'ensemble des données formant la courbe des bras de levier de redressement. La surface entière inscrite sous cette courbe représente la totalité de la capacité redressante du navire. Toutefois, il convient de souligner que le bras de levier ne traduit pas tout à fait la résistance du navire à l'inclinaison. Ce qui importe, c'est le moment : (déplacement*bras de levier). A bras de levier égaux, dans deux cas de figure, c'est le navire le plus léger qui est le moins stable[104]. C'est pourquoi, à partir de ce premier graphique, nous avons généré celui représentant la courbe des moments de redressement (résultat du produit entre le déplacement, exprimé en Kg, le bras de levier Gz, exprimé en m et *g*, constante équivalente à 9,81) dont les résultats sont eux aussi placés en ordonnée.

2.4.2.2. Estimation de la raideur à la toile :

Le principe de base de nos analyses repose sur une simple comparaison, pour une configuration de chargement donnée, entre le moment de redressement transversal, généré à la

[101] A la gîte, si le centre de carène se déplace plus loin vers le bord incliné que la verticale passant par le centre de gravité, le couple est redressant et le navire va avoir tendance à revenir dans sa position initiale.
[102] Si au contraire, toujours à la gîte, le centre de carène se déplace moins loin que la verticale passant par le centre de gravité, le couple formé par le poids et par la poussée d'Archimède génère alors un moment qui tend à augmenter l'inclinaison.
[103] Pour une question de commodité, nous avons limité nos analyse aux inclinaisons entre 0° et 110°. Si les inclinaisons aux grands angles peuvent être prises en compte pour certains types de navires actuels (unité auto-redressante, navires de course, etc…), il nous a semblé que cette plage d'évaluation était superflue pour des navires antiques pour lesquels les angles d'envahissement interviennent bien avant une gîte de plus de 90°. La seconde partie de la courbe des bras de levier s'avérant donc tout à fait irréaliste en ne représentant pas l'état dégradé de l'instabilité réelle du navire.
[104] Presles, Paulet, 2005, p. 315.

gîte par la forme de la carène et par la répartition des poids, et le couple inclinant engendré par la pression du vent dans la voilure. En d'autres termes, il s'agit de déterminer la raideur à la toile du navire et d'évaluer sa capacité d'évolution dans diverses conditions de vent. Notons que cette stabilité dynamique, étant le résultat d'une multitude de forces appliquées au navire, est difficile à cerner avec exactitude. De ce fait, le résultat de nos analyses n'est qu'une estimation dont l'approximation générale nous semble satisfaisante pour notre étude.

De façon pratique, il s'agit de dresser sur un même graphique les deux courbes correspondant aux deux moments des forces que nous voulons comparer. La courbe représentant le moment de stabilité, comme nous l'avons présenté précédemment, correspond au produit de la distance horizontale entre les centres de carène et de gravité (Gz, exprimé en mètres) par le déplacement (Δ, exprimé en newtons), le tout multiplié par *g*, ce qui permet de se représenter à chaque angle de gîte l'énergie de redressement du navire (exprimée en newton-mètre). En ce qui concerne la courbe du moment inclinant, la formule est beaucoup plus complexe à établir et fait nécessairement l'objet d'une simplification. Nous avons pu nous baser sur deux formules distinctes :

- La première se retrouve dans l'ouvrage dédié à l'architecture navale de D. Presles et D. Paulet et s'exprime ainsi [105]: $Mi(N.m) = As * (hCE + hLP) * (Cos\varphi) * C * \frac{\rho}{2} * vW^2$

(As désigne ici la surface de voilure en m² ; hCE la hauteur depuis la flottaison du centre vélique en m ; hLP la hauteur de la flottaison depuis le centre de carène en m ; φ l'angle de gîte en °; *C* un coefficient aérodynamique proche de 1 ; ρ la masse volumique de l'air en Kg.m^3 ; *vW* la vitesse du vent en m.s)

- La seconde est donnée par la norme française et européenne (NF EN ISO 12217-2) et s'exprime ainsi[106] : $Mi\ (N.m) = 0{,}75 * As * (hCE + hLP) * (Cos\varphi)^{1,3} * vW^2$

(As désigne ici la surface de voilure en m² ; hCE la hauteur depuis la flottaison du centre vélique en m ; hLP la hauteur de la flottaison depuis le centre de carène en m ; φ l'angle de gîte en ° ; *C* un coefficient aérodynamique proche de 1 ; ρ la masse volumique de l'air en Kg.m^3 ; *vW* la vitesse du vent en m.s).

On remarquera que les deux formules sont relativement proches[107]. Elles désignent, en fonction de la gîte et de la force du vent, le couple chavirant, qui s'exprime en newton-mètre,

[105] Presles, Paulet, 2005, p. 316.
[106] NF EN ISO 12217-2, Août 2002, p. 22.

émanant du bras de levier entre le centre de voilure et le centre de carène. Nous avons jugé la seconde plus restrictive, c'est pourquoi nous l'avons choisie pour effectuer notre comparaison.

Les deux courbes représentant toutes deux des moments de forces s'exprimant en newton-mètre, il nous est donc possible de juger de la stabilité dynamique du navire en les faisant figurer sur un même graphique. L'aire contenue entre la courbe du moment de redressement et l'axe des abscisses rend compte de l'énergie redressante tandis que celle contenue entre la courbe du moment inclinant et l'axe des abscisses témoigne de l'énergie de chavirement résultant du souffle du vent dans les voiles. C'est en comparant ces différentes aires que l'on va pouvoir juger de la stabilité de notre navire pour une condition de vent donnée. Dans les premiers angles de gîte, l'aire contenue entre les deux courbes (que l'on désignera α par la suite et sur nos graphiques) représente l'énergie inclinante générée par le vent qui n'a pas encore été absorbée, pour ainsi dire, par l'énergie stabilisante du navire. C'est uniquement lorsque l'aire contenue entre les deux courbes (désignée β dans nos graphiques) présente la même surface que α, après que celles-ci se soient croisées, que le bateau ne s'incline plus et peut éventuellement, si c'est à la suite d'une rafale, commencer à se redresser.

Dans notre cas, nous avons naturellement limité l'aire de la courbe du moment de redressement à l'angle d'envahissement, mesuré à partir des premières ouvertures situées sur le pont, diminuant de manière importante la capacité de redressement et améliorant de fait notre perception de la stabilité réelle de nos restitutions. Pour chacun des cas que nous allons présenter ici, nous avons recherché la force maximale du vent correspondant à la limite critique de redressement (afin que α soit égale à β avant d'atteindre l'angle d'envahissement[108]).

On ne peut cependant faire abstraction de l'approximation de cette méthode. Elle tient surtout à la négligence de nombreux facteurs participant au redressement ou au contraire au chavirement : résistance hydrodynamique de la coque et de ses appendices à la rotation ; influence positive ou négative sur la stabilité transversale du déplacement de l'équipage et des éventuels passagers ; faible probabilité que la voile carrée puisse se retrouver parfaitement bordée à plat et que le navire se retrouve dans de telles conditions par un fort vent de travers ; poids de l'eau embarquée sur le pont lors de fortes inclinaisons ; état de la mer ; porosité de la

[107] Cependant, deux différences sont à noter : la mise en puissance (^{1,3}) du cosinus de l'angle de gîte ; et le fait que $\frac{\rho}{2}$ plus faible que le coefficient de 0,75 étant donné que l'on peut considérer que : ρ= 1,22 et donc que $\frac{\rho}{2} = 0{,}61$.

[108] Il est cependant parfois conseillé de prendre β largement supérieur à α. Dominique Presles et Dominique Paulet préconisent un rapport d'au moins : β = ½ α (Presles, Paulet, 2005, p. 315).

voile ; etc… Même si nous pensons que la plupart de ces éléments n'ont pas une influence minime sur la stabilité transversale, étant donné qu'ils peuvent faire au final la différence entre un navire et une épave, nous pensons néanmoins que leur rôle est minoritaire, par rapport à la forme de la carène et à la répartition de la majorité des poids et que la comparaison basique du couple de stabilité transversale du navire avec la force inclinante du vent permet de produire une première analyse déjà très significative de la stabilité réelle du navire.

2.4.2.3. Restitution du gréement, de la voilure en fonction de la surface mouillée et de la stabilité :

Il est nécessaire d'insister sur l'influence de la restitution du mât, de la vergue et de la voilure sur l'analyse de la raideur à la toile. Le résultat étant lié étroitement aux dimensions de la voile, à la hauteur du centre de voilure et au centre de gravité du mat et de la vergue, celui-ci est donc fortement soumis à la validité des hypothèses de restitution d'abord posées. Or nous verrons que la restitution du gréement se révèle, pour les navires antiques, comme l'une des tâches les plus hypothétiques qui soit, puisqu'en effet, les moyennes tirées de l'iconographie s'avèrent très amples et peu précises, ce qui ne permet pas d'établir des rapports de proportions forcément pertinents.

Afin de palier cette imprécision, nous avons fait le choix de reposer notre réflexion et de valider nos hypothèses de restitution de la voilure, sur le rapport entre la surface mouillée et la surface de voilure. Dans la marine traditionnelle en bois, ce ratio s'établit rarement en-dessous de 2 ; ceci afin d'éviter que le navire soit sous-toilé dans le petit temps et qu'il soit éventuellement drossé à la côte[109].

La résistance à l'avancement d'un navire se décompose, en effet, en trois résistances distinctes : résistance de frottement (ou visqueuse), résistance de remous et résistance de vague (ou résiduaire). Dans le cas de navires lents, ou à faible vitesse, la résistance de frottement représente aisément plus de la moitié de la résistance totale[110]. Or cette résistance provient en grande partie de l'importance de la surface mouillée, puisqu'elle s'écrit ainsi :

$$Rf = \frac{\rho}{2} * S * V^2 * Cf$$

[109] Communication personnelle de François Vivier, architecte naval, spécialisé dans la reconstruction et la rénovation d'unités traditionnelles à voile.
[110] Paulet, Presles, 2005, p. 327.

Ou l'on a : ρ, la masse spécifique du fluide (1,025 Kg.m^3 pour l'eau de mer) ; S, la surface mouillée en m² ; V, la vitesse de déplacement en m.s ; Cf, le coefficient de résistance équivalent à ($Cf = \frac{0{,}075}{(Log10Re-2)^2}$).

Les restitutions sur lesquelles nous avons été amené à travailler ici, portent toutes sur des hypothèses concernant des navires de travail dont la fonction est généralement celle du transport. Dans ce cadre, on peut considérer que les vitesses basses représentent une importante part de leur utilisation normale[111]: il s'agit la plupart du temps de pouvoir évoluer dans des vitesses de vent faibles à moyennes qui permettent de naviguer aisément sous différentes allures. Dans ce cadre, la résistance à l'avancement de nos navires provient donc essentiellement de la résistance de frottement : l'importance de la surface mouillée, et le rapport de grandeur qui s'établit entre cette dernière et la surface de voilure, véritable puissance motrice du navire, est donc alors à considérer avec précaution. Nous avons ainsi recherché, dans le dressement de nos hypothèses, à nous rapprocher à partir des restitutions constituées sur la base de comparaisons iconographiques, d'un rapport de 2 ($\frac{Surf.voilure}{Surf.mouillée}$ =2), ce qui nous paraissait être un bon compromis de fonctionnement. Toutefois, dans certains cas, l'importance des surfaces mouillées aurait amené, selon ce principe, à la restitution d'une surface de voilure considérable qui nous paraissait difficilement opérable étant donné que celle-ci s'accompagnait d'une telle dégradation de la stabilité transversale (provenant entre autres de l'augmentation de la taille des espars, par le rehaussement du centre de gravité et du centre de voilure,…) que la plage d'utilisation, en terme de vitesse de vent, était dès lors réduite à néant.

2.4.2.4. Application à l'archéologie : recherche des programmes et des espaces de navigation

Les bases de l'hypothèse de restitution, soit l'interprétation archéologique première des vestiges, proposent naturellement une ou plusieurs pistes en ce qui concerne la fonction du navire et son mode d'utilisation. Cela permet dans la plupart des cas d'interpréter avec assez de précision l'espace de navigation originel ainsi que le programme du navire.

Le travail mené dans la compréhension du comportement à la mer du navire à travers l'analyse hydrostatique et de stabilité des restitutions, ne s'avère selon nous que comme un

[111] Il n'est pas dans notre intention de distinguer la limite entre rapidité et lenteur pour nos restitutions. On peut toutefois se baser sur la formule suivante : ($V/\sqrt{g * L}$)

moyen de vérifier la validité de cette première interprétation, en y apportant, le cas échéant, quelques précisions ou quelques nuances. Pour que cette vérification soit effective, il nous fallait donc fondamentalement relier nos résultats sur l'hydrostatique et la stabilité aux spécificités géographiques du milieu de navigation envisagé : vents dominants, état moyen de la mer, courantologie, etc…

Heureusement pour nous, le milieu méditerranéen tel que nous le connaissons aujourd'hui présente un profil qui ne semble pas avoir vraiment connu de grandes variations depuis les périodes qui nous intéressent[112]. Il nous était donc permis d'utiliser, pour chaque étude, des données statistiques modernes sur l'état moyen de la mer et sur la vitesse des vents pour la zone ainsi que pour la période qui nous intéresse. A l'échelle des grands bassins de la Méditerranée, le recours à un atlas général des vents nous a semblé suffire[113]. En ce qui concerne les espaces plus restreints, le recours à des statistiques plus localisées s'est avéré tout à fait nécessaire afin de pouvoir prendre en compte les spécificités de vent provenant des reliefs environnants et de mer en fonction du caractère abrité de la zone de navigation considérée[114]. Les diverses interprétations que peuvent générer de telles données, par exemple sur les routes possibles et préférentielles ou bien encore sur la possibilité statistique de rencontrer des conditions favorables, peu ou moyennement ventées, permettent d'effectuer une analyse rétrospective de l'hypothèse de restitution proposée premièrement et de juger effectivement de son adaptation à l'espace de navigation.

Si bien évidemment, les résultats mis en avant aux termes de l'étude hydrostatique et de stabilité peuvent amener à reconsidérer la validité de certains points de restitution (notamment en ce qui concerne les configurations de chargement, ainsi que sur le gréement), il ne s'agit pas cependant de devoir optimiser à tout prix la restitution en fonction de la stabilité mesurée et des spécificités de l'espace de navigation[115]. Cette attitude déterministe et moderniste s'avère totalement dénuée de sens. De plus, au-delà du fait que celle-ci ne nous renseigne en rien, elle peut aussi parfois même provoquer la remise en cause d'hypothèses de

[112] Arnaud, 2005, p. 15.
[113] Nous nous sommes basés essentiellement sur deux ouvrages de compilations : l'*Atlas of pilot charts* de l'Atlantique nord et de la Méditerranée, produit en 2002 par l'agence nationale d'imagerie et de cartographie (NIMA) des États-Unis d'Amérique ; et le *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea*, réalisé en 2004 par une association d'agences météorologique européennes, telles que Météo-France pour la France.
[114] Ces données nous ont été fournies par le site http://www.windfinder.com (consulté le : 25/06/2012) qui compile les données de vent mesurées par diverses stations météos. Les statistiques couvrent, pour la plupart des points, une période de douze années (d'octobre 2000 jusqu'à aujourd'hui) ce qui permet de former un échantillon représentatif assez important pour pouvoir considérer les moyennes obtenues comme relativement fiables.
[115] Comme ce qui a pu être proposé par exemple pour la construction de l'hypothèse flottante d'un navire pharaonique, *Min of the Desert*, dont les formes de carène, basées sur les vestiges du navire de Dachour et sur le bas-relief d'Hatshepsout, ont été modifiées afin d'obtenir une solution suffisamment stable selon des critères actuels (Ward, Couser, Vosmer, 2008, p. 122-128).

restitution posées de manière objective, sur la base de comparaisons archéologiques ou iconographiques justifiées.

A l'inverse, même si nos analyses se fondent sur l'*a priori* logique qui veut qu'un navire soit conçu de manière adaptée à son milieu et à son utilisation, l'apparition d'incongruités dans nos résultats hydrostatiques ou de stabilité doit, quoi qu'il en soit, être acceptée comme une éventualité dont il faudra tenter de saisir la raison. En guise d'exemple, au sein d'une multitude d'explications valides à ces phénomènes inattendus, on pourra ainsi avancer l'éventualité d'un mauvais usage ou de l'inadaptation ponctuelle d'un navire à une fonction ou à un environnement. Une note du Journal Officiel du 27 Octobre 1873 illustre bien le propos auquel nous souscrivons ici pour les périodes anciennes :

« La moitié environ [des naufrages] est représentée par les bâtiments innavigables surchargés et mal conditionnés […].»[116]

On notera toutefois, que dans le cadre de notre présent travail, que seule l'épave *Dramont E* ainsi que la restitution que nous en proposons sont soumises à un tel examen critique. L'éventualité d'une remise en cause profonde de l'hypothèse de restitution par la comparaison des données hydrostatiques et de l'analyse de l'espace de navigation, nous paraissant généralement peu probable même si elle doit bien évidemment être considérée.

[116] Journal Officiel du 27 Octobre 1873, p. 6576, 3e Colonne.

2.5. Choix des outils :

Nous ne reviendrons pas ici en détail sur différents outils que nous avons utilisés et qui sont aujourd'hui passés dans le bagage technique courant de l'archéologue et qui ne nécessitent donc pas de présentation particulière (traitement de texte, outils de PAO, logiciels de dessin vectoriel, etc…). Il nous a cependant paru utile de revenir brièvement sur le choix d'utilisation du logiciel de conception 3D que nous avons finalement utilisé. A l'heure actuelle, l'offre correspondant aux logiciels destinés à la conception assistée par ordinateur (CAO) en trois dimensions est relativement fournie et les nuances de fonction et de complexité sont relativement marquées entre les divers produits. A notre niveau, l'idéal était donc la sélection d'un outil qui soit assez développé tout en demeurant accessible et qui puisse se révéler compatible et complémentaire avec nos outils d'illustration. Le logiciel *Rhinocéros3D*™ répondait à toutes ces exigences et représentait par ailleurs le meilleur compromis entre ses capacités et sa facilité de prise en main. Développé par Robert McNeel & Associates, *Rhinocéros3D*™ sert essentiellement à concevoir des formes complexes en volume. Il est particulièrement utilisé dans l'industrie marine puisqu'il est mis en œuvre par nombre de cabinets d'architecture navale, notamment dans les phases initiales de développement (avant-projet et projet). Le choix de ce logiciel s'est vu d'autant plus renforcé que celui-ci était déjà activement utilisé dans des études d'archéologie navale depuis quelques années et qu'il avait prouvé qu'il s'adaptait parfaitement à ce type de recherche[117]. L'atout principal de ce logiciel provient de la bonne compatibilité de formats avec les logiciels *Illustrator*™ et *Acrobat*™ que nous utilisons principalement dans les phases de dessin 2D, ce qui nous a permis de produire rapidement et facilement une abondante documentation bidimensionnelle mais aussi des modèles tridimensionnels au format *.pdf* qui sont consultables sur la grande majorité des ordinateurs et que nous associons à nos volumes de textes et de planches sur des CD liés à ces volumes.

Concernant les analyses hydrostatiques et de stabilité, le choix était là aussi assez varié mais l'existence de plugins dédiés à l'architecture navale[118], directement intégrés dans

[117] On le retrouve utilisé dans divers contexte de recherche en archéologie navale depuis le début des années 2000. Un groupe de travail et de réflexion s'est d'ailleurs bâti autour de l'utilisation de ce logiciel en archéologie navale : FRAUG (*Faro and Rhino Archaeological User Group*) dont la direction a longtemps été dévolue à Fred Hocker, directeur de recherche au musée du *Wasa* de Stockholm. Dernièrement, la généralisation des relevés tridimensionnels effectués par palpage, à l'aide d'un bras de relevé *Faro*© par exemple, ont eu tendance à renforcer l'utilisation de ce logiciel en archéologie navale. Ce fut notamment le cas sur le chantier de Yenikapi (2007-2009), de Newport (2002) ou encore dernièrement celui du chaland gallo-romain *Arles-Rhône 3* (2011) à Arles. (Voir aussi : Fraga, 2004, p. 601-602).

[118] Un plugin est un micro-logiciel, ou module, à part entière, que l'on adjoint à un logiciel pour en augmenter les fonctionnalités.

Rhinocéros3D™, nous a naturellement dirigés vers ceux-là. Notre choix s'est ainsi porté sur l'un deux *Orca3D*™ qui permet d'effectuer l'ensemble des calculs hydrostatiques ainsi que les évaluations de stabilité directement dans *Rhinocéros3D*™[119]. On notera cependant que nous avons repris, à travers un logiciel d'illustration, les graphiques générés par ce logiciel afin de les rendre plus commodes à la lecture et de les traduire en français.

[119] Nous avions au-départ, aussi eu recours au logiciel *MAAT-Circé*, sur lequel avait été produit une première analyse hydrostatique et de stabilité de la *Madrague de Giens*, de la part de P. Pomey et M. Pommellet, directeur de *Sistre International* qui développe ce logiciel. On peut voir une vue du modèle virtuel utilisé à cette occasion dans une publication récente de P. Pomey (Pomey, 2011, p. 49, fig.3.9).

2.6. Modèles virtuels : avantages et inconvénients

Au cours de notre travail, l'usage intensif de l'informatique nous a permis de mettre en lumière divers aspects de cette technologie lorsque celle-ci était mise au service de l'archéologie navale. Si les nombreuses qualités de cet outil se sont révélées souvent précieuses et ont permis de percevoir certains problèmes sous un jour nouveau, il n'en demeure pas moins que d'importants défauts demeurent aussi présents. Il nous a semblé intéressant de revenir ici sur ces différents points étant donné qu'ils ont très souvent influé sur certains choix de méthode et de présentation de notre travail.

2.6.1. Facteurs positifs :

Si l'on devait résumer l'ensemble des avantages présentés par un traitement informatique dans le cadre d'une étude de restitution en archéologie navale, c'est très certainement les facilités de visualisation, de duplication, de modification et de calcul qui ont modifié en profondeur la méthode de travail.

Nous avons déjà souligné dans la partie concernant la gestion des sources comment on pouvait faire figurer sur un même modèle virtuel des calques correspondant aux niveaux originaux des vestiges ainsi que les niveaux de restitution afin de pouvoir apprécier les déformations autant que les continuités. Pouvoir bénéficier dans cette démarche de restitution d'une vision combinée et tridimensionnelle de l'élément original et de la proposition finale est sans nul doute une formidable avancée que l'on pourrait comparer à une superposition des maquettes des vestiges et des maquettes de restitution, ce qui s'avère techniquement irréalisable dans la réalité. La faculté de l'outil informatique à mettre, sur le même plan, différents niveaux de données et d'en extraire des visions brutes permet de vérifier en permanence, à chaque stade de la restitution, la validité d'une proposition en fonction des données originales, voire de comparer deux propositions de façon simultanée. Dans ce contexte, le modèle d'étude virtuel permet en particulier de juger plus facilement, dans un espace en trois dimensions, de la position des courbes, des volumes et des éventuels défauts d'une proposition de restitution.

A cela, on peut associer la faculté des outils informatiques à effectuer des allers retours rapides entre le modèle 3D et des plans en 2D : les impressions visuelles aperçues sur le modèle peuvent alors être quantifiées et modifiées en conséquence en fonction des choix de

restitution et en tenant compte des données mesurées sur les plans 2D générés. Plus communément, la duplication de vues ou du modèle entier, permet la création d'une quantité de documentation en 2D qu'il serait particulièrement fastidieux de rassembler et surtout d'actualiser manuellement en fonction des modifications apportées à l'hypothèse de restitution à travers le modèle 3D. C'est d'ailleurs cette faculté de modification et de multiplication des hypothèses que nous donne l'informatique qui va se révéler comme un autre atout majeur de cet outil.

Si notre but ne sera pas ici de présenter l'ensemble des détours empruntés lors des différentes recherches de restitution que nous avons menées, on soulignera cependant que le résultat final ici présenté s'avère très souvent être une énième version de l'hypothèse de restitution présentée précédemment sous des formes variées, plus ou moins éloignées du modèle présenté. Dans la plupart des cas, les versions antérieures, que l'on omettra généralement de présenter, se révèlent aussi complètes que le modèle final. La reprise de certains éléments dans le nouveau modèle et le développement de nouvelles hypothèses s'avèrent être des éventualités rapides et commodes, beaucoup moins chronophages que la multiplication de maquettes de restitution qui se voudraient aussi développées.

Enfin, en ce qui concerne plus particulièrement les études hydrostatiques et sur la stabilité transversale des diverses hypothèses de restitution, la capacité de calcul de l'outil informatique ainsi que sa précision ont permis, dans les ultimes étapes de nos recherches, de multiplier les configurations à analyser afin de dresser un portrait plus précis des qualités nautiques du navire et des éventuelles conditions de chargement que celui-ci avait pu connaitre. Les divers résultats concernant l'hydrostatique et la stabilité d'une hypothèse n'auraient pu être obtenus manuellement qu'au prix d'un laborieux travail de calcul, ce qui en aurait nécessairement réduit le nombre de façon considérable. Les logiciels dédiés à l'architecture navale dont nous nous sommes servis remplissent cet office rapidement, de manière automatique et avec une précision sans égale avec celle obtenue manuellement.

2.6.2. Facteurs négatifs et d'imprécision :

Malgré d'indéniables qualités, les éléments qui tendent à mitiger l'importance de l'outil informatique dans une démarche telle que la nôtre sont assez nombreux, de natures variées et semblent pour certains revêtir une importance qui ne peut être négligée.

2.6.2.1. Apprentissage et niveau de précision :

Au-delà de ces questions sur l'exploitation du travail de restitution à long terme, nous avons rencontré des problèmes plus propres à l'utilisation d'une technologie nouvelle dans un domaine tel que l'archéologie. Notre volonté était de considérer le logiciel de CAO comme un outil à part entière de l'archéologue, que celui-ci est donc censé maitriser. Nous voulions éviter autant que possible d'être tributaire d'une collaboration extérieure ponctuelle qui prendrait fin au terme du projet. Le risque étant de produire un modèle très complexe qui pourrait totalement échapper à la maitrise de l'archéologue, rendant difficile sa manipulation et sa modification. Cependant, cette volonté s'est accompagnée d'un développement délicat de notre niveau de qualification dans le maniement de ces outils et l'on peut aujourd'hui encore regretter un déficit de compétences techniques qui s'est traduit au début par des compromis dans le degré de précision atteint par notre méthode. L'exemple même étant la différence de niveau atteint entre le modèle de restitution de *Dramont E* effectuée durant notre master 2 et celui présenté dans le présent travail[120].

2.6.2.2. Archivage et conservation :

Au premier rang des inconvénients de l'utilisation de ces outils se trouve la question de l'accessibilité et de l'archivage de ce type de support. Si le problème se pose rarement au moment de la réalisation, tous les éléments étant rassemblés pour garantir une bonne production et une bonne exploitation du travail réalisé, il faut cependant bien se questionner sur la préservation des moyens humains et techniques qui pourront permettre, dans un avenir proche, l'étude et la reprise de tels travaux. En premier lieu, l'évolution technologique en matière d'informatique est assez rapide pour considérer comme potentiellement précoce, soit moins d'une dizaine d'années, l'obsolescence d'un logiciel ou d'un format de fichier. Dans ce contexte, les outils de CAO et d'infographie 3D ne font pas exception et les exemples d'abandons de formats et l'impossibilité d'exploiter d'anciennes sources sont devenus des problèmes que l'on ne peut plus éluder. Dans notre cas, nous avons pris diverses mesures afin de palier à une éventuelle impossibilité de travailler le fichier natif sur lequel a été produit le modèle : d'une part l'exportation de notre modèle dans une quantité de différents formats pouvant être opérée dans la majorité des logiciels disponibles sur le marché, permet de

[120] Poveda, 2008 (consultable en ligne : http://www.mmsh.univ-aix.fr/ecoledoctorale/trjca/poveda.htm; consulté le 14/09/2012 ; Poveda, 2012 [à paraître]).

garantir au maximum, à l'heure actuelle, la possible exploitation des fichiers dans le futur[121]. A cela vient s'ajouter un stockage des copies des fichiers originaux sur diverses plateformes de stockage aussi bien locales, que dématérialisées sur internet, ce qui doit permettre leur conservation dans le temps. D'autre part, nous avons aussi fait le choix de produire, à partir du modèle 3D, une très grande quantité de documents en deux dimensions (plans, coupes, axonométries et perspectives) et d'en assurer l'impression. Cela présentant par ailleurs l'avantage de laisser, aujourd'hui et dans l'avenir, un libre accès aux données et aux propositions faites dans notre restitution aux personnes ne disposant pas du matériel ou des compétences nécessaires pour exploiter et analyser le modèle tridimensionnel directement.

2.6.2.3. Virtualité et réalité :

Enfin, on ne peut manquer de souligner la différence fondamentale qui demeure entre modèle virtuel et un modèle réduit en bois. Nous avons vu que l'outil informatique s'adapte bien à une recherche en archéologie navale dans le cadre d'une restitution, cependant, malgré toutes les qualités des logiciels de CAO, il nous semble encore présomptueux aujourd'hui de prétendre à un complet remplacement des méthodes traditionnelles d'analyse et en particulier de la maquette finale de restitution. C'est notamment dans la prise en compte des caractéristiques physiques des matériaux et dans l'estimation de la faisabilité des ensemble architecturaux que la projection informatique ne semble toujours pas en mesure, du moins à notre niveau de compétences, de concurrencer la projection d'une maquette réelle et *a fortiori* d'une réplique à l'échelle 1[122]. Point particulier qui a ainsi pu nous faire nous interroger : le développement des virures de bordé. Il est en effet possible de vérifier qu'une virure restituée est bien développable. Cependant, la marge qui existe entre la courbure d'une surface virtuelle et la mise en œuvre d'une courbure similaire dans un bordé de bois nous paraît difficile à apprécier. Il nous semble que le modèle virtuel donne à voir des situations souvent idéales qui ne correspondent pas forcément avec la réalité des solutions techniques. Un autre exemple nous paraît aussi symptomatique des limites de la modélisation numérique : elle concerne

[121] Solution par ailleurs préconisée par les membres du groupe FRAUG (Faro and Rhino Archaeological User Group) très impliqués dans la recherche en archéologie maritime dans l'espace nordique et atlantique. Les formats que nous avons sélectionnés sont les suivants : .obj ; .dxf ; .dwg ; .iges ; .pdf (3D).

[122] A ce jour, il nous semble que seuls de très rares logiciels de CAO sont à même de projeter ce type d'analyse (*CATIA* de Dassault System ou encore *Solidworks*). Il s'agit cependant là de programme plus complexes, destinés à de l'ingénierie dans le domaine des hautes technologies, qui s'avèrent à l'usage trop complexe dans leur utilisation pour le simple archéologue. Ils sont toutefois mis en œuvre avec succès sur des chantiers archéologiques, mais ce sont dans ces cas-là des ingénieurs qui font usage de ces outils en collaboration avec les archéologues (voir le site consacré à la mise en valeur des sites du plateau de Gizeh, développé par Dassault System en collaboration avec l'université d'Harvard et le *Museum of Fine Arts* de Boston : http://giza3d.3ds.com ; consulté le 11/05/2012).

l'appréciation sur le comportement structurel de la restitution en situation de navigation. De nombreux essais ont ainsi démontré que la flexibilité en navigation d'un navire construit sur bordé premier s'avérait être l'une des données principales à explorer dans une phase d'expérimentation[123]. Or, il est aujourd'hui impossible de tenir compte dans un modèle de simulation de l'ensemble des résistances et du comportement de tous les matériaux formant le navire. La simple étude d'une déformation uniforme, et donc bien éloignée des contraintes réelles de la navigation, appliquée à un bordé dont l'assemblage est constitué d'une multitude de liaisons à tenons et mortaises, représente déjà un défi technique difficile à établir et dont la pertinence reste à démontrer. C'est essentiellement pour cette raison que nous avons limité nos évaluations hydrostatiques et de stabilité aux données les plus basiques et surtout que nous proposons de seulement les considérer comme des ordres de grandeur représentatifs.

En forme de conclusion sur ce point précis, il nous semble raisonnable de bien rappeler le fait que l'outil informatique ne représente donc pas un outil exhaustif et suffisant dans une étude de restitution en archéologie navale. Certaines étapes du travail échappent encore selon nous à la maitrise des outils informatiques. Cependant, si un travail de modélisme ou des étapes à la planche à dessin ont encore une réelle justification, il faut aussi considérer que l'outil informatique et la modélisation virtuelle rentrent aujourd'hui indéniablement dans le domaine des technologies dont on ne peut plus faire l'économie dans une étude de ce type. L'adaptation de ce nouvel outil à des méthodes de travail précédemment établies, et sa complémentarité avec d'autres techniques d'étude qu'il faut associer avec tous ses avantages en termes de capacité de projection et d'analyse, en font un outil indispensable dont l'absence entrainerait sans nul doute une dégradation qualitative de l'analyse archéologique.

[123] Cette constatation fut particulièrement explicite lors des navigations expérimentales de la réplique de l'épave de Kyrenia (Katzev, Katzev, Tzalas, 1987, p. 12 et 14) ; Elle est aussi particulièrement observée sur les différentes répliques de navires viking : Jensen, 1999, p. 109-113; Crumlin-Pedersen, 2006a, p. 3-4 ; Crumlin-Pedersen, McGrail, 2006, p. 55; Crumlin-Pedersen, 2006b, p. 64; Crumlin-Pedersen, 2008, p. 152; Johansen, 2009, p. 58-59;

Les épaves de Naples

La première des trois épaves découvertes sur le site du port romain de Naples à *Piazza Municipio*, baptisée *Napoli A*, a été mise au jour entre les mois de novembre et de décembre 2003. La seconde épave a successivement été baptisée *Napoli B*, tandis que l'on découvrait la dernière, *Napoli C*, à la fin du mois de Février 2004. Dès lors c'est une fouille stratigraphie extensive qui s'est mise en place, et ce jusqu'à la fin du mois d'aout 2004. Au sein de l'équipe archéologique rassemblée pour cette fouille, c'est Giulia Boetto[124] qui a pris la direction scientifique en ce qui concernait les trois épaves, assurant à la fois leur nettoyage, leur documentation et le cas échéant leur démontage. Les premiers résultats concernant ces trois épaves ont, par ailleurs, été largement publiés dans les années suivantes[125].

Signalons qu'au terme du chantier, l'épave B a fait l'objet d'un démontage, tandis que les deux autres embarcations ont été prélevées en un seul morceau à l'aide d'un coffrage métallique et d'un support spécial réalisé en résine de verre. Les épaves ont par la suite été immergées dans de l'eau douce, et sont actuellement conservées dans un dépôt de la Surintendance pour les biens archéologiques de la province de Naples, Caserte et Piscinola. L'étude de restitution menée ici résulte d'un travail mené sus la direction de Giulia Boetto et réalisé en collaboration, pour sa première partie, avec Robert Roman[126].

[124] Giulia Boetto est chargée de recherche de 1ère classe (CR1) au CNRS, rattachée au Centre Camille Jullian (UMR 7299, CNRS-AMU)
[125] Boetto, 2004, p. 15-19 ; Boetto, 2005, p. 63-76 ; Boetto, Carsana, Giampaola 2009, p. 457-470; Boetto, Carsana, Giampaola, 2010, p. 115-122; Allevato et al., 2010, p. 2365-2375.
[126] Robert ROMAN est Ingénieur de Recherche (IR) au CNRS, rattaché au Centre Camille Jullian (UMR 7299, CNRS-AMU).

III. *Napoli A*

3.1. Présentation..... p. 95

3.2. Remise en place des vestiges et recherche des formes..... p. 112

3.3. Reconstitution des parties conservées..... p. 134

3.4. Restitution des parties disparues..... p. 140

3.5. Evaluation de l'hypothèse de restitution de *Napoli A*..... p. 176

3.6. Conclusions..... p. 193



3. *Napoli A*

3.1. Présentation :

Lors de sa découverte, l'épave *Napoli A* était orientée selon un axe Nord-ouest/Sud-Est, et se trouvait placée parallèlement à une structure identifiée comme un possible môle ou appontement **(Fig. 1)**. Au début de la fouille seules les têtes de membrures étaient visibles et laissaient entrevoir une dégradation importante due à divers xylophages **(Fig. 2)**. Malheureusement avant que ne commence la fouille, le flanc sud-ouest de l'épave a été particulièrement dégradé par l'une des pompes d'assainissement du puits de construction, qui a perforé le bordé en en arrachant une partie conséquente **(Fig. 3)**.

3.1.1. Processus de formation de l'épave :

Napoli A, après avoir été déchargée de toute cargaison, a été abandonnée à côté du môle, très vraisemblablement à cause de son âge et de sa vétusté. Par la suite l'épave a été traversée par deux séries de pieux implantés pour former des appontements perpendiculaires au môle principal.

3.1.2. Description des vestiges :

L'épave s'est conservée sur une longueur maximale de 11,7m, 3,32 m de largeur et 0,88 m de hauteur. Elle est composée d'une quille prolongée de deux brions à ses extrémités ; de trente-quatre virures de bordé (dont vingt à bâbord et 14 à tribord) ; cent neuf éléments pour la charpenterie transversale, dont trente-cinq varangues, vingt-neuf demi-couples et quarante-quatre allonges ; une carlingue faisant office de massif d'emplanture ; quatre vaigres fixes et vingt-sept payoles mobiles. En ce qui concerne sa forme générale, la carène conservée présente une section centrale très arrondie qui s'accompagne longitudinalement d'une quille relativement arquée qui se relève de manière plus élancée vers la poupe.



Fig. 1 : Vue générale des trois épaves découvertes sur le chantier de Piazza Municipio à Naples
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS)



Fig. 2 : Vue générale de l'épave A
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS)



Fig. 3 : Vue de la partie bâbord de l'épave dégradée par le passage d'un drain.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS)



Fig. 4 : Détail de réparations sur la première préceinte à bâbord.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS)

Tab. 1 : Dimension principales de l'épave *Napoli A*.

Longueur max.	Larg. max (MC) face ext. préceinte 2	Larg. (MC) face int. préceinte 2	Hauteur max	Creux int.
11,7 m	3,32 m	3,24 m	1,08 m	0,88 m

3.1.2.1. Charpente axiale:

La quille, longue de 8 m, large entre 9,6 cm et 11 cm et haute en moyenne de 6,8 cm (les mesures s'étalant entre 4,2 cm et 12,5 cm), voit ses angles supérieurs chanfreinés afin d'accueillir les cans intérieurs des galbords **(Pl. IV)**. De nombreuses traces de dégradations y sont distinguables, dues en partie aux tarets, mais aussi à une abrasion sur sa face inférieure qui peut être imputée à des échouages, ou tirages au sec, répétés.

En ce qui concerne le brion d'étambot, il est conservé sur une longueur de 2,45 m, sur une largeur comprise entre 10 et 14,5 cm, et sur une hauteur de 13,5 cm, au niveau du couple M6. Le brion d'étrave en revanche, est conservé sur une longueur de 2,15 m, sa largeur s'établit entre 12,3 et 16,5 cm, tandis que sa hauteur passe de 7 cm, vers le couple M44, à 17 cm, au niveau du couple M52. Chacun des deux brions voit ses faces latérales affublées d'une râblure de section triangulaire et dont les dimensions sont irrégulières : de 1,5 à 4,7 cm de profondeur pour une largeur de 1,5 à 5,5 cm.

Les trois éléments de la charpente axiale sont reliés par deux écarts en trait de Jupiter, l'un au niveau du couple M10, qui est long de 31,5 cm, et un autre, plus court (22 cm), placé au niveau de M44 **(Fig. 5a)**. Ces deux assemblages sont chacun bloqués par une clé horizontale en bois, ainsi que par une broche métallique.

3.1.2.2. Le bordé:

Le bordé, simple, s'établit à franc-bord **(Pl. III)**. Les bordages sont reliés entre eux par un ensemble de clés chevillées insérées dans des mortaises percées dans les champs de chaque bordage. Ces clés sont larges en moyenne de 5,1 cm, épaisse de 0,47 cm, longues de 12 cm et viennent s'insérer dans des mortaises espacées de 7 cm environ dont les dimensions sont supérieures à celles des tenons : 6 cm de large, 0,64 d'épaisseur et 6,38 cm de profondeur. Les chevilles de blocages, espacées de 14 cm en moyenne, présentent quant à elles des diamètres externes de 0,92 cm en moyenne et des diamètres internes de 0,81 cm. En conclusion, le système d'assemblage du bordé apparaît comme très homogène et assez dense, puisque la distance entre les mortaises s'avère égale à leur largeur **(Fig. 6)**.

a) Vue de côté du trait de Jupiter





B) Vue de dessous du trait de Jupiter

c) Vue de l'extrémité supérieure de l'étrave



Fig. 5 : Différentes vues de l'état de dégradation de la charpente axiale au niveau du trait de Jupiter entre la quille et l'étrave.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS)

On note que les deux galbords sont plus larges (22/23 cm) que le reste des bordages (entre 9 et 28 cm, pour une moyenne de 16,7 cm). Tous présentent une épaisseur aux alentours de 3,2 cm. De nombreux joints obliques sont observables sur les différentes virures et certaines d'entre-elles se terminent en joints perdus vers les extrémités.

Sur tribord, seule la première préceinte est conservée, tandis qu'une deuxième préceinte est conservée à bâbord. Les deux préceintes basses, révèlent des sections en L, avec un petit gradin sur la face supérieure, haut de 1,4 cm et d'une largeur équivalente à celle du bordé **(Fig. 7)**. Leur largeur maximale est de 14 cm, tandis que leur épaisseur est de 11 à 12 cm. La préceinte haute présente des dimensions légèrement inférieures (large de 11,5 cm et épaisse de 5,5 cm) qui nous font dire qu'il s'agit d'une préceinte de transition **(Fig. 8)**.

3.1.2.3. Charpente transversale:

La charpente transversale se présente sous la forme d'une alternance couple/demi-couple aux extrémités et par une série de varangues dans son milieu (entre les couples M17 et M40) qui est seulement interrompue par un demi-couple au niveau du membre M35. Cette disposition correspond très certainement à un désir de renforcer la charpente transversale dans la zone du massif d'emplanture qui est soumis d'importantes sollicitations mécaniques **(Pl. II)**.

La maille, équivalente à la distance entre les couples, est relativement dense puisque celle-ci s'établit en moyenne à 12,26 cm (entre 6 et 17 cm) soit un tout petit peu plus que la largeur moyenne de chacun des couples (9,6 cm). Ceux-ci présentent par ailleurs une section quasiment rectangulaire, plus haute (11,3 cm en moyenne) que large (9,6 cm en moyenne), qui va en s'agrandissant en hauteur en allant vers la proue. Les demi-couples présentent des mesures plus tenues avec des hauteurs mesurées entre 6 et 12 cm pour une moyenne de 8,63 cm, et des largeurs entre 7 et 13 cm pour une moyenne de 9,43 cm. Entre les varangues M17 et M42, on observe la présence d'un unique trou d'anguiller placé sur l'axe de la quille et dont la forme est rectangulaire (larges de 4,4 cm et hauts de 3,2 cm). Vers la proue, les trous d'anguiller se doublent, présentent des formes triangulaires et se placent de part et d'autre de l'axe de quille. Vers la poupe, les varangues épousent le profil de l'étambot ce qui laisse un espace libre entre les varangues et le galbord qui fait alors office d'anguiller **(Pl. V).**

Concernant les assemblages, on note la présence de divers types de liaisons avec la quille : deux broches au niveau des traits d'assemblage brion-quille en M44 et M10 (ce dernier que l'on peut assimiler à un rivet) et des clous au niveau des membres 1, 4, 8, 40 et



Fig. 6 : Détail d'une partie du bordé tribord ou la dégradation des virures laisse apparaître le réseau d'assemblage à tenons et mortaises (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 7 : Détail d'une partie du bordé bâbord, ou l'on aperçoit les deux niveaux de préceintes conservés (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

46, clous qui sont enfoncés soit par le dessus des varangues ou bien obliquement par leurs faces latérales. Toutefois, la présence du massif d'emplanture n'a pas permis de vérifier la présence d'autres assemblages en dessous de celui-ci. Enfin, par rapport aux assemblages avec le bordé, on remarque la présence de gournables, de section tronconique, enfoncées depuis l'extérieur du bordé et dont le diamètre externe est de 1,7 à 1,9 cm. Ces gournables sont renforcées par des clous métalliques, eux aussi enfoncés depuis l'extérieur, dont les pointes se perdent dans la masse des membres **(Fig. 9).**

3.1.2.4. Charpente longitudinale interne :

La charpente longitudinale interne se compose d'une carlingue qui fait office de massif d'emplanture et d'une série de vaigres fixées par des clous à la charpente transversale, auxquelles il faut associer un ensemble de payoles mobiles **(Pl. I et Fig. 10)**.

Concernant le massif d'emplanture, placé sur l'axe de quille, celui-ci est long de 5,63 m, large de 23 m à la proue et 20,5 cm à la poupe, il est épais entre 9 et 12,5 cm **(Fig. 11)**. Sa face inférieure est entaillée de plusieurs creusements rectangulaires larges entre 8 et 13 cm, et hauts de 2,8 cm en moyenne, qui sont destinés à permettre le bon encastrement de cette carlingue sur le dos des membrures M14 à M40 **(Fig. 12)**. Il est muni de plusieurs mortaises, dont la plus grande (longue de 25,4 cm, large de 10 cm et profonde de 6 cm) est destinée à accueillir le pied de mât au niveau du couple M34 **(Fig. 13)**. De part et d'autre de cette emplanture on note deux mortaises allongées (longue de 20 cm, large de 3 cm et profonde de 1,5 cm) qui correspondent aux emplacements des flasques latérales du fourreau d'étambrai. Une mortaise située légèrement plus avant de celles-ci correspond quant à elle à la flasque antérieure du fourreau. Enfin, nettement excentrée de 15 cm vers la proue, on note une dernière mortaise, d'aspect vaguement cruciforme, longue de 21,7 cm, large de 12,7 cm au maximum et profonde de 4 à 5,8 cm, dont la fonction exacte semble peu facile à établir avec certitude.

3.1.2.5. Vaigrage :

On dénombre au total dix-neuf vaigres : dix sur tribord et neuf à bâbord **(Fig. 10)**. Cet ensemble forme huit virures, composée chacune de un ou de plusieurs bordages, répartis symétriquement de part et d'autre de l'axe de quille. Leur longueur, très variable, s'établit entre 53 cm (Fi.3Ab) et 9,82 (Fi.1Ab). Leur largeur moyenne est de 16,85 cm, pour des



Fig. 8 : Vue de détail d'une partie de la précéinte basse bâbord T9b
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 9 : Détail d'une partie du bordé tribord ou l'on aperçoit les clous de fixation de la membrure au bordé
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

mesures comprises entre 9 et 21 cm, tandis que leur épaisseur varie entre 2,4 et 5 cm, pour une moyenne de 3,46 cm. Ces vaigres fixes sont fixées régulièrement à la membrure par le biais de clous en fer disposés de manière générale en quinconce, avec cependant quelques doublages. Entre les divers bordages formant une même virure de ce vaigrage, on distingue des écarts plats, de type *scarf*, par ailleurs bloqués par deux clous horizontaux **(Fig. 14)**. Sur la face supérieure de ces bordages on observe pas moins de dix mortaises de dimensions variables et de section rectangulaire ou carrée. Quatre d'entre elles trahissent à n'en pas douter l'emplacement de la pompe de sentine aux alentours du couple M13. De la même manière trois mortaises vers le couple M35 semblent pouvoir être rattachées à des épontilles de soutien à un barrot de pont sur lequel viendrait s'appuyer le mât par le biais de l'étambrai **(Fig. 15)**. Les trois dernières ont une destination moins certaine sur laquelle nous reviendrons dans la partie traitant de la restitution des structures du pont. On notera, par ailleurs, que certaines planches présentent, sur leurs cans latéraux des traces de mortaisages et de chevillage qui semblent indiquer un réemploi de ces éléments.

A ce vaigrage fixe vient se rajouter un ensemble de 27 éléments mobiles, dix-huit sur tribord et neuf sur bâbord, assimilables à des payoles. Ces planchettes présentent des longueurs entre 21,3 cm (Pag.05t) et 92 cm (Pag.17t), pour une moyenne de 61,7 cm, une largeur moyenne de 14,3 cm et une épaisseur moyenne de 2,4 cm. Elles ne présentent aucune trace d'assemblage avec la membrure, ce qui semble indiquer que leur positionnement entre les vaigres fixes pouvait permettre leur démontage rapidement afin d'inspecter les fonds du bateau.

3.1.2.6. Les réparations antiques :

De très nombreuses réparations antiques ont pu être observées sur l'épave tant au niveau de la charpente transversale, que du bordé ou bien encore des préceintes.

Concernant les virures du bordé on distingue l'utilisation simultanée de différentes méthodes de réparation parmi les vingt-six occurrences qui ont été notées durant la fouille : on remarque ainsi des fragments directement cloués sur la membrure **(Fig. 16)**, des fragments qui présentent un série d'assemblage à tenons et mortaises uniquement sur leur bord inférieur, des fragments avec des tenons de réparation **(Fig. 17)** ou bien encore un fragment qui vient doubler par l'extérieur la zone de bordage affaiblie.

Sur les préceintes, ce sont neuf réparations qui ont pu être identifiées et qui se présentent pour la plupart sous la forme de patchs apposés sur la préceinte originale qui a



Fig. 10 : Vue d'ensemble de la charpente et des aménagements internes
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 11 : Vue d'ensemble du vaigrage et du massif d'emplanture une fois les payoles démontées
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 12 : Vue de détail de la carlingue ou l'on perçoit l'encastrement de celle-ci sur la membrure (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 13 : Vue d'ensemble des différentes mortaises pratiquées sur la face supérieure de la carlingue (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 14 : Vue de détail d'un assemblage de type *scarf*, entre Fi.1Ab et Fi.1Bb
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 15 : Vue d'ensemble des différentes mortaises pratiquées au niveau des couples M12 - M14, pour recevoir les montants de la cage de la pompe de sentine.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 16 : Vue de détail de la réparation du bordé, Rt5, sur tribord.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 17 : Vue d'ensemble des tenons de réparations observables sur le flanc bâbord
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

préalablement été apprêtée afin de les recevoir **(Fig. 4)**. L'une d'entre-elles cependant (T.17t) consiste en un remplacement partiel de la préceinte puisque des tenons de réparations peuvent y être observés.

Pour la membrure, quatre pièces, clouées au bordé, semblent avoir été placées en renfort ou en réparation. Elles se retrouvent ainsi généralement aux extrémités des varangues et ne présentent pas d'assemblages avec ces dernières.

3.1.3. Principes et méthodes de construction :

Le navire *Napoli A* a été conçu longitudinalement, « sur bordé », et construit selon la technique « bordé premier ». Les éléments de la membrure, reliés à la quille, faisant alors office de simples renforts transversaux. Il n'a pas toutefois été possible de contrôler si l'insertion des chevilles de blocage du bordé, au niveau des éléments transversaux, avait bien été effectuée depuis l'extérieur ce qui aurait pu témoigner d'une mise en place partielle de la membrure avant l'achèvement du bordé.

3.1.4. Datation:

L'abandon du navire peut être daté par stratigraphie, à la fin du premier siècle de notre ère. La construction semble devoir quant à elle remonter à la seconde moitié de ce même siècle.

3.1.5. Type et fonction de l'embarcation :

Du point de vue structurel, l'épave A peut-être rapprochée du type architectural « romain impérial » tel qu'il apparaît dans la classification établie par Patrice Pomey[127]. On y retrouve ainsi une quille associée à des fonds plats et à des galbords à la forme simplifiée. Le bordage est simple, sans revêtement de plomb, et est assemblé par un réseau d'assemblages à tenons et mortaises. Pour la charpente transversale, couples et demi-couples se côtoient avec ponctuellement la présence de couples outrepassés. Certaines varangues étant par ailleurs

[127] Ce type architectural qui apparaît sous l'empire romain se caractérise par : une quille associé à des fonds plats et des galbords de forme simplifiée; un bordé simple assemblé à franc-bord par tenons et mortaises ; une membrure composite dont les éléments restent indépendants, mais ou l'alternance varangues/demi-couples fait intervenir des demi-couples outrepassés et où certaines varangues sont directement brochées à la quille ; une charpente longitudinale interne dans laquelle le massif d'emplanture vint désormais se fixer au reste de la charpente par l'intermédiaire de deux carlingots reposant sur les varangues (Pomey, 1988, p. 397-412 ; Pomey, 1997, p. 195-203 ; Pomey, Rieth, 2005, p. 166).

reliées à la quille par le biais de broches métalliques. L'unique différence qui distingue l'épave A du type « romain impérial » est l'encastrement direct du massif d'emplanture sur le dos des membrures et l'absence des carlingots latéraux.

Du point de vue fonctionnel, *Napoli A* peut déjà être interprétée comme l'épave d'un navire de charge à propulsion vélique aux dimensions réduites dont la capacité commerciale ainsi que le rayon d'action devait être limités.



Fig. 18 : Vue du niveau conservé vers la poupe de l'épave.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 19 : Vue d'ensemble de la dégradation des têtes de membrures.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

3.2. Remise en place des vestiges et recherche des formes :

3.2.1. Etat et degré de conservation des vestiges

L'épave *Napoli A*, à l'instar de l'épave C voisine, présente un très bon état général de conservation. A l'image de nombreuses épaves de navires en bois, seules les parties les plus basses de la carène ont été conservées[128] **(Fig. 2)**. Lors de l'abandon du navire, ce sont ces parties qui ont été le plus rapidement recouvertes et qui ont ainsi été protégées des différents agents destructeurs tels que les vers lithophages, les courants, ou bien encore des diverses actions anthropiques d'aménagement ou de curage du port **(Fig. 18)**.

Dans le cas de l'épave A, la hauteur de conservation des murailles est importante. L'épave présentant une très légère gîte sur bâbord, c'est ce côté qui s'avère le mieux conservé. Entre les couples M28 et M38, un second niveau de préceinte y est d'ailleurs encore préservé, ce qui permet de reconstituer une importante partie de la forme de la coque avec près de 75% de l'ensemble de la courbe préservée **(Fig. 19 et Pl. V)**. Si l'on ne prend en compte que la zone bâbord, on notera le peu de distorsions d'ensemble ayant affecté la carène. Ni le bordé, ni les membrures ne semblent avoir souffert d'une contrainte particulière, si ce n'est une très légère ouverture vers la proue, conséquence de la disparition des extrémités des virures qui les maintenaient en place dans la râblure.

En ce qui concerne le côté tribord, si l'on ne pouvait s'attendre, compte-tenu de la gîte, à trouver une élévation aussi importante, il faut en plus remarquer que les opérations de creusement d'un puits destiné au pompage de l'eau de la nappe phréatique ont entrainé une dégradation importante de la carène[129]. Ce drain a ainsi traversé la carène entre les couples M19 et M26, détruisant toute une partie du bordé et de la membrure et créant une forte déformation des formes aux alentours **(Fig. 3)**.

[128] Gianfrotta, Pomey, 1981, p. 231

[129] Le puits en question correspond au creusement effectué durant la première phase des travaux pratiqués *Piazza Municipio* à Naples lors de l'implantation de la nouvelle station de métro.

3.2.2. Etat d'abandon du navire :

L'état de conservation remarquable de la carène permet de distinguer de façon certaine les dégradations taphonomiques des usures d'usage contemporaines du navire[130]. Si la membrure ne semble pas avoir été réparée outre-mesure, ce n'est par contre pas le cas du bordé qui présente des traces fréquentes de réparation et de remplacement **(Fig. 16 et Fig. 17)**. C'est aussi le cas pour les préceintes sur lesquelles on retrouve ponctuellement des ajouts ou des renforts afin de pallier aux dégradations successives subies par la carène **(Fig. 4)**.

La charpente axiale s'avère elle aussi très dégradée : on remarque particulièrement que la face inférieure de la quille est par endroit entièrement rongée. Vers la proue, au niveau du trait de Jupiter reliant quille et brion d'étrave, la quille tend même à perdre quasiment toute son épaisseur **(Fig. 5)**. Toutefois ces dégradations, qui sont peut-être à attribuer à la répétition des échouages volontaires et aux accostages en plage, n'ont semble-t-il pas trop modifié la courbure générale des trois pièces axiales : pour le dressement du plan des formes il ne s'est révélé nécessaire ni de retoucher les courbures internes de l'étrave et de l'étambot ni de modifier l'arc de quille interne qui nous paraissent correspondre parfaitement avec l'état originel du navire.

3.2.3. Documentation disponible :

Grace au caractère exceptionnel du chantier napolitain, l'étude des épaves de Naples a fait l'objet d'une étude particulièrement précise, menée sous la direction de Giulia Boetto, qui a pu bénéficier de relevés topographiques, manuels et par balayage laser, tous d'une grande qualité.

En ce qui concerne notre démarche de restitution et de recherche des formes, les deux premières séries de relevés ont été particulièrement utilisées. Les nuages de points extraits du balayage laser se sont avérés trop complexes à manipuler directement : leur poids et leur format informatique ne permettant pas un traitement des plus aisés qui ne se justifiait pas par un gain significatif dans la précision et l'homogénéité du relevé d'ensemble. Ils ont cependant été utilisés comme base de travail sur le chantier pour le dressement de plans annotés manuellement. Ils sont donc eux aussi pris en compte dans notre travail de restitution.

[130] Par «taphonomiques », nous entendons l'ensemble des phénomènes et des agents qui interviennent lors de la formation et de la déformation des accumulations fauniques et archéologiques (Thiébaut, Coumont, Averbou, 2010, p. 13-20).

La bonne correspondance des relevés manuels avec les relevés topographiques, vérifiée notamment sur les coupes transversales internes, nous a donc permis de nous limiter à ces types de relevés dont la validité et la précision étaient largement suffisants et dont la manipulation se révélait très commode. La complémentarité des relevés topographiques[131] avec les relevés manuels[132] nous a donc permis de nous reposer sur une base fiable, fournie et homogène de relevés de l'épave qui s'avère tout à fait satisfaisante dans le cadre d'une étude de restitution **(Pl. I , II, III, IV et V)**.

3.2.4. Réalisation du plan de formes initial :

3.2.4.1. Redressement des formes et recherche des lignes d'eau:

L'établissement des dimensions de base[133] se fonde sur l'interprétation des données archéologiques et, si cela s'avère possible, sur la comparaison avec des documents figurés de bateaux appartenant au même type architectural et fonctionnel, s'inscrivant dans le même horizon chronologique que l'épave étudiée. Pour rappel, les dimensions de base des vestiges archéologiques de *Napoli A* sont les suivantes : 11,7 m de longueur, 3,32 m de largeur, creux interne de 0,88 m.

- Recherche des formes dans les parties conservées :

Le travail de restitution des formes, pour ce qui concerne les parties conservées s'est trouvé grandement facilité par la parfaite cohérence du flanc bâbord de l'épave.

Dans un premier temps, c'est le dressage de la vue longitudinale qui nous a importé[134] : nous nous sommes ainsi préoccupés de prolonger, à l'aide d'une latte souple maintenue par des plombs à bec, les élancements avant et arrière. Compte-tenu de la dégradation de la face extérieure de la charpente axiale, c'est donc la courbure interne de la quille, de l'étrave et de l'étambot qui a donc été prise comme référence. C'est grâce à ce premier résultat, obtenu de manière empirique, que l'on a pu dresser une première vue

[131] Relevés topographiques qui comprennent, entre autres : le relevé tridimensionnel du bordé, de la membrure, coupe transversales extérieures, coupe longitudinale interne.
[132] Relevés manuels, qui se basent sur les points topographiés et le nuage de points généré par le scanner, et qui comprennent différentes planimétries de l'épave au niveau du vaigrage, de la membrure et au niveau du bordé ; des relevés en coupe de plusieurs membrures ; des relevés de détail à l'échelle 1/1 sur transparents.
[133] Soit les limites de la coque : la longueur de tête-en-tête, la largeur au maître couple, le creux et le livet de pont
[134] Le plan des formes a été réalisé conjointement avec Robert ROMAN, Ingénieur de Recherche (IR) au Centre Camille Jullian (UMR 7299, CNRS-AMU), le travail étant supervisé par Giulia BOETTO.

transversale de la carène, en remettant à leurs hauteurs respectives (mesurées sur le longitudinal) les dix-huit profils hors-membrure des couples conservés **(Pl. V)**. La totalité des profils de référence sont ceux des couples bâbord dont le relevé de terrain a pu être effectué à la fois manuellement et par topographie, permettant l'enregistrement aussi bien des faces intérieures qu'extérieures. Les autres relevés transversaux (nuages de points internes et relevés au théodolite des profils supérieurs de l'ensemble des couples) ont par ailleurs permis de vérifier de manière exhaustive, l'adéquation du plan de formes restitué à la forme des vestiges du côté bâbord. Sur la vue transversale, aucun redressement majeur n'est à souligner : et ce aussi bien sur les formes aux abords du galbord, ou sur celles qui jouxtent la deuxième préceinte. Seule la correction générale de la gîte, de 8° environ sur tribord, a ainsi dû être pratiquée sur l'ensemble des coupes, et ce de façon quasiment homogène pour toute la carène. La largeur et l'élévation des vestiges, ainsi que le profil très cylindrique de la carène, nous amène à considérer la restitution de la largeur originelle du navire comme une donnée très peu variable : le prolongement, presque « au droit », des profils conservés des couples permet de considérer une largeur originelle du navire n'excédant pas de 30 cm celle des vestiges (3,24 m).

La cohérence d'ensemble des coupes transversales a donc rapidement permis de dresser des lignes d'eau. L'aspect de celles-ci nous renseigne sur la validité des élancements longitudinaux proposés initialement. Sur l'arrière, aucun pincement des lignes n'est observable dans les parties conservées. Ceci permet, selon nous, de valider entièrement la forme proposée de notre étambot, qui maintient une parfaite continuité de fermeture dans les lignes depuis le niveau conservé, vers les lignes d'eau n°11 – n°12, jusqu'à la ligne d'eau la plus élevée, la n°17. Pour l'avant, la distinction est plus ardue : si les fonds sont tout d'abord pincés, de la ligne d'eau n°1 jusqu'à la ligne d'eau n°11, les formes dans les hauts, en limite de vestiges, tendent à légèrement moins s'effiler **(Pl. VII)**. En tenant compte de ces considérations, on aurait pu envisager une courbure légèrement moins importante de l'étrave. Toutefois la différence aurait été négligeable, quelques centimètres au maximum, et la maquette de vérification du plan de formes est finalement venue valider notre hypothèse de restitution.

- Vérification des formes :

Dans le cadre du travail sur *Napoli A*, la méthode adoptée pour la restitution du bordé s'appuie sur le modèle des vestiges, sur la maquette de vérification des formes (« maquette carton ») ainsi que sur le modèle virtuel des vestiges remis en place.

Dans un premier temps, nous avons donc procédé aux divers ajustements habituels jusqu'à obtenir un plan de formes satisfaisant qui permette de définir une forme de carène sur laquelle le bordé puisse s'insérer parfaitement en étant validé par la « maquette carton ». Nous avons par la suite procédé, sur le modèle virtuel de restitution, à la remise en place de tous les éléments d'origine formant le bordé. Il nous était alors possible de réaliser un nouveau plan de bordé développé en nous servant de l'une des fonctions offertes par *Rhinocéros*© **(Pl. XI)**. Notre objectif était alors de comparer ce dernier avec celui obtenu précédemment sur le modèle des vestiges ainsi que celui généré par la technique de la « maquette carton » **(Pl. XII)**.

Dans l'ensemble, on note un degré de similitude plutôt satisfaisante entre les trois plans de bordé développé ainsi obtenus, malgré la présence ponctuelle de décalages qui peuvent paraître d'importance : ainsi dans les fonds (jusqu'à la sixième virure), les écarts les plus importants mesurés avec le plan de bordé développé des vestiges bruts sont de 13 cm pour le plan de bordé issu de la maquette carton et de 19 cm pour celui issu du modèle virtuel[135]. Il est intéressant de relever que les deux plans de bordé développé basés sur la remise en place des vestiges présentent une meilleure cohérence entre eux qu'avec le plan de bordé issu des vestiges bruts. L'écart maximal s'établissant en effet à 14 cm. On remarque cependant que le niveau de détail atteint par les relevés tridimensionnels informatisés, utilisés directement pour la formation du bordé, aussi bien dans le cas du modèle virtuel des vestiges bruts que dans celui des vestiges remis en place, permet de mieux appréhender les réparations ainsi que les approximations de lissage de chacune des virures. Par ailleurs, la reconstitution des virures V6b et V6bis s'est révélée plus complexe que ce qui avait été proposé dans la « maquette carton », puisque la facilité pour individualiser chaque patch de réparation nous a amenés à remettre en question la restitution en joint perdu de cette sixième virure. Dans les hauts, la cohésion est moins bonne globalement et l'on note que le plan de bordé tiré du modèle des vestiges remis en place s'avère plus juste (avec un écart maximal de 35 cm) que celui tiré de la maquette carton (avec un écart maximal de 45 cm). Pour ce qui concerne les

[135] Soit au 1/10, échelle de réduction de notre travail : des différences de 1,3 cm à 1,9 cm

parties hautes entièrement restituées les décalages qui apparaissent dans la courbure des virures, entre les plans de bordé tirés de la maquette et du modèle, proviennent d'une différence de version dans l'hypothèse de restitution, qui n'influe donc en rien sur le processus de vérification. Cette première « maquette carton » ayant en effet été réalisée selon un plan de formes correspondant à la hauteur de livet de l'hypothèse haute de restitution (soit l'hypothèse numéro n°1 telle que présentée sur les figures **Fig. 26** et **Fig. 27**).

Au final, la vérification du plan des formes initial s'avère ambivalente. Nous estimons en effet que globalement, la cohérence du bordé sur ce plan de formes est satisfaisante puisque les dimensions ainsi que les formes de chaque bordage, qu'il soit tiré de la « maquette carton » ou du modèle virtuel, permettent une juxtaposition assez proche avec les bordages tirés du modèle des vestiges bruts. Cependant, l'ordre de grandeur des écarts les plus importants, qui certes s'avèrent isolés, n'en demeure pas moins des sources de questionnement qui se révèlent trop importantes pour être considérées comme tout à fait acceptables. Il nous est cependant impossible à ce jour de cerner correctement l'origine de ces décalages. Il peut très bien s'agir d'une accumulation d'imprécisions dans la réalisation des différents plans de bordé (dont celui des vestiges bruts), couplée à une imprécision intrinsèque de ces méthodes lors de l'utilisation d'une échelle de réduction trop importante (notamment pour la « maquette carton »).

Dans le cadre actuel, nous estimons que le plan de formes et la remise en place des vestiges tels qu'ils sont ici proposés démontrent un degré de précision suffisant pour valider le plan de formes. Toutefois, ce niveau de précision ne correspond pas à ce que l'on pourrait potentiellement atteindre avec les outils actuellement à notre disposition. Ainsi, une intégration plus importante dans ces divers plans de bordé d'une multitudes de points de contrôle, tels que le positionnement des tenons mortaises ou les traces de passage des membrures, nous semble être la solution la plus adaptée pour valider définitivement notre hypothèse de restitution.

- Synthèse sur le plan de formes initial :

Au final, le plan des formes donne à voir un navire aux formes très effilées et dont la section transversale au maître-couple, de forme quasi cylindrique, est un détail remarquable **(Pl. VI)**. La section au maître-couple s'inscrit ainsi de façon quasiment parfaite dans un demi-

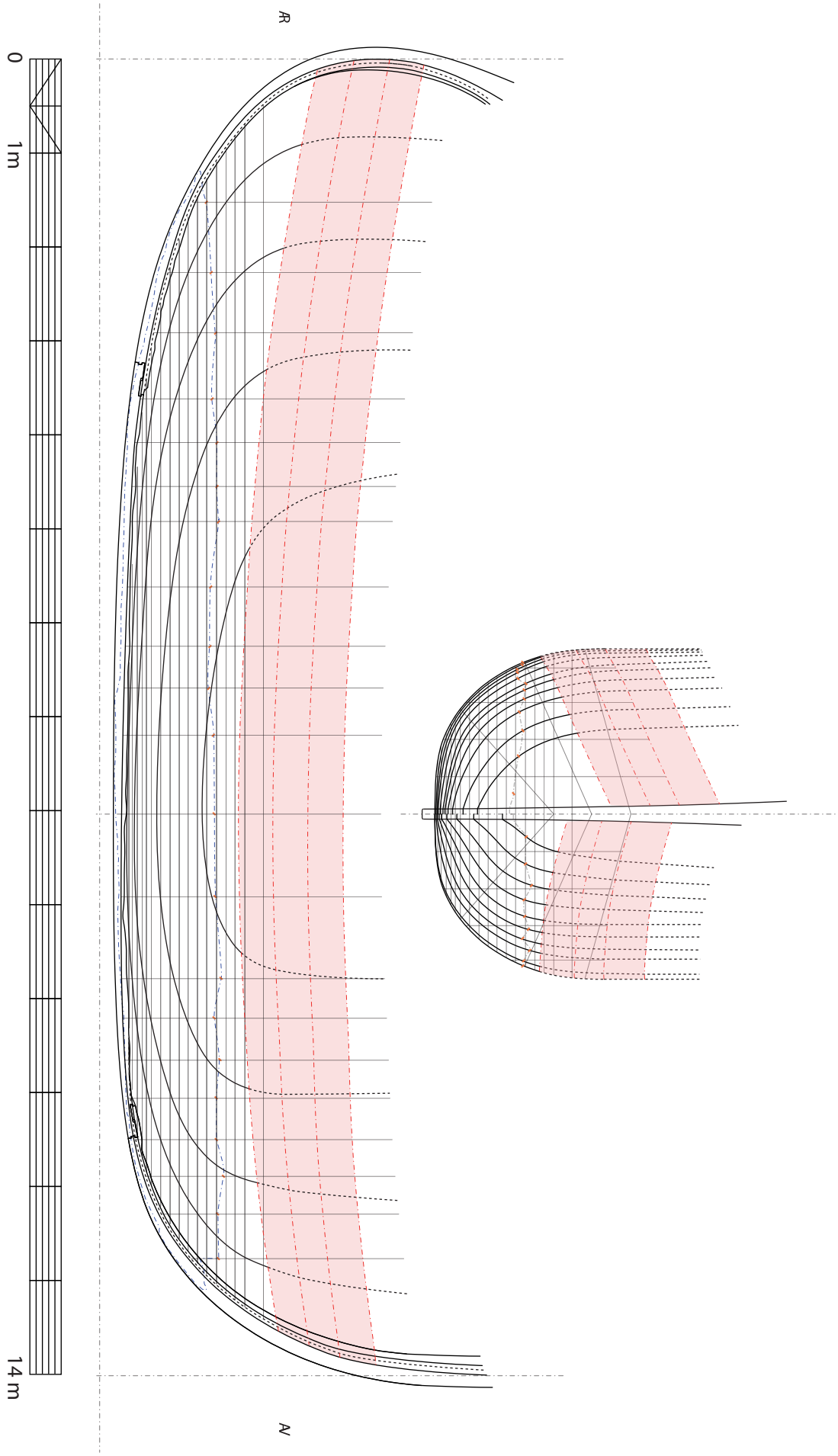


Fig. 20 : Présentation des possibilités de placement du livet de pont.

cercle présentant un rayon de 177 cm. Nous verrons dans la partie traitant de l'hydrostatique, les incidences d'une telle forme sur la stabilité du navire.

On notera aussi la très légère dissymétrie des lignes au niveau des entrées d'eau, ce qui permet de distinguer un sens de marche privilégié. De même, à l'image du maître-couple qui est déporté sur l'avant, on remarquera une répartition plus importante des volumes vers la proue. Si la tendance reste faible (déport d'environ 50 cm sur l'avant) elle doit toutefois être relevée.

À ce stade il ne nous était pas possible de définir avec précision la hauteur du livet, ni la tonture générale du pont. Dans un premier temps donc, à l'image de ce qui a été effectué pour les extrémités, c'est tout d'abord par une démarche empirique que l'on a placé une première ligne de livet destinée à être modifiée ultérieurement **(Fig. 20)**. Seules certitudes : la longueur hors-tout s'établissant au maximum à 14,25 m, la longueur entre perpendiculaire pouvant être estimée entre 13,45 m et 13,83 m et la largeur avoisinant 3,43 m à 3,53 m, mesurée hors-bordé au niveau du maître-couple M29 – M30.

3.2.4.2. Les dimensions générales de l'hypothèse de restitution :

Afin de déterminer les dimensions générales de l'embarcation, nous avons nécessairement dû suivre plusieurs pistes de travail. Nous avons pour cela notamment pris en compte une série de documents iconographiques d'époque romaine ainsi que diverses restitutions d'épaves gréco-romaines afin d'obtenir des rapports de proportions de référence qui soient pertinents.

- Proportions mesurées sur la base du *corpus* iconographique :

Nous avons tenté dans un premier temps de dégager un corpus de documents iconographiques qui puissent correspondre à l'interprétation que nous avons proposée de *Naples A*. Il s'agissait donc de retrouver parmi les représentations datées entre les Ier et le IIIème siècle de notre ère celles susceptibles de représenter des petits navires marchands, principalement propulsés à la voile et ne portant qu'un seul mât, et à l'étrave convexe. Nous verrons plus tard, en abordant la question de l'usage de l'iconographie dans les restitutions de détail, que le corpus total que nous avons dégagé comprend une trentaine de représentations sur lesquelles nous pouvons nous baser avec plus ou moins de prudence. Cependant dans le

cadre de mesures de proportions nous avons fait le choix de nous baser uniquement sur les représentations des navires ne portant qu'un seul mât. Il s'agissait aussi de ne sélectionner que les représentations permettant d'effectuer des mesures correctes.

Tab. 2 : Moyennes des rapports L/hBQP des représentations iconographiques sélectionnées :

Document iconographique	**Provenance et datation**	**N. mâts**	**N. préceintes visibles**	**Rapport L/HbQ**	**Référence bibliographique**
Fresque de *Lesbianus* **(Fig. I)**	Pompéi, Ier s. ap. J.-C.	1	2	3,23	Pomey 1997, p. 36
Statio n°18 place des corporations d'Ostie (navire de gauche) **(Fig. X)**	Ostie, f. IIe – d. IIIe s. ap. J.-C.	1	2	5,62	Becatti, 1961, n° 99, Tav.177
Statio n°46 place des corporations d'Ostie (navire de droite) **(Fig. XI)**	Ostie, f. IIe – d. IIIe s. ap. J.-C.	1	3	3,99	Becatti, 1961, n° 120, Tav.179
Statio n°54 place des corporations d'Ostie (navire de gauche) **(Fig. XII)**	Ostie, f. IIe – d. IIIe s. ap. J.-C.	1	3	4,11	The Navis II project[136]
Statio n°54 place des corporations d'Ostie (navire de droite) **(Fig. XII)**	Ostie, f. IIe – d. IIIe s. ap. J.-C.	1	3	4,21	The Navis II project[137]
Relief de la Villa Medicis (transport de lions) **(Fig. XX)**	Rome, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 + lisse de pavois	3,23	Pomey 1997, p. 121
Relief de Narbonne-Bastion St Côsme **(Fig. XIX)**	Narbonne, IIIe s. ap. J.-C.	1	3 au minimum + lisse de pavois	3,77	Pomey 1997, p. 17
Sarcophage de *Pretextatus* (navire de droite) **(Fig. XVIII)**	Rome, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 + lisse de pavois	3,35	Pomey 1997, p. 126
Sarcophage de *Pretextatus* (navire de gauche) **(Fig. XVIII)**	Rome, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 + lisse de pavois	3,35	Pomey 1997, p. 126
Stèle de *Kalleinikos* **(Fig. XVI-XVII)**	Istanbul, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 au minimum + lisse de pavois	6,30	Casson, 1971, n° 143
Sarcophage d'*Eudemos* **(Fig. XV)**	Olympus, entre le IIe et le IVe ap. J.-C.	0	3 + lisse de pavois	6,84	Pekary, 1999, p. 380, Tr32
Peinture de Via Anapo **(Fig. XXII)**	Rome, IIIe – IVe s. ap. J.-C.	1	2 au minimum + lisse de pavois	3,37	Josi, 1928, fig. 30
Moyenne				**4,28**	

Nous ne détaillerons les résultats de cette étude rapide, ainsi que l'usage que nous en avons fait, qu'à la suite de la recherche des rapports de proportions sur la base des comparatifs archéologiques.

[136] http://www2.rgzm.de/navis2/home/FramesFR.cfm (consulté le 10/09/2011)
[137] *Ibid.*

- Proportions mesurées sur d'autres restitutions d'épaves :

Le corpus des restitutions de navires antiques est aujourd'hui assez développé pour nous permettre d'établir des comparaisons dimensionnelles pertinentes, en faisant usage de critères discriminants rigoureux basés sur la correspondance chronologique, typologique et, dans la mesure du possible, fonctionnelle, observés avec l'épave dont nous proposons la restitution[138].

Concernant la fonction des éventuelles restitutions comparatives, il nous a donc semblé que seules celles concernant des navires marchands à propulsion exclusivement vélique, de petite et moyenne taille de l'espace méditerranéen devaient être prises en compte. En conséquence, cela excluait de notre sélection les navires les plus grands comme la *Madrague de Giens*[139] ainsi que des embarcations purement fluviales comme le chaland de Bevaix[140], les épaves restituées de Zwammerdam[141], celles de Mayence[142] ou encore celle de *De Meern 1*[143]; mais aussi des épaves de navires fluvio-maritimes telle que l'épave de *County Hall*[144], de *Pise C*[145], *Commachio*[146], les épaves *Fiumicino 1*, *2* et *3*[147] ou encore celle de *Port-Berteau II*[148]. De la même manière, une comparaison ne pouvait pas non plus être établie avec le *naves vivaria Fiumicino 5*[149]. Enfin l'exceptionnalité des épaves du lac de Nemi[150] ne permettait pas d'établir raisonnablement une quelconque comparaison d'échelle avec notre épave.

La proximité typologique est le deuxième élément discriminant : seules ont été retenues les restitutions d'épaves de navires s'inscrivant dans un système architectural régi par un principe relevant d'une conception "longitudinale sur bordé" et par une construction sur "bordé premier"[151]. Toutefois, cette définition s'appliquant indistinctement à nombre de navires de l'Antiquité, pourtant fort éloignés les uns des autres, il nous est apparu nécessaire de préciser et limiter le domaine de comparaison. Comme nous l'avons vu, *Napoli A* peut être

[138] Ce travail a été effectué en collaboration et sous la direction de Giulia Boetto.
[139] Tchernia, Pomey, Hesnard, 1978; Pomey, 1982.
[140] Arnold, 1992a; Arnold, 1992b; Arnold, 1999.
[141] De Weerd, 1988 (Thèse non publiée) ; De Weerd, 1994, p. 43-44 ; De Weerd, 1998, p. 63-68.
[142] Bockius, 2006.
[143] Van Holk, 2006, p. 295-299; Van Holk, 2011, p. 33-43
[144] Marsden, 1974, p. 55-65; Marsden, 1994, p. 109-129
[145] Camili, 2002, p. 11 ; Bruni, 2000, p. 67, fig. 37
[146] Bonino, 1985, p. 87-104; Berti, 1990
[147] Boetto, 2006, p. 178.
[148] Rieth, Carrière-desbois, Serna, 2001.
[149] Boetto, 2006, p. 182.
[150] Ucelli, 1950.
[151] Pomey, Rieth 2005, p. 30-31.

considérée comme proche[152], voire éventuellement comme une forme précoce ou régionale, d'une architecture de type impériale comme décrite par Patrice Pomey[153]. Au final, porter notre réflexion uniquement sur les restitutions de navire se rapprochant de cette typologie architecturale nous a semblé la façon la plus pertinente de limiter notre corpus comparatif. Indéniablement, cela nous a amenés très rapidement à réduire de manière significative l'amplitude chronologique du corpus des restitutions sélectionnées étant donné que la notion d'architecture impériale relève aussi nécessairement d'un facteur chronologique.

En fin de compte, seules deux restitutions d'épaves s'inscrivent dans le canevas défini par nos éléments discriminants : il s'agit des épaves de *Saint-Gervais 3* (milieu IIème s. ap. J.-C.)[154] **(Fig. 21)** et de l'épave *Laurons 2* (IIème s. ap. J.-C.)[155] **(Fig. 22 et Fig. 23)**. Toutefois les spécificités morphologiques de l'épave de Saint-Gervais, qui présente une étrave inversée, nous ont poussés à la mettre de côté dans nos comparaisons de rapports de dimensions. À l'inverse, l'épave de *Cavalière* (vers 100 av. J.-C.)[156], qui ne satisfait pas entièrement à nos critères de sélection, notamment d'un point de vue typologique et chronologique, nous a paru devoir être réintégrée **(Fig. 24)**. Certes l'épave ne relève pas de la tradition impériale de construction, cependant c'est, malgré les spécificités régionales de construction qui la caractérise[157], une forme d'architecture qui nous semble proche de celle de l'épave *Napoli A*[158]. Deux éléments viennent corroborer ce lien de familiarité : d'une part, le retour de galbord, s'étant notoirement estompé par rapport à la période hellénistique, se rapproche des fonds plats propres à la construction impériale et que l'on retrouve sur les épaves de Naples. D'autre part l'absence de carlingots et la présence d'encoches sur le dos des varangues destinées à assurer le blocage de l'emplanture s'apparente tout à fait au système observé sur *Napoli A* et *C*[159]. C'est donc uniquement sur deux épaves que nous nous sommes basés : nous

[152] Boetto, 2005, p. 63-76
[153] Pomey, 1988, p. 397-412; Pomey, 1998, p. 195-203; Pomey, Rieth, 2005, p. 166.
[154] Gassend, Liou, 1990, p. 157-264.
[155] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 75-105;
[156] Charlin, Gassend, Lequément 1978, p. 9-93.
[157] Spécificités architecturales que l'on retrouve sur un certain nombre d'épave du nord du bassin occidental de la Méditerranée : *La Tour Fondue*, IIIème s. av. J.-C. (Dangréaux, 1994 ; Dangréaux,1997 ; Marlier, 2005, p. 243-250 et Vol. d'Ill., p. 92-93) ; *La Roche Fouras*, fin IIème av. début Ier av. J.-C. (Joncheray, 1976, p. 107-114) ; *Cavalière* (Charlin, Gassend, Lequément 1978, p. 9-93), *Cap Béar 3*, troisième quart du Ier s. ap J.-C. (Pomey *et al.* 1988, p. 2-3), *Cap del Vol*, fin Ier av. début Ier ap. J.-C. (Nieto, Foerster 1980, p. 163-177) et sur l'épave *Saintes-Maries 24*, entre 40 et 75 ap. J.-C. (Marlier 2005, p. 339-348, fig. 101b).
[158] Le bordé est bien assemblé à franc bord par tenons et mortaises, les membrures sont quant à elles assemblées au bordé par des ligatures transversales associées à de simples gournables (Pomey, 1996, p. 56-57 ; Marlier, 2005, 267-277). Ce type de construction se retrouve sur l'ensemble de l'arc septentrional de la Méditerranée occidentale depuis le Ier s. av jusqu'au Ier s. ap. J.-C. (Pomey, 2002a, p. 597-604 ; Pomey, Rieth 2005, p. 165-166).
[159] L'encastrement direct de la carlingue-emplanture sur la tête des varangues avec le creusement d'encoches de blocage s'observe notamment sur les épaves de *Cavalière* (Charlin, Gassend, Lequément 1978, fig. 33), de *Plane I*, vers 50 av. J.-C. (Marlier 2005, p. 291-295, fig. 92b et c), sur l'épave *Saintes-Maries 24* (Marlier 2005, p. 339-348, fig. 101b), sur l'épave à dolia de *Ladispoli* , datée aux environs du changement d'ère (Carre, 1993, p. 9-29), ainsi que sur celle de la *Baie de l'amitié*, Ier ap. J.-C. (Wicha, 2001, p. 44, fig. 15).

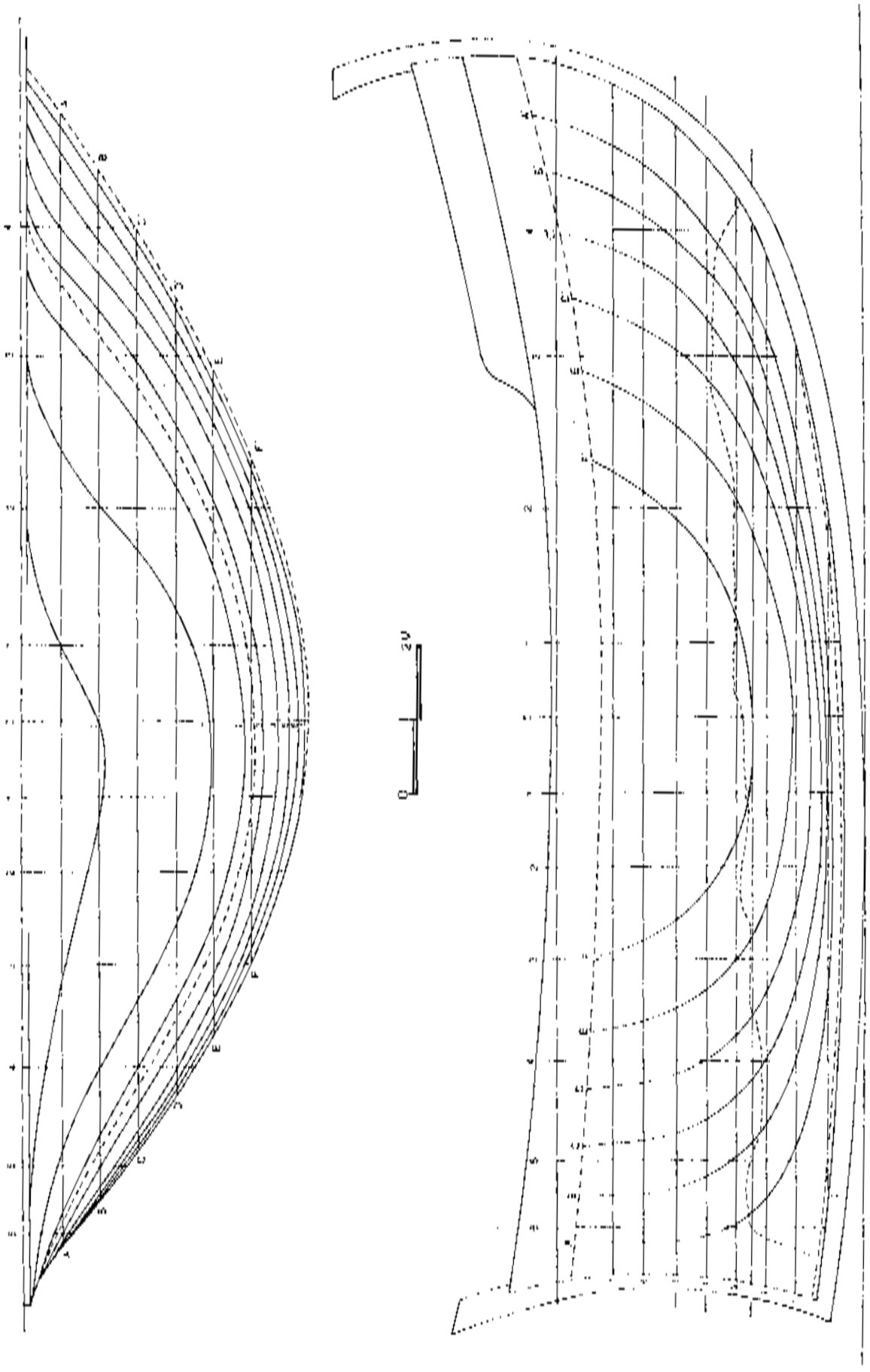


Fig. 21 : Plan de formes de l'hypothèse de restitution de l'épave *Saint-Gervais III* proposé par Robert Roman. (Tirée de : Roman, 1997)

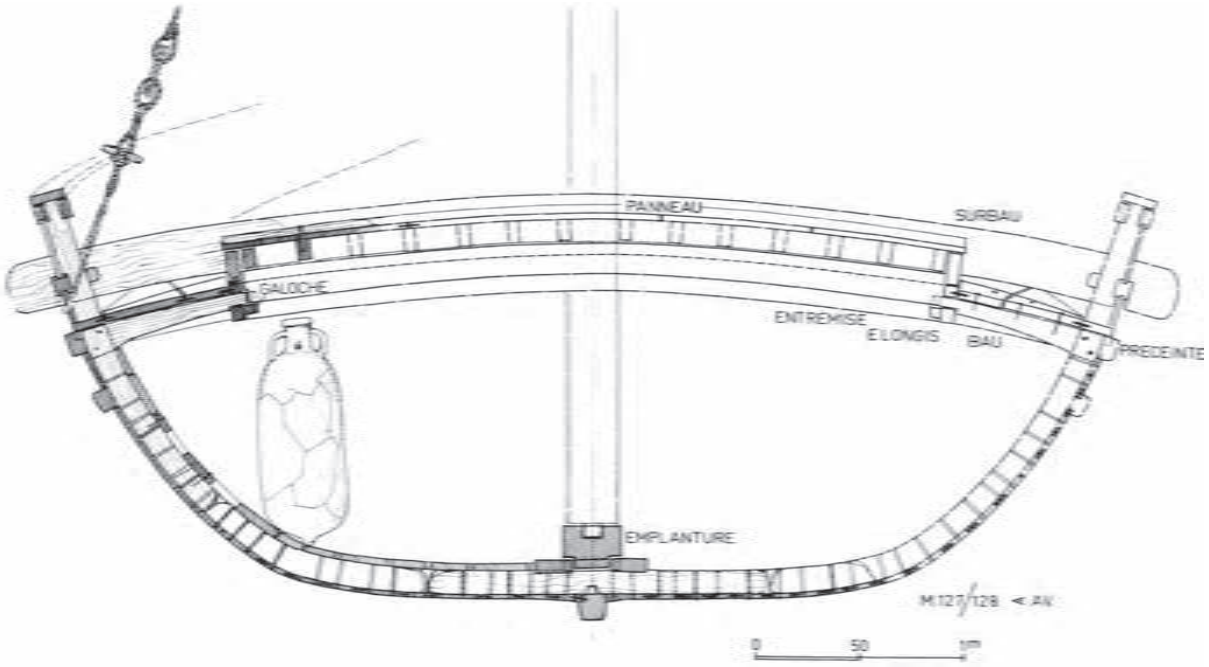


Fig. 22 : Coupe transversale de restitution au niveau du couple 127/128 de l'épave Laurons II (Tirée de : Gassend, Liou, Ximénès, 1984)

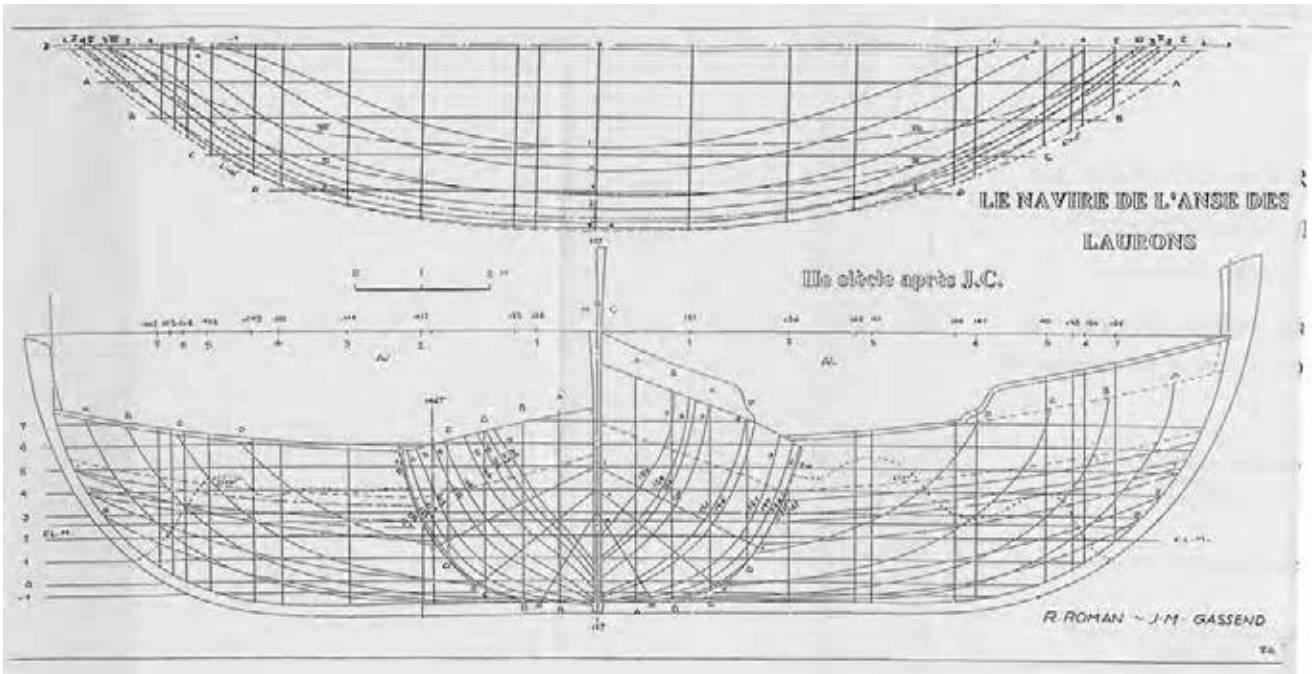


Fig. 23 : Plan de formes de restitution de l'épave Laurons II par Robert Roman et Jean-Marie Gassend (Tiré de: Roman, 1997)

présentons dans le second tableau la moyenne de leurs rapports de proportions dont nous ferons usage dans le calcul de proportion de notre restitution.

Tab. 3 : Les restitutions d'épaves de bateaux d'époque romaine :

Épave	Longueur entre perpendiculaires	Largeur (au livet de pont)	Creux hauteur sous barrot	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Bibliographie
Cavalière (Ier s. av. J.-C.)	12,98	5	1,53	2,59	3,26	8,48	Roman 1997
Saint-Gervais 3 (IIe s. ap. J.-C.)	16,87	7,38	2,80	2,28	2,63	6,02	Roman 1997
Laurons 2 (fin IIe s. ap. J.-C.)	15,11	4,96	1,50	3,04	3,30	10,07	Roman 1997
Moyenne				**2,64**	**3,06**	**8,19**	

Tab. 4 : Les restitutions des épaves de *Cavalière* et *Laurons 2* :

Épave	Longueur entre perpendiculaires	Largeur (au livet de pont)	Creux ou hauteur sous barrot	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Bibliographie
Cavalière (Ier s. av. J.-C.)	12,98	5	1,53	2,59	3,26	8,48	Roman 1997
*Laurons 2 (*fin IIe s. ap. J.-C.)	15,11	4,96	1,50	3,04	3,30	10,07	Roman 1997
Moyenne				**2,81**	**3,28**	**9,27**	

Comme nous l'avons souligné dans la partie décrivant notre méthode, la mise à l'écart de bon nombre d'épaves dans cet exercice particulier des rapports de proportions, ne rend pas nécessairement caduque le fait d'avoir recours à celles-ci lorsqu'il s'agit de restituer des éléments ponctuels de la charpente, du gréement ou de tout autre élément propre à la construction et à la bonne marche du navire (accastillage, gouvernail, ancres, etc…). Malgré le fait que les navires restitués de l'Anse des Laurons **(Fig. 22 et Fig. 23)** et de Cavalière soient la base dimensionnelle principale de notre hypothèse de restitution, nous verrons que certains points particuliers de nos restitutions s'appuient, avec parcimonie et de manière argumentée, sur des vestiges d'épaves plus éloignées typologiquement et chronologiquement et dont les fonctions s'avèrent très variables.

3.2.4.3. Analyse et interprétation :

Compte tenu des différences obtenues entre les mesures effectuées sur les restitutions (Longueur entre perpendiculaires/creux) et celles évaluées sur les documents iconographiques (L/HbQ : Longueur entre perpendiculaires/hauteur quille-pavois), nous pouvons déjà faire une remarque d'importance : on constate en effet que sur les restitutions, la moyenne des rapports L/h est égale à 8,19 ou 9,27. En revanche, sur les documents iconographiques la moyenne des

rapports L/HbQ est égale à 4,2 soit deux fois plus que la moyenne du rapport longueur entre perpendiculaires/creux des restitutions.

L'écart que l'on note ici ne peut s'expliquer entièrement par les différentes manières de mesurer la hauteur du navire ou de la représentation, (le creux dans un cas, la hauteur bas de quille–pavois dans l'autre). Cela démontre selon nous que les documents iconographiques ne peuvent être utilisés ici de manière pertinente pour restituer la hauteur du bateau. L'application de cette valeur sur l'épave *Laurons 2* aurait ainsi mené à la restitution d'une hauteur de 4,40 m bien éloignée des données archéologiques. Dans le cas de notre restitution, l'utilisation de l'iconographie pour l'établissement des rapports de proportions est donc très vite apparue comme une solution inappropriée et peu soutenable. Rappelons cependant, qu'à l'instar de ce que nous avons évoqué pour les comparaisons archéologiques, les représentations qui sont ici écartées du processus d'établissement des proportions, mais qui s'avèrent proches typologiquement et chronologiquement de notre épave, peuvent très bien être utilisées pour la restitution d'élément particuliers. Dans le cadre de la restitution de tout autre élément ponctuel (gréement, gouvernail, etc…), l'utilisation de l'iconographie n'en demeure donc pas moins tout à fait recevable.

L'iconographie une fois écartée, il s'agissait donc de déterminer, pour *Napoli A*, une hauteur sous barrot cohérente et ce, en ne se basant que sur les dimensions attestées des vestiges (longueur et largeur) ainsi que sur le corpus des restitutions comparables que nous avons établi. Trois rapports de dimensions extraits de ces restitutions nous ont semblé pouvoir faire office de valeurs référence, pertinentes dans notre démarche. Il s'agit :

- Des rapports de dimensions issus de la restitution de l'épave de *Cavalière* :
- le rapport moyen largeur/hauteur (des restitutions) : 3,26 ;
- le rapport moyen longueur/hauteur (des restitutions) : 8,48.

- De la moyenne des rapports de dimensions mesurés sur les épaves *Cavalière* et *Laurons 2* :
- le rapport moyen largeur/hauteur (des restitutions) : 3,28 ;
- le rapport moyen longueur/hauteur (des restitutions) : 9,27.

- Des rapports de dimensions issus de la restitution de l'épave *Laurons 2* :
- le rapport largeur/hauteur de l'épave *Laurons 2* : 3,3 ;
- le rapport longueur/hauteur de la restitution de l'épave *Laurons 2* : 10,07.

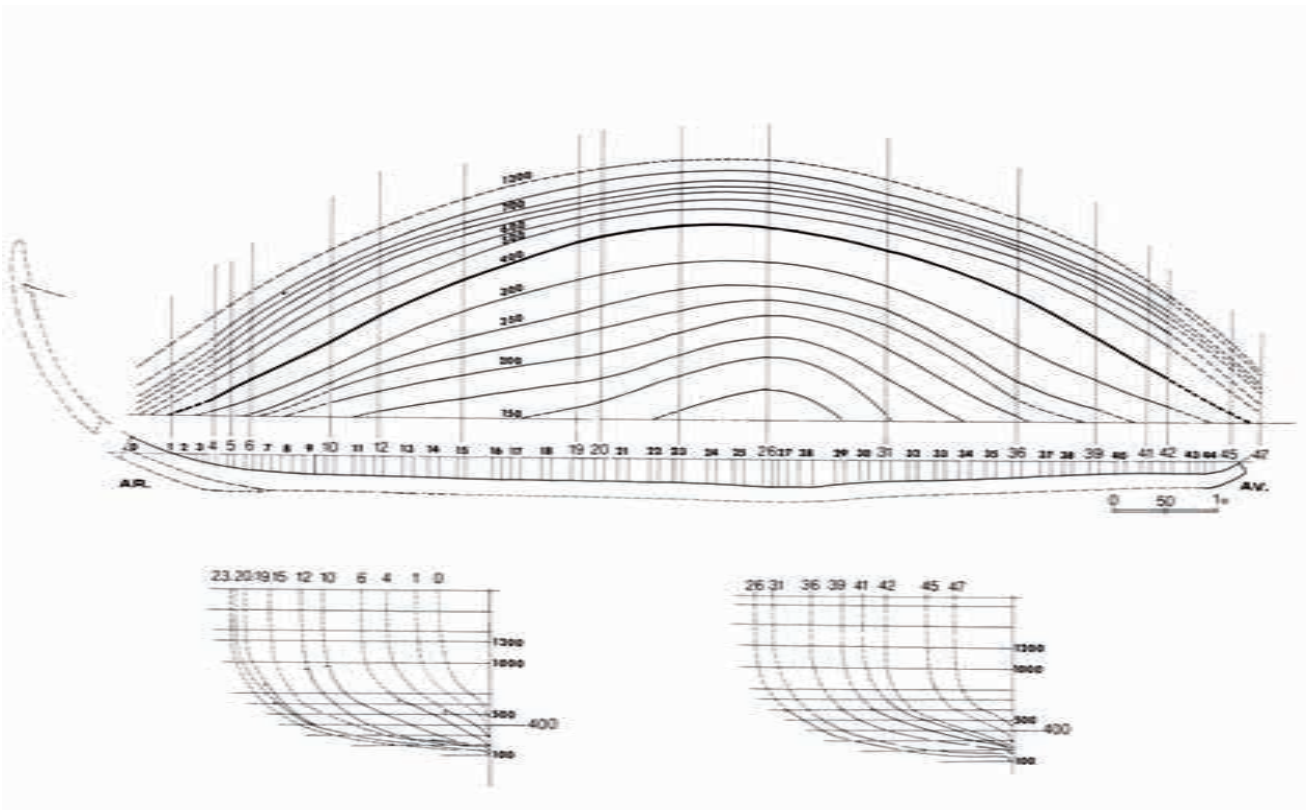


Fig. 24 : Plan de formes de restitution de l'épave de *Cavalière* par Jean-Marie Gassend. (Tirée de: Charlin, Gassend, Lequément, 1978)

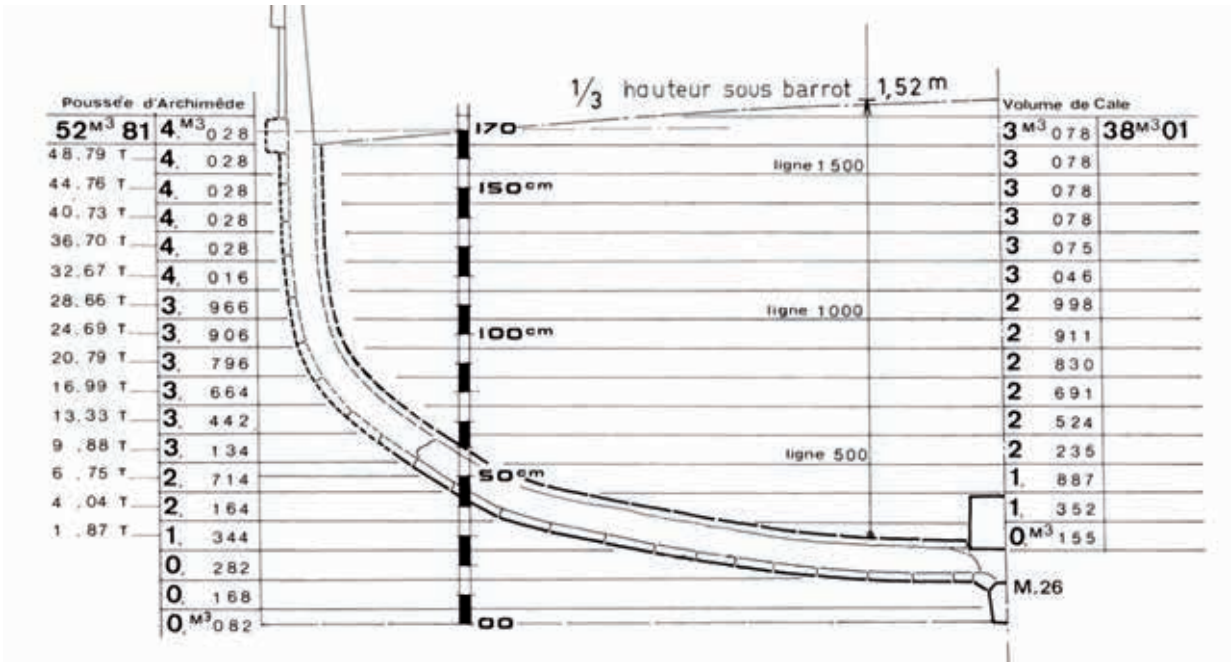


Fig. 25 : Représentation du maître-couple restitué ainsi que le déplacement correspondant aux divers enfoncements (Tirée de: Charlin, Gassend, Lequément, 1978).

Afin d'appliquer ces rapports à *Napoli A*, avec pour objectif de déterminer la hauteur sous-barrot et le niveau du livet de pont, il nous fallait dans un premier temps déterminer la longueur entre perpendiculaires que nous allions utiliser dans l'équation ainsi que la largeur interne au maître-couple. Nous avons vu que ces valeurs peuvent être déterminées grossièrement : entre 13,45 m et 13,83 m pour la longueur et entre 3,43 m et 3,53 m pour la largeur. Dans un premier temps nous avons fait le choix d'utiliser les deux moyennes de ces valeurs (soit 13,64 m pour la longueur entre perpendiculaires et 3,48 m pour la largeur interne au maître-couple).

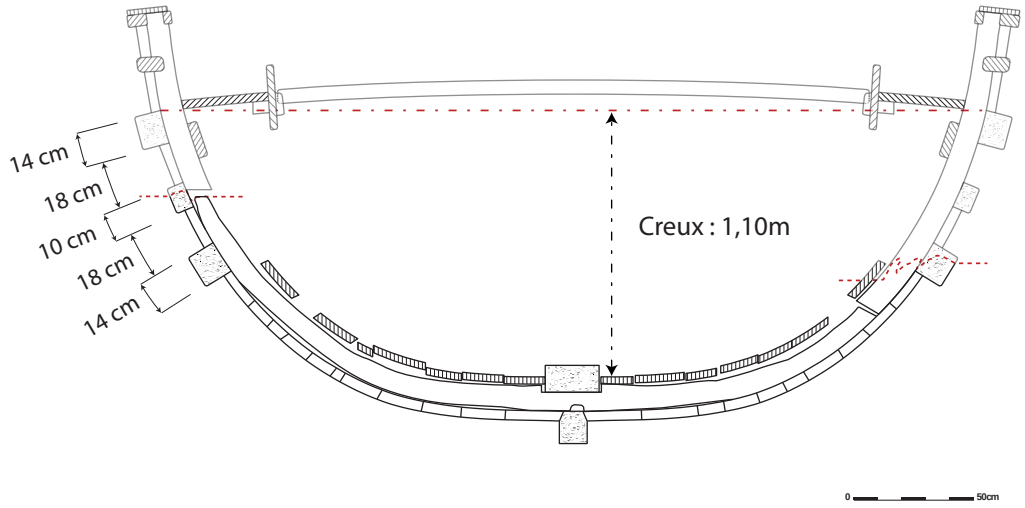
Une fois ces valeurs déterminées, la hauteur sous barrot est facilement déduite, en tant qu'unique inconnue, par la division de la largeur ou de la longueur de notre restitution par le rapport de référence. La comparaison des hauteurs sous-barrot obtenues avec les dimensions des vestiges et le nombre de préceintes à restituer conditionnant le choix des dimensions de la restitution **(Fig. 26)**.

Tab. 5 : Récapitulatif des différentes hauteurs sous barrot obtenues à partir des six rapports de référence :

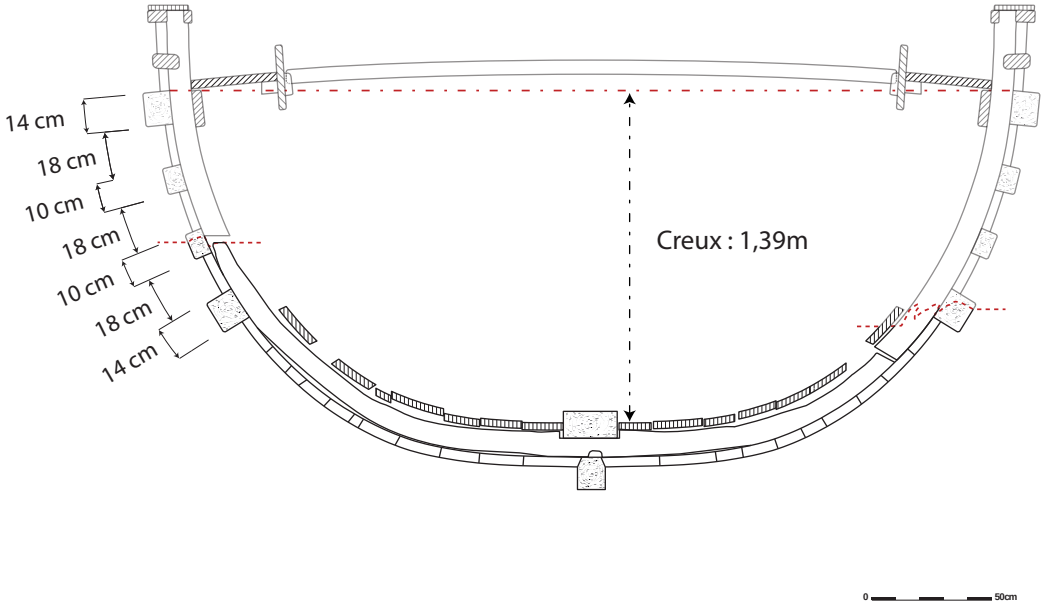
	Valeur référence	**Application à *Napoli A***	**Hauteur sous barrot obtenue**
Rapport l/h de l'épave *Cavalière*	3.26	3,48/3.26	**1.07 m**
Rapport L/h de l'épave *Cavalière*	8,48	13,64/8,48	**1.60 m**
Rapport moyen l/h *Cavalière* et *Laurons 2*	3,28	3,48/3,28	**1,06 m**
Rapport moyen L/h *Cavalière* et *Laurons 2*	9,27	13,64/9,27	**1,47 m**
Rapport l/h de l'épave *Laurons 2*	3.30	3,48/3.30	**1.06 m**
Rapport L/h de l'épave *Laurons 2*	10,07	13,64/10,07	**1.35 m**

Hypothèse 1° : si l'on tient compte du seul rapport L/h de l'épave de *Cavalière* nous obtenons une hauteur de livet de **1,62 m**, nous contraignant à restituer quatre niveaux de préceintes, mais aussi à augmenter les dimensions des virures les plus élevées. Nous approchons ainsi du rapport L/h observé sur l'épave de *Cavalière* (8,49 contre 8,48 pour *Cavalière*).

Hypothèse n°3:
Creux de 1,10 m



Hypothèse n°2:
Creux de 1,39 m



Hypothèse n°1:
Creux de 1,62 m

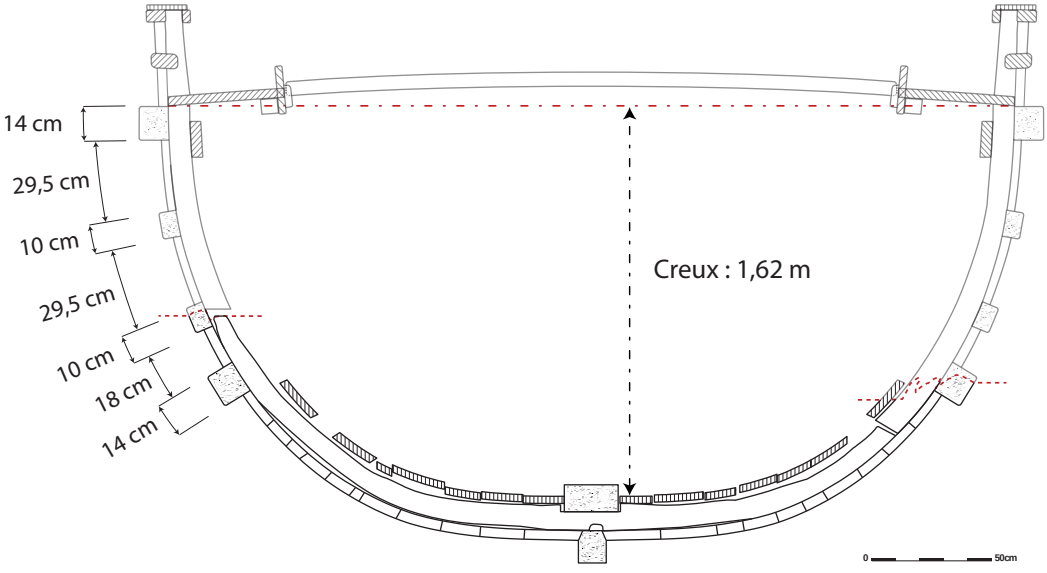


Fig. 26 : Restitution du niveau des préceintes en fonction des diverses hypothèses de hauteur de livet sur M 30.

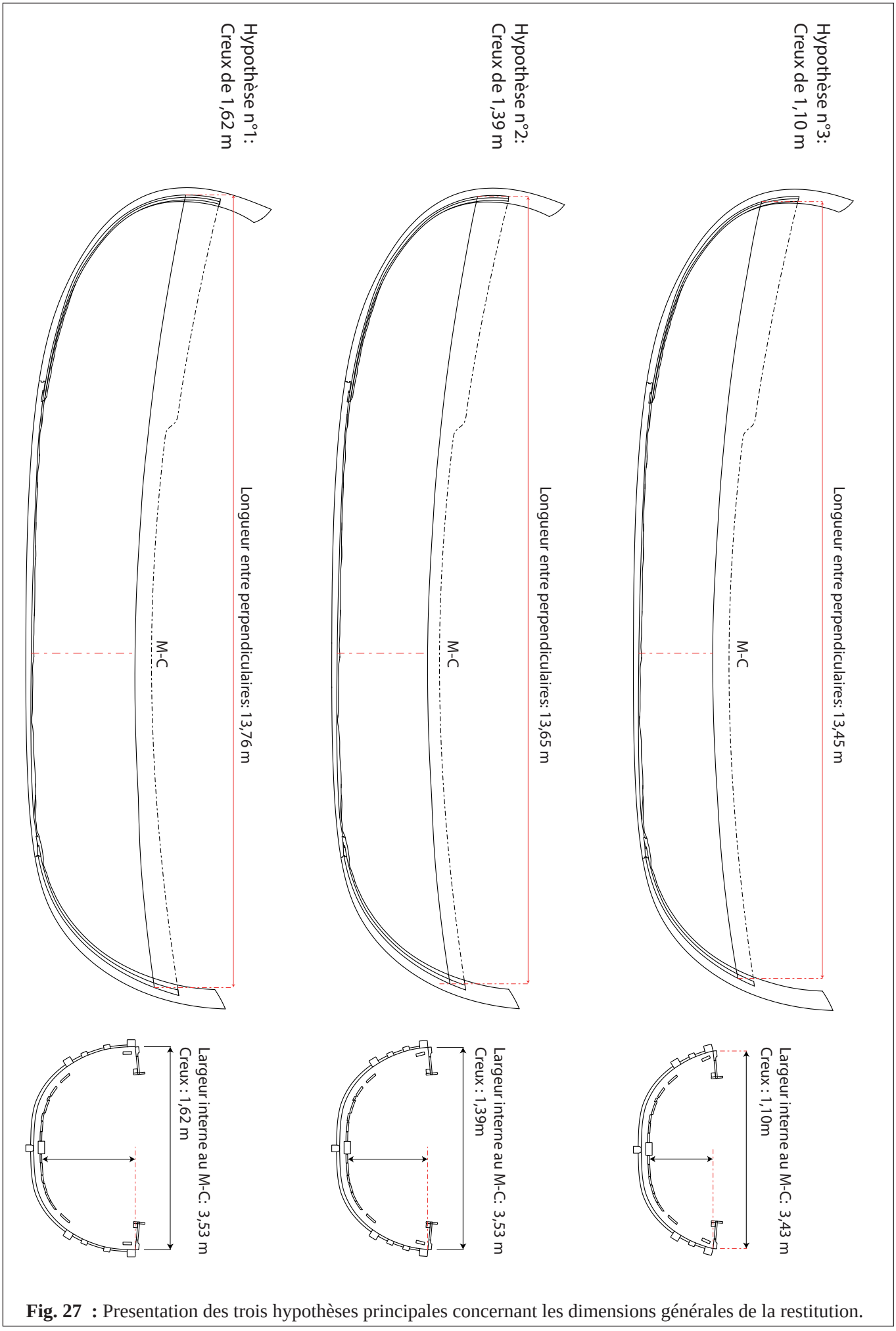


Fig. 27 : Presentation des trois hypothèses principales concernant les dimensions générales de la restitution.

Hypothèse 2° : une autre hauteur sous-barrots peut être obtenue en utilisant : soit le rapport L/h de l'épave *Laurons 2* (1,35 m), soit le rapport moyen L/h des épaves *Cavalière* et *Laurons 2* (1,47 m). Sur *Napoli A*, si l'on restitue, après la deuxième préceinte, deux autres niveaux de préceinte en maintenant les dimensions des virures et des préceintes observées sur les vestiges, nous obtenons une hauteur de livet de **1,39 m**, valeur lui permettant de se rapprocher du rapport L/h observé sur l'épave des Laurons (9,82 contre 10,07 pour *Laurons 2*).

Hypothèse 3° : Enfin, les hauteurs sous barrot obtenues avec l'application sur notre restitution des rapports l/h des épaves de *Cavalière* et *Laurons 2* sont proches (en moyenne et en particulier): 1,06 m, 1,07 m et 1,06 m. (valeur moyenne 1,06 m). Si l'on répète, après la deuxième préceinte (niveau conservé), la même largeur de virure que celle existante entre les premières préceintes, virure qui serait suivie d'une troisième préceinte égale à la première, nous obtenons une hauteur de livet de **1,10 m**. Valeur lui permettant de se rapprocher le plus du rapport l/h des deux restitutions comparées (3,12 contre 3,30 pour *Laurons 2* et 3,28 pour Cavalière).

Tab. 6 : Récapitulatif des dimensions principales des trois hypothèses de restitution des dimensions **(Fig. 27)** :

	Hypothèse 1	**Hypothèse 2**	**Hypothèse 3**
Longueur HT	14,25	14,25	14,25
Longueur entre perpendiculaires	13,76	13,65	13,45
Largeur MC max (y compris les préceintes)	3,75	3,75	3,65
Largeur MC (face int.)	3,53	3,53	3,43
Creux au MC	**1,62**	**1,39**	**1,10**
Hauteur bas de quille-pavois (BQP)	2,17	1,87	1,66
Rapport L / l	3,9	3,87	3,92
Rapport l / h	**2,18**	**2,54**	**3,12**
Rapport L / h	**8,49**	**9 ,82**	**12,22**
Rapport l max / h BQP	1,73	2	2,2
Rapport L HT / h BQP	6,56	7,62	8,58

Naturellement ce sont donc ces trois schémas qui ont fait l'objet d'une étude de restitution plus poussée. Ainsi, les hypothèses 1° et 2° ont vu leur étude entièrement développée : maquette de vérification des formes[160], établissement des plans de formes, restitution tridimensionnelle informatisée, devis de poids et analyses hydrostatiques. L'hypothèse 3° n'a pas bénéficié d'une recherche aussi complète : si le plan de formes a bien été réalisé, la réalisation d'un modèle tridimensionnel détaillé ne nous a pas semblé nécessaire[161]. À noter que des évaluations du devis de poids ainsi que des caractéristiques hydrostatiques ont pu être développées à partir des données mesurées sur les hypothèses précédentes.

Bien que délicate, la désignation d'une seule et unique hypothèse au sein de cette sélection, s'est trouvé facilitée selon nous par la dévalorisation des hypothèses 1 et 3. Chacune d'elle présente en effet un élément discriminant dans leur proportion qui fragilise leur choix. L'hypothèse 1, contrairement aux deux autres est caractérisée par une hauteur de pavois nécessitant la restitution de virures de pavois dont les dimensions (29,5 cm) ne correspondent pas aux dimensions observées sur les vestiges entre les deux préceintes conservées (18 cm). Si le choix de restituer des dimensions de virures et de préceinte, comparables à celles encore en place peut être discuté, il nous semble que c'est cependant la solution qui doit tout d'abord être privilégiée, étant donné que c'est là le schéma le plus simple[162]. L'hypothèse n°3 répond bien à ce critère, puisque la préceinte supérieure est restituée à partir de la préceinte inférieure conservée et que l'espacement entre les trois niveaux est régulier. Cependant, dans cette configuration notre restitution présente un rapport Longueur/hauteur qui nous paraît trop élevé : il est de 12,22, soit bien plus que pour n'importe quelle autre restitution de navire antique. Si dans sa section transversale au maître-couple l'hypothèse paraît bien proportionnée, la hauteur du livet semble faible lorsque l'on se réfère à la vue longitudinale. Par ailleurs, l'espace disponible pour le chargement s'en trouverait considérablement réduit. Si cette hypothèse paraît moins probable que celles développées plus

[160] Maquette commune mais modifiée lors du changement d'hypothèse.

[161] Un modèle tridimensionnel de la carène a effectivement été produit. Il ne s'agit ici que d'une seule surface représentant la forme hors-bordé de la coque et non d'un modèle détaillé comme réalisé pour les autres hypothèses.

[162] Il nous est cependant apparu difficile de baser cette réflexion sur des arguments appuyés : qu'ils proviennent soit d'exemples archéologiques d'épaves antiques soit d'exemples provenant de l'architecture navale traditionnelle, soit encore de l'iconographie. Deux exemples archéologiques peuvent cependant être évoqués : il s'agit d'une part de l'épave *Jules-Verne 7* daté de la fin VIème s. av. J.-C sur laquelle trois niveaux de préceinte ont été préservés. La largeur de la virure située entre la préceinte basse et la préceinte intermédiaire est sensiblement inférieure à celle de la virure située entre cette dernière préceinte et la préceinte supérieure (Pomey, 2006, p. 74-77). D'autre part, sur l'épave byzantine de Yassi Ada (VIIème s. ap. J.-C.), J. R. Steffy, propose une restitution dans laquelle quatre préceintes sont espacées de manière quasiment régulière, à l'exception de la dernière virure de pavois qui s'avère moins large (Bass, van Doorninck, 1982, p. 61 et p. 79). Il semblerait que l'épave de Grado, datée du milieu du IIème s. ap. J.-C., présente au niveau du maître-couple, trois niveaux conservés de préceinte (Beltrame, Gaddi, 2007, p. 146 ; Beltrame et *al*., 2011, fig. 3-4, p. 276). Malheureusement aucun relevé de cette partie n'ayant été publié, nous ne pouvons que nous fier aux affirmations des auteurs, qui ne précisent malheureusement pas non plus dans leur rédaction les dimensions de ces pièces. (Dell'Amico, 1999, p. 70, fig. 8)

longuement, elle n'en demeure pas moins une possibilité qui ne pouvait être négligée, ce qui nous a amenés à en produire une analyse succincte.

L'hypothèse n°2, rassemblant le plus d'arguments positifs : ses rapports de proportions sont équilibrés et se rapprochent de ceux constatés sur l'épave n°2 de l'anse des Laurons. Par ailleurs, comme nous le signalons plus haut : un tel creux permet la restitution de quatre niveaux de préceinte en maintenant un espacement régulier des préceintes. Elle s'est donc tout naturellement imposée comme la restitution la plus vraisemblable. C'est donc sur cette seule base minimale que nous développerons désormais en détail le processus de notre restitution.

Tab. 7 : Dimensions principales de l'hypothèse n°2 de *Napoli A*.

Longueur Hors-tout	**Larg. max (M-C) face ext. préceinte 2**	**Larg. (M-C) face int. préceinte 2**	**Creux int. (M-C)**
14,25 m	3,75 m	3,53 m	1,39 m

3.3. Reconstitution des parties conservées :

3.3.1. Charpente Axiale :

Les éléments constituant la charpente axiale ont été fortement dégradés lors de leur utilisation. La face inférieure de la quille a été considérablement abrasée sur une grande partie de sa longueur et il s'avère difficile d'en connaître avec exactitude l'épaisseur originelle. À cela s'ajoute que le profil supérieur de la quille n'a pas été particulièrement ajusté lors de sa réalisation ce qui entraine localement des variations de cotes parfois importantes. Afin de restituer l'ensemble de la quille, nous nous sommes donc basés sur les zones ponctuellement les mieux préservées : aux alentours du couple M12 et surtout dans la partie centrale du navire entre les couples M25 et M29. La section moyenne de la quille restituée se présente ainsi sous la forme d'un rectangle de 11,50 cm d'épaisseur sur 13,50 cm de hauteur, dont les angles supérieurs ont été chanfreinés afin d'accueillir le galbord. La face supérieure n'a pas été lissée et conserve son aspect brut, la face inférieure a, quant à elle, été lissée permettant ainsi de bien distinguer l'arc de quille **(Fig. 28)**.

Pour ce qui est des extrémités, la restitution s'est trouvée facilitée par la bonne préservation des deux brions d'étrave et d'étambot. Contrairement à la quille, ces deux pièces n'ont pas subi de dégradations majeures lors des échouages, ce qui nous permet d'en restituer, avec une bonne précision, à la fois les sections et leurs courbures générales (déduites du plan de formes). Il est bon de souligner que la transition entre le chanfrein de la quille et les râblures sur les extrémités s'effectue aux alentours des traits de Jupiter avant et arrière, ce qui n'a pas manqué de poser problème notamment vers l'étrave, où l'ajustage irrégulier au niveau de la transition perturbe légèrement l'insertion du galbord.

3.3.2. Bordé et préceintes :

Le travail pratiqué lors de la réalisation du modèle des vestiges remis en place a permis la restitution du bordé conservé. Cette partie est d'importance, puisque l'ensemble du bordé conservé représente environ 47,3% du total du bordé qui sera par la suite restitué. Si on se limite au côté bâbord le mieux préservé, ce pourcentage augmente pour atteindre 54,4%.

Pour revenir sur la vérification du plan de formes et du plan de bordé, nous avons voulu illustrer l'adéquation aux relevés de terrain du bordé ainsi restitué, en faisant apparaître

Fig. 28 (Bis) : Vue de dessous de la restitution du bordé sur le modèle tridimensionnel.

Fig. 28 : Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel (vue de bâbord).

ces derniers directement dans le modèle de restitution. S'il ne s'agit que d'un aperçu qui ne rend pas compte de tous les décalages, il est toutefois appréciable de pouvoir juger en direct des éventuelles irrégularités et déformations du bordé, zone qui est particulièrement complexe à restituer et à représenter. On remarquera ainsi pour les parties conservées de multiples secteurs de déformations légères : zones tantôt convexes ou concaves, qui ne troublent cependant pas l'aspect homogène de l'ensemble. On note par ailleurs quelques particularités, telles que les extrémités qui, comme nous l'avons déjà souligné pour la proue, présentent généralement une légère ouverture du bordé due au détachement des clous qui maintenaient originalement en place les virures dans la râblure, ou encore la zone tribord arrière qui s'est affaissée suite à la destruction d'une partie de la coque dû au passage du forage pour le drain du puits de construction.

A la restitution des virures simples du bordé s'ajoute bien évidemment celle des préceintes, représentées elles-aussi une à une : sur chaque bord le repositionnement et les dimensions des préceintes nous étaient donnés par les différents relevés. On remarquera la différence d'épaisseur entre les deux préceintes basses et la préceinte conservée la plus en hauteur. Cette dernière, présentant une section nettement plus réduite, sera amenée comme nous le verrons, à être interprétée comme une préceinte de transition. La difficulté principale, concernant ces préceintes, fut de bien prendre en compte sur toute la longueur de la carène les distorsions ponctuelles : on remarque ainsi que chacune des deux préceintes n'est pas disposée de manière tout à fait parfaite et que le lissage s'avère aléatoire.

3.3.3. Charpente transversale :

La reconstitution des parties conservées de la charpente transversale n'a pas posé de problèmes particuliers. Soulignons ici que la charpente transversale conservée représente environ 57,3 % de la membrure restituée. De plus, si l'on se limite au seul côté bâbord, le pourcentage monte jusqu'à 68,3 % **(Fig. 29)**. Le fait de pouvoir s'appuyer sur un peu plus des deux tiers des formes de la membrure permet de valider sans trop d'incertitudes le plan des structures transversales dans les fonds. Il permet aussi de s'assurer, grâce aux nombreux points de vérification, de la validité du plan de formes ainsi que de la restitution des couples détériorés ou disparus. On se doit toutefois de remarquer l'hétérogénéité du degré de précision atteint dans la reconstitution, conséquence d'une inégale répartition des relevés. Si tous les couples ont fait l'objet de relevés en plan détaillé, le relevé en coupe n'a quant à lui été

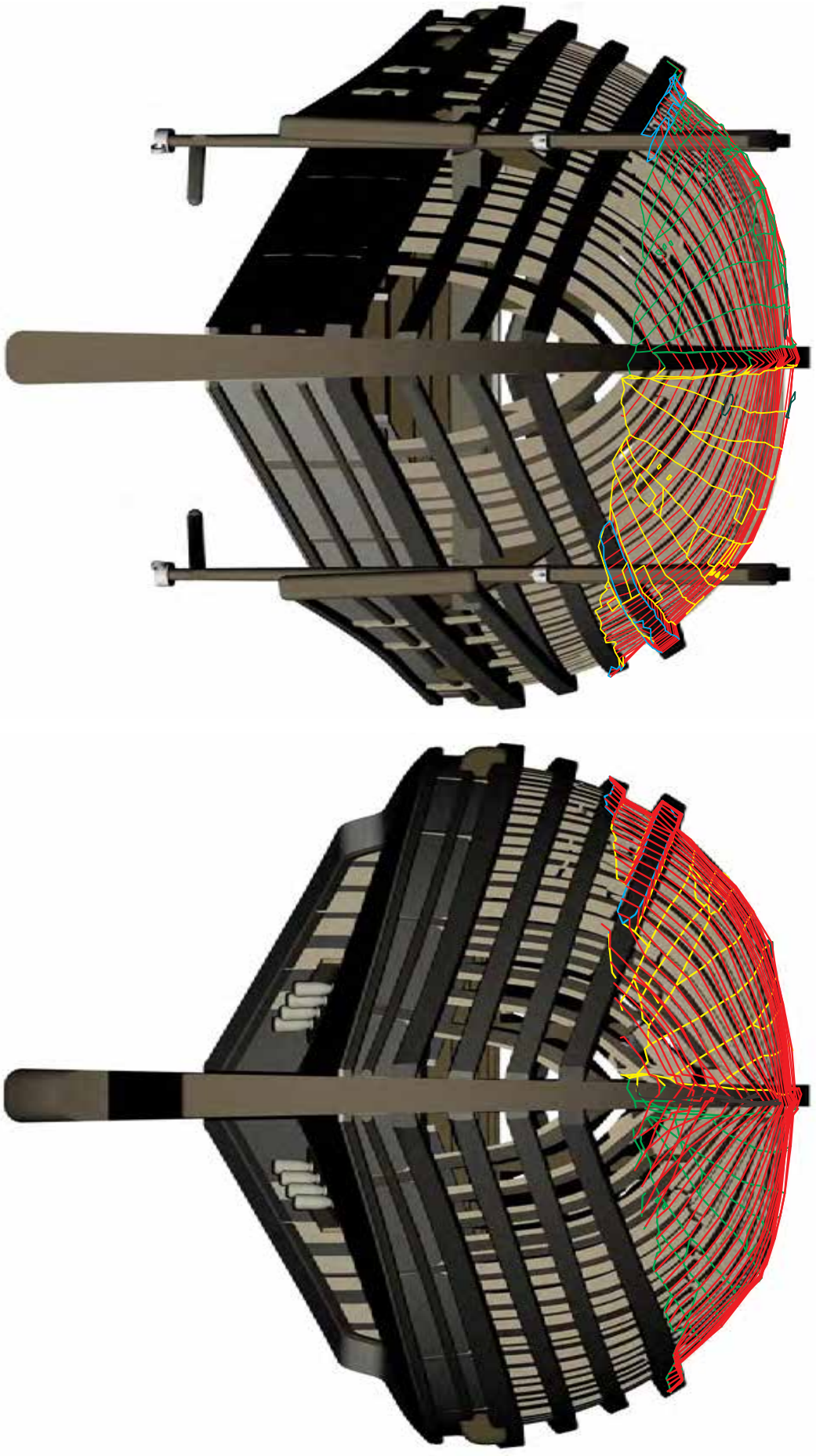


Fig. 29 : Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel.

effectué que sur une seule partie des couples. Vingt et un couples ont ainsi été relevés manuellement et par topographie, ce qui permet de les reconstruire de manière détaillée. Pour les couples restants, il a fallu, afin d'en déterminer la forme, combiner le profil supérieur relevé au théodolite, avec le relevé en plan et le plan de forme. Une telle disparité se traduit notamment dans le traitement des écarts entre les demi-couples ou entre les varangues et les allonges : des coupes nettes et droites se retrouvent plus souvent dans les zones ou les relevés sont moins nombreux.

L'ensemble des varangues ont pu être ainsi reconstruites, à l'exception de trois fourcats (M0 et M2 sur l'arrière, M52 sur l'avant) ayant disparu au moment de la découverte. Pour ce qui est des allonges, on a tenté systématiquement de reproduire avec précision le niveau réel de conservation. On remarque toutefois certaines différences entre les relevés qui entrainent des légères variations sur l'enregistrement du niveau de conservation (quelques centimètres maximum), ce qui s'avère, au final, sans conséquences.

3.3.4. Vaigrage et charpente interne :

Les éléments d'architecture conservés à l'intérieur de l'épave n'ont pas fait l'objet d'une reconstruction spécifique : tant les vaigres fixes que les vaigres mobiles conservées ont été restituées à partir des relevés en plan manuels et des relevés au théodolite. Un certain nombre de payols (vaigres mobiles) ont par ailleurs été rajoutés aux endroits où il nous a paru évident qu'elles avaient disparu. La question s'est posée pour la restitution de ces mêmes éléments entre la troisième et le quatrième rang de vaigres fixes : pour l'instant l'inclinaison formée par les membrures dans cette zone (zone du bouchain) ne nous fait pas privilégier la restitution d'un autre rang de payoles. En ce qui concerne les vaigres fixes, il est à noter que le côté bâbord compte un niveau de plus que le côté tribord. Il nous a donc paru logique de restituer ce dernier niveau, le quatrième, aussi du côté tribord, ce qui n'a pas posé de problème majeur quant à la disposition des niveaux précédents.

L'un des principaux problèmes rencontré lors de la restitution du vaigrage concerne l'endroit où devaient s'achever les vaigres : il nous a semblé que le niveau de conservation ainsi que la terminaison de certaines vaigres définissait grossièrement l'emprise de celui-ci. Il a donc été choisi de limiter le vaigrage entre les couples M7 et M50. Les deux premières vaigres s'étirant manifestement un peu plus que les autres sur l'arrière, pour atteindre le couple M2.

La restitution du massif d'emplanture s'est faite sans souci particulier. Un premier massif, détaillé, a été réalisé afin de bien se rendre compte de l'aménagement de la face inférieure de celui-ci. Un second massif, simplifié sur le dessous a été utilisé dans le modèle virtuel afin d'en alléger le contenu. On notera que l'absence particulière, sur la face supérieure de l'emplanture, de toute mortaise, en dehors de celles habituelles découvertes autour de l'implantation du pied de mât, nous a permis de mettre de côté définitivement l'hypothèse d'un navire à propulsion mixte. L'emplanture mis au jour sur l'épave du navire à propulsion mixte *Pisa C*[163], découvert sur le chantier des navires de Pise, démontre que dans une configuration mixte, l'emplanture de *Napoli A* aurait alors dû présenter les traces de mortaises destinées aux épontilles de soutien des bancs de nage transversaux.

[163] Camili, 2002, p. 11 ; Bruni, 2000, p. 67, fig. 37

3.4. Restitution des parties disparues : œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement

3.4.1. Utilisation de l'iconographie dans la restitution d'éléments ponctuels pour *Napoli A* :

L'hypothèse de restitution envisagée initialement est celle d'un navire marchand d'une taille modeste, présentant une étrave convexe, partiellement ponté et à propulsion vélique[164]. Ce cadre initial trouve son fondement dans les vestiges qui attestent clairement des premières caractéristiques de l'hypothèse de restitution. Par ailleurs, pour ce qui est de l'apparence du gréement, plusieurs facteurs ont été pris en compte : le fait que l'on n'ait découvert qu'une seule mortaise de pied de mât sur le massif d'emplanture et que celle-ci se retrouve décalée d'environ un tiers en avant du maître-couple permet d'écarter l'hypothèse d'un gréement à livarde, et d'écarter aussi, compte tenu de la longueur hors-tout restituée, l'hypothèse d'un second mât dont aucune trace n'a été retrouvée.

Du point de vue de la restitution, en particulier de parties distinctes du navire, les choix qui ont été adoptés se fondent essentiellement sur un corpus iconographique relativement fourni d'une quinzaine de représentations de navires de commerce, datées entre le Ier s. avant J.-C. et le IVème s. ap. J.-C[165] et qui correspondent, autant que possible, au cadre initial défini pour notre hypothèse. On se doit cependant de noter que toutes ne sont pas à placer sur un même pied d'égalité : la proximité typologique ou chronologique des représentations sélectionnées s'avérant relativement hétérogène. Nous avons donc avant tout cherché à rassembler ces documents en les classant en fonction de critères tels que leur datation, leur origine géographique, le nombre de mâts observés, ainsi que la fonction marchande supposée du navire[166].

Dans un premier temps, nous avons classé ces représentations afin de définir différents groupes. Dans le premier de ces groupes, les iconographies présentent une datation entre le Ier

[164] Concernant la présence partielle ou complète d'un pont, rappelons que les vestiges laissent apparaître un certain nombre de mortaises dans la charpente interne. Elles sont à n'en pas douter les marqueurs de la présence d'épontilles de soutient qui définissent donc la présence d'un pont à ces endroits. Nous verrons plus loin dans quelle mesure nous pouvons établir son extension.

[165] L'élargissement d'un siècle, depuis le IIIème s. au IVème s. ap. J.-C., du champ chronologique de notre corpus provient de la volonté d'inclure dans celui-ci des représentations dont les datations sont incertaines et qui recoupent avec le IVème s. ap. J.-C. C'est notamment le cas pour la peinture représentant le cycle de Jonas dans le cimetière de la Via Anapo et pour le sarcophage du Capitaine Eudemos d'Olympus.

[166] Par l'observation du nombre de mâts nous entendions pouvoir classer les différents navires selon leur taille d'origine. Se présupposé s'avère discutable et nous en avons donc tenu compte.

et le IIème s. ap. J.-C et concernent des navires d'une taille que l'on peut imaginer semblable à celle de *Napoli A*, qui n'arborent qu'un seul mât et qui ont été découverts dans le bassin occidental de la Méditerranée. Leur utilisation est donc tout particulièrement justifiée dans le cadre de la restitution de *Napoli A*, puisqu'elles rassemblent *a priori* l'ensemble des conditions (chronologique, géographique, typologique) posées initialement.

Tab. 8 : Premier groupe de comparatifs iconographiques :

Document iconographique	Datation	Lieu de découverte	n° mâts	Fonction Marchande	Référence bibliographique
Fresque de *Lesbianus* **(Fig. II)**	Ier s. ap. J.-C.	Pompéi	1	Oui	Pomey 1997, p. 36
Relief de Naevolia Tyché **(Fig. IV)**	Ier s. ap. J.-C.	Pompéi	1 (2?)	Oui	Pomey 1997, p. 40
Statio n°46 place des corporations d'Ostie **(Fig. XI)**	vers 190-200 ap. J.-C.	Ostie	?	Oui	Becatti, 1961, n°120, Tav.179
Statio n°54 place des corporations d'Ostie **(Fig. XII)**	vers 190-200 ap. J.-C.	Ostie	1	Oui	The Navis II project

Dans le second groupe, l'un des facteurs (chronologique, géographique, typologique), signalé en rouge, ne correspond plus au canevas tel que nous l'avons défini :

Tab. 9 : Deuxième groupe de comparatifs iconographiques :

Document	Datation	Lieu de découverte	n° mâts	Fonction Marchande	Référence bibliographique
Graffito du navire *Europa* **(Fig. III)**	Ier s. ap. J.-C.	Pompéi	**2**	Oui	Pomey 1997, p. 83
Stèle de *P. Clodius Quirinali* **(Fig. V)**	Ier s. ap. J.-C.	Trieste	**2**	Oui	Basch, 1987, fig.1045
Mosaïque de Rimini **(Fig. VI-VII)**	entre 117 et 138 ap. J.-C	Rimini	**2**	Oui	Rougé, 1984, p.241, fig.9
Statio n°10 place des corporations d'Ostie **(Fig. IX)**	vers 190-200 ap. J.-C.	Ostie	**2**	Oui	Becatti, 1961, n°92, Tav.178
Stèle de *Kornoutos* **(Fig. XIII)**	IIème ou IIIème s. ap. J.-C.	**Izmit (Turquie)**	1	Oui	Pekary, 1999, p.373, TR-3
Peinture de la catacombe de *Via Anapo* **(Fig. XII)**	**IIIème ou IVème s. ap. J.-C.**	Rome	1	Oui	Josi, 1928, fig.30
Relief de la Villa Medicis **(Fig. XX)**	**IIIème s. ap. J.-C.**	Rome	1	Oui	Pomey 1997, p. 121

Enfin, dans le troisième groupe ce sont deux facteurs qui font défaut :

Tab. 10 : Troisième groupe de comparatifs iconographiques :

Document	Datation	Lieu de découverte	n° mâts	Fonction Marchande	Référence bibliographique
Relief Torlonia – *Portus* (navire de gauche) **(Fig. XIV)**	**IIème-IIIème s. ap. J.-C.**	Ostie - Portus	**2**	Oui	Pomey 1997, p. 82
Stèle de *Kalleinikos* **(Fig. XVI)**	**IIIème s. ap. J.-C.**	**Sinope (Turquie)**	1	Oui	Casson, 1971, n°143
Sarcophage d'*Eudemos* **(Fig. XV)**	**?**	**Olympus (Turquie)**	?	Oui	Pekary, 1999, p.380 Tr32
Relief de Sidon **(Fig. VIII)**	**IIème s. ap. J.-C.**	**Sidon (Liban)**	**2**	Oui	Pomey 1997, p. 12

Dans un second temps, nous avons procédé de manière différente en classant ces mêmes représentations selon un seul et unique critère. Ainsi un premier groupe correspondait uniquement aux représentations dont les datations correspondaient au canevas chronologique initialement défini (Ier et le IIème s. ap. J.-C), indépendamment des autres critères, un second aux représentations du bassin nord-occidental de la Méditerranée et un dernier rassemblant les iconographies des navires ne présentant qu'un seul mât.

De cette manière nous estimions pouvoir établir une méthode adéquate pour la restitution d'éléments particuliers. Prenons l'exemple du calcet double[167] :

Si l'on s'en tient strictement aux critères chronologiques, typologiques et géographiques tels que nous les avons définis, il n'existe aucune représentation qui nous permette d'établir de manière justifiée sa présence potentielle sur *Napoli A*. Sa présence sur le navire de *Lesbianus* **(Fig. II)**, ne peut être malheureusement avérée, étant donné le faible degré de détail de cette représentation. Il apparaît aussi vraisemblablement sur le navire figuré sur le monument de *Naevolia Tyché* **(Fig. IV)**, qui correspond *a priori* à nos critères de sélection. Mais il nous semble que l'ambigüité sur la taille réelle de ce navire ne permet pas d'être catégorique dans l'usage de cette représentation. Il en va de même, concernant la taille, pour le navire *Europa* **(Fig. III)**, ou encore pour les bateaux de la mosaïque de Rimini **(Fig. VI-VII)**. En tenant compte de ces premières observations, il nous est donc possible d'attester de l'utilisation de calcets doubles sur les navires de commerce à voile d'une certaine taille, durant les deux premiers siècles de notre ère dans le bassin occidental de la Méditerranée. Cependant l'ambiguïté d'interprétation des représentations du navire de

[167] Voir *infra,* la partie concernant la restitution du gréement.

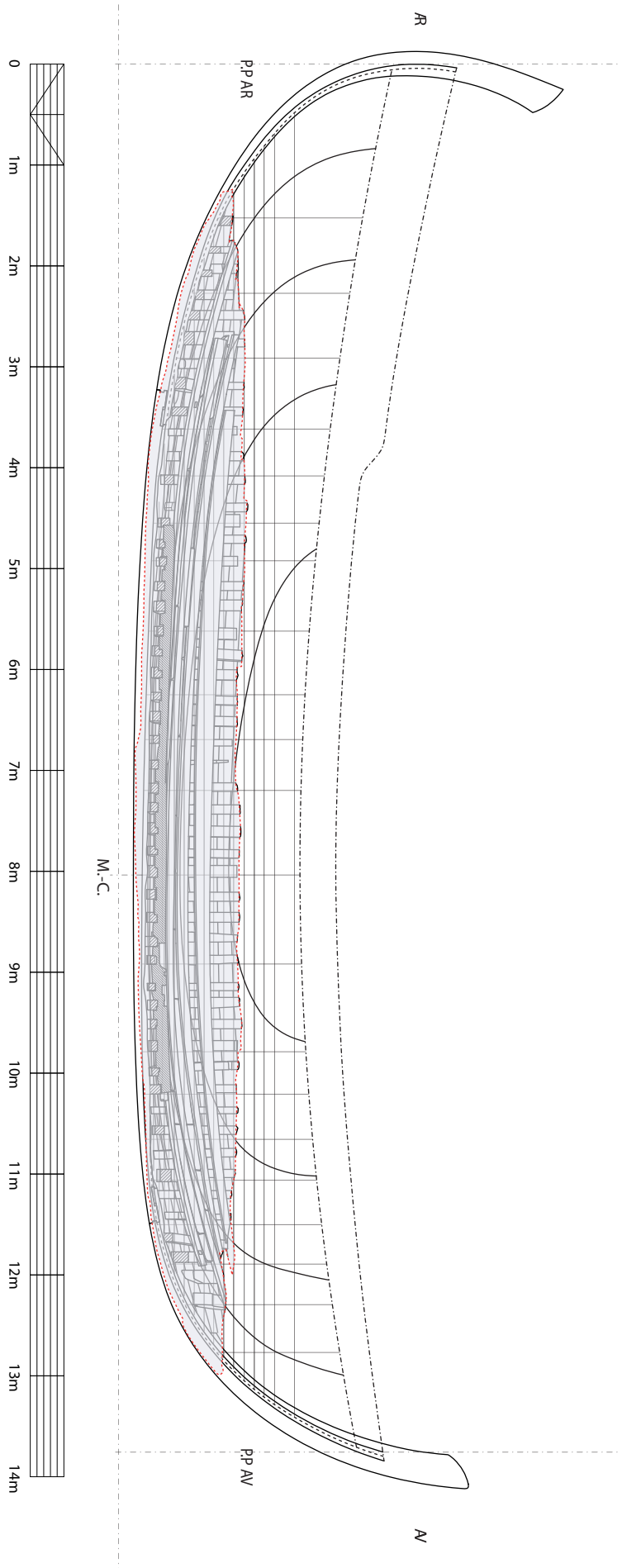
Lesbianus et du monument à *Naevolia Tyché*, ne permet pas d'être affirmatif sur le fait que ce calcet double pouvait aussi être utilisé sur les embarcations de tailles plus réduites. Or au sein de notre corpus, on remarque qu'une représentation donne à voir un navire de commerce à voile ne présentant qu'un seul mât et sur lequel on retrouve le même calcet double : la stèle de *Kalleinikos* **(Fig. XVI-XVII)**. Malheureusement, cette représentation s'avère plus tardive (datée du IIIème s. ap. J.-C.) et doit être replacée dans un contexte oriental puisqu'il a été découvert en Turquie. Toutefois, en couplant les informations de cette dernière représentation avec les données précédemment établies, nous obtenons une argumentation suffisamment étayée pour appuyer la restitution d'un calcet double au sein de notre hypothèse.

Au final, au-delà des parties conservées, ce sont donc ces quinze représentations qui fournissent le canevas général pour ce qui est de l'aspect général de notre restitution[168]. Afin cependant d'obtenir un modèle plus complet, nous avons dû nous appuyer sur d'autres sources, archéologiques et ethnographiques que nous détaillerons dans les parties suivantes.

3.4.2. Charpente axiale :

La restitution des parties disparues de l'étrave et de l'étambot s'est faite en s'appuyant sur le plan de formes, un fois celui-ci dument vérifié. Les profils des deux massifs sont déduits de façon empirique par rapport au niveau du livet et de la hauteur de pavois restitués. À partir de ces points de référence, nous avons légèrement surélevé nos élancements afin de se rapprocher de l'allure observée sur de nombreux exemples iconographiques. À titre d'exemple, nous citerons particulièrement le navire représenté à la *Statio* n°10[169] de la place des corporations d'Ostie **(Fig. IX)** ou encore celui présent sur la stèle de *Kalleinikos*[170]. En particulier, il nous semble que les massifs de poupe présentent dans leurs parties les plus hautes une incurvation plus importante tournée vers le centre du bateau : c'est même quasiment une constante[171]. On retiendra, entre autres, que les navires de la fresque de *Lesbianus* ou ceux de la mosaïque de Rimini, deux représentations très utilisées dans notre processus de restitution, présentent en effet cette morphologie particulière. Nous avons fait en sorte de restituer cette allure dans la courbure d'étambot de notre hypothèse.

[168] Nous avons aussi eu recours à d'autres représentations qui certes s'avèrent plus éloignés des caractéristiques de *Napoli A* mais qui permettent de renforcer ponctuellement, un choix restitutif précis.
[169] Becatti, 1961, n°99, Tav. 177
[170] Casson, 1971, n°143
[171] A l'exception, notable dans le cadre de notre étude, des deux navires figurés à la *statio* n°54 de la place des corporations d'Ostie, que nous jugeons pourtant très proche de *Napoli A*.



Pl. VII : Aperçu de l'importance des vestiges ainsi que de leur remise en place sur le longitudinal du plan de formes.

Nous avons, par contre, choisi de ne pas représenter le col de cygne que l'on retrouve pourtant de façon répétée sur diverses iconographies. Nous jugeons, cependant, que celui-ci est plus généralement représenté lorsqu'il s'agit de navires de dimensions importantes[172]. Il est ainsi commun de constater son absence sur les représentations de navires plus modestes.

Concernant la râblure, nous avons fait le choix de prolonger celle-ci au-delà du livet et ce jusqu'à une hauteur correspondant à celle du pavois qui pouvait du coup venir s'y insérer à l'image du bordé[173]. On aurait toutefois pu s'abstenir et imaginer le clouage simple des aboutissements des virures de pavois sur les massifs d'étrave et d'étambot **(Pl. VIII).**

3.4.3. Charpente transversale :

L'ensemble des couples a été prolongé afin d'atteindre la hauteur du livet. Comme nous l'avons signalé, trois fourcats ont fait l'objet d'une reconstruction complète : M0 et M2 sur l'arrière, M52 sur l'avant. La question de la restitution des jambettes s'est révélée difficile. Nous avons, au final, pris le parti de prolonger une allonge de couple sur deux en se référant à l'alternance déjà observée sur l'épave *Laurons 2*[174] **(Fig. 30)**. Nous reviendrons plus en détail sur la restitution de ces éléments dans la partie consacrée à la restitution des éléments de pavois. Notons cependant que cette alternance se rapproche aussi d'un modèle encore en vigueur très récemment dans la charpenterie navale traditionnelle[175].

Aux extrémités deux guirlandes viennent renforcer l'aboutissement des préceintes hautes sur les massifs d'étambot et d'étrave. La restitution de tels éléments se fait à défaut de celle de deux fourcats qui seraient alors situés plus proche des extrémités[176]. Or il nous semble qu'à ces endroits, les profils très courbes de la charpente axiale et des virures de bordé, ne permettent pas raisonnablement de placer d'autres fourcats. Si les guirlandes ne

[172] Notons cependant la présence isolée, non loin de l'épave d'une petite barque découverte à Herculanum, d'un élément décoratif de la charpente axiale d'un petit navire que l'on peut interpréter comme un col de cygne (élément non publié, communication personnelle de G. Boetto). Une photo est consultable sur le site de la Surintendance archéologique de Pompéi à l'adresse suivante : http://www.pompeiisites.org/Sezione.jsp?titolo=Le%20Attivit%E0%20Marinare%20ad%20Ercolano&idSezione=2137&idSezioneRif=2136 (consultée le 14/12/2011).

[173] L'assemblage de la première virure de pavois avec la préceinte haute sur l'épave 2 des Laurons (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 85) renforce cette idée d'une râblure qui accueillerait le pavois tout comme pour le bordé et les préceintes.

[174] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 75-105 ; À noter que cette alternance se retrouve aussi sur l'épave de County Hall, dont le caractère fluvio-maritime particulier ne nous permet de dresser un parallèle direct avec notre épave (Cf : P. Marsden, 1974, p. 59, fig. 4, et p. 61, fig. 6).

[175] Par exemple, sur les dundees et sloops langoustiers de Camaret (Cadoret, 1987, Tome 2, p. 60-63), ou encore sur les barques catalanes ou les jambettes peuvent se placer chaque deux ou trois couples (AAMM, 2000) ; voir aussi le navire à quille longue « type » de H. Dervin : Dervin, 1990, p. 191.

[176] Un élément, retrouvé sur l'épave de County hall, a été interprété par Marsden (Marsden, 1994, p. 118, fig. 107-H) comme un renfort ou une courbe de baux. L'existence d'un tel type de renfort permet de considérer la présence de ces guirlandes comme éventuel.

remplissent pas le même office que les fourcats, il n'en demeure pas moins que leur présence peut paraître nécessaire au renforcement des fermetures et permet accessoirement de donner un point d'appui aux virures de bordé de pont sur les extrémités.

3.4.4. Bordé et préceintes :

La hauteur sous barrot ainsi que le niveau du livet de pont sont, nous l'avons vu, deux données sur lesquelles il est difficile d'être catégorique. Nous présenterons ici exclusivement l'hypothèse n°2 basée sur l'utilisation du rapport de dimension L/h constaté sur l'épave *Laurons 2* et qui nous amène à restituer une hauteur sous-barrot se rapprochant de 1,365 m.

En respectant l'espacement observé, soit 17 cm, entre la préceinte la plus basse (T9b) et celle conservée un peu plus haut (T21b), ce sont quatre niveaux de préceintes qu'il nous a paru bon de restituer. La différence marquée dans le module de bois utilisé entre la préceinte basse (ép.11,5 cm x larg.14 cm) et la seconde (ép.7,5 cm x larg.11 cm) nous laisse penser que la deuxième préceinte est placée en transition. Par ailleurs, l'hypothèse menant à la restitution d'un « faux clin » comme on a pu en observer sur diverses épaves antiques, a été clairement mise de côté[177] : la découverte sur T21b, deuxième préceinte conservée, d'un fragment du bordé supérieur de moindre épaisseur que celle-ci et inséré dans une légère rainure entaillée sur la face supérieure de la préceinte, ainsi que d'une réparation effectuée sur sa face supérieure permet d'écarter définitivement cette possibilité. La répétition inversée du schéma conservé, préceinte de transition puis préceinte vers le haut de la carène, nous permet d'obtenir une hauteur sous barrot de 1,375 m au maître-couple. L'implantation des quatre niveaux s'effectue ainsi de façon régulière, avec un espacement de 17 cm entre chaque préceinte : deux préceintes massives encadrant les deux préceintes de transition, la préceinte la plus haute marquant alors la hauteur du livet. Une telle hypothèse de restitution a l'avantage de prolonger harmonieusement les vestiges, mais aussi de s'accorder avec nos conclusions sur les rapports de proportion établis précédemment **(Fig. 26, Fig. 27 et Pl. VII)**.

Une fois établie cette première disposition des préceintes vers le maître-couple, il s'est avéré nécessaire d'extrapoler ces écartements dans le plan longitudinal en procédant à une sorte de brochetage aux extrémités. Le lissage des préceintes nous permet d'obtenir le niveau du livet sur toute la longueur, définissant de ce fait la tonture globale du pont[178]. Ceci entraine par ailleurs l'utilisation de préceintes et de bordages plutôt courbes dans les hauts comme on

[177] Pomey, 2006, p. 74-77 ; Frost, 1995, p. 283-288 ; Frost, 1998, p. 161-163
[178] La flèche de la tonture étant à peu près équivalente à 1/22 fois la longueur au pont.

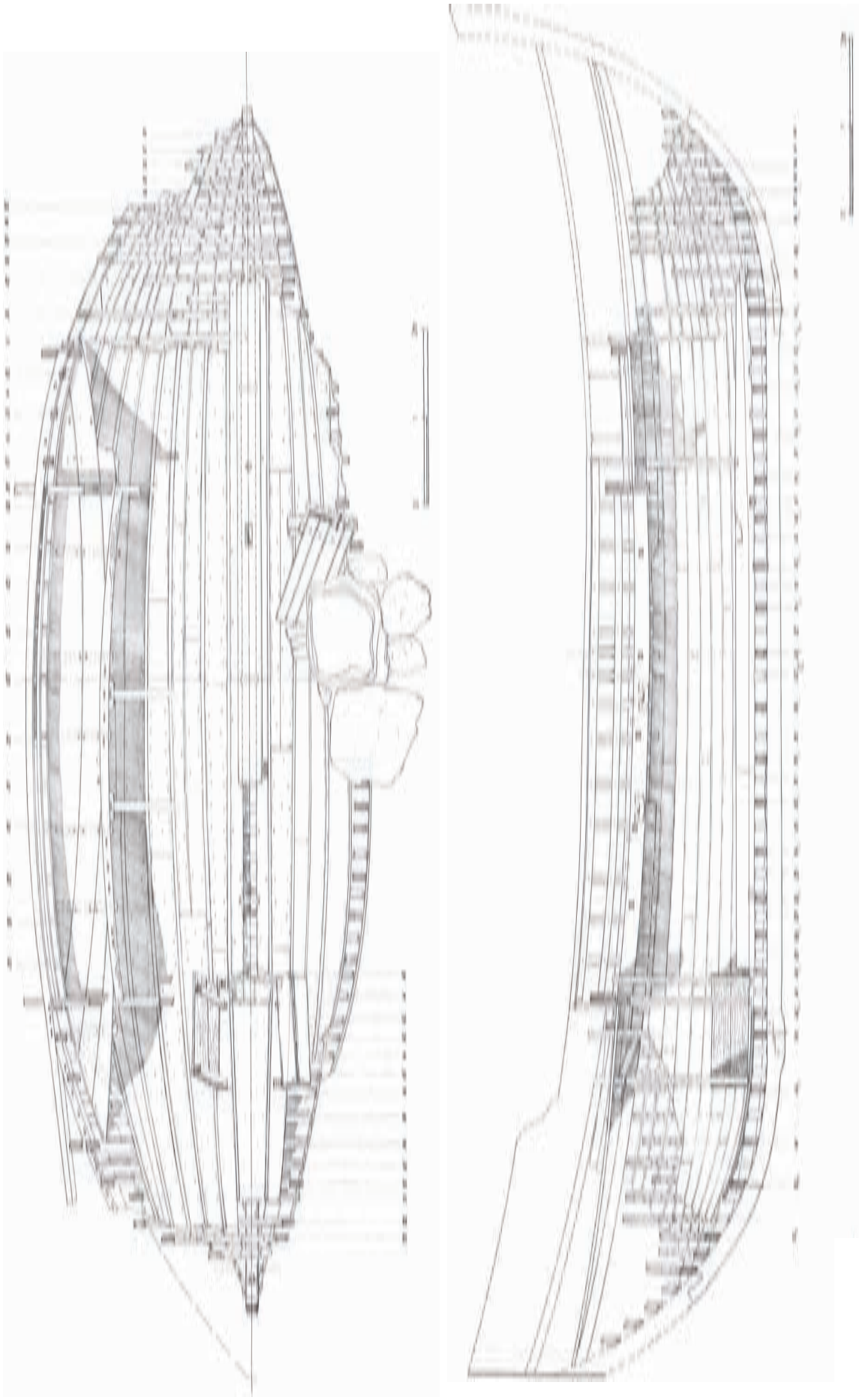


Fig. 30 : Planimétrie et projection longitudinale des vestiges de l'épave *Laurons 2* (tiré de: Gassend *et al.*, 1984)

peut l'observer sur le plan de bordé développé de vérification **(Pl. XI)**. On remarquera que la tonture est assez importante et plus marquée sur l'arrière, ce qui correspond à ce que l'on peut observer sur, entre autres exemples, le navire figuré à gauche de la *Statio* n°18 de la place des corporations d'Ostie[179] **(Fig. X)** ou bien encore sur la stèle de *Kalleinikos* retrouvée en Turquie[180].

3.4.5. Vaigrage et charpente interne **(Pl. IX)** :

Nous avons déjà détaillé, plus haut, la reconstitution des aménagements internes conservés. Concernant donc le vaigrage fixe et le vaigrage mobile peu de retouches ont été nécessaires. Dans l'idéal, tous les éléments conservés et observés durant la fouille doivent faire l'objet d'une interprétation qui soit pertinente et qui puisse s'intégrer harmonieusement dans le cadre de l'hypothèse de reconstitution. Malheureusement, certains détails dont la fonction nous échappe ne sont pas intégrés dans notre modèle. C'est le cas tout d'abord pour certaines marques et mortaises présents sur les vaigres fixes. Si la plupart peuvent être interprétées comme des mortaises destinées à accueillir les pieds d'épontilles de soutien du pont, certaines isolées demeurent énigmatiques[181]. Inversement on peut aussi s'interroger sur l'absence d'une mortaise sur la première vaigre fixe tribord, au niveau du couple M36, en regard de celle située sur bâbord. Asymétrie de l'implantation des épontilles ou négligence de fabrication ? Quoi qu'il en soit nous avons fait en sorte que la plupart[182] puisse s'accorder avec la position d'un barrot de pont ou d'un élongis, afin de pouvoir y placer une épontille. Autre élément qui n'a pu, en l'absence d'une identification fiable, faire l'objet d'une restitution est la pièce située sur la deuxième vaigre fixe à tribord (Fi2Bt) entre les couples M16 et M18. Si c'est clairement un élément de calage, à l'image d'une galoche, sa véritable destination demeure floue. L'absence de tout autre aménagement correspondant à un système de cloisonnement nous a amenés à omettre, par défaut, cette pièce dans notre restitution.

Les seuls aménagements internes remarquables que l'on puisse restituer de façon fiable se concentrent en deux endroits : autour de la mortaise de pied de mât, au niveau des couples M35 et M36, où devaient se trouver le fourreau d'étambrai et un ensemble

[179] Becatti, 1961, n°99, p. 177
[180] Casson, 1971, n°143; Basch, 1987, p. 481, n°1088
[181] Sur la première vaigre fixe à bâbord (Fi1Ab), au niveau des couples M9 et M48, ainsi que sur la première vaigre fixe tribord (Fi1Bt) au niveau du couple M23.
[182] À l'exception de la mortaise située au niveau du couple M23. Ses dimensions, plus importantes, nous laissent penser qu'elle n'a peut-être pas eut la même fonction que les autres mortaises dont les dimensions sont équivalentes entre elles mais différentes de celle placée au niveau du couple M23.

d'épontilles destinées à le renforcer ; et à l'arrière du massif d'emplanture, au niveau du demi-couple M13, qui délimite la sentine et par là, la zone de puisage de la pompe de cale. Nous reviendrons plus en détail sur ces deux ensembles.

3.4.6. Structures du pont **(Pl. VIII et IX)**:

Le travail de restitution des superstructures est rendu complexe par la quasi-absence de documents iconographiques représentant ces éléments autrement que de profil. De très rares représentations présentent en perspective certaines structures de navires spécifiques[183] sans toutefois pouvoir nous renseigner précisément sur les navires de commerce. Par ailleurs le corpus de modèles tridimensionnels (ex-voto, lampes à huile ou tout autre type d'objet prenant la forme d'un bateau) ne permet pas non plus d'obtenir des informations pertinentes sur ces structures particulières.

Faute d'éléments iconographiques, nous devons donc nous concentrer sur les quelques correspondances archéologiques dont nous disposons et qui permettent d'esquisser dans les grandes lignes le type de pont et de superstructures dans notre restitution. L'implantation générale du pont s'est faite en tenant compte de ce qui a pu être observé sur l'épave *Laurons 2*[184] et qui, selon nous, peut correspondre à la fois avec la taille et avec l'usage supposé de notre navire **(Fig. 22, 23 et 30)**. Il s'agit donc d'un pont couvrant la majeure partie du navire, notamment aux extrémités et laissant place, en son centre, à une écoutille de grandes dimensions (4,45 m de longueur sur 2,54 m de largeur) dont les bords sont parcourus par deux passe-avant présentant une largeur maximale de 44 cm. La taille de l'écoutille peut éventuellement prêter à interrogation : il est en effet assez inhabituel de constater des ouvertures aussi grandes sur les navires de charge[185] des périodes plus récentes. Pour autant certains témoignages archéologiques nous permettent d'envisager sérieusement la vraisemblance de cette hypothèse[186]: non seulement *Laurons 2* qui est notre référence

[183] On pense, par exemple, à la représentation d'une scène de pêche nilotique sur laquelle on peut apercevoir l'intérieur d'un petit navire de type *horeia* (Basch, 1987, p. 474, n°1069).
[184] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78, fig. 12, fig. 17c et fig. 21
[185] En ce qui concerne des périodes plus récentes, pour des constructions traditionnelles en bois, il n'y a guère que les navires destinés au transport de sables, ou d'autre marchandise transportée en vrac, qui présentent une telle ouverture. Les gabares lampaulaises en sont des exemples frappant (Cadoret, 1985, Tome 3, p. 277-379 ; et particulièrement p. 337 et p. 365). Dans l'espace méditerranéen, certaines tartanes ligures et d'autres embarcations de l'Adriatique comme les *bracere*, présentent, elles aussi, de tels aménagements.
[186] D'autres découvertes archéologiques se rapportant aux structures de pont ont fait l'objet de publication. Malheureusement, dans la plupart des cas, les informations s'avèrent : soit trop limitées, ce qui est le cas pour l'épave de *County Hall* (Marsden, 1994, p. 118, p. 122, fig. 107-D, 107-F et 115) ou pour celle de *Fiumicino 1* (Boetto, 2006, p. 61) qui ne présentent que des indices d'insertions de barrots transversaux ; soit mal renseignées à l'image de l'épave de *Punta Ala* (Ferrandi, 1980, p. 84). Véritables exceptions, les navires du lac de Nemi ont permis d'étudier en détail les structures formant la plateforme du pont

principale de reconstitution mais aussi les épaves de la période grecque archaïque *Jules-Verne 7* et *Ma'agan Michael*[187] ou encore l'épave de *Kyrénia*[188] remontant à la période hellénistique, présentent un pontage très partiel ou seules les parties avant et arrière sont couvertes, faisant place au centre à un grand espace de cale non ponté. Si l'on admet que le choix d'une cale très ouverte puisse provenir de l'adaptation parfaite de cet agencement au petit commerce de cabotage pratiqué par ces trois navires, dans notre cas, la restitution d'une grande écoutille nous a semblé bien s'adapter à un navire de batellerie de petite taille que l'on imagine être amené régulièrement à effectuer des chargements et des déchargements. De plus, la correspondance d'un tel schéma avec le peu d'indices de supports de pont présents sur les vestiges, nous ont confortés dans notre choix.

Nous avons déjà noté plus haut, à propos des vestiges, la présence de mortaises sur les éléments internes de la charpente (vaigres et emplanture) qui permettent de déterminer avec précision l'emplacement du pied de mât, le fourreau d'étambrai qui lui est associé, ainsi que la pompe de cale avec sa cage de protection. L'ensemble des épontilles nécessaires à ces deux aménagements permettent de replacer raisonnablement certains barrots du pont. Les mortaises isolées au sein du vaigrage peuvent alors correspondre à des épontilles de soutien des barrots de pont, si l'on fait l'hypothèse de la présence d'un barrot tous les trois couples, ce qui correspondrait à la disposition moyenne observée sur l'épave *Laurons 2*[189]. Au total, ce sont donc douze barrots de ponts que nous avons restitués ainsi que douze barrotins (soit 6 repartis de part et d'autre de la grande écoutille). Nous supposons que l'ensemble de ces barrots pouvait être assemblé par des queues d'aronde à la préceinte haute à l'image de ce qui a pu être observé sur le navire des Laurons[190] **(Fig. 30)**. Toutefois, on ne peut exclure d'autres formes d'assemblage : comme le raccordement des barrots à une serre-bauquière par un simple aménagement à mi-bois comme observé sur les navires de Nemi[191] et, semble-t-il

(Ucelli, 1950). Malgré des similarités au sein de la structure, l'écart fonctionnel existant entre notre épave et les gigantesques embarcations de Caligula rend difficile toute comparaison pertinente.

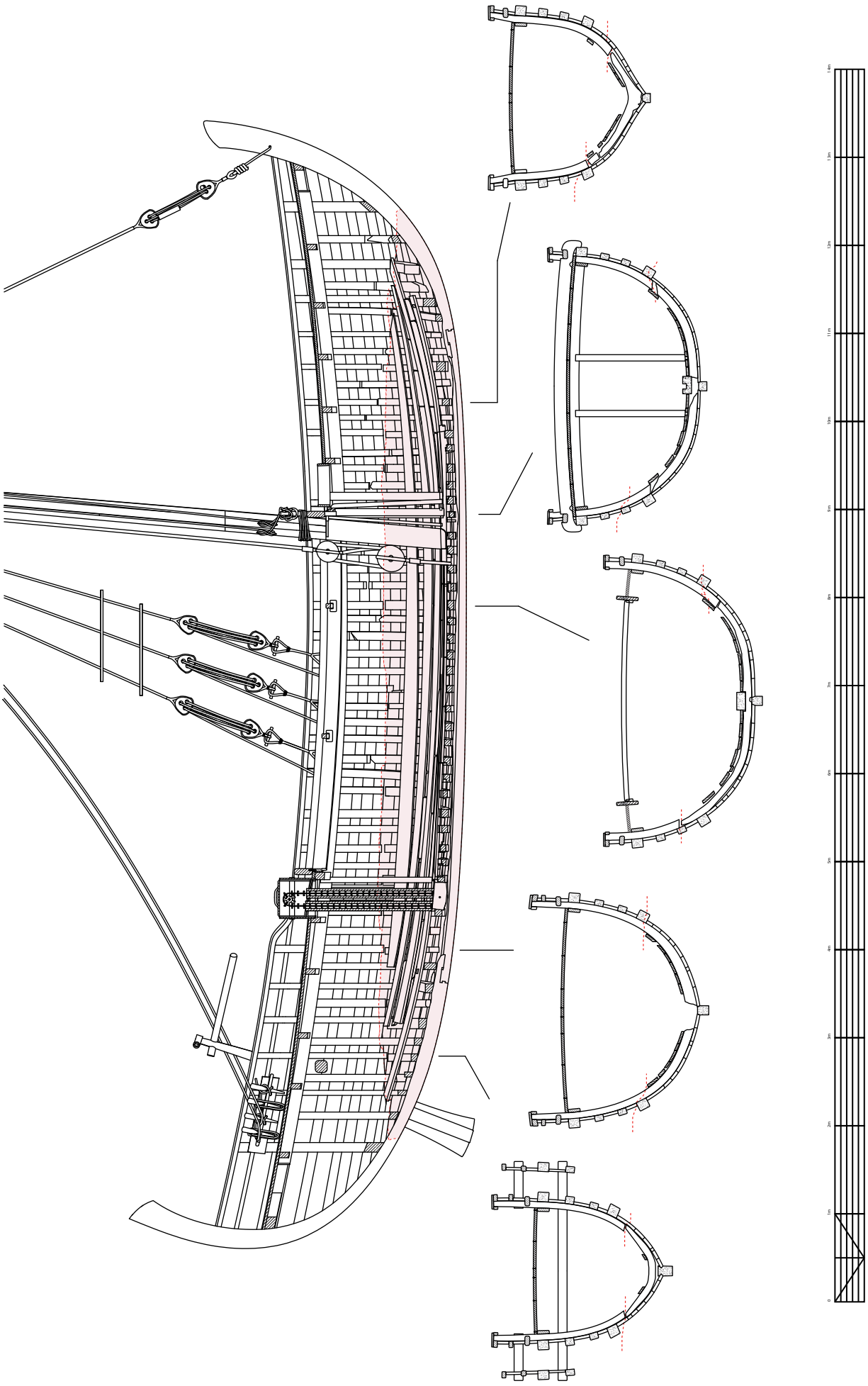
[187] Kahanov, 2004

[188] Katzev, 1989, p. 163-175 ; Steffy, 1994, p. 42-58

[189] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78 et p. 98 : la maille moyenne étant de 20 à 22 cm et l'espace entre chaque barrot, ou entre chaque barrotin, étant d'environ 50 à 60 cm, on peut considérer qu'il y ait un barrot tous les trois couples. Notons aussi que cette disposition correspond aussi à celle observée sur l'épave *Nemi 2* (Ucelli, 1950, fig. 184, p. 172).

[190] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78 et fig. 9

[191] (Ucelli, 1950, fig. 182, p. 171, tav. II et tav. VII). Un aménagement à mi-bois, avec les têtes de membrure, permettant la fixation de barrots transversaux a aussi été observé en détail sur l'épave *Isola Sacra 2* (datée avant le IIIème s. ap. J.-C., communication personnelle de G. Boetto). Dans ce cas les barrots ne sont pas assemblés à la préceinte mais directement placés au contact du bordé. Par ailleurs, sur l'épave attenante *Isola Sacra 1*, une vaigre fixe fait clairement office de serre-bauquière puisque l'on y distingue plusieurs encoches à mi-bois, dont les bords sont biseauté, afin semble-t-il, d'accueillir des bancs de nages transversaux. Enfin, et même si le contexte de navigation ainsi que la typologie de l'embarcation diffèrent de ceux de *Napoli A*, on remarquera sur le chaland romain *Arles-Rhône 3* (Ier s. ap. J.-C.) que le banc de mât transversal est soutenue par deux serres-bauquières latérales, fixées au bordé par le biais de clous horizontaux (Observation personnelle).



Pl. IX : Plan de restitution des éléments internes.

aussi, sur l'épave de *Punta Ala*[192] **(Fig. 31)**. Sur notre modèle, les éventuelles queues d'aronde n'ont pas été réalisées. Cependant les extrémités des barrots se trouvent bien en contact avec la préceinte haute comme si l'assemblage était effectif. Nous avons aussi choisi de faire figurer sur le modèle, l'éventuelle serre-bauquière présente dans la configuration alternative.

Concernant les dimensions et la forme des barrots, c'est encore une fois essentiellement sur les vestiges découverts aux Laurons que nous nous sommes basés[193]. En section, le tour du barrot a donc été restitué plus haut que large (haut. 12 cm ; larg. 7 cm). Sur ce point particulier, il est intéressant de s'apercevoir que les charpentiers de marine de l'époque romaine devaient mettre en pratique des normes[194] pour les barrots comparables à celles que l'on retrouve dans la marine marchande et dans les petites embarcations en bois de facture traditionnelle plus récente[195]. Le fait que le barrot présente un tour légèrement plus haut que large (généralement le tour représentant les ¾ du droit[196]) permet de travailler efficacement à la fois en flexion mais aussi et surtout en compression : en charge les flancs du navire vont avoir tendance à se refermer, d'où la nécessité pour les barrots de contrer principalement cette force.

La courbure transversale des barrots, soit le bouge du pont, permet quant à lui de gérer les efforts en flexion résultant des forces appliquées verticalement sur le pont[197]. Déterminer avec précision l'importance du bouge s'est avéré particulièrement complexe. Les auteurs précisent que l'angle formé par le pont par rapport à l'horizontale est variable selon les endroits mais qu'il atteint à la jonction avec le flanc un niveau d'environ 8° à 10°. Toutefois, la courbure générale observée sur la coupe restituée du maître-couple remet en question cette valeur de l'angle du bouge[198]. Au final, le bouge constaté sur le navire des Laurons peut être évalué, au maître-couple, à environ 1/17ème de la longueur du barrot, ce qui nous semble être un rapport de proportion particulièrement élevé **(Fig. 22)**. Sur ce point nous avons pris le parti de nous éloigner des données mesurées sur l'épave des Laurons en restituant, au maître-

[192] (Ferrandi, 1980, p. 84). La coupe présentée par Ferrandi dans son article manque de précision et l'on ne peut se permettre d'en tirer un quelconque enseignement. L'absence de marqueurs permettant de différencier les vestiges des parties restituées étant l'inconvénient majeur de ce dessin.

[193] Soulignons que les vestiges de l'épave tardive de *Santa Sabina 1*, découverts non loin de Brindisi sur la côte des Pouilles en Italie, présentent de très fortes similitudes avec les structures observées sur l'épave *Laurons 2*. Des éléments qui semblent pouvoir être interprétés comme des barrots et des surbaux de pont ont été observés et présentent, visuellement, une courbure et un tour similaires à ceux trouvés aux Laurons (communication personnelle de Maurizio Di Bartolo).

[194] Gras, 1856, p. 325

[195] Il en va de même pour l'utilisation des queues d'aronde pour la liaison des barrots aux éléments longitudinaux. Dans son traité élémentaire sur la construction des bâtiments de mer, Vial du Clairbois précise bien la nature de ces liaisons avec les bauquières (Vial du Clairbois, 1805, p. 61)

[196] Dervin, 1990, p. 75 et p. 252

[197] On peut penser ici particulièrement au poids d'un chargement en ponté : cargaison, équipages, armement, etc…

[198] Cette donnée concernant l'angle formé par le bordé est donné par les auteurs en p. 78 de l'article qu'ils consacrent à cette épave dans le n°4 de la revue *Archaeonautica* (Gassend, Liou, Ximénès, 1984). Pourtant si l'on se fie à la coupe transversale au maître-couple (fig. 17c, p. 94), l'angle que présente le bordé de pont semble plutôt s'établir aux environs de 13°.

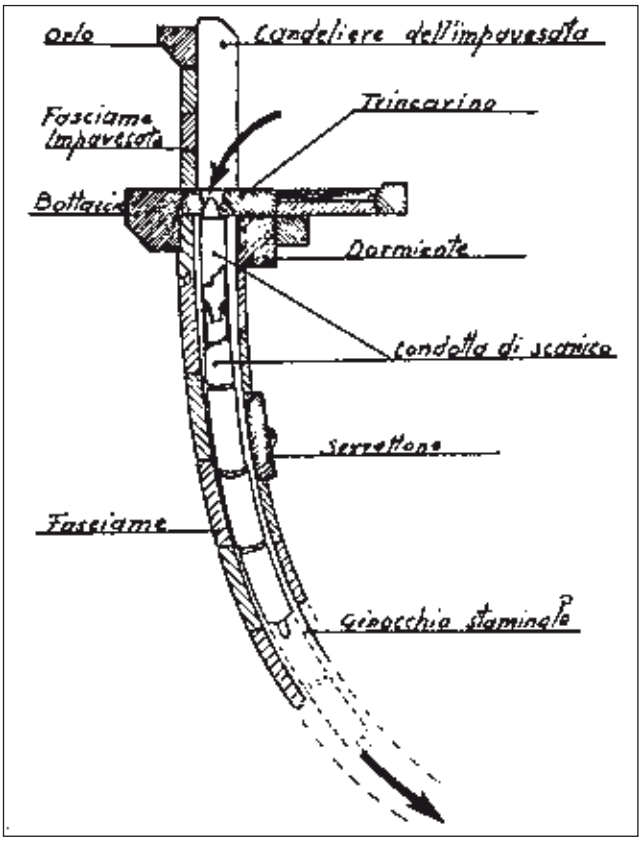


Fig. 31 : Système d'assemblage des baux de l'épave *Punta Ala*, IIIème s. ap. J.-C. (tiré de Ferrandi, 1980)

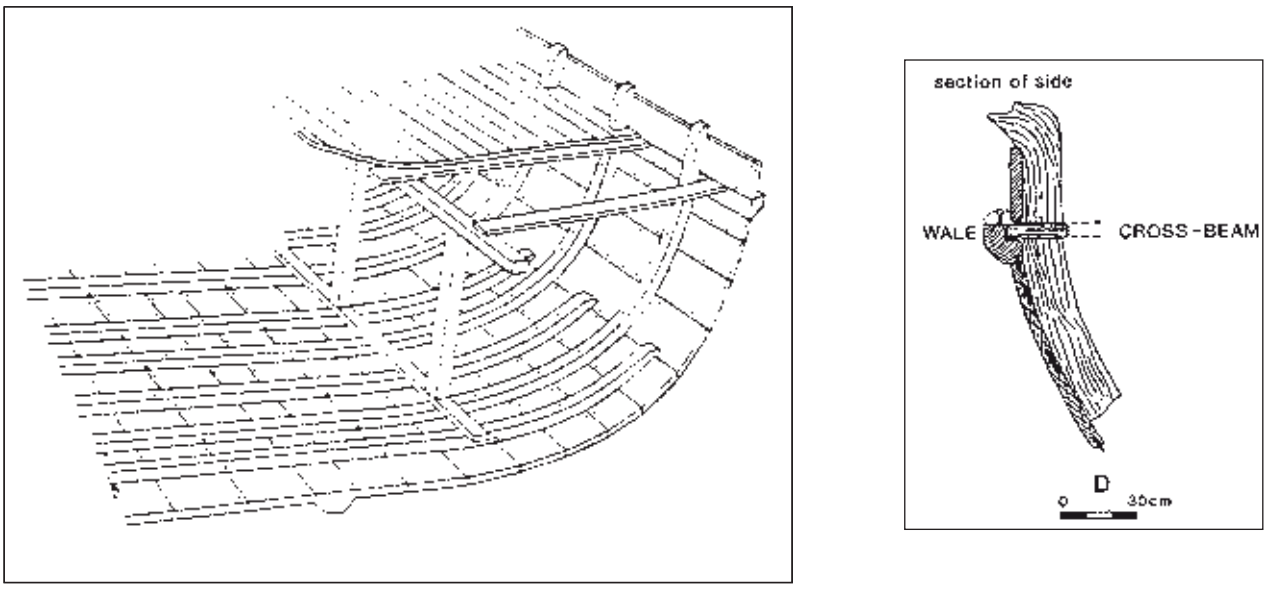


Fig. 32 : Système d'assemblage des baux de l'épave *County Hall*, IIIème - IVème s. ap. J.-C. (tiré de Marsden, fig.6, p.17)

couple, un bouge moins important (10 cm) correspondant au 1/35ème de la longueur du barrot (la longueur du barrot au maître-couple étant de 3,50 m)[199]. L'angle formé par le bordé étant alors de 5,7° par rapport à l'horizontale. Notons que le gabarit du barrot au maître-couple est le même qui a été utilisé sur l'ensemble des barrots. Seule la largeur des pièces ayant été modifiée en fonction du resserrement de la carène. Dans le sens longitudinal, la restitution au maître-couple de quatre niveaux de préceinte et le brochetage aux extrémités qui en découle, nous a permis d'établir la tonture du pont. Notons que cette tonture présente une flèche de 62,7 cm, ce qui représente à peu près 1/22 de la longueur totale du pont, proportion légèrement inférieure à celle observée sur le navire des Laurons (1/25) **(Fig. 30)**.

Outre la grande écoutille, deux autres ouvertures ont été restituées dans le pont. Il s'agit d'une écoutille plus petite située en avant du mât et vers l'arrière, du passage destiné à recevoir le haut du corps de la pompe de cale. Sur les contours longitudinaux de ces trois ouvertures, la présence d'élongis afin de renforcer la structure nous semble être une solution envisageable[200]. Au centre de la grande écoutille, l'espace laissé libre étant d'importance, nous avons fait le choix de restituer deux traversins, comme ceux retrouvés sur le navire des Laurons, qui divisent l'ouverture en trois parties et qui sont soutenus par quatre galoches fixées à l'hiloire[201]. Les bords avant et arrière de l'écoutille sont formés en partie par deux surbaux, ou sur-barrots, de grande dimension (16 cm x 8cm), qui suivent le contour formé par le bordé de pont et qui s'assemblent à mi-bois avec la lisse de pavois, et sans doute aussi avec



Fig. 33 : Détail de la muraille et des aboutissements des surbaux sur le bas-relief du sarcophage de Sidon, Beyrouth, (IIème s. ap. J.-C).

[199] Ce rapport nous semble en plus grande cohérence avec ce que l'on a pu estimer à partir des divers éléments de pont photographiés sur l'épave n°1 de Santa Sabina. Par ailleurs, la restitution d'un bouge présentant un rapport de proportion identique à celui de l'épave des Laurons nous aurait amené à représenter un pont à la courbure véritablement marquée. Toutefois, Henri Dervin (Dervin, 1990, p. 76.) précise que le bouge équivaut traditionnellement entre 1/15 et 1/20 de la longueur du plus grand des baux. Cependant les exceptions sont légion et il s'avère difficile d'établir une règle fixe et commune pour tout type d'embarcation.

[200] Tel celui retrouvé sur l'épave des Laurons sur lequel venait s'appuyer l'hiloire de la grande écoutille (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, fig. 12).

[201] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 85

la préceinte haute comme cela a pu être observé sur le navire des Laurons. On notera que c'est certainement ces éléments que l'on repère distinctement sur de nombreuses représentations iconographiques de navires romains et en particulier sur le sarcophage de Sidon **(Fig. VIII)** ou ceux du milieu semblent même devoir désigner l'emprise de l'écoutille qui nous est cachée par le pavois[202]. Leur rôle structurel est essentiel, puisqu'ils agissent comme deux tenants pour la charpente en maintenant de manière constante l'ouverture des flancs du bordé **(Fig. 33)**.

Le bordé de pont est composé de virures assemblées par un jeu de clefs et de mortaises non chevillé et devait reposer sur l'ensemble des barrots et des barrotins. Si l'on s'en réfère toujours à l'épave *Laurons 2*, les virures composant le bordé étaient assemblées à franc-bord et présentaient un arc de courbure inverse[203] de celle du bordé avec peut-être comme objectif d'empêcher un vrillage longitudinal trop important.

3.4.7. Structures du pavois **(Pl. VIII et IX)**:

Tout comme pour le pont, les pavois et superstructures des navires antiques demeurent très mal connues et rares sont les éléments archéologiques qui nous renseignent avec précision sur cet aspect du navire.

Comme pour le pont, le pavois de notre restitution s'inspire très fortement de ce qui a été découvert sur l'épave n°2 des Laurons. Le pavois se trouve ainsi formé par des bordages semblables à ceux utilisés pour le bordé, et qui pouvaient éventuellement être assemblés par tenons et mortaises à la préceinte haute[204]. Les virures devaient s'appuyer sur les jambettes constituées par la tête de certaines allonges de membrure. Nous avons fait le choix dans notre restitution de prolonger une allonge sur deux et de compléter le pavois par de nombreux renforts longitudinaux tels qu'un liston extérieur, deux serres ainsi que la lisse de plat-bord de pavois. La forme générale du pavois a, quant à elle, été définie à partir de l'allure observée sur divers éléments



Fig. 34 : Détail du pavois sur la stèle de *Kalleinikos* (Sinope, IIIème s. ap. J.-C).

[202] Pomey, 1997, p. 12
[203] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78
[204] Sur ce point particulier, l'article consacré à l'épave 2 de l'anse des Laurons n'est pas très clair. Si le texte rapporte une liaison par tenons et mortaises de la première virure du pavois à la préceinte haute (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 85), il n'en va pas de même sur les diverses représentations (coupes transversales et axonométries) ou l'on observe au contraire l'insertion entre la préceinte et le pavois, de la virure extérieure du bordé de pont.

iconographiques[205]. Le léger ressaut que forme le pavois sur l'arrière, augmente certes la hauteur de garde du pavois et protège le timonier, il n'en demeure pas moins que c'est avant tout un détail essentiellement décoratif que l'on retrouve figuré sur la stèle de *Kalleinikos*[206] **(Fig. 34)**, et qui est aussi présent sur l'épave de l'*horeia* Toulonnaise *Toulon 1* mise au jour en 1987[207].

3.4.8. L'aile de protection du gouvernail **(Pl. VIII et IX)**:

En ce qui concerne la restitution d'une aile de protection latérale du gouvernail, étant donné les connaissances limitées dont nous disposions sur ce point précis, il nous a semblé dans un premier temps difficile, voire impossible de restituer cette structure. Pour autant, à la lumière de l'iconographie et des rares vestiges archéologiques se rapportant à l'aile de protection, il nous est apparu probable que celle-ci devait être présente sur *Napoli A*.

En effet, le caractère tout à fait commun de cette structure sur les navires commerciaux de grande et de moyenne taille durant la période romaine apparaît fort bien à travers l'iconographie. Pour ce qui nous intéresse, nous la retrouvons notamment sur le navire de *Lesbianus*, sur celui de *Naevolia Tyché* **(Fig. 35)** ou encore sur le navire de la stèle de *Kalleinikos* **(Fig. 34)**. Il n'y a guère, au final, que sur les plus petites unités de batelerie que l'on note son absence. D'autre part, les vestiges découverts dans l'anse des Laurons, toujours sur l'épave n°2, ainsi que sur les rares vestiges de l'épave *Port-Vendres V* viennent témoigner définitivement de sa présence sur des petites unités.



Fig. 35 : Détail de l'aile de protection du gouvernail du navire du monument funéraire de *Naevolia Tyché* (Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.)

Sur l'épave *Laurons 2*, c'est toute l'aile bâbord qui a été conservée et qui a ainsi pu être relevée par Jean-Marie Gassend. L'ensemble correspond à un doublage, à partir du surbau arrière, de la préceinte haute (au niveau du livet de pont), du liston et des deux virures du pavois[208], le tout étant soutenu par une console fixée à la préceinte basse **(Fig. 37)**. Selon les observations de Jean-Marie Gassend[209], il semblerait que

[205] Citons entre autres : le navire de *Lesbianus* (Maiuri, 1958, 15-18), ou encore celui du sarcophage d'*Eudomos* à Olympus (Pekary, Tr32, p. 380-381)
[206] Casson, 1971, n°143
[207] Boetto, 2010, p. 115-122
[208] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, fig. 21 ; Gassend, 1998, p. 199, fig. 2
[209] Ces observations ont finalement été confirmées par l'examen de clichés sous-marins non publiés, conservés à la photothèque du Centre Camille Jullian. On y observe très nettement le raboutage des éléments intérieurs par le biais d'un joint perdu tel que nous l'avais décrit Jean-Marie Gassend.



Fig. 36 : L'aile de protection du gouvernail de l'épave *Laurons 2*, vue depuis l'avant. A noter: c'est bien la préceinte qui arrive de l'avant et qui se prolonge pour former l'aile. A noter également l'encastrement, à mi-bois dans cette préceinte, destiné au sur-barrot. (Photo: CCJ-CNRS)



Fig. 37 : L'aile de protection du gouvernail de l'épave *Laurons 2*, vue depuis le dessus. A noter: la console de support de l'aile. (Photo: CCJ-CNRS)

ce soient les préceintes et les bordés arrivant de la proue qui se prolongent au droit pour former l'aile de protection **(Fig. 36)**. Les éléments intérieurs, fermant la coque, étant quant à eux raboutés au niveau du sur-barrot arrière de l'écoutille. Sur ce point, il semble étrange que le montage ne se soit pas effectué à l'inverse afin de préserver l'homogénéité de la structure primaire que forment le bordé et les préceintes[210]. Nous avons pris l'option, dans notre modèle de proposer une solution neutre pouvant s'adapter aussi bien à l'une comme l'autre des configurations[211].

Sur l'épave *Port-Vendres V*, c'est l'assemblage de divers éléments qui a été identifié par Marie-Pierre Jézégou et Cyr Descamps comme un morceau isolé d'une aile de protection **(Fig. 38)**. Si cette interprétation paraît adéquate, on doit cependant rappeler l'incertitude qui pèse sur l'identité formelle de cet assemblage. Il pourrait en effet très bien s'agir d'une pièce provenant de toute autre superstructure du navire. On soulignera au final que, si la présence de cette aile de protection semble fort probable sur un navire comme *Napoli A*, le détail de ce type d'aménagement nous demeure tout à fait inconnu. Face à cela, nous avons fait le choix de présenter, sur les deux bords du modèle tridimensionnel, les deux hypothèses : l'une présentant la possible mise en place d'une aile et l'autre, au contraire, dénuée de cet aménagement.

3.4.9. Le système de gouverne **(Pl. VIII et IX)**:

Si l'on tient compte du riche corpus iconographique pour la période antique, il ne fait aucun doute que notre navire devait être dirigé à l'aide d'une paire de gouvernails latéraux. C'est notamment le cas parmi les éléments du corpus de comparaison que nous avons mentionnés précédemment. On remarque qu'ils sont toujours placés sur l'arrière du navire. Toutefois, l'iconographie ne permet pas d'en définir outre mesure ni leur construction ni leur liaison à la carène. Les maigres indices archéologiques permettent cependant d'en décrire les principaux attributs.

[210] On aurait pu se référer aussi aux structures observées sur les deux navires exceptionnels du lac de Némi. Cependant, les dimensions de ces navires et les modules de bois utilisés n'ont rien de commun avec ceux du navire que nous sommes amenés à étudier ici. Par ailleurs, la destination et l'espace de navigation des deux navires de Caligula nous laissent penser que la structure produite sur ces galères devait forcément présenter une différence certaine par rapport à ceux d'un simple navire commercial. On notera tout de même sur l'épave 1 la présence simultanée des deux possibilités concernant le doublage des préceintes: l'une des deux préceintes formant la plateforme (qui fait ici office aussi d'aile du gouvernail) est ainsi issue de celle provenant de l'avant du navire, l'autre est au contraire raboutée à la préceinte formant la coque, au moyen d'un écart à mi-bois (Ucelli, 1950, tav.II).

[211] Ainsi, au point de rencontre exact entre la préceinte de coque et celle de l'aile de protection, les deux formes coïncident parfaitement. On peut y rajouter un joint oblique, sur l'une ou l'autre, selon l'hypothèse envisagée.

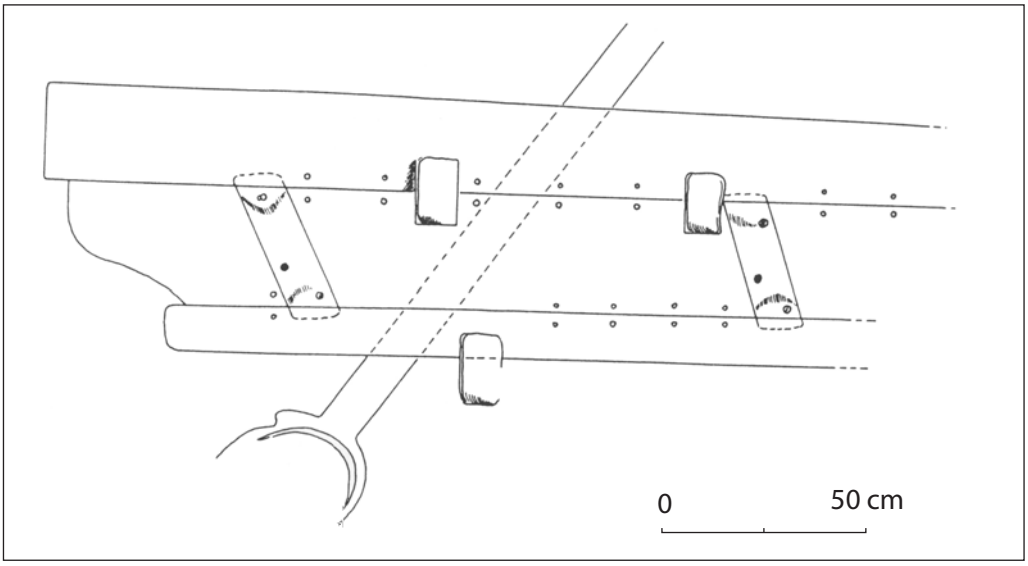


Fig. 38 : Partie d'une aile de protection découverte sur l'épave *Port-Vendres V*. (Tiré de : Jézégou, Descamps, 1998, fig.2)

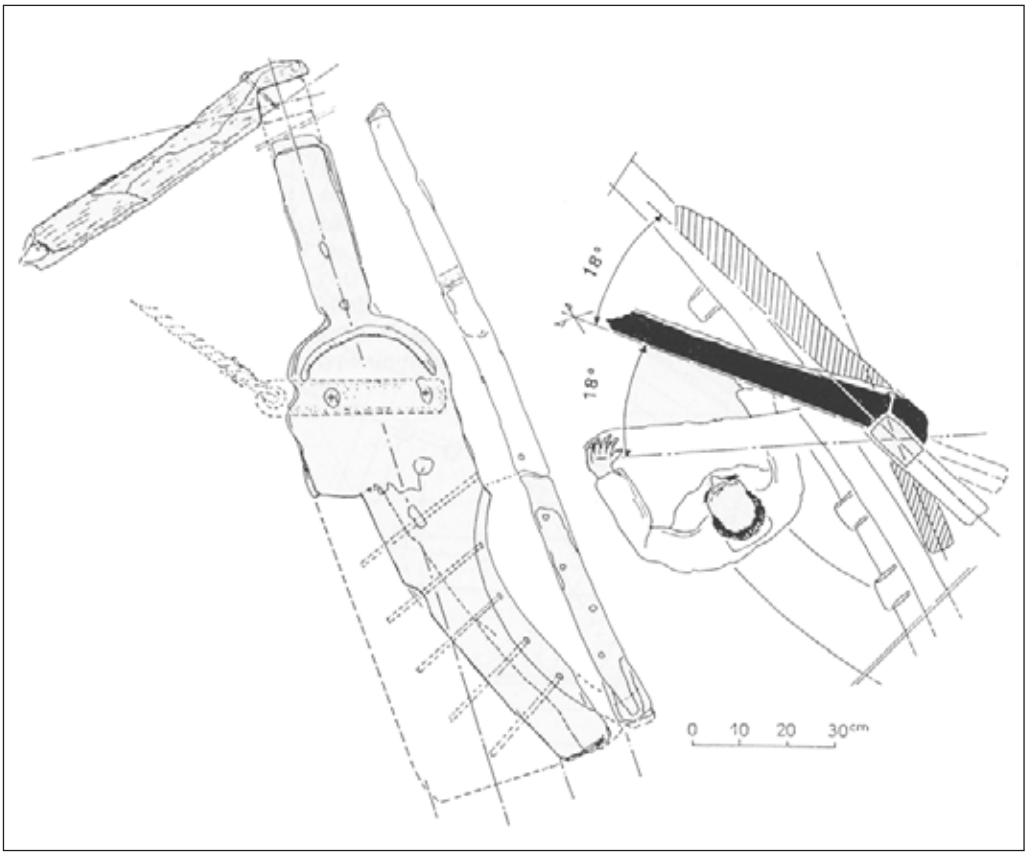


Fig. 39 : Présentation de la partie conservée du gouvernail sur l'épave *Laurons 2* et hypothèse sur son maniement (Tiré de : Gassend,1998, fig.3)

Pour la période romaine quatre découvertes forment les seules données en ce qui concerne le gouvernail latéral :

Dès 1929, lors du début des travaux d'assèchement menés sur le lac de Nemi en Italie, une très grande mèche d'une douzaine de mètres était découverte proche du lieu d'ensevelissement de la première épave de Caligula[212]. Tout d'abord interprétée comme l'élément d'une rame, il est finalement bien identifié comme la mèche de l'un des quatre gouvernails latéraux de ce navire exceptionnel. Il se présente sous la forme d'un long cylindre de douze mètres, dont la section va s'aplatissant vers sa partie inférieure. Sur sa moitié inférieure, la mèche présente deux séries de mortaises positionnées régulièrement sur les deux faces avant et arrière[213]. On conçoit que ces mortaises borgnes devaient permettre la liaison de la mèche aux ailettes de la pelle par un jeu de tenons chevillés. Dans sa partie supérieure, la tige présente une grande mortaise rectangulaire, destinée semble-t-il à accueillir la barre, le *clavus*[214]. Juste au-dessus, la mèche est coiffée d'un élément en bronze sur lequel figure une tête de lion maintenant dans sa bouche un anneau dirigé à l'opposé de la barre[215], ce qui devait permettre de régler le gouvernail, peut-être par rotation autour de son axe, à l'aide d'un palan ou bien encore d'entraver la mèche dans sa position initiale[216], lorsque le navire se déplaçait, afin d'empêcher celle-ci de pivoter sur son axe jusqu'à se retrouver quasiment à l'horizontale et de devenir ainsi tout à fait inopérante[217].

Un autre élément peut être rapproché du gouvernail de Nemi : il s'agit du long madrier découvert à l'automne 2001 à Olbia en Sardaigne[218]. Bien qu'il soit identifié par E. Riccardi comme la partie inférieure d'un mât, les analogies nombreuses avec le gouvernail de Nemi ainsi que certains détails tendent à invalider cette première identification. On retrouve notamment sur ce madrier les deux alignements de mortaises ainsi que dans la partie supérieure, la mortaise destinée au *clavus*, dans une configuration tout à fait similaire à celle du gouvernail présenté par Ucelli. Quelques différences demeurent cependant : même si les dimensions générales sont comparables (7,60 m ont été conservés), la mèche ne semble pas

[212] Ucelli, 1950, p. 69, fig. 69; p. 70-71, fig. 71 et fig. 72
[213] Ucelli, 1950, p. 168, fig. 179
[214] Casson, 1971, p. 224
[215] Il s'agirait là de la face antérieure de la mèche, si l'on s'en tient à la reconstitution hypothétique de la pelle présentée par Ucelli (Ucelli, 1950, fig. 179), l'anneau serait alors dirigé vers l'avant. Le doute reste cependant permis sur cette interprétation qui est par ailleurs reprise par Bonino dans son ouvrage sur les navires de Nemi (Bonino, 2003, p. 123, v.3)
[216] A l'image de ce que l'on a pu observer dans une période très récente sur les pinisis d'Indonésie (Rieth, Lontcho, 2007, p. 84-85). Ces bateaux traditionnels présentent diverses particularités qui les rapproches étonnement, sur des spécificités ponctuelles, des épaves et des représentations de navires issus de la tradition de construction navale de la Méditerranée à l'époque antique.
[217] L'illustration de Lawrence Mott (Mott, 1997, fig. 1.1) représente un effet comparable de rotation sur le gouvernail, sauf que dans ce cas précis c'est la conséquence de la poussée d'Archimède sur la partie immergée de la pelle. Mott semble très attaché à la stabilité hydrostatique du gouvernail. Il nous semble cependant que les forces hydrodynamiques appliquées à la pelle lorsque le navire se déplace sont d'une bien plus grande importance.
[218] Riccardi, 2002, p. 268-269; D'Oriano, Riccardi, 2007, p. 190 et fig. 10, p. 192

diminuer de section sur sa longueur et ne semble pas être particulièrement profilée ; la partie supérieure (ou inférieure si l'on s'en tient à l'interprétation de E. Riccardi) est façonnée en octogone et l'on note enfin la présence d'un tenon semi-circulaire percé d'un trou central, certainement destiné au passage d'un cordage. C'est sur cet élément que Riccardi fonde l'essentiel de son identification en proposant d'y voir le tenon de pied de mât, destiné à s'insérer dans la mortaise du massif d'emplanture. Il est cependant maladroit d'y voir un tel élément tant ce tenon semi-circulaire diffère des mortaises observées sur les nombreuses emplantures qui nous sont parvenues. D'autant que si sa forme permet le blocage du pied de mât dans le sens transversal, la forme arrondie rend inopérant le blocage du mât dans le sens longitudinal : afin que ce blocage soit effectif, le tenon de pied de mât doit présenter sur l'arrière un bord droit qui tranche avec l'arrondie de sa face avant, bord droit qui vient se bloquer et s'appuyer sur la face interne arrière de la mortaise de l'emplanture, exactement à l'image de ce qui a été découvert sur l'épave *Dramont E*[219]. Au final cette pièce présente donc des attributs très ressemblants de ceux constatés sur le gouvernail de l'épave *Nemi 1*.

Un troisième ensemble d'importance nous vient encore une fois de l'épave n°2 de l'anse des Laurons **(Fig. 39)**. Découvertes déplacées à l'intérieur du fond de la carène, trois pièces forment en parties la pelle, la mèche et la barre[220]. Très différents des éléments retrouvés à Nemi et Olbia, le gouvernail se présente ici sous la forme d'un ensemble monoxyle : mèche et pelle étant façonnées toutes deux dans la même pièce de bois et conservées sur une longueur totale de 1,40 m. La mèche présente une section rectangulaire et est conservée sur 40 cm de hauteur[221]. Vers le bas, dans le prolongement de la mèche, la pelle est tout d'abord formée d'un seul et unique morceau, toutefois la présence de longues chevilles placées dans le sens antéro-postérieur, trahissent le fait qu'elle devait être composée initialement de plusieurs pièces. La pelle est entaillée en demi-lune sur son bord de fuite et il semble, malgré l'état de conservation, que la partie de la pelle située au-delà de l'axe de rotation du gouvernail ait été légèrement plus importante que la partie en-deçà. Deux marques dans la partie supérieure de la pelle semblent indiquer la présence d'une ferrure peut-être destinée à relever ou maintenir celle-ci en place. Découvert non loin des autres éléments, le *clavus*, long d'une soixantaine de centimètres, présente à l'une de ses extrémités un demi-écart, ainsi qu'un clou de liaison certainement destiné à la liaison avec la mèche, dont l'angle d'ouverture latéral présente un décalage de 18° par rapport à la normale de la mèche, si l'on s'en tient à l'interprétation de Jean-Marie Gassend.

[219] Santamaria, 1984, p. 110 et fig. 3
[220] Gassend, 1998, p. 197-201
[221] Gassend, 1998, fig. 3

Le dernier élément sur lequel nous nous sommes basé dans notre restitution provient de la fouille de l'épave de *Port-Vendres V*[222]. Il s'agit en l'occurrence d'un *clavus* long d'environ 90 cm et qui présente à l'une de ses extrémités une encoche profonde de 6 cm vraisemblablement destinée, selon les auteurs, à encastrer la barre dans la mèche du gouvernail[223]. Contrairement à celle retrouvée dans l'anse des Laurons, cette barre ne permet pas de mesurer le décalage de celle-ci par rapport à la normale de la pelle de gouverne. On note toutefois, une incurvation de la barre qui devait engendrer un résultat identique au décalage mesuré sur le gouvernail des Laurons. À noter qu'un élément pouvant éventuellement être rattaché à une partie de la pelle d'un gouvernail a été découvert à Herculanum et daté de la deuxième moitié du Ier s. ap. J.-C. Sa morphologie et le fait qu'il semble monoxyle, observations effectuées d'après certaines photographies, le rapprochent tout à fait du gouvernail découvert dans l'anse des Laurons. Toutefois, aucune publication n'en faisant état avec précision, nous l'avons donc laissé de côté[224]. Enfin deux exemples plus anciens, datés de la période archaïque, ont été pris en compte dans l'interprétation des vestiges découverts à Nemi et Olbia. Il s'agit des deux ensembles fragmentaires de gouvernail découverts sur les épaves *Grand-Ribaud F* (fin VIème s. av. J.-C. – début Vème ap. J.-C.) et *Pointe-Lequin 1A*[225] (fin VIème s. av. J.-C.). On y retrouve l'assemblage à tenons et mortaises des deux morceaux formant la pelle avec la mèche centrale. On remarquera le grand soin apporté dans le façonnage des profils des deux gouvernails afin de leur conférer, par une diminution de la trainé, une efficacité maximum[226].

Nous avons fait le choix ici d'écarter d'autres références archéologiques qui sont pourtant intéressantes à relever. D'une part il s'agit des divers appareils de gouverne de navires fluviaux, présentant des dimensions et des attributs bien différents de ceux utilisés dans l'espace maritime. On pense notamment à la rame-gouvernail retrouvée dans le lac de Neufchâtel et qui peut être mise en relation avec le chaland gallo-romain de Bevaix[227], ou encore à celle retrouvée dans le dépotoir romain du Rhône au niveau d'Arles et que l'on peut éventuellement connecter au chaland gallo-romain adjacent *Arles-Rhône 3*[228]. Dans un cas comme dans l'autre, il ne semble pas faire de doute que la mise en œuvre de ces pelles était

[222] Jézégou, Descamps, 1998, p. 189-196
[223] Jézégou, Descamps, 1998, fig. 3
[224] Il en est uniquement question dans un document de vulgarisation distribué par la Soprintendenza Archeologica di Napoli e Pompei, consultable à l'adresse suivante (page visitée le 27/02/2012) :
ttp://www.pompeiisites.org/allegati/Barca%20_Ercolano.pdf
[225] Long, Rival, 2007, p. 97-115
[226] Long, Rival, 2007, fig. 6 et fig. 13
[227] Arnold, 1974, p. 138, fig. 3 ; Arnold, 1992 a, p. 95
[228] Long, 2009, p. 240. Si la pelle a été découverte une cinquantaine de mètres en aval de l'épave Arles-Rhône 3, ses dimensions et son type permettent de proposer avec prudence, des analyses complémentaires étant en cours, son rattachement au chaland (communication personnelle Sabrina Marlier).

bien différente de celle pratiquée en mer, la pelle étant alors placée sur l'arrière de l'embarcation, dans le prolongement de l'axe central[229]. De la même manière et bien que le gouvernail en lui-même présente des similitudes avec ceux que l'on a précédemment détaillés, nous avons fait le choix de ne pas nous appuyer sur le gouvernail découvert aux Pays-Bas sur l'épave de *Zwammerdam*, qui relève lui aussi d'un contexte fluvial[230].

Sur ces bases, nous proposons dans notre restitution un gouvernail dont la pelle est composée de deux parties (avant et arrière) qui sont reliées à la mèche du gouvernail par un ensemble de tenons et de mortaises[231]. La partie de la pelle située en arrière de l'axe de rotation du gouvernail est légèrement plus importante que la partie en avant afin de compenser les efforts appliqués au gouvernail par les flux d'eau[232]. Une telle asymétrie permettant de maintenir l'efficacité du gouvernail tout en facilitant la rotation de celui-ci autour de l'axe de la mèche.



Fig. 40 : Détail de l'un des gouvernails remonté sur le graffito du navire *Europa*. (Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.).

Afin de restituer le système d'appui et de liaison du gouvernail à la carène, nous avons pris le parti de restituer un système dans lequel la mèche prend appui sur un barrot transversal[233] situé légèrement en dessous du niveau du pont, entre la deuxième et la troisième préceinte. Rares sont les attestations archéologiques d'un bau permettant le support des pelles de gouverne latérales. Mis à part les exceptions que représentent les deux épaves de Nemi, seules les épaves découvertes à Mayence, *Mainz 1* et *Mainz 3*, datées du IVème s. ap. J.-C., permettent d'avoir un aperçu de cette structure particulière[234]. Les deux bâtiments sont effectivement dotés sur l'arrière d'un barrot transversal dont la fonction semble évidente : il s'agit de deux *threnus*, terme qui désigne le support des gouvernails et que l'on retrouve dans les sources littéraires antiques[235]. Cependant, la datation, la fonction supposée de ces navires[236] ainsi que leurs dimensions nous amène à considérer

[229] Arnold 1992b, p. 85, fig. e
[230] Weerd (de), 1978, p. 15-21 ; Delgado, 1997, p. 477. À noter que le gouvernail découvert à Zwammerdam, long de 5,15 m, est composée de trois éléments dans la partie inférieure. Les trois parties étant assemblées à tenons et mortaises.
[231] Plus généralement, sur la question du gouvernail, on peut se référer à : Carlini, 1935, p. 445-452 ; La Roërie, 1938, p. 564-583 ; Rougé, 1966, p. 61-65 ; Rougé 1975, p. 69 -71
[232] Mott, 1997, p. 42, fig. 3.1 et p. 49 fig. 3.4
[233] Dans l'hypothèse de restitution ou l'on trouve l'aile de protection du gouvernail, un deuxième barrot vient s'ajouter au premier. Celui-ci est placé au niveau de la virure la plus élevée du pavois.
[234] Höckmann, 1992 ; Pferdehirt, 1995 ; Bockius, 2006
[235] Rieth, Carrierre-Desbois, Serna, 2001, p. 65
[236] L'épave 1 serait, en effet, un bateau de patrouille fluviale identifié comme une *lusoria*, tandis que l'épave 3 aurait été destinée au transport de personnalités (Höckmann, 1992 ; Pferdehirt,).

avec précaution la restitution d'un système tout à fait identique dans le cadre d'un navire de mer beaucoup plus large comme devait l'être *Napoli A*[237].

Quoi qu'il en soit, un tel schéma est clairement identifiable sur un grand nombre de sources iconographiques. Si la question du positionnement de la mèche en avant, en arrière, ou à travers ces deux barrots peut être discutée longuement[238], nous avons cependant favorisé l'hypothèse dans laquelle le gouvernail est situé en arrière de ses maintiens[239]. L'exemple ethnographique que sont les pinisis d'Indonésie nous a certainement amenés à privilégier l'hypothèse du gouvernail appuyé sur l'arrière des barrots[240]. En ce qui concerne les ligatures nous ne sommes pas en mesure de nous avancer sur une hypothèse particulière. Une ligature devait fermement lier le gouvernail à l'un des barrots et différentes manœuvres devaient permettre de relever le gouvernail lorsque celui-ci était inutilisé comme on peut le voir par exemple pour l'un des gouvernails du navire *Europa* **(Fig. 40)**. Une seconde ligature devait éventuellement maintenir le gouvernail en place une fois que celui-ci était mis à poste. Sur ce point, l'expérience du *Kyrénia 2* a prouvé l'adéquation, ainsi que le bon fonctionnement d'un gouvernail latéral ligaturé sur le derrière d'un unique barrot transversal traversant la coque dans sa partie arrière[241].

3.4.10. Mâture et gréement **(Pl. X)**:

Le type de gréement restitué sur notre hypothèse est déduit à la fois des rares données extraites des vestiges, mais essentiellement de l'iconographie qui nous apporte des indices très nombreux et très précis sur la nature et l'organisation des gréements de navires de commerce. L'unique vestige à même de nous renseigner sur notre épave est le massif d'emplanture. La position de celui-ci, ainsi que l'agencement des nombreuses mortaises destinées à accueillir le pied du mât, des épontilles de soutien et l'ensemble du coffre d'étambrai, permettent de définir succinctement le type de gréement utilisé ainsi que son organisation dans les parties basses.

[237] L'épave de *Port-Berteau II*, bien que plus récente (VIIème s. ap. J.-C.) et relevant d'une tradition architecturale tout à fait différente, présente cependant une structure de type comparable. Un barrot traversant le bordé sur les deux bords, d'une longueur totale de 4,25 m, permet l'appui des mèches des gouvernails latéraux de part et d'autre de l'embarcation. Le barrot est encastré au niveau de la dernière virure de bordé et présente divers aménagement (trous de chevilles ou de cabillots) qu'Eric Rieth interprète comme parties du gréement (Rieth, Carrierre-Desbois, Serna, 2001, p. 63-65)
[238] Mott y consacre un chapitre entier sur la base de comparaisons iconographiques (Mott, 1991 ; Mott, 1997).
[239] À l'image de ce que l'on constate sur le relief de *Portus* de la collection Torlonia, ou la mèche semble être placée en arrière du barrot de soutien.
[240] Rieth, Lontcho, 2007, p. 84, et 1ère de couverture.
[241] Katzev, Katzev, Tzalas, 1987, p. 12 et 14: *Kyrenia II, an ancient ship sails again,* 1987

La mortaise destinée au pied du mât est située, en partant de l'arrière, au 5/8ème (0,625) de la longueur hors-tout du navire restitué. On constate que ce rapport est relativement proche de ceux observés à travers l'iconographie de navires présentant une unique voile carrée[242]. La moyenne de ces valeurs équivaut en effet à 0,562, soit un rapport de 9/16ème que l'on peut facilement comparer avec le rapport proposé dans notre restitution : 5/8ème étant équivalent à 10/16ème.

Tab. 11 : Les rapports de dimensions de la mâture mesurés à partir de l'iconographie (1) :

Représentation	Rapport LHT/Distance Mât – Extrémité Ar.
Monument à *Naevolia Tychée*	0,542
Fresque de *Lesbianus*	0,522
Statio n°18 place des corporations d'Ostie	0,553
Statio n°46 place des corporations d'Ostie	0,589
Statio n°54 place des corporations d'Ostie	0,591
Stèle de Kornoutos	0,621
Stèle de *Kalleinikos*	0,536
Peinture de la catacombe de Via Anapo	0,545
	Moyenne : 0,562 (≈9/16)

On peut de la même manière écarter assez facilement d'autre types de gréements ou d'organisation de la mâture : un gréement à livarde[243], tout comme les mâts de halage des *naves caudicariae*[244], est conditionné par le placement du mât principal très en avant du navire ce qui ne peut être le cas ici. La restitution d'un second mât, en avant du premier, nous a semblé être une hypothèse très discutable. La taille originelle du navire, le fait que l'on observe en nombre important, sur l'iconographie d'époque, des navires marchands ne présentant qu'un seul mât ainsi que l'absence de toutes traces dans les vestiges d'un second mât nous semblent être des arguments suffisants pour réfuter cette proposition[245].

[242] Il est à noter que ces mesures ont été effectuées en tenant compte des longueurs hors-tout distinguables, et que faute de pouvoir mesurer l'emplacement exact du pied de mât, nous avons donc pris nos mesures jusque par le milieu des mâts au niveau du pont.

[243] Sur le sarcophage d'Ostie conservé au musée de Copenhague (Ny-Carlsberg Glyptothek), le navire du milieu présente à n'en pas douter un gréement à livarde. On peut y constater que le mât est ici très déporté sur l'avant. La distance entre l'arrière et le mât équivaut environ au 4/5ème de la longueur hors-tout (0,794) ce qui est beaucoup plus important que celle observé par ailleurs sur les gréements carrés.

[244] Boetto, 2006, p. 123-129 ; Boetto, 2008, p. 29-62 ; Boetto, 2010, p. 137-150

[245] La présence d'un second mât sur l'avant suppose, selon nous, que celui-ci puisse, à l'image du grand mât, se reposer sur un élément longitudinal d'importance. On pourrait s'attendre à voir, sur la carlingue une seconde mortaise qui puisse accueillir le pied de ce mât d'avant, à l'image de ce qui a été mis en évidence sur l'épave *Saint-Gervais 3* (Gassend, Liou, 1990, p. 245-246), ou encore, comme sur la *Madrague de Giens*, un ensemble de pièces pouvant soutenir ces deux mâts (Pomey, 1982, p. 141 et fig. 7).

A ce stade de la restitution il s'avère bien difficile d'avancer autre chose que des ordres de grandeur pour ce qui concerne les principales dimensions à la fois du mât, mais aussi de la vergue. En se référant aux documents iconographiques une moyenne de la hauteur des mâts représentés ainsi que des longueurs de vergues peuvent être avancés : la hauteur entre le bas de la quille et la pomme de tête du mât correspond en moyenne à la longueur hors-tout des bateaux[246].

Tab. 12 : Les rapports de dimensions de la mâture mesurés à partir de l'iconographie (2) :

Représentation	**Rapport LHT / BdQ-Pomme du mât**
Monument à *Naevolia Tychée*	0,855
Fresque de *Lesbianus*	1,089
Statio n°46 place des corporations d'Ostie	1,142
Statio n°54 place des corporations d'Ostie	0,809
Stèle de Kornoutos	0,897
Stèle de *Kalleinikos*	0,904
Fresque de la catacombe de *Via Anapo*	1,44
	Moyenne : 1,02

Tandis que la vergue présente une longueur équivalente au trois quart de celle du mât[247].

Tab. 13 : Les rapports de dimensions de la vergue mesurés à partir de l'iconographie :

Représentation	**Rapport**
Monument à *Naevolia Tychée*	1,17
Fresque de *Lesbianus*	0,73
Statio n°46 place des corporations d'Ostie	0,65
Statio n°54 place des corporations d'Ostie	0,54
Stèle de Kornoutos	0,88
Stèle de *Kalleinikos*	0,79
Fresque de la catacombe de *Via Anapo*	0,69
	Moyenne : 0,77

[246] Les rapports mesurés sur l'iconographie, des proportions entre la longueur hors-tout des navires et celle de la hauteur du mât depuis le bas de quille, sont les suivants.
[247] Les rapports mesurés sur l'iconographie, des proportions entre la hauteur du mât depuis le bas de quille et la longueur de la vergue.

Malgré l'obtention de moyennes raisonnables, l'hétérogénéité de ces rapports de grandeurs ne permet cependant pas de prendre ces moyennes comme des règles de dimensionnement tout à fait établies. On notera qu'à ce stade les dimensions du mât dans notre restitution pourraient être évaluées à environ 14,20 m, tandis que la vergue mesurerait 10,65 m. Nous verrons, lors de l'analyse de la stabilité transversale et du coefficient de voilure dans quelle mesure il est possible d'affirmer ces dimensions, ou au contraire de les ajuster.

3.4.10.1. Le blocage du mât : mortaise, étambrai, épontilles, etc…

L'indication principale qui puisse nous aider à définir la taille du gréement, sont les dimensions de la mortaise principale de l'emplanture : longue de 25,4 cm, elle est large de 10 cm et présente une profondeur de 6 cm. La forme de cette mortaise est semblable à celles déjà retrouvées sur de nombreuses épaves d'époque antique. De forme globalement parallélépipédique, l'un des bords remonte en pente douce vers l'avant afin de faciliter à la fois la prise de quête du mât ainsi que la manœuvre de démâtage qui pouvait être courante[248], tandis que le bord opposé est tout à fait droit permettant le blocage du mât dans sa position dressée. Suite à la découverte exceptionnelle d'un morceau du pied de mât sur l'épave *Dramont E*, il semble que l'on puisse mettre en relation les dimensions de la mortaise de l'emplanture avec celles du mât dans son point le plus bas[249]. Sur cette épave, les deux valeurs ne sont pas tout à fait équivalentes mais sont cependant très proches : le mât présente ainsi une section de 27,5 cm dans le sens longitudinal pour une largeur de 23,5 cm, le tenon de maintien étant large de 6,5 cm et profond au maximum de 10 cm, se présente avec un profil curviligne semblable à la mortaise dont la longueur est de 29 cm pour 7,5 cm de large.

Si l'on tient compte d'un tel rapport de proportions, il nous faut donc restituer dans notre hypothèse un mât dont la plus grande largeur est sensiblement inférieure à celle de la mortaise de l'emplanture. D'autre part, cette largeur est conditionnée par les parois du fourreau d'étambrai dont le positionnement nous est fourni par les mortaises présentes dans l'emplanture. Notre mât restitué présente donc à sa base une section rectangulaire d'une longueur de 25 cm et d'une largeur de 11 cm. Contrairement à ce qui a été découvert sur

[248] Les exemples iconographiques présentant des navires de commerce dont le mât est abattu, posé sur des chandeliers ou des tréteaux, sont assez nombreux. L'un des plus explicites, selon nous demeurant la stèle funéraire de Tomi (Basch, 1987, p. 464, n°1035). Citons aussi le graphito du saint sépulcre (Benett, Humphreys, 1974, p. 307-310 ; Basch, 1987, p. 464, n°1036), une mosaïque d'une tombe découverte proche de Sousse (Basch, 1987, p. 486, n°1106 ; Yacoub, 1995, fig. 116) et sur le navire n°8 de la mosaïque du frigidarium des thermes de Thémétra (Foucher, 1956, p. 271-277 ; Pomey, 1982, p. 148, fig. 9; Basch, 1987, p. 487, n°1108 ; Yacoub, 1995, fig. 17 a-b).
[249] Santamaria, 1982, p. 107-114 ; Santamaria, 1995, p. 164-170

l'épave du cap Dramont, la largeur totale du mât ne devait pas être très différente de celle du tenon en lui-même, compte-tenu du fait que la mortaise d'emplanture présente une largeur (10 cm) quasi similaire à celle délimitée par les deux mortaises des flancs du fourreau d'étambrai (12 cm). Le fourreau d'étambrai devait quant à lui être composé de trois éléments correspondant aux trois mortaises observables sur l'emplanture, en avant et sur les bords de la mortaise de pied de mât : les deux mortaises latérales sont longues de 20 cm et larges de 3 cm, celle placée en avant de la mortaise principale est longue de 14 cm et large de 2,3 cm. Toutes trois présentent des sections triangulaires[250] qui permettent d'affirmer que les planches formant le fourreau d'étambrai devaient présenter un biseau sur leur champ inférieur. Très vraisemblablement ces éléments devaient se prolonger jusqu'au niveau du pont afin de former un fourreau complet, permettant de guider le mât et d'en protéger la base. Très légèrement en avant (16,3 cm) de ces quatre mortaises, un ensemble complexe formé de plusieurs évidements semble décrire une mortaise cruciforme destinée à accueillir une épontille de soutien d'un barrot de pont. Cette forme totalement inédite demeure à ce jour tout à fait énigmatique. On peut s'interroger sur l'éventualité d'une réparation ou d'une modification intervenue sur cette mortaise complexe qui aurait initialement pu apparaître sous une forme simple à l'image de celles observées précédemment sur les épaves *Plane 1*[251], *Madrague de Giens*[252], C*alanque de l'Âne*[253] ou encore *Cavalière*[254]. Toutefois le soin apporté à l'évidement et sa complexité nous laissent perplexes et nous poussent à devoir aussi considérer l'hypothèse d'une fonctionnalité entière de cette mortaise sous son aspect cruciforme. À ce jour, il nous est impossible de proposer une interprétation convaincante de son mode de fonctionnement. L'aspect général de ces évidements nous a amenés à réfléchir sur un système de blocage d'épontilles qui serait constitué à la fois d'assemblages à mi-bois et d'une clavette de retenue, sans pour autant que cela puisse nous éclairer sur le détail de son agencement. Il demeure que dans sa fonction générale, cet évidement cruciforme est à mettre, sans aucun doute, en relation avec la présence du mât et de l'étambrai situé tout à proximité. C'est pourquoi nous proposons dans notre restitution d'y voir une mortaise dans laquelle viendraient se positionner deux épontilles destinées au soutien et au contrebutement du barrot de pont se trouvant directement en contact avec le mât.

[250] Ce qui n'est pas sans rappeler déjà les mortaises de fourreau de section triangulaire observées sur les épaves de *Saint-Gervais III* (Liou, Gassend, Roman, 1990, p. 243, fig. 109), *Laurons 3* (Ximénès, Moerman, 1987, p. 171-182) ou encore l'épave *Ile de Plane 1* (Charlin, Gassend, Lequément, 1978, p. 76).
[251] Charlin, Gassend, Lequément, 1978, p. 76
[252] Tchernia, Pomey, Hesnard, 1978, p. 83-84 ; Pomey, 1982, p. 141-144, Fig.2 et 8.
[253] Ximénès, Moerman, 1994, p. 95-111
[254] Charlin, Gassend, Lequément, 1978, p. 75

Au final, concernant le fourreau d'étambrai et ses épontilles de soutien, ces divers éléments remontent donc jusqu'au niveau du pont afin de s'appuyer sur le barrot de pont situé en avant de la grande épontille, entre les couples M35 et M36.

3.4.10.2. Gréement dormant- Gréement courant :

L'ensemble de la restitution touchant au gréement est grandement tributaire de l'iconographie. Mises à part les nombreuses découvertes isolées de pièces se rapportant au gréement, aucune découverte n'a permis d'étudier dans son ensemble une mâture présentant l'ensemble de ses agrés et de son armement. Toutefois, on peut se réjouir de la grande richesse du corpus iconographique antique pour ce qui est du gréement et de la qualité des détails que l'on peut y observer, permettant par là-même de re-contextualiser les divers cabillots, quinçonneaux, moques, poulies et palans retrouvés lors de diverses fouilles effectuées en milieu maritime **(Fig. 43, 44 et 45**). La base iconographique utilisée ici est essentiellement constituée des exemples déjà cités, faisant référence essentiellement à des navires portant un unique mât gréé d'une voile carrée. À ceux-ci viennent s'ajouter des représentations d'autres navires marchands qui permettent ponctuellement de mieux appréhender tel ou tel détail d'agencement et de montage. Les principales caractéristiques du gréement que nous restituons dans la présente hypothèse sont les suivantes :

- Le maintien du mât sur l'avant s'effectue par un étai frappé juste en avant de l'étrave et dont la mise en tension peut éventuellement s'effectuer par le biais de moques ou de caps-de-mouton. Cette configuration étant très explicite notamment sur le navire représenté sur le bas-relief de *Naevolia Tychée*[255], mais aussi sur le navire représenté sur un sarcophage tardif (IVème s. ap. J.-C.) découvert à Sinope en Turquie[256] ou encore de façon moins précise sur la stèle de *P. Clodius Quirinali*[257].



Fig. 41 : Détail de l'étai avant du navire de gauche sur le bas-relief votif du *Portus Augusti*. (Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.).

[255] Les photos présentées par Lucien Basch sont très explicites concernant ces détails et particulièrement les n°1019 et n°1021 (Basch, 1987, p. 461-462).
[256] Ballard, 2001, p. 52-69
[257] Basch, 1987, p. 467, fig. 1045 ; Pekary, 1999, p. 304, I-T 11

On mentionnera aussi la qualité du détail concernant cet étai, sur le navire figuré à gauche du bas-relief de *Portus*[258] **(Fig. 41)**.

- Une série de haubans sur chaque bord maintiennent le mât à la fois latéralement et sur l'arrière. Il s'avère que ceux-ci sont plus rarement figurés que d'autres éléments remarquables du gréement[259]. On les remarque toutefois nettement sur le bas-relief de *Naevolia Tychée*, mais aussi sur la stèle de *Kalleinikos.* Ces haubans sont très précisément représentés dans le bas-relief de *Portus*. La tension des haubans devait être assurée, comme pour l'étai, par une série de moques ou de caps-de-mouton dont la présence est attestée sur toute la période antique à partir de découvertes effectuées à maintes reprises lors des fouilles[260]. Concernant ces moques, les quelques représentations que nous en avons renvoient à des navires d'une taille certaine comme le grand navire figuré sur le bas-relief de *Portus* **(Fig. 42)**, cependant les nombreuses découvertes de moques associées à des épaves de navire de taille modeste, tel que l'épave 2 de l'anse des Laurons, nous autorisent à penser que son usage devait être diffus sur les navires marchands de diverses tailles **(Fig. 43)**. Par ailleurs, il paraît probable que le blocage des haubans sur les cadènes s'effectuait par le biais de quinçonneaux, découverts eux-aussi en grand nombre sur les fouilles de navires d'époque romaine[261]. La position légèrement reculée des haubans est générée d'une part par la nécessité de régler la quête du mât et d'autre part pour pallier l'absence d'un étai sur l'arrière. Le décalage entre le mât et ses haubans est difficile à quantifier : l'iconographie n'est pas forcément d'une grande aide sur ce point, les haubans étant tantôt représentés au niveau du mât (sur le bas-relief de *Portus* ou sur le monument de *Naevolia Tychée*), tantôt représentés



Fig. 42 : Détail du système de haubanage sur le navire de gauche sur le bas-relief votif du *Portus Augusti*. (Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.).

[258] Basch, 1987, p. 465, fig. 1040

[259] Basch (Basch, 1987, p. 476) souligne à ce propos que la représentation des cargues est souvent celle qui a la préférence des artistes. Une des hypothèses que l'on pourrait avancer serait la volonté de ne pas surcharger la représentation au risque de rendre celle-ci incompréhensible à l'image de certains graphito (n°1096 et 1097).

[260] Huit moques et six caps-de-mouton ont ainsi été découverts dans l'anse des Laurons aux environs de l'épave *Laurons 2* (Ximénès, Moerman, 1990, p. 7, fig. 2). Plusieurs d'entre-deux étant regroupés sur l'extérieur du flanc bâbord au niveau des couples M123 à M125. L'un d'entre eux est particulièrement bien conservé et présentait encore, au moment de la découverte, son estrope et ses ligatures de blocage (Ximénès, Moerman, 1990, p. 8, fig. 3). Par ailleurs on notera que ces éléments sont régulièrement découverts dans divers contextes maritimes comme sur le site de l'Espiguette (Carre, 1983, p. 135), ou bien encore sur le site de la Bourse à Marseille. Sur la question du gréement, on pourra consulter plus généralement : Pomey, Gianfrotta, 1987, p. 285-288 ; Pomey et *al.*, 1997, p. 85-86 ; Beltrame, 2002, p. 9-15.

[261] Retrouvés en place sur l'épave des Laurons (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 94, fig. 17c).

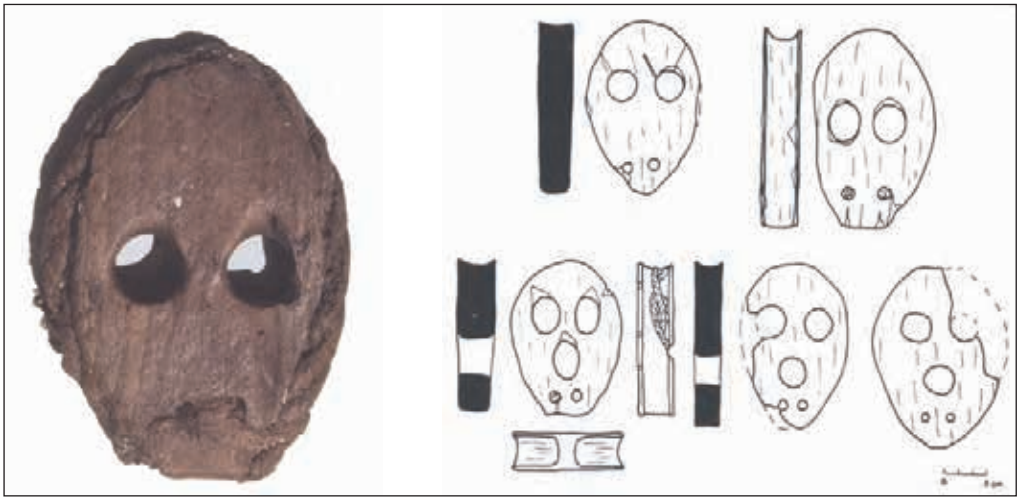


Fig. 43 : Caps-de-mouton découverts dans l'anse des Laurons.
(Tiré de : Ximémès, Moerman, 1990, fig.7)

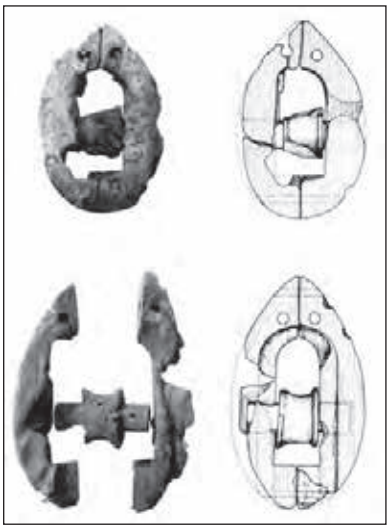


Fig. 44 : Poulies découvertes sur l'épave *Grand-Ribaud D.*
(Tiré de : Hesnard et *al.*, 1988, fig.XLIV)



Fig. 45 : Quinçonneaux découverts sur l'épave de *Grado* (en haut) et *Laurons II* (en bas).
(Tiré de : Beltrame, 2001, p. 14)

de part et d'autre du mât dans une déformation de perspective. La seule donnée sur laquelle on puisse s'appuyer est issue de la fouille de l'épave *Laurons 2*[262], mais elle reste difficilement exploitable étant donné le peu de précision sur ce point particulier de la part des auteurs. Au final, nous avons dans notre restitution déporté nos haubans de 1,40 m sur l'arrière du mât.

- Le système de hissage de la vergue ainsi que le réglage de celle-ci s'avèrent relativement simples et très bien représentés sur l'iconographie. Lorsque la zone du calcet est détaillée on note très souvent la présence d'un bourrelet sur le mât, dont on ne peut juger s'il est rapporté ou s'il fait partie intégrante du massif, dans lequel sont pratiqués deux trous qui semblent filer les deux amans formant l'itague de vergue[263]. Lucien Basch souligne d'ailleurs bien la présence régulière de cet élément dans les représentations de navires romains[264], en notant à cette occasion la présence de ce même élément sur une représentation d'époque grecque classique[265]. Cette configuration est particulièrement visible sur les deux navires de la mosaïque de Rimini, représentant une scène portuaire, sur le navire figuré à droite sur le bas-relief de *Portus* **(Fig. 46)**, sur la stèle de *P. Clodius Quirinalis* **(Fig. 47)**, ou encore sur le graffito du navire *Europa*, dans ces deux derniers cas les itagues de la vergue étant distinctement repérables. La nature de cette pièce de calcet demeure aujourd'hui encore tout à fait énigmatique. S'agit-il d'un véritable calcet double dans lequel sont insérés des rouets ? S'agit-il au contraire d'une pièce enserrant le mât et pourvue de boucles, ou encore de simples trous servant de filoirs aux itagues ? La seule certitude est donc le doublage de l'aman dont la fonction demeure floue : servait-elle à éviter un contact trop fréquent avec l'étai, les deux brins passant de part et



Fig. 46 : Détail du calcet double et du système de hissage de la vergue sur le navire de gauche sur le bas-relief votif du *Portus Augusti* (Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.).

[262] Serge Ximénès qui a participé et dirigé la fouille de l'anse des Laurons pendant de nombreuses années nous a confié que ces caps-de-mouton et ces moques (voir note précédente) ainsi que leurs ligatures de cadènes avaient été retrouvés en place sur l'épave n°2. Toutefois il n'en est fait que très peu état dans les diverses publications touchant à cette épave et le seul indice que l'on possède pourrait être identifié sur la coupe longitudinale de l'épave (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, fig. 19) : au niveau des couples 126 et 127, deux séries de traits, se rejoignant, décrivent à n'en pas douter le départ des haubans au niveau d'une des lisses internes du pavois. Par ailleurs, cela correspond avec la représentation du début de haubanage figuré sur la coupe de restitution du couple 127, présentée dans le même article (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 94, fig. 17c). Si l'on s'en tient à cette interprétation, le hauban placé le plus en avant serait alors à environ 1,30 m en arrière de la mortaise de pied de mât.

[263] Deux amans forment peut-être l'itague dans la configuration du navire que l'on peut observer sur le sarcophage de Sidon (Basch, 1987, p. 463, n°1031 et n°1032).

[264] Basch, 1987 : n°1018, n°1035, n°1042 et n°1045

[265] Basch, 1987, n°574, p. 270

d'autre de celui-ci, ou bien était-elle rendue nécessaire par les poids combinés de la vergue, de la voile et de tous les agrès ? Soulignons que cette pratique de doublage de l'itague a perduré longtemps dans l'espace méditerranéen puisque nombre de gréements latins et carrés d'époque moderne et contemporaine présentent un doublage similaire de l'itague[266]. Si l'on se fie toujours aux mêmes sources iconographiques, on en déduit que l'itague pouvait éventuellement venir s'amarrer sur la taille d'un palan. Pour Lucien Basch, ce palan est ainsi très bien visible sur le bas-relief de *Naevolia Tychée*[267] et s'apparente très fortement aux palans en usage dans les périodes ultérieures **(Fig. 48)**. La poulie, découverte sur l'épave *Port-Vendres* I[268] et présentant neuf réas pourrait, compte tenu de sa taille, être interprétée comme une partie de l'un de ces palans. Il est cependant difficile de pouvoir s'avancer dans la détermination du mode de fixation et de l'usage de ce palan.

- Les manœuvres de la vergue sont *a priori* de deux types : bras et balancines, qui sont caractéristiques des gréements carrés **(Fig. 46-47)**. Si l'usage des bras est constant durant toute la période qui nous intéresse, il n'en va pas de même pour les balancines dont l'usage semble discontinu si l'on s'en tient à leur présence sur les différentes représentations iconographiques de navires marchands, notamment pendant la période hellénistique. Plus particulièrement, on note leur absence sur le navire figurant sur le monument de *Naevolia Tychée* ou encore sur le graffito du navire *Europa.* Malgré ces absences, il nous semble cependant que le corpus de représentations qui donnent à voir ces balancines constitue



Fig. 47 : Détail du calcet double sur la stèle de *P. Clodius Quirinalis*, (Trieste, Ier s. ap. J.-C.).

[266] Dans sa monographie consacrée au chebec de 1750 *Le Requin*, Jean Boudriot revient avec précision sur le montage des amans de l'antenne principale (antenne de mestre). Bien qu'il s'agisse d'un gréement latin, on note tout de même que les deux amans forment une boucle, fermée par une épissure, qui relie la taille (poulie supérieure du palan de drisse de l'antenne) à un quinçonneau sur lequel vient s'enrouler une polome, soit la boucle épissée sur elle-même entourant l'antenne (Boudriot,1987 p. 58 et p. 138). Les amans sont guidés, entre le palan de drisse et la polome, par deux paires d'yeux, baptisés sionnes, et passent au travers du calcet qui est rapporté sur le mât et dans lequel se trouvent deux rouets de bronze. *La diligente*, tartane française méditerranéenne du XVIIème siècle, présente une configuration similaire (Delacroix, 1997).
D'autres exemples nous sont aussi fournis dans *Les Souvenirs de Marine Conservés* de l'amiral Edmond Pâris (Paris, 1999). Citons entres autres : les allèges d'Arles (fig. 4), *Le Sambouk* caboteur de la mer rouge (fig. 41), le chebec *Le Mystique* de 1750 (fig. 76 et fig. 86), la galéasse La Royale (fig. 65), la pinque Génoise de 1800 (fig. 56) ainsi que la pinque marseillaise La Fileuse de 1778 (fig. 57)

[267] Basch, 1987, p. 461, n°1026 et n°1027. Il semblerait qu'un palan comparable soit aussi représenté sur le bas-relief du sarcophage de Sidon (Basch, 1987, p. 463, n°1031 et n°1032). Toutefois, l'identification est plus difficile que sur le monument de *Naevolia Tychée*.

[268] Carre, 1983, pl. XIII

une base suffisante pour justifier la restitution de tels éléments. Dans notre cas, le navire de la villa de Sirmione **(Fig. I)** et la fresque de *Lesbianus* nous paraissent être des arguments iconographiques particulièrement pertinents. Dans notre restitution, les bras de la vergue sont donc renvoyés vers l'arrière du navire, tandis que les balancines sont ramenées au pied du mât afin de pouvoir être tournées sur des taquets ou des cabillots.

- De façon générale, les découvertes récurrentes de quinçonneaux[269] sur de nombreuses épaves nous amène à avancer l'hypothèse d'un usage identique à celui constaté dans la marine traditionnelle plus récente[270] : le quinçonneau permettait une liaison rapide de deux cordages **(Fig. 45)**. L'un des cordages présentant un œillet destiné à maintenir bloqué le quinçonneau estropé à l'extrémité du cordage en regard. Les dimensions parfois importantes de ces quinçonneaux, jusqu'à une trentaine de centimètres, permettent d'affirmer qu'ils pouvaient intervenir dans la mise en place des parties les plus sollicitées du gréement, telles que l'itague de vergue ou encore les haubans ou l'étai.



Fig. 48 : Détail du palan sur le navire du monument funéraire de *Naevolia Tyché* (Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.).

Le reste du gréement courant, rattaché notamment au maniement de la voile qui n'a pas été restituée, n'a pas non plus fait l'objet d'une restitution. Les cargues, les écoutes et les boulines, qui permettent le maintien et le contrôle de la voilure, demeurent cependant des éléments qui peuvent être restitués à partir de l'iconographie.

[269] Que l'on peut aussi nommer cabillot (Bonnefoux, 1834, p. 62). Nous utiliserons ici le terme de quinçonneau afin d'éviter toute ambigüité avec le terme cabillot désignant aussi le taquet de tournage et que nous utilisons par ailleurs dans ce sens.
[270] Sur le site de l'anse des Laurons (Ximénès, Moerman, 1990, p. 10, fig. 5), mais sur de très nombreuses autres épaves : *Kyrenia* (Wylde Swiny, Katzev, 1973, p. 351), la *Madrague de Giens* (Carre, 1983, pl.XLVII et pl.XLVIII), *Port-Vendres 1* (Carre, 1983, pl.XLVIII et pl.XLIX) ou encore *Calanque de l'Ane* (communication personnelle S. Ximènés). On en retrouve aussi sur divers zones portuaires antiques comme à Marseille (Carre, 1983) et même à Naples (communication personnelle G. Boetto).

3.4.11. La pompe de cale :

Nous avons déjà fait état des éléments qui nous conduisent à restituer ici une pompe de sentine. La restitution du corps de pompe en lui-même se repose sur un corpus de recherches déjà relativement fourni sur le sujet, l'article de Marie-Brigitte Carre et Marie-Pierre Jézégou faisant office de référence à cet égard[271]. Il nous a paru très vraisemblable que le système d'évacuation des eaux de sentine sur *Napoli A* devait s'effectuer par le biais d'une pompe à chapelet dont la présence est très courante sur les épaves de la période romaine[272]. Les indices qui attestent de leur présence sont la plupart du temps fragmentaires (disques de bois, récipients de plombs, coussinets d'axes, etc…). Parfois, il ne demeure plus qu'un espace aménagé qui confirme sa disparition, parfois conséquence directe d'une récupération postérieure au naufrage[273]. Rares sont les pompes qui nous parviennent et l'on déplore malheureusement le fait que la plupart des corps de pompes, qui ont pu être récupérés et étudiés, appartiennent à des épaves d'époque tardive[274]. Seule l'épave de Los Ullastres, datée du Ier s. ap. J.-C., s'avère presque contemporaine de notre épave[275]. Le morceau du corps de pompe retrouvé, étudié par Federico Foerster, met au jour d'évidentes différences avec les éléments des épaves plus tardives ainsi qu'une certaine similitude avec la flasque latérale portant le coussinet du tambour inferieur de la pompe, retrouvée sur la *Madrague de Giens*[276].

Le principe demeure quoi qu'il en soit le même, et l'aménagement d'un espace au niveau de la membrure ainsi que les trous d'épontille qui l'entourent, permettent sans aucun doute de confirmer la présence originellement sur *Napoli A* d'un système en circuit fermé de chapelets. Un corps en bois situé à cheval entre les couples M12 et M14 devait permettre le passage des chapelets à proximité du dos de la quille, celui-ci étant le point interne le plus bas du bateau, afin d'évacuer l'eau à la fois par élévation directe et peut-être aussi par aspiration[277].

[271] Carre, Jézégou, 1984, p. 115-143
[272] Carre, Jézégou, 1984, p. 139, fig. 18
[273] La récupération par les *urinatores* du complexe mécanisme de la pompe de sentine paraît avoir été l'une des préoccupations majeures des campagnes destinées à la récupération de la cargaison et/ou du matériel de valeur sur les navires récemment naufragés. La récupération de la pompe de sentine dans son entier sur le navire de la Madrague de Giens en est l'exemple le plus frappant (Tchernia, Pomey, Hesnard, 1978, p. 29-31).
[274] Début VIIème s. ap. J.-C. pour l'épave Saint-Gervais 2 (Jézégou, 1983, p. 6) ; IVème ap. J.-C. pour celle de Pointe de la Lucque B (Négrel, Clerc, 1973, p. 61-72 pour un relevé détaillée de la coque sur lequel apparaît les vestiges de la pompe ; Négrel, 1973, p. 63, pour des détails photographiques du corps de pompe.
[275] Foerster, 1979, p. 172-174
[276] Carre, Jézégou, 1984, fig. 11 (pour la Madrague de Giens) ; Foerster, 1979, fig. 3 (pour Los Ullastres)
[277] Phénomène engendré par la dépression à l'intérieur de la boite traversée par les galets de la pompe.

3.5. Evaluation de l'hypothèse de restitution de *Napoli A*

3.5.1. Devis de poids du navire en lège :

Nous ne détaillerons pas ici les essences choisies dans notre devis de poids, ni le mode de calcul particulier mis en place pour mesurer celui-ci. Un tableau présente en annexe le détail de ce calcul qui se résume en une série d'additions et de moyennes pondérées. On notera deux particularités dans le processus de calcul : d'une part, lorsque différentes essences composaient un ensemble distinctif (ensemble du bordé, ou du vaigrage) une moyenne pondérée était appliquée à l'ensemble afin de prendre en compte ces subtilités[278] ; d'autre part, pour les éléments entièrement restitués, le poids spécifique utilisé correspond à celui des éléments conservés morphologiquement et structurellement les plus proches. Le poids spécifique des barrots transversaux et des allonges non conservées correspondant à celui de la membrure, celui du pavois correspondant à celui du bordé, etc…

Tab. 14 : Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°2 :

	Volume (m^3)	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Poids Spé.**	**Poids (T)**
Bordé	3,915	0	713,42	80,73	0,5	2,009
Membrure	1,957	0,27	700	83,8	Variable	1,411
Charpente axiale + vaigrage	1,140	/	/	/	Variable	0,726
Pont	2,533	-0,08	673,1	192,43	Variable	1,470
Mâture	0,928	0,16	896,2	647,89	Variable	0,521
Gouvernail	0,221	0	198,7	140,84	Variable	0,160
TOTAL	**10,681**	/	/	/	/	**6,299**

[278] Ainsi, le vaigrage fixe se compose de six essences distinctes : épicéa, pin d'Alep, cyprès, mélèze, pin pignon, sapin (Allevato et *Al.*, 2010, p. 2365-2375). Chaque vaigre ayant été modélisée séparément, un poids spécifique leur a été attribué à chacune, correspondant à l'essence identifiée. La moyenne pondérée des centres de gravité permettant de définir le centre de gravité général. Pour le vaigrage restitué, nous lui avons appliqué comme densité la densité moyenne du vaigrage conservé. À noter que pour le bordé, la multiplication des pièces le composant nous a amené à privilégier une moyenne au volume d'ensemble, méthode certainement moins précise, mais moins fastidieuse et suffisante dans son approximation pour notre étude.

La présence au contact du vaigrage, dans la zone correspondant aux couples M14 à M24, d'une couche résiduelle d'éléments calcaires et de morceaux de tuf, interprétée comme un résidu de lest, nous ont amenés à restituer à cet endroit un chargement de ballast. La zone d'emprise originelle a été reproduite (environ 4 m²) et c'est sur une hauteur de 20 cm que nous avons restitué ce lest dont le poids spécifique a été estimé à 1,520 tonnes/m^3, pour un poids final de 1,24 tonnes métriques. Les résultats de stabilité obtenus *a posteriori*, pour les configurations en lège et lesté, nous ont amenés à considérer cet amas comme le résidu d'un lest fixe permettant au navire d'acquérir le strict minimum de stabilité transversale.

Nous estimons donc le poids du navire lesté à **7,54 tonnes métriques**. Dans cette configuration, le tirant d'eau du navire au niveau du maître-couple est assez faible : 64,7 cm. Nous verrons que dans ces conditions, le navire paraît encore très haut sur l'eau et semble à peine capable de se mouvoir à la voile sans risquer le chavirage.

3.5.2. Equipage et armement :

Il nous est difficile d'estimer l'influence du poids d'un équipage et de l'équipement du navire sur son enfoncement ainsi que sur sa stabilité. Sans nul doute, il devait s'agir d'un équipage relativement réduit, s'établissant entre deux et quatre personnes. Sur la base d'un poids moyen de 70 Kg, cela représenterait une charge totale entre 140 et 280 Kg. Manifestement le centre de gravité de cette masse serait à replacer relativement haut dans notre modèle d'étude, environ 1 m au-dessus du livet. Nous jugeons l'influence de ce poids comme négligeable sur l'enfoncement de la carène. Pour ce qui est de la stabilité transversale, si l'on imagine l'équipage comme une masse inerte, nul doute que celle-ci contribuerait à la dégradation de la stabilité. Toutefois considérant celle-ci comme mobile, on doit plutôt l'estimer comme un élément favorisant la stabilité du navire. L'équipage se déplaçant généralement vers le bord au vent, augmente la valeur du poids de rappel et par la même le moment de redressement. Dans le cadre des études hydrostatiques actuelles, un coefficient correcteur représentant le gain de stabilité généré par le rappel de l'équipage, peut éventuellement être appliqué au calcul de stabilité transversale des petites embarcations à voile[279]. Nous avons fait le choix de ne pas prendre en compte cet élément, tout en maintenant

[279] Selon la norme française (NF EN ISO 12217-2, p. 22), on peut augmenter le moment de redressement en prenant en compte l'angle de gîte et la largeur au maître-couple, en ajoutant au moment de redressement initial la multiplication suivante : 294*Largeur*Cosφ (avec φ pour l'angle de gîte exprimé en degrés). Dominique presles et Dominique Paulet conseillent quant à eux l'utilisation d'un coefficient correcteur de 0,75 (Presles, Paulet, 2000, p. 316)

à l'esprit que le comportement de l'équipage sur un navire tel que *Napoli A* pouvait, à l'image d'autres embarcations, influencer grandement sur la stabilité transversale du navire.

Concernant tous les équipements nécessaires au bon armement du navire, nous ne sommes pas en mesure de donner un chiffre objectif sur la masse de l'ensemble. Considérant le programme ainsi que l'espace de navigation, évoqués plus loin, nous estimons cependant son importance plus réduite que sur des navires au rayon d'action plus étendu, là où les ancres représentent au final la masse la plus importante de cet armement additionnel. Nous avons donc fait le choix aussi de ne pas prendre en compte cette masse dans nos estimations.

3.5.3. Espace disponible de chargement :

Nous avons tenté, à partir du modèle tridimensionnel, de définir le volume utile de chargement. Il s'est avéré, en l'absence sur les vestiges de toute trace du chargement, très délicat de définir précisément l'emprise de la cale.

Dans une configuration maximale, celle-ci devait pouvoir s'étendre dans tout l'espace défini par le vaigrage. En effet, compte-tenu du programme de navigation restreint de notre navire, il n'est pas inimaginable que les espaces non dédiés à la cargaison (tels qu'une cambuse ou un poste d'équipage) aient été sacrifiés au profit du chargement[280]. La cale, délimitée par le vaigrage et les barrots de pont sur ces bords, n'est alors tronquée que par les espaces correspondant au puits de la pompe de cale et au fourreau d'étambrai, et s'inscrit dans un volume de 27,13 m^3. C'est sur cette base que nous avons effectué la plupart de nos évaluations hydrostatiques en condition de chargement. Cependant la possibilité d'un espace de cale plus restreint n'étant pas à exclure, nous avons aussi envisagé deux autres configurations dans lesquelles la cale se voit progressivement limitée en longueur sur l'arrière par le puits de la pompe de cale. Elles occupent respectivement 21,7 m^3 et 18,4 m^3.

Par ailleurs, dans le cadre des analyses hydrostatiques faites en fonction de divers chargements potentiels, il nous fallait afin d'obtenir le centre de gravité du chargement attribuer un poids spécifique à ces volumes. Nous avons fait finalement le choix de simuler un chargement d'une densité de 0,73 tonnes par m^3 nous permettant de nous rapprocher du coefficient d'arrimage d'un chargement de blé en sac (1,37 m^3.T) [281], marchandise potentielle de notre navire. Toutefois, l'éternel problème du kilo de plumes et du kilo de plomb se

[280] Voir *infra*
[281] Garroche, 1960, p. 169; Stopford, 2009, p. 576; Sewell, 1999, p. 185

posant[282], nous avons pris le parti de nous limiter à cette seule densité, en projetant cependant un chargement d'amphores campaniennes, contemporaines de notre navire, du type Dressel 2-4, modélisées à partir des amphores du groupe 3 mis en évidence par C. Panella et M. Fano parmi les diverses céramiques pompéiennes de ce type[283]. De toute évidence, il fallait alors composer différemment, avec une cargaison dont le coefficient d'arrimage est beaucoup plus important (9 tonnes pour 27 m^3 de cale, soit 3 m^3/T) et dont le centre de gravité s'avère bien plus haut qu'une cargaison tel que le blé. Les diverses analyses que nous présenterons, si elles n'en demeurent pas moins représentatives d'une situation assez courante, ne doivent cependant pas faire oublier leurs spécificités.

3.5.4. Estimations du port en lourd :

La production d'un modèle tridimensionnel, qui précise et facilite la multiplication des calculs hydrostatiques, nous a permis de déterminer rapidement plusieurs conditions d'enfoncement, de chargement et d'assiette pour notre hypothèse. Au sein de celle-ci nous distinguons clairement deux groupes bien distincts : port en lourd théorique et ports en lourd potentiels, dont nous avons déjà évoqué les natures variées dans le deuxième chapitre[284].

3.5.4.1. Port en lourd théorique :

Le premier groupe correspond ainsi à l'ensemble des analyses menées avec comme objectif la recherche d'une condition de chargement bien précise correspondant à l'immersion du livet pour un angle donné. Il s'agit de déterminer ici un port en lourd théorique à partir d'une limite de sécurité, le franc-bord, défini arbitrairement en amont. Si cette méthode présente en général le désavantage de se baser sur une règle sécuritaire moderne parfois fort éloignée des pratiques réelles de l'époque qui nous intéresse, il n'en demeure pas moins que c'est encore là, il nous semble, la formule qui s'applique le mieux aux divers analyses hydrostatiques de restitutions de navires de commerce de l'époque antique. La détermination du port en lourd théorique par cette méthode permet par ailleurs de donner un aperçu global des ordres de grandeurs sur le tonnage des différentes restitutions.

[282] Ce qui pourrait entrainer la multiplication à l'infinie des simulations de conditions de chargement en fonction de différentes densités.
[283] Panella, Fano 1977, p. 169, fig. 17
[284] Voir supra, 2.4.3.1

Pour notre restitution nous avons fait le choix d'une marge de sécurité de franc-bord garantissant l'immersion du livet, au niveau du maître-couple, pas avant 10° de gîte[285]. En suivant un tel facteur, la flottaison en charge serait alors à placer au niveau du maître-couple à une hauteur de 1,05 m (depuis le bas de quille), donnant ainsi à voir un déplacement lourd de 26,5 tonnes, soit 19,05 tonnes de port en lourd.

À cette méthode des 10°, utilisée lors de l'analyse de nombreuses restitutions, il nous semble pertinent d'adosser, ou du moins d'évoquer, les résultats d'analyses similaires correspondant à une immersion du livet pour d'autres angulations de gîte : pour 20° de gîte, le déplacement est de 17,5 tonnes, le port en lourd de 10 tonnes ; pour 15° de gîte, le déplacement est de 21,75 tonnes et le port en lourd de 14,25 tonnes ; enfin pour une limite de sécurité correspondant à 5° de gîte, le déplacement culmine à 32,65 tonnes pour un port en lourd de 25,2 tonnes **(Fig. 49)**.

3.5.4.2. Ports en lourd potentiels :

Si l'on connaît bien les formes de la carène, l'espace maximum disponible pour le chargement ainsi que la disposition des différents centres de gravité, il n'en demeure pas moins qu'à ce stade, à l'image de ce que l'on aurait pu constater il y a deux mille ans, un jour de chargement dans le port de *Neapolis*, l'estimation du port en lourd potentiel est moins affaire d'objectivité que d'un jugement ponctuel et subjectif induit par divers facteurs : capacités et connaissances du capitaine, espace de navigation envisagé, contexte commercial, conditions météorologiques, enregistrement contractuel du tonnage, etc…

Autant d'éléments dont il est difficile d'exprimer l'importance au sein d'une équation permettant la mesure d'un volume ou d'un poids. Si l'on devait maintenir une neutralité totale, nous nous contenterions d'observer que le déplacement maximum de notre restitution (jusqu'à ce que le livet coïncide avec le niveau de la flottaison) est de 37,71 tonnes métriques[286], correspondant à un port en lourd maximum de 30,25 tonnes métriques. Cependant, à l'instar des *nautae* romains, il nous paraît envisageable de prendre en compte certaines variables qu'implique le bon chargement d'un navire afin de dégager pour notre restitution une valeur significative du port en lourd.

Nous nous proposons ici d'évaluer plusieurs configurations de chargement pour notre restitution. Il s'agit de mesurer pour diverses situations, depuis la navigation en lège jusqu'à

[285] Roman, 1997, p.47

[286] Le volume mesuré est de 36,79 m^3, ce qui dans l'eau de mer (densité de 1,025) correspond à un déplacement de 37,70 tonnes métriques.

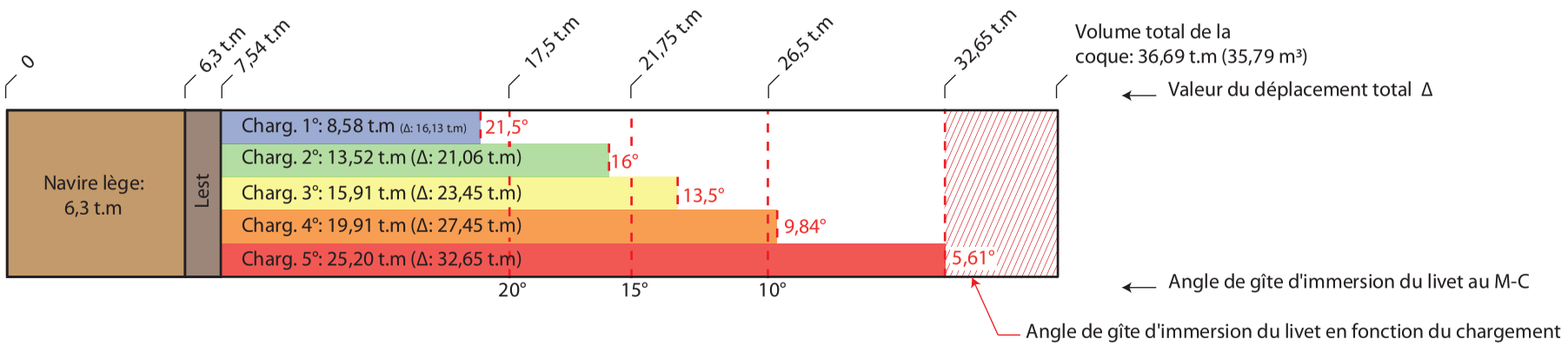


Fig. 49 : Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.

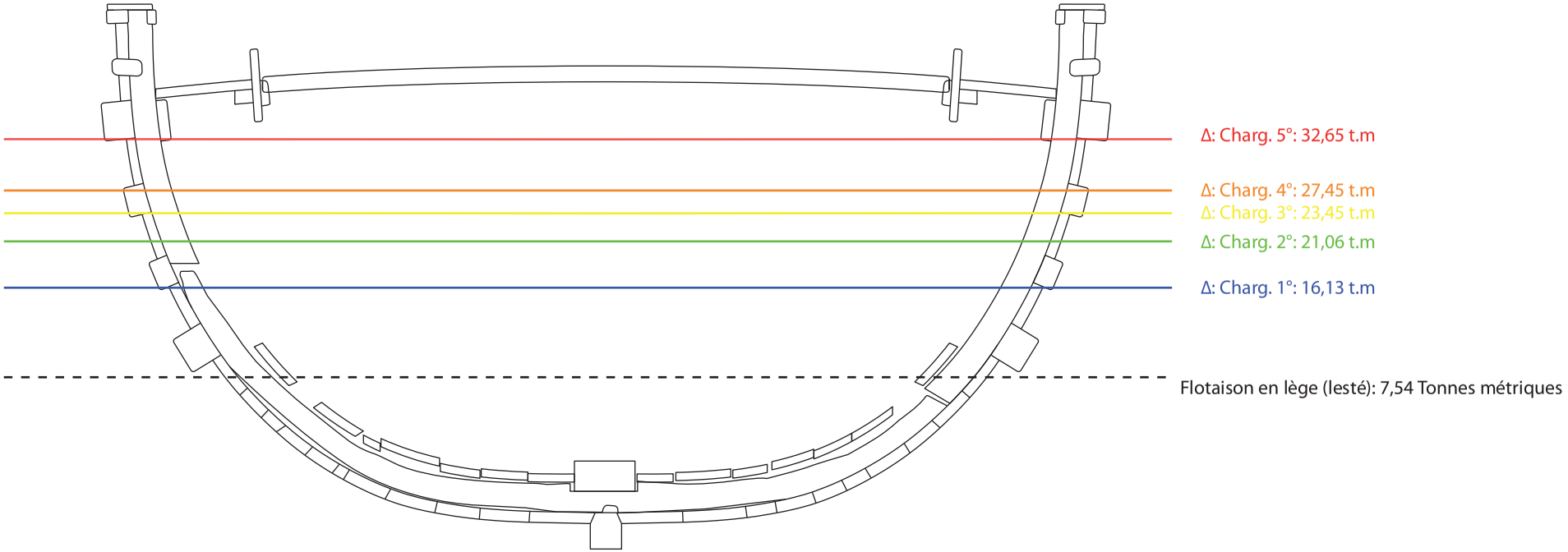


Fig. 50 : Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements.

un chargement maximum, à la fois le degré de gîte générant l'envahissement du navire[287], celui générant une immersion du livet, mais aussi la stabilité transversale du navire. En associant les résultats bruts de ces trois mesures, il nous est permis de juger de la pertinence d'une situation de charge en estimant ses avantages et ses désavantages tant d'un point de vue marin, que d'un point de vue commercial. Il s'agit en d'autres termes d'en apprécier le rapport « qualités nautiques / rendement économique ». En tout, ce sont ainsi six modèles de déplacement et de chargement qui ont été étudiés depuis la situation en lège sur lest jusqu'à un déplacement lourd maximum de 32,65 tonnes métriques **(Fig. 50)**.

- Remarques sur la restitution de la voilure et l'importance de la surface mouillée :

La surface mouillée de notre restitution s'établit, si l'on tient compte des différents chargements étudiés, entre 25 et 58 m^2. En moyenne, il s'agirait donc d'une surface de 41,5 m^2 nécessitant au minimum l'établissement d'une voile de 83 m^2. Dans l'hypothèse tout d'abord avancée d'un mât de 14,20 m et d'une vergue de 10,65 m, porter une telle surface de toile ne poserait aucun souci. Cependant, on constate que dans cette configuration les centres de gravité du mât et surtout de la vergue sont trop excentrés en hauteur, influençant grandement la position du centre de gravité général du navire. Ceci entraine alors une forte dégradation de la stabilité transversale. Il est vite apparu que la diminution sensible de la position en hauteur de la vergue, et du coup de la taille du mât[288], permettait de bénéficier d'une bien meilleure stabilité tout en réduisant de façon minime la dimension de la voile (75 m^2) permettant toujours d'assurer un ratio minimal de voilure avec la surface mouillée moyenne (1,8).

3.5.5. Analyse de six configurations de chargement :

Nous n'avons pas produit d'analyse détaillée en ce qui concerne le déplacement lège sans lest. En effet, il s'est avéré très tôt, suite au calcul de stabilité transversale, qu'une telle

[287] L'angle d'envahissement est atteint lorsque le niveau vertical de l'eau dépasse celui de l'une des ouvertures du pont. Dans le cadre de notre restitution il s'agit de l'angle de gîte pour lequel l'angle supérieur de l'hiloire central est submergé. Au-delà de cet angle, si l'on excepte la présence d'un panneau de fermeture, il est plus que probable que le navire embarque une quantité d'eau suffisante pour le faire chavirer et couler.

[288] La taille du mât serait alors réduite de 1,5 m et la vergue abaissée d'autant. La hauteur entre le bas de quille et la pomme de tête de mât serait alors de 12,50 m environ. Si l'on s'en tient aux rapports de proportions moyens mésurés sur l'iconographie entre la taille des mâts et celle des vergues (0,75), nous aurions dû restituer une vergue de 9,4 m. Toutefois dans cette configuration il nous était impossible de dresser une voile de 75 m^2. Nous avons fait le choix d'allonger la vergue de 0,6 m, nous permettant de porter une voile de 10 m de large par 7,5 m de haut. Le rapport de proportion entre la vergue et le mât est alors de (0,85).

configuration n'était tout simplement pas viable : le navire est alors dans un équilibre stable tout à fait précaire et n'est absolument pas apte à prendre la mer. Il peut à tout moment se retourner, même amarré à quai ou en eau calme dans un port[289]. C'est pourquoi nous limiterons notre analyse au six cas suivants **(Fig. 51)** :

- Déplacement lège sur lest fixe : déplacement de 7,54 tonnes **(Fig. 52)**

Dans cette configuration particulière, la stabilité transversale est réduite à un minimum tel, qu'il semble risqué de prendre la mer dans une telle configuration. Si le bras de levier (Gz) de redressement maximum est atteint tardivement (42° de gîte environ) sa valeur est infime (0,23 m) et le poids total du navire ne permet pas de produire un moment de redressement important. Avec une voile de 75 m², bordée à plat, un vent de travers de seulement 12 nœuds (force 3-4 Beaufort) entrainerait ainsi une gîte très forte, à même d'entrainer un chavirement du navire. On notera que la marge de sécurité est toutefois assez large : le livet n'étant immergé que tardivement (35°), le degré d'envahissement étant atteint à 56° de gîte.

- Chargement 1° : déplacement de 16,12 tonnes, 8,58 tonnes de chargement.

Dans cette configuration, la stabilité transversale a déjà considérablement augmenté : le bras de levier maximum atteint (0,33 m à 40° de gîte), ainsi que le poids du navire créent *de facto* un moment de redressement non négligeable qui permet déjà d'envisager une capacité à la navigation tout à fait satisfaisante. De plus, les degrés de gîte nécessaires à l'envahissement (36°) ou à l'immersion du livet sont importants (21,5°), ce qui laisse une grande marge de sécurité à la navigation. Dans la même configuration de voilure qu'exposée précédemment, nous estimons que le navire peut soutenir un vent de travers jusqu'à 19 nœuds[290] au grand maximum (force 5 Beaufort). D'un point de vue commercial, la quantité transportée est minime et l'on est loin de l'efficience potentielle du navire. On remarquera cependant qu'un chargement aussi

[289] Cette situation, pour étonnant que cela puisse paraître, a pu néanmoins se produire. Nous en avons un bon exemple avec le quatre-mâts marchand de 100 m, *Europe,* chaviré par le flot le 15 Août 1897, sur la Seine près de Rouen et que l'on peut apercevoir dans la Revue Rouennaise de 1897, fig. 18, cliché n°358 (cliché consultable à l'adresse suivante : http://etudesphotographiques.revues.org/image.php?source=docannexe/image/271/img-18.jpg&titlepos=up ; consultée le 05/01/2012). Le navire à vide de chargement se couche sur son flanc tribord par manque de stabilité transversale. Un autre exemple célèbre qu'est le *Wasa* pourrait aussi être cité. Toutefois il s'agit-là plutôt d'un défaut dans la conception et la répartition initiale des poids.

[290] Nous insistons sur le fait que tout comme pour la force de vent exprimée dans le cas d'une navigation en lège, la force de vent présentée ici représente le seuil pour lequel le bateau est encore à même de se relever après avoir été couché. On gardera à l'esprit que vraisemblablement la réduction de la voilure, ou la recherche d'une allure plus confortable, devaient intervenir bien avant d'arriver à une telle force de vent. Ce seuil purement indicatif marque cependant, dans des conditions irréalistes particulièrement pessimistes, une limite à ne pas franchir pour la sécurité du navire, ce qui trouve son sens dans notre démonstration.

infime (53 % du déplacement lourd), si tant est qu'il soit bien arrimé, ne dégrade en rien les qualités marines du navire : la stabilité est presque identique à celle des chargements plus importants, les conditions de mer et de vent permettant l'évolution sont larges et le fait de présenter une surface mouillée plus faible ne doit pas dégrader la vitesse, bien au contraire.

Au final, on peut penser que cette configuration de chargement[291] devait être peu fréquente : aucune amélioration notoire du point de vue des qualités nautiques ne semble justifier une telle réduction de la capacité économique du chargement. Seul un contexte commercial particulier pourrait motiver selon nous sa mise en place.

- Chargement 2° : déplacement de 21,07 tonnes, 13,52 tonnes de chargement.

Dans cette configuration, la stabilité transversale atteint son maximum. Le bras de levier maximum est de 0,26 m à 39° de gîte, ce qui permet par le poids du navire de générer un moment de redressement important. Par ailleurs la marge de sécurité assurée par la hauteur de franc-bord, le livet n'est immergé qu'à partir de 16° de gîte et l'angle d'envahissement est encore assez tardif à 31,6°, permet d'imaginer une navigation dans des conditions de vent et de mer relativement variées. Il nous semble que, du point de vue des qualités nautiques, c'est la configuration qui présente la plage d'utilisation la plus étendue : l'évaluation de la raideur à la toile démontre que le navire peut soutenir au maximum, avec sa voile bordée à plat, un vent de 20 nœuds par le travers (force 5 Beaufort). De plus la surface mouillée (44,61 m²) demeure encore raisonnable compte-tenu du faible *ratio* de voilure (1,7 pour 75 m² de toile). D'un point de vue commercial, l'importance du chargement commence à devenir appréciable : le port en lourd représente près de 64,2 % du déplacement.

Cette configuration de chargement nous paraît être une solution tout à fait praticable et qui correspond à une volonté de favoriser les qualités nautiques au

[291] Comme nous l'avons noté plus haut, nous avons sur la base d'un remplissage complet de l'espace de cale le plus grand (27,13 m^3) tenté de modéliser et d'analyser une cargaison homogène d'amphores Dressel 2-4 campaniennes contemporaines de notre navire. Il s'avère que le coefficient d'arrimage de cette cargaison est alors très important et le remplissage total de la cale ne permet de caser que 215 amphores dans la cale, ce qui pour un poids nominal de 42,75 Kg engendre un port en lourd de 9,19 tonnes. Relativement proche du port en lourd du premier chargement analysé, on note toutefois une différence importante dans la hauteur du centre de gravité (situé à 1,20 m au-dessus de la quille contre 1,09 m pour le chargement 1°) qui rapprocherait le couple de redressement pour cette hypothèse de celui constaté dans le chargement 4°. Toutefois les conditions de raideur à la toile, d'immersion du livet et d'angle d'envahissement seraient toutes autres. On peut aussi s'interroger sur cette hauteur importante du centre de gravité : fallait-il compenser cela par un chargement de lest supplémentaire et très pondéreux dans les fonds, permettant de rabaisser le centre de gravité de la cargaison et ainsi améliorer la stabilité transversal ? L'analyse que propose Pascal Arnaud, sur les chargements complémentaires de lingots de plomb sur certaines épaves chargées d'amphores, nous paraît être un premier point venant renforcer cette hypothèse (Arnaud, 2011, p. 156-157) Quoi qu'il en soit, on peut en tout cas écarter, pour cette restitution de *Napoli A*, l'hypothèse d'un chargement sur deux niveaux, ou d'une seconde cargaison en ponté, qui aurait pour conséquence de diminuer dangereusement la stabilité transversale.

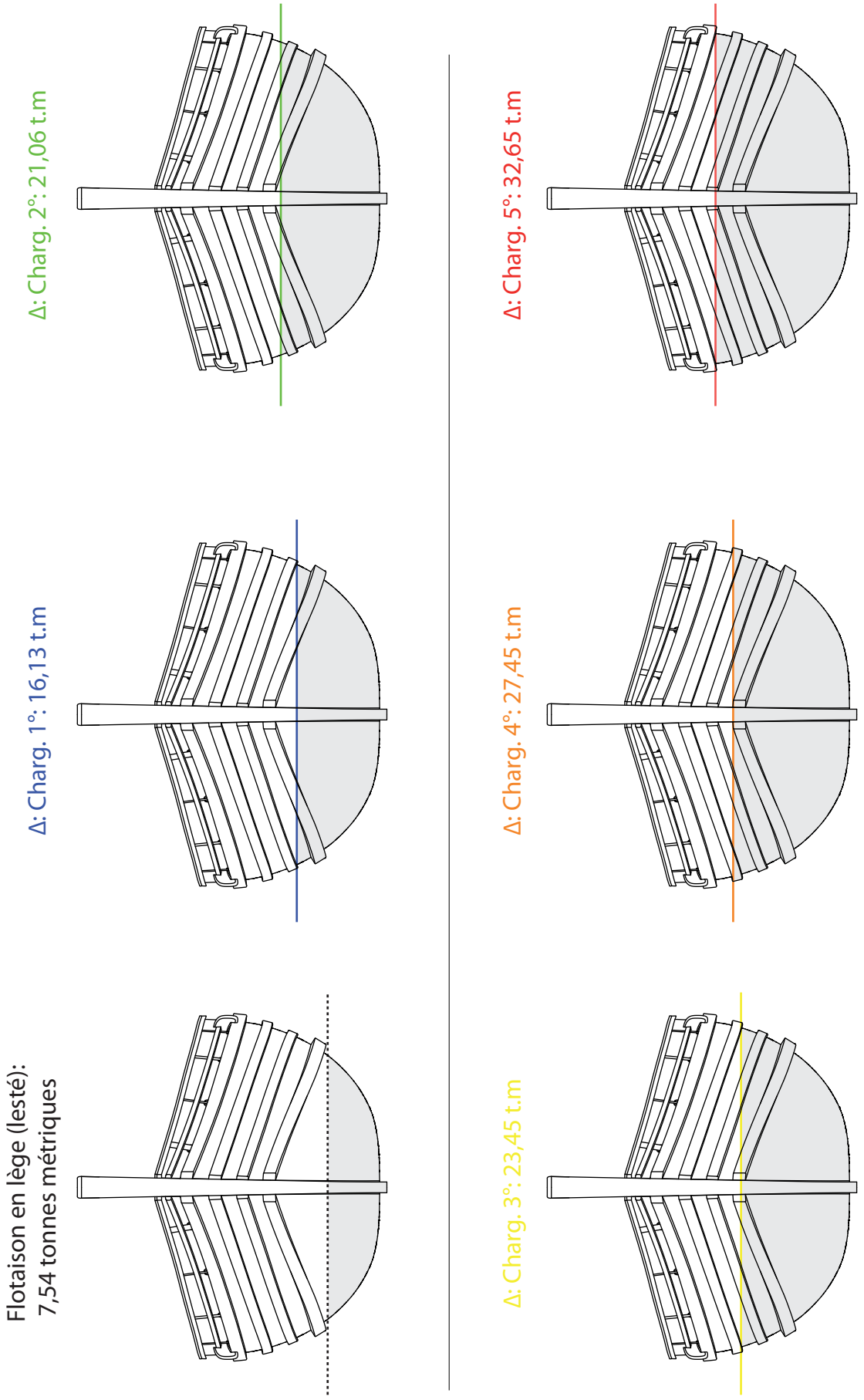


Fig. 51 : Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements (*attention ce dessin ne tient pas compte de l'inclinaison longitudinale, ou assiette, résultant de chaque chargement).

détriment de la capacité de charge. Le compromis s'effectue ici dans le sens d'une plus grande sécurité à la mer tout en ménageant l'aspect commercial.

- Chargement 3° : déplacement de 23,45 tonnes, 15,91 tonnes de chargement **(Fig. 52)**.

Cette configuration représente le meilleur compromis entre chargement et stabilité. On remarque que cette dernière a diminué de manière sensible : le bras de levier maximum n'est plus que de 0,21 m, atteint à 36° de gîte. De même le franc-bord s'étant réduit, on constate que les marges de sécurité à la gîte ont elles-aussi diminué : le livet est désormais immergé à partir de 13° et l'angle d'envahissement n'est plus que de 25,9°. Malgré cela la stabilité transversale demeure appréciable et permet encore la navigation dans des conditions variables, jusqu'à 18 nœuds au grand maximum (force 5 Beaufort). Du point de vue commercial, le chargement de 15,91 tonnes métriques présente désormais une importance indéniable puisqu'il représente plus des deux-tiers du déplacement lourd total (67,8 %).

Cette solution de chargement nous semble donc être le meilleur rapport entre le rendement commercial et le maintien des possibilités nautiques. Nul doute qu'une telle configuration devait faire office de standard et qu'elle a dû être maintes fois pratiquée.

- Chargement 4° : déplacement de 27,45 tonnes, 19,91 tonnes de chargement.

Cette configuration représente exactement le compromis inverse de celui observé dans le cas du chargement 2° : le choix effectué ici exprime plus une volonté d'augmenter la charge utile tout en maintenant un minimum de qualités nautiques. La stabilité transversale diminue encore de manière claire, le bras de levier maximum n'étant plus que de 0,16 m atteint à 28° de gîte. Associé à un franc bord désormais relativement réduit, qui entraine une immersion du livet à 9,84° de gîte et un envahissement à 20,9°, cette stabilité transversale ne permet plus de naviguer dans des conditions de mer et de vent aussi variées que précédemment : le seuil critique est estimé à 17 nœuds (force 4-5 Beaufort).

Le rendement commercial est donc ici largement favorisé au détriment des qualités nautiques : le chargement de 19,91 tonnes métriques représente ainsi 72,5 % du déplacement total. On peut penser que cette configuration, très intéressante du point de vue de l'armateur et malgré une sécurité à la mer grandement dégradée, devait être assez souvent mise en œuvre si les conditions le permettaient.

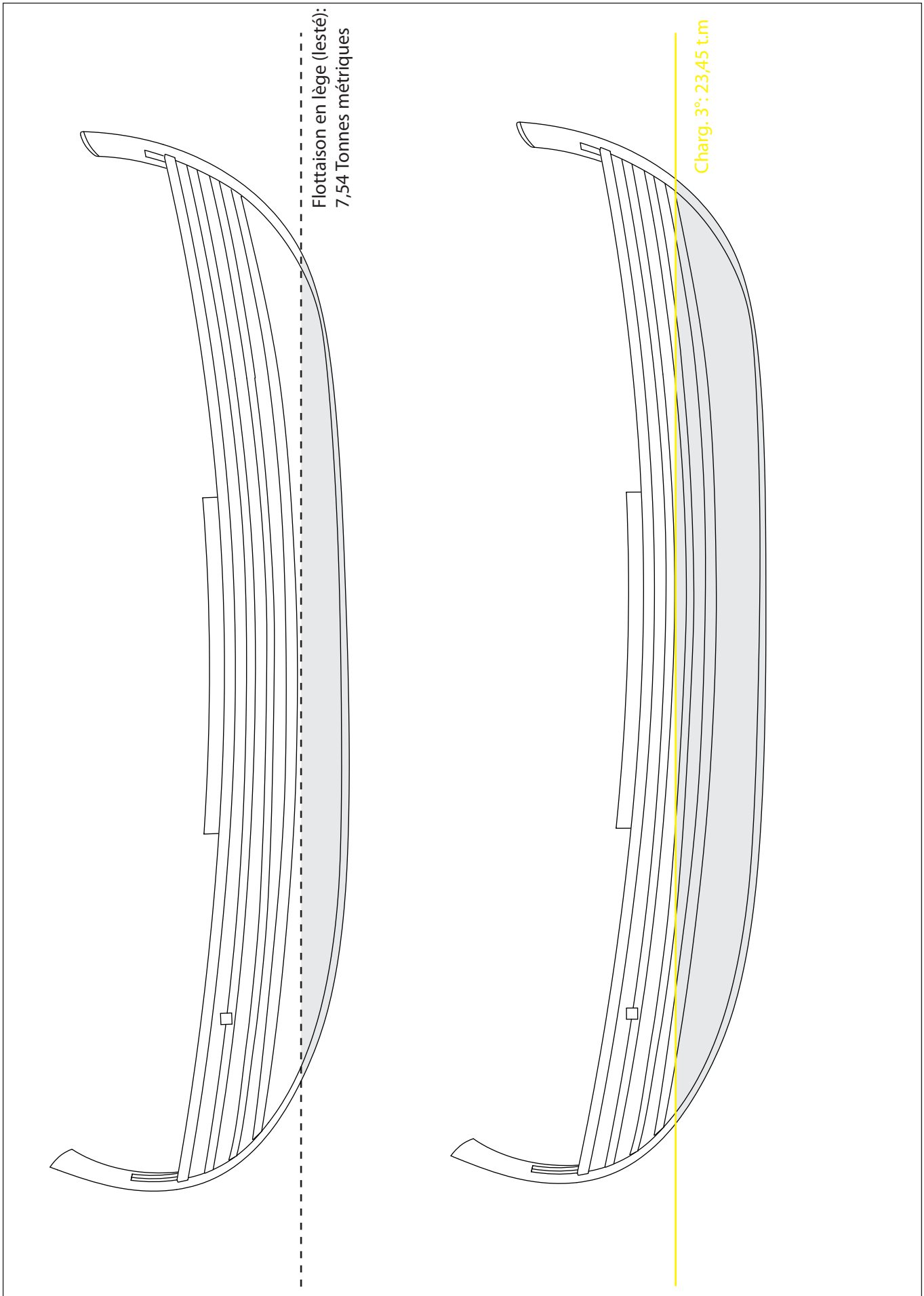


Fig. 52 : Représentation des lignes de flottaison au niveau du maître-couple dans une configuration en lège et en charge avec un chargement de 23,45 t.m

- Chargement 5° : déplacement de 32,74 tonnes, 25,20 tonnes de chargement.

Il s'agit ici d'une configuration extrême mais qui nous paraît néanmoins envisageable au regard d'exemples ethnographiques comparables plus récents, d'où l'intérêt d'en évaluer les caractéristiques.

Concernant la stabilité transversale, les indicateurs ont diminué jusqu'à atteindre des niveaux réellement critiques : le bras de levier maximum n'est plus que de 0,11 m atteint à 25° de gîte. Toutefois, l'angle d'envahissement étant de 13° on rabaissera le bras de redressement maximum théorique à 0,09 m[292]. Compte-tenu du franc bord réduit à l'épaisseur de la préceinte, l'angle d'immersion du livet est réduit à 5,61°. Dans ces conditions, le navire est tout juste à même de soutenir un vent de 15 nœuds (force 4 Beaufort). Au final, c'est là une situation d'exception qui ne semble réalisable qu'à certaines conditions de navigation très limitées : vent faible, mer calme et petite traversée. Cependant une telle prise de risque se justifie certainement par le surplus de gain engendré par une cargaison démesurée (25,20 tonnes de port en lourd, soit 77 % du déplacement lourd total) : la possibilité de rencontrer en navigation une telle configuration ne peut donc être négligée.

3.5.6. Interprétations :

3.5.6.1. Une stabilité transversale limitée :

Au regard de ces résultats une première constatation s'impose : la stabilité transversale de notre restitution est faible. Elle résulte d'une stabilité de forme presque inexistante, la section transversale s'inscrivant pratiquement à l'intérieur d'un cercle de 1,77 m de rayon. Sachant cela, on est en droit de penser qu'une attention toute particulière a dû être portée sur le positionnement des poids avant chaque navigation, afin d'abaisser le centre de gravité du navire et d'optimiser de cette manière sa stabilité de poids **(Fig. 54)**. Malgré cela, notre restitution ne semble pas à même de pouvoir faire face à des conditions météorologiques très variées : les seuils critiques de navigation sont très bas (force 4-5 Beaufort, si l'on ne

[292] On notera que dans la plupart des cas, excepté celui du navire naviguant en lège, l'angle de gîte entrainant l'envahissement intervient avant celui du bras de levier de redressement maximum. Il faudrait donc considérer comme maximum, le niveau du bras de levier au moment où la gîte correspond à celle de l'envahissement. Si nous le signalons en particulier pour le chargement 5° c'est que l'on se situe ici dans une gamme extrêmement réduite d'angle (<10°) tandis qu'il s'agissait d'angulations plus importantes (>20°) et du coup moins courantes dans les autres cas. L'observation est néanmoins valable pour tous les chargements de 1° à 5°.

considère que le vent) et la capacité de cette carène à affronter un fort coup de vent nous paraît limitée. Il est important de souligner que les constatations sur la faible stabilité de forme de ce navire sont indépendantes de la validité de notre hypothèse de restitution, la latitude de travail dans la restitution de la section transversale étant quasiment nulle. Pour ce qui est de la stabilité de poids, la sélection d'une hypothèse de restitution différente présentant initialement un centre de gravité plus bas, ne permettrait pas une amélioration significative de la stabilité qui justifierait pleinement la diminution de la charge utile ainsi que l'abaissement du franc-bord en résultant[293]. Un gain de poids dans les hauts (allègement du gréement, rabaissement de la vergue, limitation de la zone pontée) pourrait permettre une amélioration sensible de la stabilité. Toutefois, la poursuite d'une telle hypothèse nous semble dictée par une recherche d'efficacité très actuelle et qui fait fi de l'adaptation de notre hypothèse au programme de navigation envisageable pour *Napoli A*.

3.5.6.2. Un espace de navigation favorable ?

Les études statistiques météorologiques modernes concernant la zone du golfe de Naples permettent de distinguer les trois principaux flux de vent qui l'animent : les vents dominants proviennent principalement du secteur SO-SSO durant les mois les plus chauds et du secteur NE pour les mois les plus froids ; à ceux-ci viennent s'ajouter des brises thermiques légères s'établissant elles aussi sur un axe NE-SO. L'intensité de ces vents demeure très limitée, généralement moins de 8 m.s (soit 15 nds ou force 4 Beaufort), si l'on excepte les rares et forts coups de vent de SO et SSO, générés par des passages de systèmes dépressionnaires sur le golfe et qui interviennent principalement entre octobre et mai[294]. Hors de cette période hivernale, on peut estimer à 12,5 jours (sur 184 au total) le nombre de journées susceptibles de présenter une météo défavorable présentant un classement Beaufort supérieur à 4[295] **(Fig. 53)**.

S'il ne nous a pas été possible d'évaluer annuellement l'état de la mer et les hauteurs de vagues en fonction de l'intensité des vents, il demeure que de telles conditions font vraisemblablement de la baie de Naples une aire protégée et relativement favorable à la navigation d'un navire à la stabilité transversale réduite.

[293] Comme, par exemple, l'hypothèse de restitution n°3 présentée plus haut, dans la partie concernant le processus de restitution.
[294] Pour l'ensemble des observations météorologiques, se reporter à : Menna, 2007, p. 50-51.
[295] Les statistiques pour le golfe de Naples sur la période 2000-2011 sont disponibles sur internet à l'adresse suivante : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_napoli.htm# (consultée le 03/11/2011).

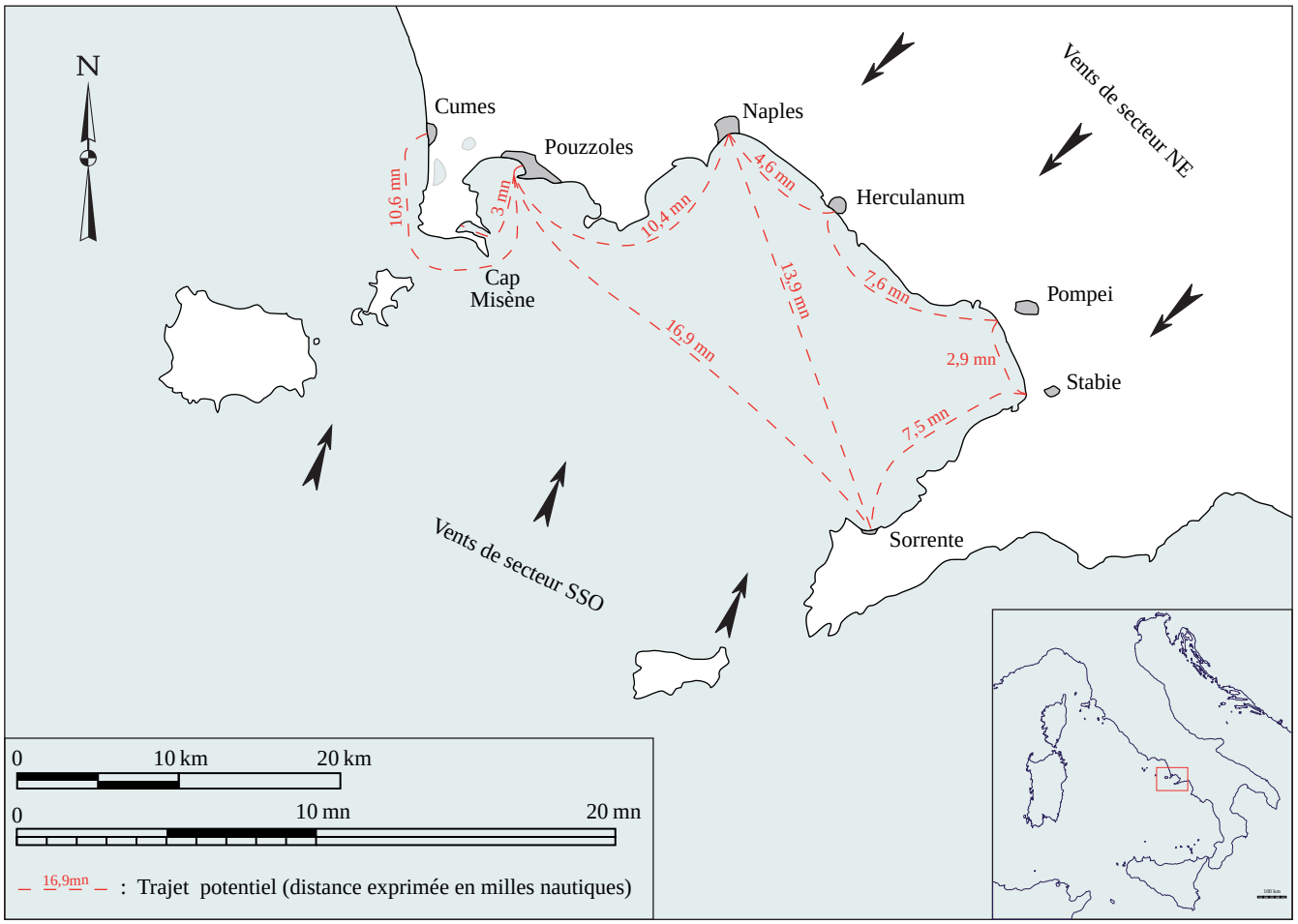


Fig. 53 : Carte de la baie de Naples illustrant le régime des vents dominants et différents trajets.

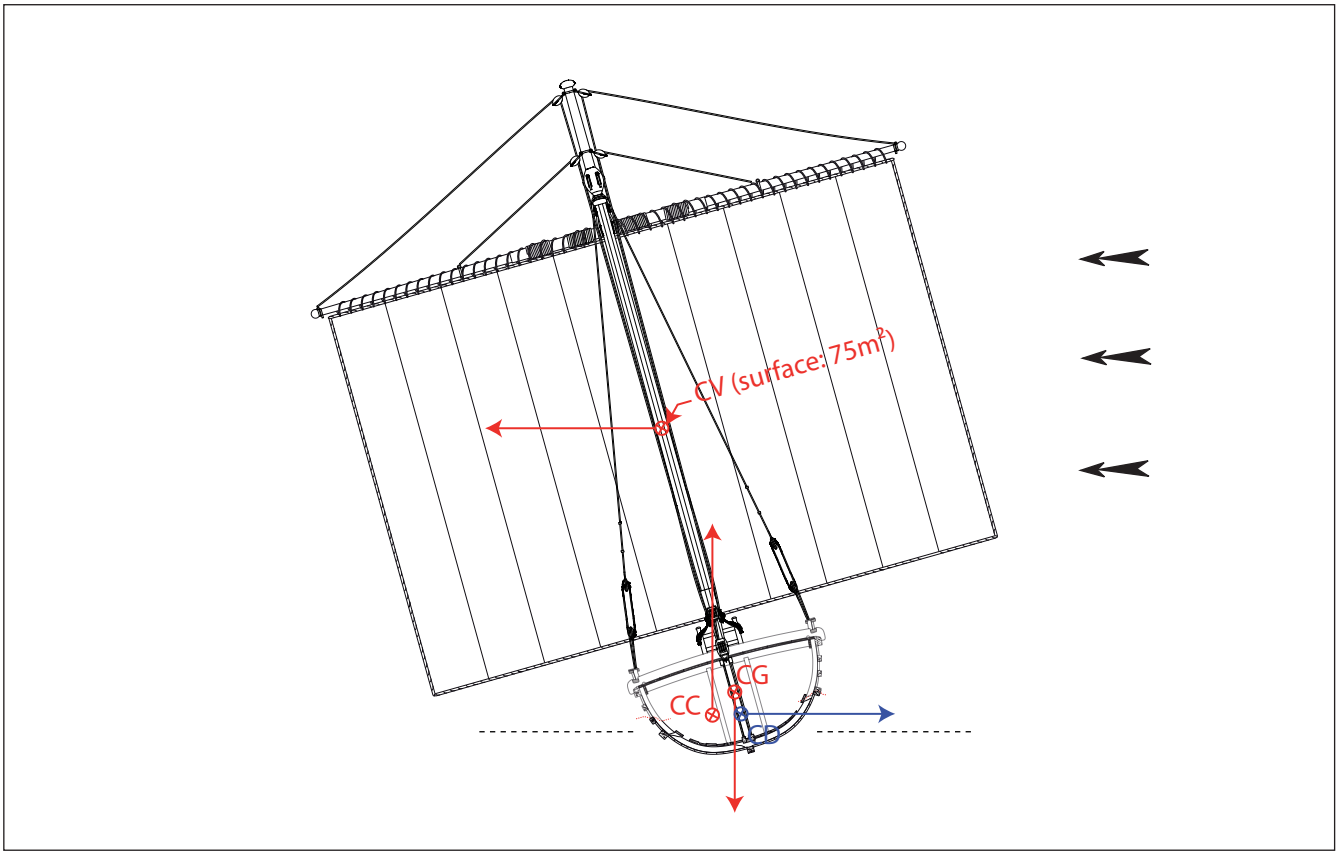


Fig. 54 : Schéma illustrant la répartition de certaines forces agissant sur le navire lorsque celui-ci est soumis à un vent de travers.

Il est tentant d'effectuer le rapprochement de cette donnée avec les résultats obtenus concernant notre navire : si la stabilité transversale de notre hypothèse de restitution n'est pas des plus développée il s'avère néanmoins indéniable que l'espace de navigation le plus proche et qui puisse lui être relié, ne présente pas un profil météorologique en contradiction avec ses capacités nautiques.

En comparaison, dans d'autres zones de la Méditerranée occidentale, les possibilités de navigation de notre restitution s'avèrent bien plus complexes. Ainsi le profil médian des vents, entre mai et septembre, au large de la Sicile, entrainerait une immobilisation d'environ un jour sur cinq en moyenne (20% de journées au-delà de 4 Beaufort[296]), contre une fois tous les quinze jours dans le golfe de Naples (environ 6,66% de journées au-delà de 4 Beaufort). De la même manière l'immobilisation interviendrait une fois tous les trois jours au large de la Corse ou des Baléares (30% de journées au-delà de 4 Beaufort[297]), tandis qu'au large de Marseille[298] et dans l'embouchure du Rhône[299], les conditions moyennes sont telles que la durée d'immobilité potentielle atteint 40% à 50% sur la période qui nous intéresse.

L'hypothèse d'une conception délibérée afin de correspondre à cet espace maritime réduit qu'est le golfe de Naples, nous paraît être une possibilité non négligeable, bien qu'il s'avère impossible d'être catégorique. On remarquera que le régime des vents le long de la côte italienne bordant la mer Tyrrhénienne[300] (entre 6,6% et 15,4% de journées au-delà de 4 Beaufort selon les zones) présente un profil qui permet une extension possible de la zone de navigation au moins jusqu'à Rome[301] : les conditions y sont moins favorables que celles rencontrées dans le golfe, pour autant elles restent à des niveaux raisonnables compte-tenu des qualités nautiques de notre restitution permettant ainsi sa navigation.

---

[296] Pour la zone Ouest-Sicile : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_ustica.htm (consultée le 03/11/2011).

[297] Pour la zone Corse (cap Corse) : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_cap_corse.htm (consultée le 03/11/2011).
Pour la zone Baléares (Majorque) : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_palma_de_mallorca.htm (consultée le 03/11/2011).

[298] Pour la zone Marseille : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_marseille.htm# (consultée le 03/11/2011).

[299] Pour la zone Istres/Fos-sur-Mer : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_istres.htm (consultée le 03/11/2011)

[300] Pour la zone Tyrrhénienne (Ponza) : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_ponza.htm (consultée le 03/11/2011); Au niveau du Lido di Latina : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_latina.htm (consultée le 03/11/2011).

[301] À partir de Rome les conditions de navigation s'avèrent plus compliquées : entre mai et septembre, près de 30% des journées sont susceptibles de s'établir au-delà des 4 Beaufort, immobilisant en moyenne le navire un jour sur trois. Voir les statistiques sur : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_roma-fiumicino.htm (consultée le 03/11/2011).

Fiche technique : *NAPOLI A*

Dimensions générales :

- Longueur hors-tout..... **14,25 m**
- Longueur entre perpendiculaires ..... **13,65 m**
- Largeur interne au maître-couple ..... **3,53 m**
- Largeur maximum au maître-couple..... **3,75 m**
- Creux au maître-couple..... **1,39 m**
- Hauteur bas de quille - pavois ..... **1,87 m**
- Poids du navire en lège..... **6,3 t.m**

Rapports de proportion remarquables :

- Longueur PP / largeur int **3,87**
- Largeur int. / Creux..... **2,54**
- Longueur HT / Creux.....**9,82**
- Largeur max. / Hauteur BQP..... **2**
- Longueur HT / Hauteur BQP..... **7,62**

Données sur le déplacement :

- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 20°..... **17,50 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 15°..... **21,75 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 10°..... **26,50 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 5°..... **32,65 t.m**

Dimensions remarquables dans le cas d'un déplacement de 26,50 t.m :
(correspondant à la configuration pour laquelle le livet est immergé à 10° de gîte)

Longueur à la flottaison..... **12,84 m**
Largeur à la flottaison au maître-couple..... **3,56 m**
Tirant d'eau maximum..... **1,31 m**
Port-en-lourd..... **19,05 t.m**
Surface mouillée..... **50,75 m²**
Cb..... **0,431**
Cp..... **0,591**

3.6. Conclusions : un bateau, un programme, plusieurs chargements ?

Les caractéristiques principales du navire, et de la restitution que nous en avons proposée, soient ses dimensions, sa forme, ses qualités nautiques ainsi que son lieu de découverte, nous amènent à proposer l'hypothèse d'un petit navire de commerce navigant dans une zone limitée et déterminée de la Méditerranée correspondant vraisemblablement à la partie centrale et orientale de la mer Tyrrhénienne. Dans cet espace particulier, l'utilisation du navire n'est pas trop limitée par une stabilité transversale restreinte.

Concernant son tonnage, on peut considérer que le port en lourd standard s'établit aux alentours de 16 t.m, pour un déplacement total d'environ 23,5 t.m. C'est, nous l'avons vu, la configuration offrant le meilleur compromis entre rendement commercial et stabilité. Toutefois, d'autres configurations de chargement s'avèrent tout aussi envisageables : une variation de plus ou moins quatre tonnes métriques permet dans un cas d'améliorer la tenue à la mer (pour un port en lourd d'environ 12 t.m), dans l'autre d'augmenter la portée utile (pour un port en lourd d'environ 20 t.m), tout en ménageant dans les deux cas un compromis rendement/stabilité toujours intéressant.

Par ailleurs, des conditions de chargement plus inhabituelles pouvaient aussi, selon nous, s'effectuer : un chargement mineur de quelques tonnes permet déjà au navire de se déplacer en sécurité, à l'inverse de la navigation en lège qui s'avère beaucoup trop périlleuse et que l'on juge invraisemblable. À l'extrême inverse, un chargement maximum, d'environ 25 tonnes de port en lourd, semble être une entreprise inconsidérée. Pour autant, les conditions météorologiques envisagées dans le golfe de Naples, associées à l'intérêt commercial d'une telle opération ainsi que les divers exemples récents de prises de risques comparables, amènent à envisager sérieusement cette configuration comme une possibilité raisonnable.

Il serait regrettable de ne retenir qu'un seul chiffre pour le port en lourd de notre restitution de l'épave *Napoli A*. Nous proposons donc plutôt de se référer à une fourchette représentative établie entre 13 t.m et 20 t.m, tout en précisant la possibilité exceptionnelle d'une surcharge jusqu'à 25 t.m.

3.6.1. Remarques sur les qualités nautiques du navire :

Il nous semble nécessaire de dire un mot des qualités nautiques du notre hypothèse. Nous n'avons malheureusement pas eu à ce jour les moyens techniques afin d'établir une simulation réelle ou informatisée, hydrodynamique et aérodynamique du navire permettant d'en déduire rationnellement sa tenue à la mer, sa vitesse et sa capacité à remonter au vent[302]. Sur certains aspects cependant, il nous est permis de dégager un aperçu global des caractéristiques nautiques du navire.

Il semble que la position respective des centres de gravité et de dérive, très proches dans leur positionnement longitudinal, contribue à conférer une bonne stabilité de route au navire[303]. Par ailleurs, cela s'associant à des fonds plats et des volumes avant et arrière assez maigres, on peut éventuellement s'avancer sur le caractère assez évolutif de cette carène. Concernant la marche aux allures portantes, le décalage vers l'avant du centre de voilure et son écart avec le centre de dérive amène en théorie de bonnes performances. Cependant, le décalage léger du centre de carène ainsi que du maître-bau sur l'avant vient nuancer cette première affirmation. Concernant les allures de près, mis à part des entrées d'eau fines et un centre de carène décalé sur l'avant, tout laisse à croire que les performances de notre navire dans ces allures devaient être tout au plus médiocres. Sur ce point, on rajoutera que le plan de dérive est relativement réduit et devait entrainer une forte tendance à la dérive sous le vent aux allures de près et de travers. La présence des préceintes proéminentes au niveau du bouchain devait éventuellement pouvoir agir sur celle-ci comme des quilles latérales.

Nous n'avons pas ici une carène particulièrement taillée pour le louvoyage. Nous aurions tendance à penser au regard de la documentation relevant de la navigation au près avec une unique voile carrée[304], que dans le meilleur des cas (vent faible à moyen et mer plate) *Napoli A* pouvait éventuellement gagner quelque peu au vent. Cependant, son capital de VMG[305] à ces allures de près étant tellement réduit, nous pensons que très vite, selon la dégradation de l'état de la mer ou avec l'augmentation de l'intensité du vent, la poursuite d'un

[302] Nous pensons ici à divers outils qui vont du simple logiciel de prédiction de vitesse en passant par la simulation numérique d'écoulement des fluides sur la coque et sur la voile et jusqu'à la simulation en bassin de carène et en soufflerie.
[303] Remarquons cependant qu'il s'agit là des centres géométriques théoriques qui peuvent s'avérer parfois très éloigné de la réalité (Palmer, 2009 (a), p. 90-96). En ce qui concerne la position du centre de dérive et du centre de gravité pour la tenue de route voir : Presles, Paulet 2005, p. 373-375.
[304] Gilmer, 1979, p. 167-181; Katzev, 1990, p. 245-256; Tilley 1994, p. 309-313; Brandt, Hochkirch, 1995, p. 3-20 (consulté en ligne le 17/01/2012, à l'adresse suivante: http://www.futureship. net/Kogge/kogge.shtml); Gifford, Gifford 1995, p. 121-131; Roberts 1995, p. 307-315, Palmer, 2009a, p. 90-96; Palmer, 2009b, p. 314-330; Whitewright, 2011, p. 2-17.
[305] VMG: acronyme de l'anglais « Velocity Made Good ». Soit le meilleur compromis cap-vitesse lors d'une remontée au vent, pour une vitesse de vent donnée. Dans un intervalle de temps donnée, plus on aura parcouru de distance au but plus le VMG sera important. A l'inverse, si pour ce même intervalle, la distance au but a augmentée on considèrera le VMG comme négatif (voir fig. A55-56). Le VMG s'exprime donc en nœuds, et représente la vitesse de rapprochement en ligne droite.

cap proche du vent, devait revenir à la poursuite d'une route en travers de celui-ci voire même à la perte de terrain par rapport à la position de départ (VMG négatif) à l'image de ce qui a pu être constaté lors de test en navigation sur de nombreuses reconstructions à l'échelle 1 de voiliers gréés d'une unique voile carrée :

Tab. 15 : VMG aux allures de près de diverses reconstructions de navires grées d'une unique voile carrée (tiré de Whitewright, 2011, tab.3, p.9).

Reconstruction (nom de l'épave)	VMG	Bibliographie
Roar Ege (Skuldelev 3)	1,5 - 2 nd	Vinner, 1986, p.224
Imme Skinfaxe (Skuldelev 3)	1,5 - 2 nd	Vadstrup, 1986, p.91
Saga Sigla (Skuldelev 1)	1,3 nd	Johansen, 2009, p.68
Ottor (Graveney)	1 nd	Gifford, Gifford, 1996, p.140-141
Sæ Wyfling (Sutton Hoo)	1 nd	Gifford, Gifford, 1996, p.149-150
Ottar (Skuldelev 1)	1 nd	Anton Englert com. à J. Whitewright
Hanse Cog (Bremen)	0,63 nd (vent modéré)	Brandt, Hochkirch, 1995, p.7
Hanse Cog (Bremen)	-0,1 nd (vent fort)	Brandt, Hochkirch, 1995, p.7

Il s'agit certes, pour toutes ces reconstructions, de navires présentant une architecture bien différente qui nous amène à considérer avec précaution les parallèles de comparaison que l'on voudrait établir. Quoi qu'il en soit, pour la plupart d'entre-elles, les caractéristiques de la coque et du plan de voilure laissent présager d'une efficacité plus prononcée que pour notre navire. Au sein de ce groupe ce sont notamment les reconstructions de la cogue hanséatique de Brèmes (*Hanse Cog*) et celles du navire marchand viking *Saga Sigla* et *Ottar* qui nous paraissent les plus proches de *Napoli A*. Elles semblent bien indiquer une faible capacité à remonter au vent, conditionnée très fortement par l'état de la mer et la force du vent **(Fig. 55-56)**.

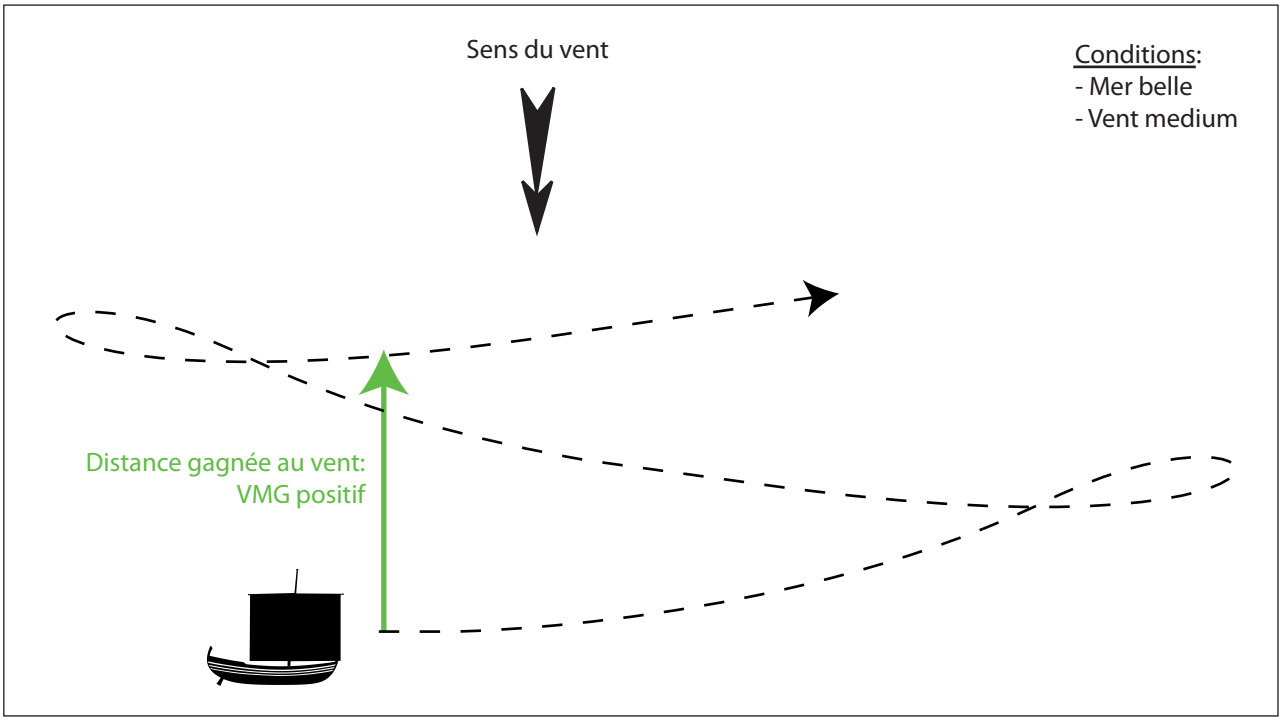


Fig. 55 : Illustration du VMG potentiel au près pour des conditions de navigation idéales.

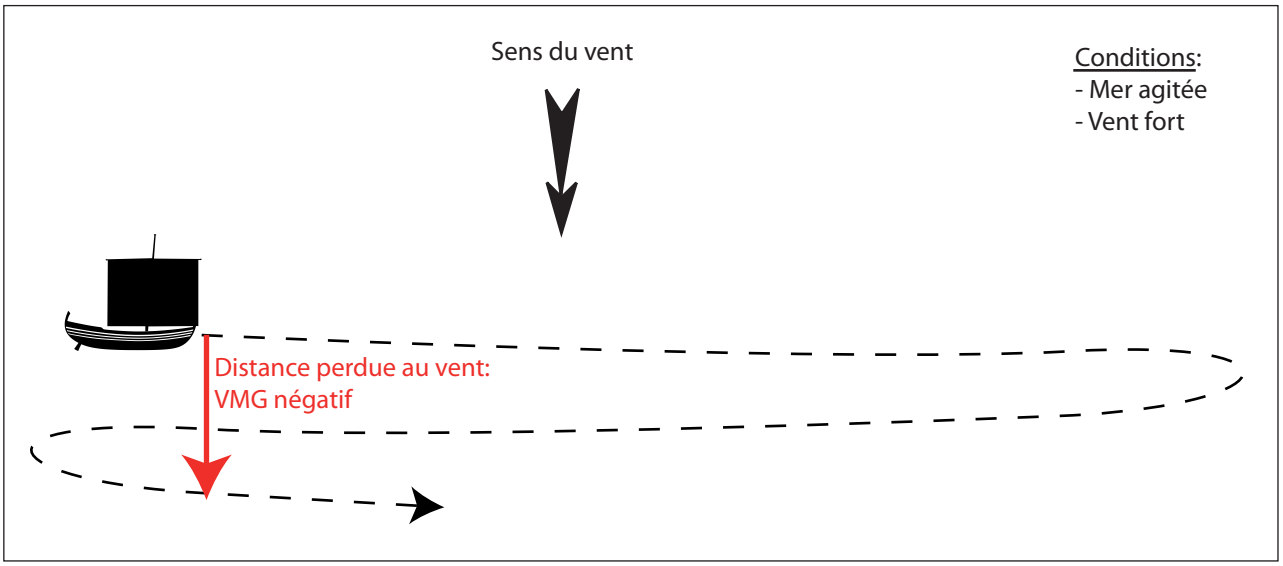


Fig. 56 : Illustration du VMG potentiel au près pour des conditions de navigation difficiles.

A ces résultats obtenus lors de tests en navigation, il nous faut nécessairement adjoindre le travail réalisé par Philippe Allard sur l'évaluation des caractéristiques nautiques et sur les performances de l'hypothèse de reconstruction de l'épave *Jules-Verne 9*[306]. Comme le note l'auteur, son évaluation par le biais de simulations numériques paraît trop optimiste en ce qui concerne les allures de près[307]. Il produit ainsi des polaires théoriques pour le navire de *Kyrénia II* selon lesquelles le cône de louvoyage serait de 60° correspondant à un angle de 30° minimum de remontée au vent[308].

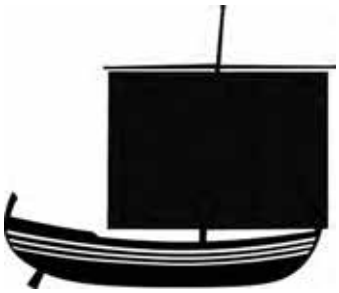
Ces résultats diffèrent fortement de ceux proposés par Julian Whitewright dans son article de synthèse sur les performances potentielles des gréements antiques en Méditerranée. Whitewright se basant ici sur un ensemble de documents littéraires faisant état de temps de parcours sur des distances connues ainsi que sur des comparaisons avec les résultats mesurés sur diverses reconstitutions de navires à voile carrée plus tardifs[309].

Tab.16 : Résumé des performances des navires à voile carrée de Méditerranée antique pour des conditions optimum de vent et de mer (tiré de Whitewright, 2011, tab.6, p.10).

Angle potentiel de remontée au vent	60° - 65°
VMG maximum au près	2 nœuds
Vitesse moyenne aux allures portantes et de travers	4 – 6 nœuds
Vitesse maximum aux allures portantes et de travers	≈ 12 nœuds

[306] Allard, 1997
[307] Cela est à mettre sur le compte de l'absence de polaires relatives à une voile carrée. L'auteur ayant dû adapter celles d'une plaque rigide à simple courbure présentant moins de creux et de résistance aérodynamique aux grandes incidences et une meilleure attaque aux faibles incidences (Allard, 1997, p. 120).
[308] Allard, 1997, p. 117 et annexe 20/1
[309] Voir *supra*.

Il nous semble que ces chiffres définissent des bornes suffisamment restreintes afin que celle-ci puissent être attribuées aussi à notre restitution. On tablera cependant sur un VMG au près moins élevé, plus proche de 1 nœud. Quoi qu'il en soit, compte tenu du nombre et de la précision des données dont nous disposons pour cette restitution, il serait regrettable de ne pas projeter une simulation aérodynamique et hydrodynamique plus complète afin de mesurer avec précision l'évolution et la vitesse sous différentes allures de notre restitution. Cela aurait nécessité le montage d'un projet particulier, qu'il nous a été impossible de mener dans ce travail de thèse. Il devra nécessairement être mené avec un centre d'ingénierie navale possédant d'importants moyens (bassin de carène, soufflerie, etc…)[310]



[310] Nous avons dans ce but, pris contact avec le Laboratoire de Recherche en Hydrodynamique (UMR 6598 – CNRS) de l'Ecole Centrale de Nantes.

IV. *Napoli C*

4.1. Présentation..... p. 203

4.2. Identification du type de navire..... p. 219

4.3. Remise en place des vestiges et recherche des formes..... p. 227

4.4. Reconstitution des parties conservées..... p. 234

4.5. Restitution des parties disparues..... P. 239

4.6. Evaluation hydrostatique de l'hypothèse n°1..... P. 271

4.7. Evaluation hydrostatique de l'hypothèse n°2..... p. 288





4. *Napoli C*

4.1. Présentation :

4.1.1. Processus de formation de l'épave :

Cette épave, remarquable par la présence d'un tableau vertical à l'une de ses extrémités, a été découverte orientée selon un axe Nord-Est/Sud-Ouest, posée perpendiculairement au niveau de la proue de *Napoli A* **(Fig. 57).** Comme pour cette dernière, au début de la fouille, seules les têtes de membrures étaient visibles et laissaient entrevoir une dégradation importante due à divers xylophages **(Fig. 58)**. A cela s'ajoute les importantes dégradations de xylophages visibles sur l'extérieur de la carène qui sont contemporaines de la période d'utilisation du navire et sans doute à mettre en relation avec l'abandon de l'embarcation. Postérieurement, l'épave s'est trouvée dégradée par la mise en place d'un appontement (US.1159) qui l'a partiellement chevauchée mais dont il ne demeurait plus que les traces d'implantation en négatif, les pieux ayant été récupérés. On notait ainsi seulement les trous provoqués par ceux-ci sur le bordé (trous 656, 657 et 658). Une grande lacune pouvait aussi être observée au niveau du bouchain entre les couples 17 et 11. La partie supérieure des varangues, ainsi que les allonges, ont ainsi disparu tout comme les parties des vaigres passant à cet endroit et qui ont littéralement été sectionnées.

4.1.2. Description des vestiges :

4.1.2.1. Charpente axiale **(Pl. XVI)**:

Elle n'est ici composée que de deux éléments : un brion d'étambot et la quille qui court jusqu'à l'extrémité avant **(Fig.59, 60 et 61)**. L'élément principal qui forme la quille est long de 12,15 m et présente une section évolutive en forme de trapèze, qui va en s'élargissant vers la poupe (de 12 à 14 cm) et qui est légèrement chanfreiné sur sa partie supérieure afin de recevoir les cans latéraux des galbords. Dans son milieu, la quille présente une section moins importante qui est à mettre sur le compte des dégradations de frottements dus aux échouages successifs. Le brion d'étambot est conservé sur une longueur de 1,73 m, présente une largeur



Fig. 57 : Vue générale des trois épaves découvertes sur le chantier de Piazza Municipio à Naples (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 58 : Vue générale de l'épave C au début de la fouille.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

entre 16 et 19 cm et une épaisseur maximale de 15,5 cm. Contrairement à la quille qui n'est que simplement chanfreinée on y découvre une véritable râblure, destinée à accueillir les extrémités des virures du bordé et pratiquée sur ses deux flancs. Elle présente une section triangulaire avec une largeur de 4 cm et une profondeur de 9 à 10 cm.

Ces deux éléments sont assemblés au moyen d'un écart en trait de Jupiter, long de 54 cm et situé entre les couples M48 et M50 (**Fig.62 et 63**). Une dégradation avancée de l'embarcation au niveau de cet assemblage a permis d'identifier la présence de divers redans et d'adents dans l'assemblage qui est bloqué par une clé horizontale (longue de 13,9 cm, large de 5,8 à 4,6 cm et épaisse de 1,5 cm) enfoncée depuis le côté tribord de la quille. Sur les redans intérieurs, normalement cachés à la vue, quatre petites chevilles de section quadrangulaire (1,3 cm) ont été observées. Comme Michel Rival avait pu l'observer sur l'une des entures de l'épave de la *Madrague de Giens*[311], ce type de chevillage interne avait pour fonction, en entrecroisant le fil vertical de son bois avec le fil horizontal des pièces maîtresses, de renforcer la face des redans afin d'éviter leur déformation sous l'effet de la pression de la clef qui maintient en force l'ensemble[312].

4.1.2.2. Le bordé **(Pl. XIII)**:

Le bordé est simple et assemblé par un réseau homogène et relativement dense de tenons et de mortaises. Il se compose de vingt virures, dix pour chaque bord, qui se décomposent en 22 bordages pour tribord et 28 bordages pour bâbord (**Fig. 64**). Les longueurs de ces planches de bordage varient grandement depuis 1m (T.7Bt) jusqu'à plus de 10 m (ribord T.2Bb) et l'on note la présence de divers joints obliques et de joints perdus. Leurs largeurs s'établissent entre 8 cm (T.15Bt) et 27 cm (T.21b ; T.34b ; T.13b). Leur épaisseur moyenne est de 3,6 cm pour des valeurs s'échelonnant entre 3,2 cm et 4, 5 cm.

Au niveau des assemblages : on notera particulièrement la présence de clous à la poupe (diamètres entre 1,5 et 2,3 cm) destinés à assurer le blocage des extrémités de virures à l'intérieur de la râblure du brion d'étambot, ainsi qu'à la proue afin d'assurer le blocage des extrémités de virures sur la marotte **(Fig. 67)**. Pour ce qui est des tenons d'assemblages quelques mesures ont été effectuées, qui permettent d'établir les dimensions moyennes de ceux-ci : 6,2 cm (entre 5 et 7,7 cm) de large et épais de 0,66 cm (entre 0,4 et 0,9 cm).Les mortaises présentent quant à elles des dimensions légèrement supérieures avec une largeur

[311] Rival, 1991, p. 165, pl. 34 et pl.36-1
[312] Boetto, 2006, p. 150



Fig. 59 : profil bâbord de l'étambot mis à jour lors de la fouille de la section arrière de l'épave.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 60 : vue de l'étambot depuis l'arrière découvert lors de la fouille de la section arrière de l'épave.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 61 : vue de l'extrémité avant de la quille découvert lors de la fouille de la section avant de l'épave.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 62 : vue de l'assemblage en trait de Jupiter réalisé entre la quille et l'étambot.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 63 : vue de l'assemblage en trait de Jupiter réalisé entre la quille et l'étambot, avec la clé de blocage encore en place.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 64 : Vue d'une partie de la face extérieure du bordée bâbord au niveau des couples M17 à M20
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

moyenne de 6,9 cm. Leur espacement moyen est quasiment équivalent à leur largeur, 7 cm (pour des mesures comprises entre 3,2 cm et 17,5 cm) tandis que la distance entre les centres des chevilles de blocage des tenons s'établit en moyenne à 12,7 cm (pour des mesures comprises entre 3,2 et 17,5 cm).

4.1.2.3. La charpente transversale **(Pl. XIV)**:

Elle se compose de trente et une varangues, trente-sept demi-couples et de quarante-sept allonges ; le tout répartit sur 51 couples. A cela, s'ajoute à la proue un massif d'importance qui vient clore la carène à la proue et que l'on a identifié comme une marotte **(Fig. 68)**.

La maille moyenne mesurée entre ces couples est de 14 cm (pour des valeurs comprises entre 8 et 21 cm). La largeur mesurée sur les varangues est de 10,3 cm en moyenne (entre 8,5 cm et 14,5 cm), pour une hauteur de 13,3 cm (entre 27 et 10 cm). Les éléments formant les demi-couples présentent une largeur comparable, mais une hauteur plus réduite comprise entre 5 cm et 14 cm, pour une moyenne de 10,7 cm. Enfin, les allonges révèlent des sections quasiment quadrangulaires avec des hauteurs moyennes de 10 cm (entre 7cm et 14 cm) pour 9,4 cm de largeur. Dans l'ensemble le système de la charpente transversale se base sur une alternance, assez irrégulière, de couples et de demi-couples. On note ainsi une succession de cinq varangues entre les couples M14 et M10 (inclus) et de trois varangues au niveau des couples M6 et M4 et au niveau des couples M32 à M28. Par ailleurs, on distingue la présence de quatre demi-couples outrepassés sur la quille : M37, M33, M27 et M17. Sur tous ces éléments transversaux, aussi bien varangues que demi-couples outrepassés, on observe la présence d'un seul trou d'anguiller placé le long de l'axe de quille, large en moyenne de 5cm et haut de 2,8 cm **(Fig. 69)**. Ils sont en général de section semi-circulaire mais quelques-uns se présentent sous une forme plus triangulaire (sur M4, M11, M21 et M33), voir encore trapézoïdale (M8, M10, M12, M30 et M51). L'assemblage de la membrure au bordé est assuré par le biais de gournables en bois dont le sens d'enfoncement n'a pu être déterminé de manière systématique. Cependant, les quelques mesures effectuées à l'intérieur de la carène révèlent un diamètre de ces gournables de 1,8/1,9 cm, tandis que sur l'extérieur, c'est un diamètre de 2,2 cm qui a pu être mesuré, ce qui nous amènerait à tabler sur un enfoncement depuis l'extérieur du bordé. Toutefois, la récupération d'une gournable sur le demi–couple bâbord de M43 semble au contraire attester d'un enfoncement depuis l'intérieur. A ces gournables, s'ajoutent des clous enfoncés depuis l'extérieur de la carène dont le



Fig. 65 : Détail de réparations sur la face externe du bordé bâbord. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 66 : Détail de deux tenons de réparation sur la face externe du bordé (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 67 : Vue de l'aboutissement des virures du bordé au niveau de la marotte. (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

diamètre de la tête est de 1,7 cm, tandis que la tige de section carrée est épaisse de 0,8 cm environ.

Une remarque s'impose quant à la forme particulière de quatre varangues (M5, M11, M 13 et M29) qui paraît relativement rare sur les épaves de même époque en Méditerranée occidentale. Ces varangues présentent en effet une section rectangulaire et une forme globale trapézoïdale dont la partie la plus courte vient se poser sur le fond de la carène. Un joint oblique les relit aux allonges ce qui semblent témoigner d'une mise en place postérieure de la varangue par rapport à ces éléments **(Pl. XVII).**

La marotte, ou tableau de proue, est formée dans sa partie conservée, d'un unique massif, d'une épaisseur établie entre 22 cm dans sa partie inférieure et 16 cm dans sa partie supérieure, dont la forme est grossièrement semi-circulaire et dont la section est trapézoïdale **(Fig. 71 et 72)**. Sa face inférieure présente un travail soigné d'équerrage pour s'adapter à l'angle de fermeture des bordés à cet endroit de la carène et permettre leur bonne fixation au tableau. Le bord supérieur s'avère ainsi long de 1,47 m si l'on se place vers l'extérieur du navire (vers l'avant) et 9 cm plus large vers l'intérieur. Sur sa face supérieure, la partie antérieure du tableau présente un redan travaillé dans lequel on observe une file de cinq mortaises (d'une largeur de 6 à 9,5 cm, d'une épaisseur de 1,5 cm et espacée de 13,7 cm) tandis que la partie postérieure s'avère fortement dégradée par les xylophages **(Fig. 70 et 76)**. Selon toute vraisemblance, la partie dégradée correspond à l'aménagement sur ce massif d'un assemblage à mi-bois, bloqué par le réseau de tenons-mortaises, avec un autre massif qui devait venir compléter la marotte dans sa partie supérieure.

Enfin, on notera la présence sur l'angle supérieur de quelques varangues, entre M13 et M40, d'une série de dix-neuf encoches de section triangulaire destinées très certainement à accueillir la carlingue à l'image de ce que l'on a pu observer sur l'épave A **(Fig. 69)**. Ces encastrements sont en moyenne longs de 21 cm, larges entre 2 cm et 4 cm et profonds de 2 cm environ. On notera qu'ils sont disposés de telle manière que leur bord le plus large se place alternativement à bâbord et à tribord.



Fig. 68 : Vue de la membrure depuis le maître-couple jusqu'à la marotte
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 69 : Détail de l'unique trou d'anguiller central et des évidements triangulaires pratiqués sur le dos des membrures
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 70 : Vue de la marotte depuis tribord avant.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 71 : Vue de la marotte depuis l'avant.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 72 : Vue de la marotte depuis tribord avant.
(Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

4.1.2.4. Charpente longitudinale interne **(Pl. XV)**:

Elle est essentiellement constituée de deux séries de quatre vaigres fixes disposées de part et d'autre de la carène **(Fig. 68, 71, 74** et **78)**. Ces vaigres, larges en moyenne de 26,5 cm et épaisses de 3,5 cm, se composent généralement de plusieurs éléments, fixés à la membrure par le biais de clous, qui peuvent être raccordés les uns aux autres par des joints plats obliques (de type *scarf*) ou alors simplement raboutés sans assemblage particulier : on dénombre ainsi sept planches à tribord et cinq pour bâbord.

La charpente interne comprend aussi, à la proue, deux longerons placés symétriquement de part et d'autre de l'axe longitudinal, distant de 45 cm l'un de l'autre, qui sont encastrés sur le dos des membrures entre les couples M1 et M5 et qui devaient permettre le contrebutement de la marotte **(Fig. 68, 70, 75 et 76)**. En effet, malgré une dégradation importante dans la partie supérieure, on remarque que le longeron tribord est suffisamment conservé pour venir quasiment s'appuyer sur la partie restante de la marotte. Longs de 1,27 m pour le longeron bâbord et 1,38 m pour le longeron tribord, ils présentent des sections quadrangulaires (avec une largeur constante de 8 à 8,5 cm) qui s'agrandissent dans la hauteur en se rapprochant de la marotte. On passe ainsi d'une hauteur de 3,5 cm à l'extrémité arrière de la patte du longeron, à 17 cm vers la proue. Ils sont fixés par deux clous aux varangues M2 et M4.

A ces éléments viennent s'ajouter une série de quatre vaigres (Fi1, Fi2, Fi3 et Fi4) placées sur l'axe de quille et toujours fixées à la membrure par le biais de clous en fer **(Fig. 68 et 74)**. Ces vaigres présentent des profils qui se révèlent plutôt irréguliers, à l'exception de Fi1, et des épaisseurs proches de celles des autres éléments de vaigrage. Si l'on note bien la présence de trois cavités rectangulaires pratiquées sur Fi2, Fi3 et Fi4, on ne peut toutefois y voir la moindre mortaise de pied de mât étant donné les dimensions limitées qui leur interdit d'un point de vue structurel de supporter une contrainte telle que celle imposée à une emplanture **(Fig. 68, 69 et 73)**. On peut éventuellement les interpréter comme des mortaises destinées à recevoir des pieds d'épontilles. On note par ailleurs que ces quatre vaigres couvrent ponctuellement les encoches triangulaires pratiquées sur le dos des membrures sans pour autant s'y encastrer. Cela nous semble désigner la présence originelle d'une carlingue qui pouvait faire office de massif d'emplanture, à l'image de ce que l'on observe sur l'épave A, qui a dû être abandonnée dans un second temps, retirée puis remplacée par les quatre éléments de vaigrages que l'on a finalement découverts. La distance entre les divers encastrements ainsi que leur largeur nous permettant de restituer à minima, une carlingue de



Fig. 73 : Vue depuis l'avant des deux séries de vaigres latérales (sur quatre niveaux) et de deux vaigres centrales de substitution (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 74 : Vue depuis tribord des deux séries de vaigres latérales (sur quatre niveaux) et de deux vaigres centrales de substitution (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 75: Vue des longerons de soutient de la marotte (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

7,35 m et de 30 cm de large environ en son point le plus important. Cette hypothèse impliquerait donc sinon un changement dans le mode d'utilisation du navire, au moins un changement dans son mode de propulsion.

4.1.2.5. Les réparations antiques :

Au-delà du cas de substitution de la carlingue par les quatre vaigres centrales de remplacement, l'épave *Napoli C* présente tout comme l'épave adjacente un nombre très important de réparations antiques. On en dénombre ainsi pas moins de trente-cinq sur le bordé, qui prennent des formes très variables selon le type de dégradations subies par la coque : depuis le patch rond (Rt16t) jusqu'au long liseré (Rt6t et Rt5t). On remarque que toutes ces réparations sur le bordé s'accompagnent d'une importante quantité de poix qui vient assurer l'étanchéité de celles-ci **(Fig. 65)**. On note que ces réparations peuvent être éventuellement reliées par des clous à la charpente transversale et que de nombreux tenons de réparations apparaissent ponctuellement sur les éléments les plus importants **(Fig. 66)**. La charpente transversale a elle aussi fait l'objet d'un certain nombre de réparations, sept au total, sous la forme de simples substitutions (comme pour R2t ou R5b) ou bien encore par des rajouts purs et simples (R32b). Dans ce dernier cas des clous enfoncés depuis l'intérieur ont pu être observés même si certains éléments se révèlent être maintenus en position par la simple adjonction de poix.

4.1.3. Principes et méthodes de construction :

Le navire *Napoli C* a été conçu longitudinalement, « sur bordé », et construit selon la technique « bordé premier ».

4.1.4. Datation :

La stratigraphie du site de découverte de l'épave permet de dater l'abandon du navire à la fin du premier siècle ap. J.-C., ce qui permet de poser l'hypothèse d'une construction du navire dans la seconde moitié du premier siècle.



Fig. 76 : Vue depuis le dessus, de la marotte et des aboutissements des deux longerons (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 77 : Vue de la dégradation par les organismes xylophages des têtes de membrures du flanc tribord (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 78: Vue d'ensemble du niveau de dégradation et de déformation de l'épave (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

4.1.5. Type et fonction de l'embarcation:

L'épave *Napoli C* peut être assimilée à la famille des *horeiae*[313]. Soit une embarcation pourvue d'une marotte à sa proue dont nous connaissons l'existence de par les nombreux témoignages iconographiques[314] ainsi que par les deux petites épaves découvertes dans le port antique de Toulon[315]. Si ces dernières peuvent être interprétées comme des navires vraisemblablement destinés aux activités de pêche[316], l'épave de Naples, par ses dimensions semble couvrir une plage d'activité plus vaste au sein de la batellerie portuaire. Une activité d'allège et de transport local est ainsi à privilégier, même si d'autres fonctions telles que le remorquage, voire la pêche ne sont pas à exclure comme nous allons le voir à l'instant.

[313] Boetto, 2004, p. 15-19 ; Boetto, 2005, p. 63-76 ; Boetto, Carsana, Giampaola 2009, p. 457-470; Boetto, Carsana, Giampaola, 2010, p. 115-122; Allevato et al., 2010, p. 2365-2375.
[314] Voir *Infra*.
[315] Découvertes dans les années 80 sur le chantier Toulon-Besagne, ces deux épaves peuvent être datées du dernier quart du Ier s. ap. J.-C. De dimensions plus réduites que *Napoli C* (*Toulon 1* est conservée sur 8,3 m de longueur pour une largeur de 3m, tandis que *Toulon 2* est longue de 6,3 m pour 2,25 m de large), elles présentent toutes les deux des tableaux de proue soutenus par deux longerons axiaux placés de part et d'autre de l'axe de quille. Il s'agit donc bien, ici aussi, de deux *horeiae*.
[316] Brun, 1999, p. 800 ; Boetto, 2009, p. 289-296



Fig. 79 : Vue de détail de la dégradation d'usage du bordé sur sa face inférieure, qui laisse apparant les tenons d'assemblage (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS)..



Fig. 80 : Vue depuis le dessous des conséquences sur les formes de l'épave du système de relevage mis en place lors de la fouille (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).



Fig. 81 : Vue depuis le côté des conséquences sur les formes de l'épave du système de relevage mis en place lors de la fouille (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; G. Boetto, CCJ-CNRS).

4.2. Identification du type de navire :

Lors du travail de restitution de l'épave *Napoli C*, nous nous sommes heurtés à un problème particulièrement complexe à résoudre. Les données positives issues de la fouille demeurent souvent ambiguës et ne permettent que très rarement d'être catégorique sur telle ou telle hypothèse de restitution. L'élément emblématique de cette équivoque latente étant la disparition de l'emplanture qui aurait pu nous assurer du sens principal de navigation du navire. A cela s'ajoute un corpus iconographique plus limité et plus complexe à analyser que celui des navires conventionnels. L'interprétation des représentations d'*horeiae* a ainsi mené à la publication de différents articles qui donne à voir une variété de point de vue décrivant bien toute la complexité du problème[317]. Contrairement à *Napoli A*, il nous a donc semblé nécessaire de revenir en détail sur l'interprétation que l'on peut produire des vestiges de l'épave *Napoli C* à partir de comparaisons archéologiques, iconographiques ou littéraires.

4.2.1. Comparatifs iconographiques :

En tout et pour tout, nous avons dénombré une vingtaine de documents iconographiques pouvant être interprétés comme des représentations d'*horeia*. Toutefois au sein de cette sélection, qui recouvre une large période chronologique depuis le Ier s. av. J.-C. jusqu'au IVème ap. J.-C., un doute s'impose quant à savoir s'il s'agit bien toujours de représentations d'*horeia* (la présence d'une marotte à l'une des extrémités n'étant pas toujours très explicite) et dans le même temps, lorsque la présence d'une marotte ne fait pas de doute, s'il s'agit bien toujours d'un même et unique type de bateau, voire encore d'un même et unique type d'*horeia*.

Dans la plupart des cas, les *horeiae* ne présentent ni voiles ni mature, la majorité se déplaçant à l'aide d'une ou de plusieurs paires d'avirons. Parfois l'appareil directionnel est représenté : il s'agit dans certains cas d'un gouvernail latéral placé à l'opposé de la marotte, ce qui semble désigner la proue à cet endroit et donc le sens de navigation. Dans de nombreux cas même, seul cet appareil de gouverne est représenté. On l'observe notamment sur la petite *horeia* figurée sur le sarcophage conservée à la Ny-Carlsberg Glyptothek[318], sur la peinture

[317] Duval, 1949, p. 119-149; Marsden, 1964, p. 143-144 ; Bonino, 1963, p. 302-303 ; Casson, 1964, p. 176; Carlson, 2002, p. 211-218; Boetto, 2005, p. 75-76.
[318] Toby, 1974, 205-211

figurant une *horeia* chargée d'amphores et dirigée par deux pygmées[319], conservée au musée national de Naples (Ier s. ap. J.-C.) ainsi que sur les deux représentations de la Villa del Casale à Piazza Armerina[320] (fin IIIème s. ap. J.-C.) et sur les mosaïques de la basilique d'Aquilée[321] (IVème s. ap. J.-C.).

Tab. 17 : Corpus d'iconographies d'*horeiae* sur lequel nous nous sommes particulièrement basés :

Document iconographique	Provenance	Datation	Remarques	Référence bibliographique
Fresque de la Casa del Sacerdos Amandus **(Fig. XXXI)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	Thème de la chute d'Icare	Basch 1987, fig. 1065
Pygmées conduisant un bateau **(Fig. XXXII)**	Musée de Naples	Ier s. ap. J.-C.	*Horeia* chargée d'amphores et remorquée	Carcani, 1757, vol.5, pl.67 Pekary, 1999, I-N 21, p.176
Peinture du cabinet secret (A) **(Fig. XXXIII)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	Marotte rectangulaire	Pekary, 1999, I-N 39, p.180
Peinture du cabinet secret (B) **(Fig. XXXIV)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	Marotte rectangulaire	Pekary, 1999, I-N 40, p.180
Peinture du cabinet secret (C) **(Fig. XXXV)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	/	Pekary, 1999, I-N 43, p.182
Fresque de la Casa del Fabbro **(Fig. XXXVI)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	Thème de la chute d'Icare	Pekary, 1999, I-P 27, p.213
Regio V, 2,10 **(Fig. XXXVII)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	Thème de la chute d'Icare	Pekary, 1999, I-P 39, p.216
Regio IX, 5, 14-16 **(Fig. XXXVIII)**	Pompéi	Ier s. ap. J.-C.	Amours pêcheurs	Pekary, 1999, I-P 91, p.230
Mosaïque de Rimini **(Fig. XXXIX)**	Rimini	117 et 138 ap. J.-C.	Scène de remorquage	Casson, 1965, pl.1, p.32
Tombe n°78 de l'Isola Sacra **(Fig. XXXX)**	Ostie	IIème s. ap. J.-C.	Scène de remorquage	Gentili, 1979, p.54-55, fig.10
Mosaïque du *frigidarium* des thermes d'Althiburus **(Fig. XXXXI)**	Althiburus	Milieu IIème s. ap. J.-C.	/	Duval, 1949, Fig.19, p.140,
Bas-relief de Portus **(Fig. XIV)**	Portus	IIème – IIIème s. ap. J.-C.	Scène portuaire	Basch, 1987, fig.1038 et 1040, fig.460
Sarcophage de la Ny-Carlsberg Glyptothek **(Fig. XXXXII)**	Ostie	IIème – IIIème s. ap. J.-C.	Scène portuaire	Toby, 1974, 205-211
Mosaïque de Sousse **(Fig. XXXXIII)**	Sousse	IIIème s. ap. J.-C.	Scène de pêche	Basch, 1987, n°1066, p.473
Mosaïque *frigidarium* des thermes de Thémétra T.5 **(Fig. XXXXIV)**	Thémétra	IIIème s. ap. J.-C.	Scène de pêche	Foucher, 1957, p.38, fig.35 T.5
Mosaïque *frigidarium* des thermes de Thémétra T.4 **(Fig. XXXXV)**	Thémétra	IIIème s. ap. J.-C.	Scène de pêche	Foucher, 1957, p.38, fig.34 T.4
Mosaïque du dieu Océan d'Utique **(Fig. XXXXVI)**	Utique	IIIème s. ap. J.-C.	Scène de pêche	Pirghi et *al.*, 1957, vol.10, p.738
Mosaïque du *frigidarium* de la villa del Casale **(Fig. XXXXVII)**	Piazza Armerina, Sicile	Fin IIIème s. ap. J.-C.	Scène de pêche	Pekary, 1999, I-P 10 c, p.206
Mosaïque du port de Corinthe **(Fig. XXXXVIII)**	Corinthe	IVème s. ap. J.-C.	Voile carrée	Pekary, 1999, GR-55 a, p.122
Mosaïque de la basilique d'Aquilée **(Fig. XLIX)**	Aquilée	IVème s. ap. J.-C.	Scène de pêche	Pekary, 1999, I-A 3e, p.150
Mosaïque de la villa d'Uadi-ez-Zgàia **(Fig. L)**	Lybie	Non daté	Voile carrée	Pekary, 1999, Libya – 21, p.318

[319] Pekary, 1999, I-N 21, p. 176
[320] Pekary, 1999, I-P 10 c, p. 206
[321] Pekary, 1999, I-A 3e, p. 150

Lorsque le(s) rameur(s) et les avirons sont représentés et peuvent être clairement distingués, le sens de direction du navire peut éventuellement être déduit. Toutefois dans la plupart des cas l'interprétation est rendue difficile et s'avère équivoque[322]. De plus, au regard de notre corpus, on remarque que l'orientation n'est pas toujours la même : ainsi, si les *horeiae* que l'on trouve sur les trois peintures pompéiennes représentant la chute d'Icare[323], tout comme celle représentant des amours pécheurs découverte dans la *regio* IX, 5, 14-16[324] (Ier s. ap. J.-C.) ou encore l'embarcation T.5 du *frigidarium* des thermes de Thémétra (IIIème ap. J.-C.)[325], désignent à n'en pas douter la marotte comme la proue, l'*horeia* visible sur la scène de pêche d'une mosaïque de Sousse[326] (IIIème s. ap. J.-C.) présente quant à elle la situation inverse. Les similitudes de forme et de taille que l'on observe entre ces diverses *horeia* nous ont amenés à nous poser la question d'une possible amphidromie de ce type d'embarcation en fonction de son utilisation ponctuelle.

Deux autres cas, bien distincts des premiers, sont à relever sur une mosaïque représentant une scène portuaire découverte à Rimini (début IIème s. ap. J.-C.)[327] et sur le bas-relief de la tombe n°78 découverte sur l'Isola Sacra près d'Ostie (IIème s. ap. J.-C.)[328]. Il s'agit à n'en pas douter du même type de navire dans ces deux représentations, qui serait destiné, dans un contexte portuaire, à des tâches de remorquage puisque l'on observe très clairement sur le bas-relief d'Ostie la présence de la remorque. Entrainée par des rameurs, l'embarcation présente à sa proue un mâtereau ou un mât de halage qui semble s'appuyer sur la charpente axiale[329], sa direction étant assurée par le biais d'un unique gouvernail axial qui semble posé à même le plat-bord. Dans ces deux cas il nous est impossible d'être catégorique sur le fait qu'il s'agisse bien d'*horeiae* : le profil des deux embarcations permet de l'imaginer, tout comme la présence du gouvernail axial qui viendrait s'appuyer sur le milieu du tableau. Cependant aucune des deux ne laisse entrevoir très clairement sa marotte. On notera par ailleurs que sur

[322] C'est notamment le cas pour la peinture du cabinet secret (C) (Pekary, 1999, I-N 43, p. 182) de Pompéi, figurant une chasse nilotique ou une *horeia* est renversée par un hippopotame. La représentation d'une *horeia* sur la mosaïque du frigidarium des Thermes d'Althiburus (Duval, 1949, fig. 19, p. 140), est un autre cas litigieux. Ni barreur, ni gouvernail n'étant représenté, il est difficile de définir avec exactitude le sens de direction du navire. Malgré la présence de ce qui pourrait être un aviron ou un gouvernail sur l'arrière, l'orientation de cet élément ne permet pas de définir sans ambiguïtés de quel côté se trouvent la poupe et la proue.

[323] Pour l'une découverte dans la maison du Sacerdos Amandus, Ier s. ap. J.-C. (Basch, 1987, n°1065, p. 473) ; Pour l'autre découverte dans la regio V, 2, 10, Ier s. ap. J.-C. (Pekary, 1999, I-P 39, p. 216); et pour la dernière dans la Casa del Fabro (Pekary, 1999, I-P 27, p. 213).

[324] Pekary, 1999, I-P 91, p. 230

[325] Foucher, 1957, p. 38, fig. 35

[326] Basch, 1987, n°1066, p. 473

[327] Pekary, 1999, I-R 3, p. 234

[328] Höckmann, 1985, fig.130, p. 151

[329] On notera que les dimensions ainsi que l'angle formé par le mat peuvent aussi éventuellement correspondre à la représentation d'un mat servant à établir une voile à livarde, à l'image de ce qui a pu être déduit pour les *Naves Caudicariae* (Casson, 1965, p. 37, Pl IV, 1; Boetto, 2006, p. 231-232). Ces mâts ainsi que la manière dont sont rangés les cordages autour de celui-ci ne sont pas non plus sans rappeler certaines pratiques récentes des gréements à livardes, telles que sur les navires grecs et turcs en mer Egée jusqu'au début du XXème s. (Cadoret, Maho, Cadoret, 2009, p. 86)

la mosaïque de Rimini, le col de cygne apotropaïque est situé à la proue alors que celui-ci se retrouve traditionnellement sur l'arrière dans l'iconographie de différentes embarcations, témoignant peut-être par-là du caractère amphidromique des grandes *horeia* destinées entre autres au remorquage.

Enfin, une mosaïque d'Afrique du nord, découverte dans les thermes de Uadi-ez-Zgàia[330], est l'unique exemplaire qui représente vraisemblablement une *horeia* propulsée par une voile[331]. Le navire présente un gouvernail latéral placé à l'opposé de la marotte ce qui permet ici aussi de comprendre le sens de déplacement du navire malgré une position très reculée du mat. La forme de la charpente axiale vers l'arrière qui prend la forme du col de cygne vient renforcer l'interprétation de cette partie du bateau comme la poupe.

- Synthèse sur l'iconographie :

Du point de vue chronologique et surtout spatial, deux groupes semblent s'esquisser à partir de ce corpus. On observe ainsi nettement un premier groupe d'*horeiae*, composé de huit représentations, rattachées à l'aire pompéienne et remontant au Ier s. ap. J.-C.[332]. Un second groupe de six représentations semble quant à lui relever d'une tradition africaine plus tardive, depuis le milieu du IIème s. ap. J.-C. jusqu'à la fin du IIIème s. ap J.-C.[333]. Il est cependant difficile d'y percevoir des distinctions significatives du point de vue de la fonction et du type de toutes ces *horeiae*. Enfin, on aurait pu évoquer l'émergence d'un troisième groupe, constitué par les deux *horeiae*, utilisées pour le remorquage, ayant leur marotte à la poupe et pouvant être rattachées à l'aire italienne dans le courant du IIème s. ap. J.-C. Toutefois, la pauvreté de ce dernier corpus nous amène à considérer avec prudence une telle distinction.

Comme l'a noté G. Boetto dans ses articles préliminaires sur les épaves de Naples, nous faisons ici face à une réelle ambiguïté de formes et de fonction (s'agit-il d'embarcations de batellerie portuaire, destinées uniquement à la pêche ou bien alors multifonctionnelles ?) qui nous conduit à avancer prudemment l'idée d'une diversité typologique des différentes

[330] Pekary, 1999, Libya-20, p. 318

[331] Une mosaïque en opus sectile découverte dans la zone est du port de Corinthe, datée du IVème s. ap. J.-C., pourrait représenter une *horeia* dotée d'une voilure. Cependant, l'interprétation est limitée par l'ambiguïté de la représentation et par la technique employée, à quoi s'ajoute la faible qualité des reproductions photographiques dont nous disposons (Pekary, 1999, GR-55 a, p. 122).

[332] A ce groupe, il nous semble possible d'ajouter la représentation d'*horeia* du musée Ostiense (peinture n°142). Le mode de représentation ainsi que le sujet (deux pygmées dont il est difficile de définir l'activité précise) rattache tout à fait cette iconographie au groupe pompéien du Ier s. ap. J.-C.

[333] De la même manière, l'*horeia* représentée à Uadi-ez-Zgàia nous paraît pouvoir être rattachée au groupe africain. Le parallèle s'avère toutefois moins pertinent que dans le cas de l'*horeia* du musée Ostiense.

horeiae représentées à travers notre corpus iconographique[334]. Dans ce cadre il nous semble difficile, à partir de ces représentations de formuler une unique interprétation qui mènerait à une seule hypothèse de restitution.

4.2.2. Eléments littéraires :

La présence d'une *horeia* sur la mosaïque d'Althiburus semble conférer à ce type d'embarcation une certaine notoriété qui est confirmée par les quelques évocations qui en sont faites à travers les écrits[335]. C'est tout d'abord dans une comédie de Plaute, du IIème s. ap. J.-C., qu'est évoquée l'*horeia* à travers les remerciements de *Gripus*, pêcheur infortuné, à Neptune et à son bateau qui l'ont ramené sain et sauf pourvu d'une très belle pêche[336]. Dans une autre comédie de ce même auteur, ce sont trois personnages qui discutent du sort qu'ils réserveraient à un malfaisant[337]. Pour l'un d'eux, le fait de le voir attaché à son *horeia*, condamné à pêcher éternellement quel que soit l'état de la mer, semble un châtiment adéquat. C'est ensuite dans deux listes de recensement des types de navires que l'on retrouve le terme *horeia* : d'une part chez Aulu-Gelle[338], au IIème s. ap. J.-C., chez Nonius Marcellus[339] d'autre part au début du IVème s. ap. J.-C. Enfin, à la fin du Vème s. ap. J.-C., le terme *horeia* apparaît dans l'ouvrage d'explication des termes désuets de Fulgentius[340].

Dans toutes ces occurrences, on remarque que l'orthographe exacte du terme diffère très légèrement de celle utilisée sur la mosaïque d'Althiburus, avec l'absence du *e* (*horia* pour *horeia*) ce qui n'en modifie pas la déclinaison. Par ailleurs, dans les deux premiers textes, on note que le terme laisse entendre une utilisation essentiellement portée sur la pêche. Malheureusement ces éléments paraissent d'une faible utilité dans le cadre de notre restitution.

---

[334] Boetto, 2005, p. 76 ; Boetto, 2009, p. 469
[335] Carlson, 2002, p. 213
[336] « *Je rends grâce à Neptune mon patron, à l'habitant des plaines salées et poissonneuses, pour m'avoir laissé sortir en si bon état de son empire, chargé de butin, sans avarie à ma barque* **(horia)** *qui sur cette mer houleuse m'a enrichi d'une abondante et nouvelle pêche.* », Plaute, *Rudens*, Acte IV, 910 ; (Traduction française: Sommer, 1876, vol.2, p. 349).
[337] "*Je souhaiterai le voir enfermé dans un sac et jeté à la mer afin d'offrir aux poisons une nourriture bon marché, pas vous? – Je préfèrerai le voir attaché à sa barque* **(horiam)***, condamné à pêcher pour l'éternité, même les jours de tempêtes* », Plaute, Vidularia, XII-XIII-XIII b ; (Traduction anglaise : Nixon, 1952, p. 347).
[338] Aulu-Gelle, Noctes Atticae, X, 25, 5
[339] A noter que l'orthographe exacte du mot utilisé est : ***horia*** ; Nonius Marcellus, De Genere Navigorium, XIII, 533
[340] A noter que l'orthographe exacte du mot utilisé est : ***Oria*** ; Fulgentius, Expositio Sermonum Antiquorum, XIV



Fig. 82 : L'épave *Toulon 2*, dernier quart du Ier s. ap. J.-C.
(tiré de Brun 1999, fig. 1010; Photo: CCJ-CNRS)



Fig. 83 : Les deux *horeiae* toulonnaises, dernier quart du Ier s. ap. J.-C.
(tiré de Brun 1999, fig.1010; Photo: CCJ-CNRS)

4.2.3. Comparatifs archéologiques :

A ceci, viennent se greffer les observations menées sur les divers exemples archéologiques d'*horeiae* qui nous sont parvenus et qui font état, eux-aussi, d'une grande diversité de formes et de dimensions ne permettant pas selon nous, de la même manière que pour les représentation d'*horeiae*, de les traiter de façon similaire en les incluant dans une même typologie :

- Les deux barques toulonnaises **(Fig. 82 et 83)**, datées de la fin du Ier s. ap. J.-C., découvertes sur le chantier de la rue Felix Brun (1985-1987), se présentent sous l'aspect de petites embarcations[341] : 8,30 m de long sur 3 m de large pour l'épave *Toulon 1*, 6,30 m de long sur 2,25 m de large pour l'épave *Toulon 2*. Jean-Pierre Brun, les interprète à juste titre selon nous et à la suite d'observations menées par P.-M. Duval sur la mosaïque d'Althiburus, comme des barques polyvalentes pouvant servir invariablement à la pêche ou au transbordement des marchandises[342]. Quelle qu'en soit leur fonction définitive, dans le cas de ces deux épaves, on remarquera que les dimensions des marottes sont minimes par rapport à celles générales des embarcations et que l'angle que forme le tableau par rapport à l'horizontal semble s'établir entre 45° et 65°. L'absence de carlingue et de traces témoignant de sa présence sur les deux épaves, ne nous permet pas d'en évaluer avec certitude le sens de déplacement. Dimensions générales, dimensions de la marotte et orientation de celle-ci, autant de différences majeures que l'on ne peut que constater avec l'épave *Napoli C*.

- Une autre comparaison archéologique peut être établie avec l'épave *Isola-Sacra 1* récemment découverte (mai 2011) lors de travaux autoroutiers non loin de la rive septentrionale du Tibre en face d'Ostie[343]. Conservée sur près de 12 m de long et 5 m de large, l'épave présente des dimensions qui la rapprocheraient plutôt de *Napoli C*. Pour autant, la découverte d'un tableau de très faibles dimensions, compte-tenu de la taille des vestiges, ne permet pas de la rapprocher significativement de notre épave. On notera, comme pour les épaves toulonnaises, l'absence de carlingue et de traces d'encastrement sur le dos des varangues. D'autres détails constructifs semblent par ailleurs confirmer l'originalité de cette épave par rapport aux autres *horeia* déjà connues.

[341] Brun, 1999, p. 800 ; fig. 1006, p. 798 et fig. 1010, p. 802 ; Boetto, 2009, p. 289-296.
[342] Duval, 1949, p. 140.
[343] Communication personnelle de G. Boetto ; Boetto, 2016 [à paraître].

4.2.4. Synthèse :

Au final, les diversités constatées sur les éléments iconographiques ainsi que sur les autres épaves d'*horeiae* connues, ne permettent pas de se limiter à une unique hypothèse de reconstitution. Les nombreuses équivoques qui demeurent sur des points essentiels tels que le mode de propulsion ou le sens de navigation nous ont contraints à proposer deux hypothèses de restitution qui puissent s'avérer complémentaires : la première correspondant à un navire de charge à propulsion vélique, la seconde à un navire plurifonctionnel avec une propulsion s'effectuant essentiellement à la rame.

A l'inverse d'une simple et unique restitution, qui aurait forcément présenté des lacunes de sens, la proposition de diverses hypothèses permet de répondre de manière pertinente à la fois aux données provenant des éléments conservés sur notre épave mais aussi aux différentes analogies archéologiques, iconographiques voir même ethnographiques, pouvant être établies avec *Napoli C*. Nous présenterons successivement ici ces deux hypothèses de restitution en détaillant dans chacun des deux cas les éléments qui nous ont amenés à restituer les éléments de chaque configuration.

4.3. Remise en place des vestiges et recherche des formes :

4.3.1. Etat et degré de conservation des vestiges

L'épave *Napoli C* présente un degré de conservation important. Cependant, tout comme sur les deux épaves attenantes, seules les parties les plus basses de la carène ont été conservées, phénomène courant en ce qui concerne les épaves de navires en bois. Les nombreuses traces laissées par les tarets, dans les parties supérieures du bordé et des membrures, permettent de se figurer le lent processus d'ensablement de la carène qui n'a pas permis de protéger des xylophages les parties les plus hautes du navire **(Fig. 77)**.

L'épave repose presque droite sur sa quille, toutefois on notera une très légère gîte sur son flanc bâbord (environ 1,8°) ce qui a entrainé une conservation quasiment homogène des deux flancs, le côté bâbord étant localement plus élevé et mieux conservé que tribord **(Fig. 78)**[344]. Aucune préceinte n'a pu être observée sur l'un des côtés, ce qui prête à confusion à deux titres : si l'on tient compte de la présence récurrente de cet élément dans la construction navale romaine, on peut s'interroger d'abord sur le niveau de préservation et sur la hauteur originale du livet, mais aussi sur l'éventuelle absence de préceinte dans cette construction.

Dans le cadre de l'étude de l'épave *Napoli C*, nous avons été amenés à proposer deux restitutions complètes de l'épave. Pour la première de ces hypothèses, nous avançons le postulat d'un navire de charge à propulsion essentiellement vélique. Le niveau de conservation ponctuel du bordé vers la maître-couple aux alentours du couple M25, peut alors, dans ce cas précis, être évalué à 74% de la courbe de coque qui sera plus tard restituée. Dans la seconde hypothèse, celle d'un navire plurifonctionnel avec une propulsion s'effectuant essentiellement à la rame, compte tenu de la restitution d'un franc bord plus bas ce chiffre augmente jusqu'à 84,5 %.

A l'inverse de l'épave A, l'ensemble conservé de la carène ne présente pas de déformations qui soient remarquables. On peut éventuellement souligner un vrillage hétérogène et minime des bois auquel on peut associer un léger affaissement. De fait, la seule distorsion majeure dont on peut faire état est une très légère ouverture du bordé vers la poupe, conséquence de la disparition des extrémités des virures qui les maintenaient en place dans la râblure.

[344] La hauteur maximale de conservation étant de 80 cm.

4.3.2. Etat d'abandon du navire :

L'état de conservation remarquable de la carène permet de distinguer de façon certaine les dégradations taphonomiques des usures d'usage contemporaines du navire. Aux nombreuses traces de tarets situées sur les extrémités supérieures du bordé et des membrures, traces que l'on peut estimer comme postérieures à l'abandon, s'ajoutent celles apparues sur la face inferieure du bordé et de la charpente axiale. Ces dégradations semblent contemporaines de la période d'utilisation du navire et pourraient éventuellement expliquer la raison de son abandon **(Fig. 78)**.

La membrure ne présente que très peu d'indices de réparations[345], ce qui n'est pas le cas du bordé qui présente des traces fréquentes de réparation et de remplacement, notamment dans les parties les plus hautes situées au–delà du bouchain. Si l'état général du bordé est comparable à ce qui a été observé sur l'épave A, le phénomène est ici plus contenu **(Fig.79)**.

La charpente axiale, qui n'est composée ici que de la quille et du brion d'étambot, présente elle aussi les outrages du temps. Outre les dégradations dues aux tarets, l'érosion de la quille semble aussi provenir d'un frottement répété sur le fond, conséquence possible d'échouages successifs. Ceci ne semble pas avoir trop modifié la courbure générale des deux pièces axiales : pour le dressement du plan des formes il ne s'est révélé nécessaire ni de retoucher les courbures de l'étambot ni de modifier l'arc de quille qui nous paraissaient correspondre parfaitement avec l'état originel du navire. On remarquera néanmoins que la technique de relevage a, quant à elle, généré d'importantes déformations dont on peut juger les effets sur différents documents **(Pl. XVI ; Fig. 80 et 81).**

4.3.3. Documentation disponible :

A l'instar des épaves A et B, *Napoli C* a fait l'objet d'une étude particulièrement précise, menée sous la direction de Giulia Boetto, qui a pu bénéficier de relevés topographiques, manuels et par balayage laser, tous d'une grande qualité.

En ce qui concerne notre démarche de restitution et de recherche des formes, ici encore, seules les trois séries de relevés ont été utilisées. Les nuages de points extraits du balayage laser se sont toutefois avérés trop complexes à manipuler directement : leur poids et leur format informatiques ne permettant pas un traitement des plus aisés qui ne se justifiait pas

[345] On décompte six éléments qui peuvent être interprétés comme des réparations : ils sont tantôt insérés dans la maille, tantôt alignés sur le reste du couple.

par un gain significatif dans la précision et l'homogénéité du relevé d'ensemble. Cependant on en retrouve indirectement la trace dans les relevés planimétriques formés à partir d'une reprise manuelle de ceux-ci. De plus, on notera que leur bonne correspondance avec les relevés topographiques, vérifiée sur les coupes transversales interne, nous ont aussi amenés à privilégier ce dernier type de relevé : son degré de précision ainsi que sa manipulation très commode en ont fait le meilleur compromis pour l'étude des navires de Naples. La complémentarité des relevés topographiques[346] avec les relevés manuels[347] nous a donc permis de nous reposer sur une base fiable, fournie et homogène de relevés de l'épave qui s'avère tout à fait satisfaisante dans le cadre d'une étude de restitution **(Pl. XIII à XVII)**.

4.3.4. Recherche des lignes d'eau et redressement des formes :

L'homogénéité de préservation, en élévation et en forme, entre les flancs tribord et bâbord nous a permis d'utiliser indifféremment les deux côtés de chaque couple afin de réaliser notre plan de formes, même si une majorité de ceux qui ont été pris comme référence sont situés sur tribord **(Pl. XVII)**.

- Recherche des formes dans les parties conservées :

Dans un premier temps, tout comme pour l'épave A, c'est le dressement de la vue longitudinale qui nous a importé : nous nous sommes ainsi préoccupé de prolonger, à l'aide d'une latte souple et de plombs à bec l'élancement arrière. Le tableau étant simplement prolongé suivant la pente formée par la partie conservée. C'est grâce à ce premier résultat, obtenu de manière empirique, que l'on a pu dresser une première vue transversale de la carène, en remettant à leurs hauteurs respectives (mesurées et reportées sur le longitudinal) les différents profils hors-membrure des couples conservés. La totalité des profils (vingt-sept en tout) de référence sont ceux dont le relevé de terrain a pu être effectué à la fois manuellement et par l'utilisation du théodolite. Les autres relevés transversaux, nuage de points internes et relevés au théodolite des profils supérieurs de l'ensemble des couples, ont par ailleurs permis

[346] Relevés topographiques qui comprennent, entre autres : le relevé tridimensionnel du bordé, de la membrure, diverses coupes transversales extérieures et une coupe longitudinale interne.
[347] Relevés manuels qui comprennent : différentes planimétries de l'épave au niveau du vaigrage, de la membrure et au niveau du bordé ; relevés en coupe de plusieurs membrures ; relevés de détail à l'échelle 1/1 sur transparents.

de vérifier de manière exhaustive, l'adéquation du plan de formes restitué à la forme des vestiges[348].

Sur la vue transversale, outre la correction légère de la gîte de l'épave, il s'est avéré nécessaire de remédier à deux déformations majeures : l'une se présentant sous la forme d'un affaissement général et homogène du flanc bâbord de la carène entre les couples M9 et M17, entrainant une ouverture de la forme de ces mêmes couples que nous avons donc redressés ; l'autre se situant entre les couples M26 et M34, ou l'on observe le phénomène inverse avec la fermeture contrainte des formes de la carène sous l'effet d'une compression située vers le bouchain et s'appliquant sur les allonges.

La largeur et l'élévation des vestiges, nous amènent à considérer la largeur originelle du navire comme une donnée relativement peu variable : le prolongement des profils conservés des coupes, sans pour autant s'effectuer tout à fait au droit de l'extrémité conservée, permet de considérer une largeur originelle du navire n'excédant pas de 50 cm celle des vestiges (3,54 m).

La cohérence d'ensemble des coupes transversales a donc rapidement permis le dressement des lignes d'eau dans les fonds. L'aspect de celles-ci nous renseigne sur la validité des élancements longitudinaux proposés initialement. Sur l'avant, la question de la validité des formes de l'élancement, définies par les coupes transversales, ne se pose pas puisque les formes sont de fait, limitées par le profil de la marotte. Sur l'arrière, les formes conservées s'étendent en élévation jusqu'à la ligne d'eau n°4 et légèrement au-delà. Le pincement des bordés est déjà important dans les zones conservées et laisser dans les parties hautes une reproduction de ce même schéma nous a paru être la meilleure option. On obtient de cette manière, il n'est pas inutile de le mentionner, un étambot s'inscrivant parfaitement dans un cercle de 2,85 m de diamètre (depuis la ligne d'eau n°1 jusqu'au niveau du livet de pont).

- Vérification des formes :

La vérification de la validité des formes restituées et de la remise en place des parties conservées a été effectuée, comme pour *Napoli A*, à l'aide à la fois de la « maquette carton » ainsi que par le modèle virtuel **(Fig. 84 et Pl.XVII)**. Les résultats de cette vérification nous

[348] On remarquera que des incohérences apparaissent ponctuellement entre les différents types de relevés. Si les nuages de points de la partie interne de l'épave (effectué par balayage laser) correspondent bien aux relevés effectués manuellement il n'en va pas de même avec ceux réalisés avec le théodolite qui présentent (notamment les coupes extérieures effectuées postérieurement aux autres relevés) d'importantes incohérences. Elles relèvent toutes de la déformation de la carène lors de la phase de fouille de la partie inférieur et de la mise en place du berceau de soutient en verre de résine.

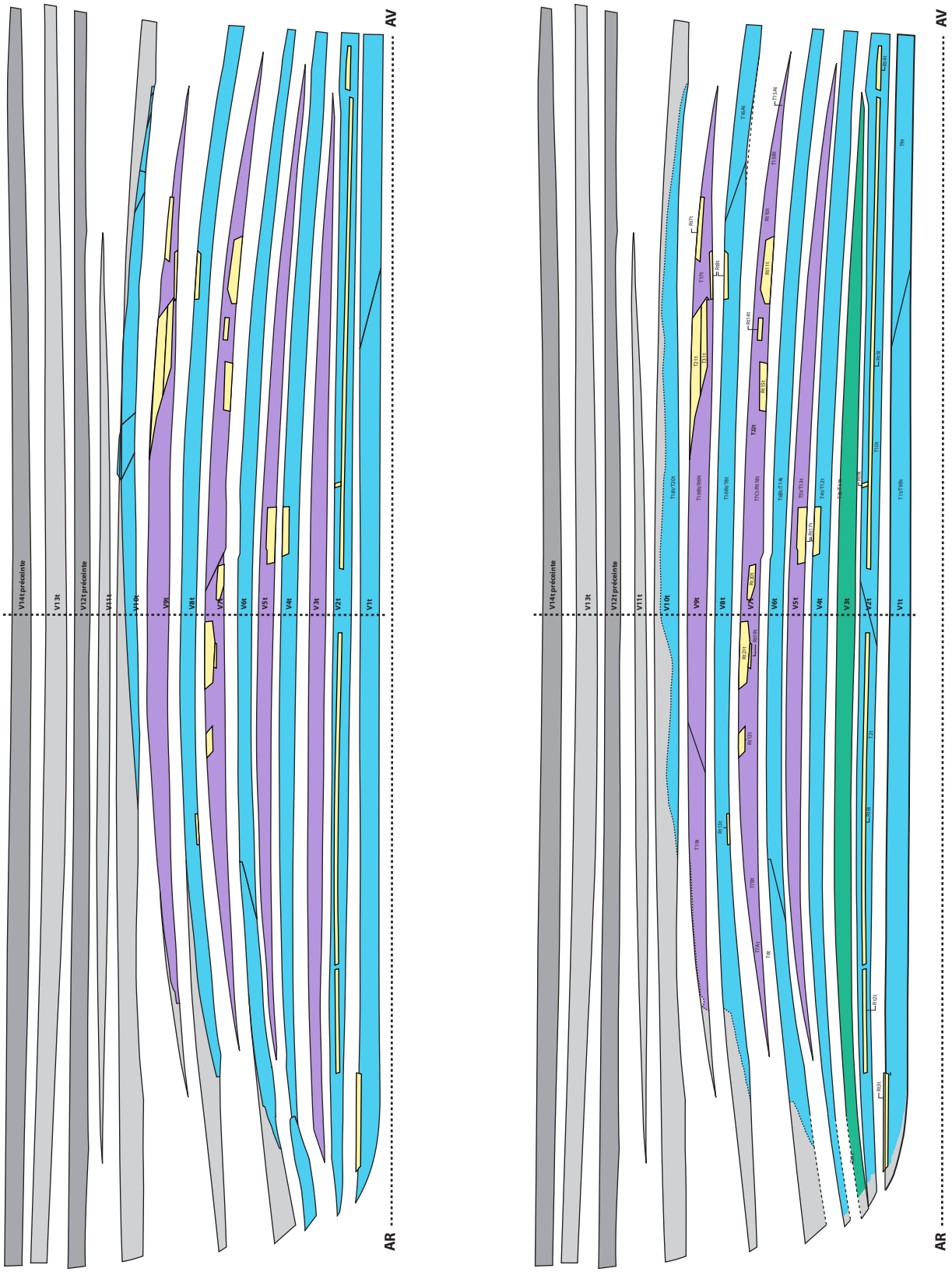


Fig. 84 : Comparaison des plans de bordé développé de la restitution de l'épave *Napoli C* , obtenus :
- grâce au modèle virtuel (à gauche; dessin et réalisation P.Poveda)
- et grâce à la maquette carton (à droite; réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; dessin: G. Boetto; CCJ-CNRS)

amènent à produire les mêmes réflexions que sur l'épave A. Nous estimons que globalement, la cohérence du bordé sur ce plan de formes est satisfaisante puisque les dimensions ainsi que les formes de chaque bordage, qu'il soit tiré de la « maquette carton » ou du modèle virtuel, permettent une juxtaposition assez proche avec les bordages tirés du modèle des vestiges bruts. Particulièrement, dans le cas de *Napoli C*, on remarque des divergences d'importances au niveau des réparations qui sont plus précisément prise en compte dans le modèle virtuel. Cela amène parfois à repenser la restitution de certaines virures. On peut ainsi voir sur tribord que l'aboutissement de la troisième virure a finalement été restitué par un joint perdu ce qui n'était pas le cas dans la « maquette carton » **(Fig. 84)**.

Dans le cadre actuel, nous estimons que le plan de formes et la remis en place des vestiges tels qu'ils sont ici proposés démontrent un degré de précision suffisant pour valider le plan de formes. Toutefois, ce niveau de précision ne correspond pas à ce que l'on pourrait potentiellement atteindre avec les outils actuellement à notre disposition. Ainsi, une intégration plus importante dans les phases initiales de l'établissement de ces divers plans de bordé de vérification d'une multitudes de points de contrôle, tels que le positionnement des tenons mortaises ou les traces de passages des membrures, nous semble être la solution la plus adaptée pour pouvoir valider définitivement nos redressement et les formes de restitution proposées.

- Synthèse :

Au final, le plan de formes donne à voir, comme on pouvait s'y attendre au regard de son profil, un navire fortement asymétrique dans ses formes longitudinales **(Pl. XIX)**. Si la partie arrière est pincée en s'élargissant régulièrement jusqu'au maître-couple, la faible courbure de la quille en allant vers la marotte permet le maintien constant d'un volume important dans les fonds. Conséquence de la présence du tableau à son extrémité, cette forme très plate de la carène depuis le maître-couple jusqu'à l'avant est tout à fait remarquable et étonnante compte-tenu de nos connaissances actuelles sur les formes de carène des navires romains. Elle permet néanmoins d'écarter complétement les hypothèses qui proposeraient de voir la marotte comme le résultat d'une refonte d'un navire à étrave concave ou convexe : les formes démontrent une construction faite véritablement « à propos » afin de suivre une conception dans laquelle a été prévue la marotte. Malgré cette forme particulière on notera, que dans une configuration de charge, le navire présente une répartition équivalente des volumes entre l'avant et l'arrière, le centre de carène n'étant décalé au maximum que d'une

vingtaine de centimètres sur l'avant. De la même manière on notera que le maître-couple est légèrement décalé sur l'avant de cinquante-trois centimètres. Le profil général des lignes d'eau, assimilable à celui d'une aile d'avion, est assez remarquable. Il est cependant difficile d'y trouver une logique qui puisse modifier notre perception du navire et de sa fonction.

A ce stade il ne nous est pas apparu possible de définir avec précision la hauteur du livet, ni la tonture générale du pont. Dans un premier temps, à l'image de ce qui a été effectué pour les extrémités, c'est tout d'abord par une démarche empirique que l'on a placé une première ligne de livet destinée à être modifiée en fonction de la maquette de vérification et de l'allure des dernières virures de bordé conservées.

La toute première hypothèse du plan de formes donne donc à voir un navire de 13,67 m entre perpendiculaires pour une largeur interne de 4,14 m. La hauteur depuis le bas de quille jusqu'au livet, au niveau du maître-couple, étant de 1,44 m.

4.4. Reconstitution et remise en place des parties conservées :

4.4.1. Charpente Axiale :

Au-delà des dégradations dues à l'usure d'utilisation ou encore aux tarets, la charpente axiale a aussi beaucoup souffert durant la phase de relevage **(Pl. XVI ; Fig. 80 et 81)**. C'est surtout en avant du maître-couple que la quille s'est déformée sous l'action des opérations de fouille et d'étayage, plus particulièrement à partir du couple M22. Dans l'espace de la section n°6, la quille présente même une fracture importante qui empêche d'en connaître l'aspect et la courbure originelle. En conséquence, les sections n°2 et n°4 semblent avoir aussi subi les effets de cette rupture. Sur cette zone de l'avant, la restitution de la courbure générale de la quille a donc nécessité un redressement ainsi qu'un lissage des parties relevées : pour la zone correspondant à la section n°6 nous avons effectué un prolongement de la courbe observable sur la section n°7. Cette opération commande par la suite un relevage sensible (8,50 cm) de la quille dans la zone de la section n°2 afin d'obtenir une courbe plus harmonieuse. Dans sa longueur (12,15 m), la quille présente donc un arc important et homogène donc la flèche peut être évaluée à 38,5 cm. L'évaluation des dimensions de la quille en section s'est avérée plus évidente à évaluer. La quille présente ainsi invariablement une section trapézoïdale qui va en augmentant depuis l'avant vers l'arrière. La largeur restituable est celle mesurée *in-situ* : entre 10 et 14 cm, tandis que l'épaisseur, plus difficile à restituer étant donné la dégradation de la face inférieure, s'établie entre 15 cm vers la poupe et 10 cm vers la proue.

Concernant l'étambot, la pièce présente un taux de dégradation comparable à celui de la quille. Toutefois on peut sans aucune hésitation s'appuyer sur la courbure parfaitement conservée et une section bien préservée par endroit. Le dressement du plan de formes permettant de vérifier la validité de la courbure choisie dans la restitution.

Globalement il est intéressant de relever que la charpente axiale sur cette épave C est particulièrement bien conservée et peut être estimée à au moins 72,7 % de l'ensemble de la charpente axiale initiale **(Fig. 85)**.

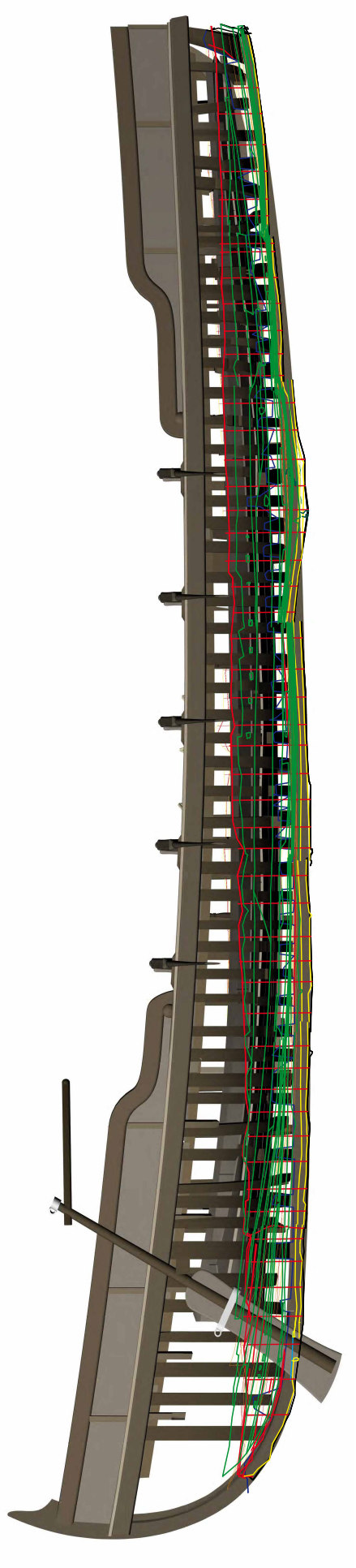


Fig. 85 : Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel de l'hypothèse n°2 de restitution.

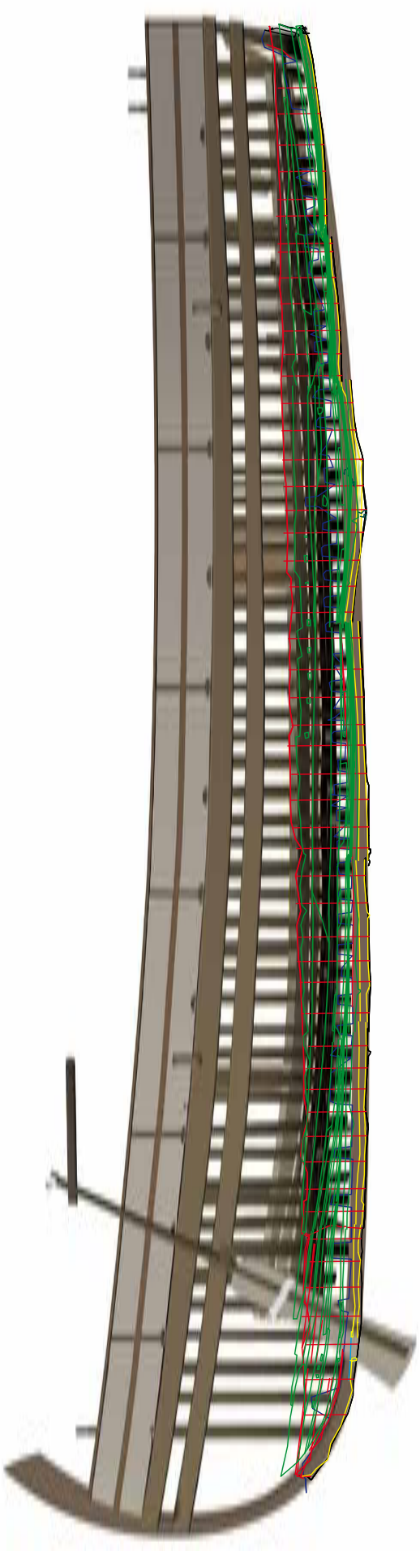


Fig. 86 : Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel de l'hypothèse n°1 de restitution.

4.4.2. Charpente transversale :

La restitution des parties conservées de la charpente transversale n'a pas posé de problèmes particuliers. Soulignons ici que la charpente transversale conservée représente environ 60,23 % de la membrure restituée. Le fait de pouvoir s'appuyer sur un peu plus des trois-cinquièmes des formes de la membrure permet de valider sans trop d'incertitudes le plan des structures transversales dans les fonds ainsi que leur espacement. Il permet aussi de s'assurer, grâce aux nombreux points de vérification, de la validité du plan de formes ainsi que de la restitution des couples détériorés ou disparus.

Comme pour l'épave A, le relevé de la membrure s'avère relativement hétérogène. Conséquence d'une différence importante dans la précision des différents relevés (manuels, à l'aide du théodolite et par scanner à balayage) dont on fait l'objet les couples. Toutefois, pour cette épave, le grand nombre de relevés effectués manuellement, vingt-sept en tout, permet au final de bien interpoler les relevés et d'obtenir un résultat satisfaisant. Néanmoins, localement et notamment aux extrémités préservées des varangues et des allonges, l'absence d'un relevé précis nous a amenés à restituer des coupes nettes et droites qui ne représentent pas fidèlement les arrachements et les dégradations.

L'ensemble des varangues ont pu être ainsi reconstruites à partir d'une partie des vestiges, à l'exception du fourcat M49 ayant disparu au moment de la découverte. Les six réparations distinguées au sein de la membrure n'ont pas tous fait l'objet d'un même traitement : pour la plupart, ceux situés dans la maille, il nous a paru judicieux de les omettre ; seuls ceux situés à la place d'une allonge, sans doute remplacée, ont été restitués (à l'image de la réparation S.O. 47b)

4.4.3. Bordé :

Ici encore, la méthode adoptée pour la restitution du bordé s'appuie sur la maquette et sur le modèle virtuel de vérification des formes. En admettant que le plan de formes correspond avec exactitude aux vestiges, la restitution du bordé ne consistait alors plus qu'à la reproduction de la surface hors-membrure lissée, la création de la surface extérieure (surface dite « hors-bordé ») afin de définir l'emprise totale du bordé restitué et par là la création virure par virures de tous les éléments du bordé conservé

Bénéficiant d'une quantité importante de relevés tridimensionnels concernant les virures conservées, il nous a paru intéressant et nécessaire de replacer directement ces informations dans notre modèle afin d'en vérifier la précision[349]. La cohérence d'ensemble est beaucoup moins frappante que pour *Napoli A*. La principale cause de cet état provient sans aucun doute des déformations produites par le mode de fouille et de relevage adopté. Les différences qui apparaissent entre les relevés sont consécutives aux mouvements de l'épave entre deux phases de relevés. A cela s'ajoute les déformations originelles de l'épave, avant son relevage qui, du fait de leur hétérogénéité et de leur localisation, ne sont pas forcément très évidentes à identifier et quantifier. Une autre déformation du bordé est à souligner : elle touche l'extrémité arrière. A l'image de ce qui a pu être observé sur *Napoli A*, la rupture des clous assujettissant les extrémités de virure à l'étambot ont amené le bordé à se désolidarisé de la râblure provoquant une ouverture des formes **(Fig. 85 et 86)**.

4.4.4. Vaigrage et charpente interne :

Les éléments de vaigrage qui ont été conservés à l'intérieur de l'épave C, ne présentent qu'une partie seulement du vaigrage initial. Seule une partie des vaigres fixes a ainsi été découverte en place : elles ont fait l'objet d'une reconstruction simple, basée sur les relevés en plans manuels et par le théodolite.

Si aucun élément de vaigres mobiles, que l'on pourrait penser équivalentes aux payols découverts sur les épaves A et B, n'a été retrouvé, on compte par contre quatre grandes vaigres fixes placées sur l'axe de quille et dont l'épaisseur est légèrement plus importante que celle des autres vaigres fixes. Le fait que ces éléments soient placés par-dessus les encoches, pratiquées dans le dos des membrures et destinées à accueillir le massif d'emplanture, sans pour autant qu'il n'y ait aucun lien avec celles-ci dénote clairement la postérité de la mise en place de ces vaigres. Ces vaigres ont bien été reconstituées dans notre modèle de travail. Toutefois, ne représentant pas l'état premier du navire, nous ne les représentons pas dans l'hypothèse principale de restitution dans laquelle nous faisons apparaître le massif d'emplanture aujourd'hui disparu. A noter, que ces quatre vaigres centrales présentent des mortaises que l'on peut interpréter comme des logements d'épontilles. Nous verrons, lors de

[349] L'ensemble du bordé conservé représente environ 61,21% du total du bordé restitué pour la première hypothèse de restitution (navire de charge à propulsion essentiellement vélique). Dans le cadre de la seconde hypothèse (navire de service à propulsion mixte) ce pourcentage grimpe à 70,82 %.

la restitution du pont et des parties supérieures, que nous utiliserons tout de même ces données.

L'absence de payols, ne représente pas, selon nous, l'état originel du navire. En nous appuyant sur les éléments des deux épaves adjacentes nous avons donc fait le choix de les représenter dans les intervalles des vaigres fixes. En tout ce sont donc cinq rangs de vaigres fixes qui ont été restitué[350], auxquels s'ajoutent cinq rangs de payols.

La question de l'emprise originelle du vaigrage s'est aussi posée pour l'épave C. Si vers la proue aucun doute n'est possible étant donné que les vaigres conservées s'étendent jusqu'à la face interne de la marotte, vers l'arrière la restitution s'avère plus délicate. Nous avons fait le choix de limiter le vaigrage au couple M50 en correspondance avec l'extrémité conservée de la vaigre Fi 2B.

Malgré l'absence du massif d'emplanture, la présence des encoches triangulaires pratiquées à mi-bois dans le dos des varangues[351], témoignent de façon certaine de la présence première de celui-ci. Nous développerons plus en détail la restitution de l'emplanture dans les parties suivantes.

[350] Soit un de plus que ce qui a été découvert lors de la fouille. Le rang ayant été rajouté correspond au niveau restituable de vaigre entre le premier rang conservé (soit Fi 1T sur tribord et Fi 1B sur bâbord) et l'emplanture présent dans l'hypothèse principale de restitution.

[351] Tout à fait semblable à celles observées sur l'épave attenante Napoli A, qui a par contre conservé totalement son massif d'emplanture.

4.5. Restitution des œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement

4.5.1. Première hypothèse : un navire portuaire de charge à propulsion vélique ?

Nombreux sont les indices qui nous ont permis de produire une première interprétation de cette épave. Ainsi, la taille des vestiges ainsi que la morphologie de la partie conservée de la carène nous ont menés à considérer le déplacement originel du navire comme relativement important. La forme pleine et large des œuvres vives, laissant présager d'un port en lourd non négligeable ainsi que d'une surface mouillée importante, conduisait naturellement à la restitution d'un navire de charge, d'autant que la typologie des éléments d'architectures conservés (forte membrure, vaigrage de protection, emplanture centrale, etc…) correspondait fort bien avec celle généralement constatée sur les navires de commerce d'époque romaine. En outre, pour ce qui concerne le mode de propulsion, la présence d'encoches triangulaires sur le dos des varangues, identiques à celles maintenant en place le massif d'emplanture sur l'épave A, est un indice irréfutable de la présence dans un premier temps d'une carlingue centrale qui vraisemblablement devait aussi remplir le rôle d'emplanture. La voile devant être probablement, dans un premier état du navire, le mode de propulsion principal du navire.

Enfin, en ce qui concerne le sens de déplacement du navire, un faisceau d'indices de diverses natures nous a conduits à considérer que la marotte pouvait être la proue du navire. D'emblée, les vestiges permettent de singulariser une zone de la charpente transversale : une suite unique de cinq varangues entre les couples M18 et M22, sur lesquels ont été pratiquées cinq encoches très nettes pour l'emplanture, révèle une volonté manifeste de renforcement ponctuel de la membrure à cet endroit précis. Situé en avant du maître-couple, décalé quasiment jusqu'au niveau du tiers avant, ce renforcement présente toutes les caractéristiques permettant d'y voir la zone d'implantation du pied de mât sur l'emplanture **(Fig. 68)**. Compte-tenu de son décalage sur l'axe longitudinal, ce renforcement vient accréditer l'hypothèse d'une proue à tableau. Il semble en effet difficilement envisageable qu'un tel décalage vers la marotte du mât et donc du centre vélique, permette de faire route convenablement en présentant à la vague l'extrémité arrondie du navire. Un autre élément vient renforcer de manière sensible cette présomption : les formes du navire nous donnent à voir un navire bien

plus porté sur sa partie arrondie que vers sa marotte[352]. En d'autres termes, si l'on doit considérer la marotte comme la proue de *Napoli C* le navire se retrouverait alors « sur son cul », favorisant alors sa marche et son déplacement dans ce sens. A l'inverse, il est généralement convenu qu'un navire présente une différence de tirant d'eau, le plus important se trouvant sur son arrière afin d'une part de favoriser l'action du gouvernail et d'autre part d'éviter un important déséquilibre de route s'il devait se retrouver « sur le nez »[353].

Ces divers éléments sont en partie renforcés par la représentation de l'*horeia* dans les thermes d'Uadi-ez-Zgàia. Malgré le fait que la position du mât soit fort reculée, il n'en demeure pas moins que le sens de navigation révèle bien la marotte comme la proue.

Au regard de tous ces éléments, l'hypothèse premièrement projetée est donc celle d'un navire de charge d'une taille limitée, propulsée essentiellement par la force de ses voiles. L'espace de navigation envisagé est très limité géographiquement : baie de Naples et ses alentours. D'une part, l'iconographie ne semble représenter que des embarcations pratiquant des activités les laissant à proximité de la côte (petite pêche, remorquage, transbordement). D'autre part la forme de la carène et particulièrement la présence de la marotte ne nous paraît pas être adaptée pour affronter une mer formée et particulièrement la mer courte et casse-bateau typique de la Méditerranée. Enfin on peut envisager des propulsions d'appoint, telles quelques paires d'avirons, posées à même le livet à travers les fargues du pavois, permettant au bateau de se déplacer plus aisément dans les zones où l'évolution sous voile s'avère complexe ou impossible, comme les ports ou les mouillages.

4.5.1.1. Les dimensions générales de l'hypothèse n°1 de restitution :

En comparaison avec la restitution de *Napoli A*, la somme des éléments disponibles pour définir la hauteur des livets pour les deux hypothèses de *Napoli C* s'avère bien maigre. Du point de vue archéologique[354], seules les deux épaves d'*horeia* toulonnaises fournissent un point de référence qui malheureusement est affecté par le défaut d'une publication étendue. Le corpus iconographique, peu fourni nous l'avons vue, s'en trouve pour sa part d'autant plus diminué que seules quelques représentations permettent de produire des rapports de grandeurs

[352] Que l'on peut aussi distinguer comme un navire conçu en différence (Presles, Paulet, 1998, p. 59).
[353] Duhamel du Monceau, 1758, p. 102-107
[354] Parallèlement, l'absence sur les vestiges de Napoli C d'un niveau conservé de préceinte ne nous a pas permis de nous appuyer sur un référent archéologique à même de nous présenter ne serait-ce que des paliers significatifs comme c'est le cas pour Napoli A.

qui soient pertinents. Un trop grand nombre présentant des vues de trois-quarts inexploitables. La définition de la hauteur du livet repose donc sur des bases plus faibles que pour l'épave A.

Dans le cadre de cette première hypothèse, concernant l'hypothèse d'un navire de charge, le recours à une comparaison avec les rapports de proportions des épaves de Toulon ne nous a pas paru être la méthode la plus pertinente. Au-delà d'une différence dimensionnelle considérable avec *Napoli C*, les *horeiae* toulonnaises présentent par ailleurs des morphologies, ainsi que des marottes de petites dimensions, qui les rapprochent fortement de certaines représentations d'*horeiae*[355]. Si l'on ne peut être catégorique sur l'identification de la fonction ainsi que de l'espace de navigation de ces deux embarcations, on peut toutefois raisonnablement avancer que la pêche et le transit, comme annexe, sont leurs activités principales, ce qui les distingue considérablement de notre première hypothèse de restitution. Si nous les écartons dans ce cadre précis, nous aurons cependant recours aux *horeiae* toulonnaises en ce qui concerne la recherche des rapports de dimensions et l'établissement du livet pour la seconde hypothèse.

Nous avons donc dû, pour cette hypothèse, nous reposer entièrement sur l'iconographie pour déterminer une hauteur de livet appropriée pour notre restitution. Outre l'imprécision de cette méthode, et le caractère aléatoire des résultats obtenus, notre cas d'étude rassemble aussi contre lui nombre de désavantages qui fragilise les mises en parallèles et l'apparition d'un résultat[356]. Il s'est avéré que la grande majorité des représentations d'*horeiae* permettant l'établissement correct d'un rapport de proportion entre la longueur hors-tout du navire et sa hauteur depuis le bas de quille jusqu'au niveau pavois, se sont révélées appartenir au groupe tardo-africain de représentations d'*horeiae*, que nous avons mis en évidence précédemment. De fait, compte tenu du lieu de découverte de l'épave ainsi que de sa datation, nous aurions préféré pouvoir établir des rapports de proportions à partir des représentations pompéiennes contemporaines.

C'est donc sur seulement neuf représentations que nous nous sommes basés pour fonder la hauteur du livet de notre restitution. Au sein de celles-ci, trois groupes peuvent-être dégagés : il s'agit d'une part des *horeiae* présentant un tableau strictement vertical ; un second groupe rassemble quant à lui les *horeiae* dont la marotte paraît plus inclinée sur l'avant ; enfin le troisième correspond aux deux représentations d'*horeiae* dont le tableau fait office de

[355] On pense notamment à l'une des *horeiae* de la mosaïque de Thémétra en Tunisie (la barque T5 ; Foucher, 1957, p. 38, fig. 35 T.5)

[356] Ici, comme souvent, la détermination exacte du creux du navire représenté n'est pas évidente, ce qui rend les comparaisons d'autant plus imprécises et aléatoires. A défaut nous avons donc ici procédé par la mesure de la longueur hors-tout et de celle de la hauteur entre le bas de quille et le niveau supérieur du pavois.

poupe durant des phases de remorquage. Ce dernier, dans le contexte de notre première hypothèse de restitution, est pour l'instant, à mettre de côté.

Tab. 18 : Représentations d'*horeiae* à étrave verticale

Document iconographique	Provenance	Datation	Rapport L/h	Référence bibliographique
Mosaïque des thermes de Thémetra (T.5) **(Fig. XLIV)**	Tunisie	IIIème s. ap. J.-C.	4,903	Foucher, 1957, p.38, fig.35
Mosaïque d'Althiburus **(Fig. XLI)**	Tunisie	IIIème s. ap. J.-C.	2,677	Duval, 1949, Fig.19, p.140
Mosaïque du *frigidarium* de la villa Armerina **(Fig. XLVII)**	Piazza Armerina, Sicile	Fin IIIème s. ap. J.-C.	4,377	Pekary, 1999, I-P 10 c, p.206
Mosaïque de la basilique d'Aquilée **(Fig. XLIX)**	Aquilée	IVème s. ap. J.-C.	2,928	Pekary, 1999, I-A 3e, p.150
Moyenne			**3,72**	

Tab. 19 : Représentations d'*horeiae* à étrave inclinée

Document iconographique	Provenance	Datation	Rapport L/h	Référence bibliographique
Mosaïque des thermes de Thémétra (T.4) **(Fig. XLV)**	Tunisie	IIIème s. ap. J.-C.	7,127	Foucher, 1957, p.38, fig.34
Mosaïque de Uadi-ez-Zgàia **(Fig. L)**	Lybie	IIIème s. ap. J.-C.	7,125	Pekary, 1999, Libya – 21, p.318
Mosaïque de Sousse **(Fig. XLVI)**	Musée de Sousse, Tunisie	IIIème s. ap. J.-C.	6,764	Basch 1987, fig. 1066, p.473
Moyenne			**7,01**	

Tab. 20 : Représentations d'*horeiae* présentant leur tableau à la poupe (avec pelle-gouvernail axiale) :

Document iconographique	Provenance	Datation	Rapport L/h	Référence bibliographique
Tombe n°78 de l'Isola Sacra **(Fig. XXXIX)**	Ostie	IIIème s. ap. J.-C.	5,61	Gentili, 1979, p.54-55, fig.10
Mosaïque de Rimini **(Fig. XL)**	Rimini	117 et 138 ap. J.-C.	6,61	Casson, 1965, pl.1, p.32
Moyenne			**6,11**	

Si l'on s'en tient donc simplement aux deux premiers groupes, on remarque une nette différence dans les rapports de proportions mesurés. La façon relativement verticale dont est installée la marotte sur *Napoli C* nous amène *a priori* à favoriser le premier groupe de représentations. Cependant le rapport de proportion moyen mesuré (3,72) entrainerait la restitution d'une hauteur au maître-couple, entre le bas de quille et le pavois, de 3,71 m, ce qui nous paraît être une valeur largement disproportionnée et irréaliste.

L'usage du rapport de proportion moyen mesuré pour le second groupe génère la restitution d'une hauteur de pavois, et donc de livet, bien plus cohérente de 1,97 m. Toutefois, on se doit de souligner que la chronologie et la répartition géographique de ces représentations se révèlent assez éloignées de celles de notre épave, ce qui ne permet pas de les considérer comme des sujets de comparaisons tout à fait pertinents. Nous n'avons pas ici, *a priori,* une cohérence suffisante entre l'objet archéologique et le sujet iconographique, et

l'on serait en droit de contester la suite du processus de restitution compte-tenu de cette approximation originelle.

Cependant, la qualité de la représentation de l'*horeia* (T5) du frigidarium des thermes de Thémétra et le fait que le navire soit bien ici représenté de profil, nous ont conduit à considérer le rapport de proportion mesuré à partir de cette représentation comme la base la plus raisonnable pour développer notre restitution, à défaut de pouvoir se fonder sur des représentations plus pertinentes. A partir de ce premier postulat, il nous était aussi possible de poser un parallèle avec l'h*oreia* figurant sur la mosaïque de Uadi-ez-Zgàia qui est la seule à voir une voilure associée à ce type d'embarcation.

En se basant donc sur le rapport de proportions de (3,72) issu du second groupe nous proposons dans cette première hypothèse la restitution d'un pavois dont la limite supérieure est située, au niveau du maître-couple, à 1,97 m au-dessus du niveau du bas de quille. En conséquence, le niveau du livet peut être replacé pour restituer un creux de 1,11 m au maître-couple **(Pl. XVIII)**. D'autre part, compte-tenu du niveau de conservation des vestiges il faut alors envisager la reconstitution de la dixième virure, partiellement conservée, ainsi que la restitution de cinq nouveaux niveaux de virure, d'une largeur moyenne de 17 cm proche de celle mesurée sur les virures conservées. Le niveau général du livet ne pouvant être défini avec précision autre part qu'au maître-couple, nous avons restitué son profil longitudinal en nous basant sur la morphologie des dernières virures conservées. Sa courbure et le développement des virures restituées ayant été vérifié grâce à la fabrication de la maquette « carton » **(Pl. XX).**

Tab. 21 : Résumé des dimensions de la première hypothèse de restitution

	Longueur HT	Longueur entre perpendiculaires	Largeur Int. MC	Creux au MC	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Hauteur BQP[357]	Rapport l/h BQP	Rapport L/h BQP
Hypothèse n°1	13,83	13,70	4,02	1,11	3,44	3,62	12,45	1,95	2,09	7,09

La définition précise de la ligne de livet sur l'ensemble de la longueur du navire nous permet désormais de traiter de la restitution des œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement, en faisant la description sommaire du processus ayant mené à leur reconstitution.

[357] BQP : bas de quille-pavois

4.5.1.2. Charpente axiale :

La restitution des parties disparues du tableau et de l'étambot s'est faite en s'appuyant sur le plan de formes, un fois celui-ci dument vérifié. Les profils ont été déduits de façon empirique par rapport au niveau du livet et de la hauteur de pavois restitués. A partir de ces points de référence nous avons légèrement surélevé nos élancements afin de nous rapprocher de l'allure observée sur les divers exemples iconographiques **(Fig. 85)**.

Concernant l'étambot, nous avons déjà souligné la presque parfaite rotondité du massif. Sans que cela soit très étonnant, cette forme correspond bien à ce que l'on peut observer sur les mosaïques et les peintures représentant des *horeiae*. On notera particulièrement les profils très courbes et très semblables de l'*horeia* pompéienne sur laquelle figure deux pygmées transportant une cargaison d'amphores[358], ainsi que de celle des termes d'Uadi-ez-Zgàia[359]. Pour cette dernière, l'étambot se termine par une tête d'oiseau que l'on interprètera, malgré l'incongruité de la représentation, comme le traditionnel col de cygne apotropaïque. Nous avons fait le choix de ne pas représenter ce détail esthétique dans notre restitution. Pour autant il est intéressant de noter que c'est traditionnellement dans l'iconographie un attribut des navires d'une certaine taille[360].

En ce qui concerne la râblure, tout comme pour *Napoli A*, nous avons fait le choix de prolonger celle-ci au-delà du livet et ce sur une hauteur correspondant à celle du pavois qui pouvait du coup venir s'y insérer à l'image du bordé[361]. On aurait toutefois pu s'abstenir et imaginer le cloutage simple des aboutissements des virures de pavois sur les massifs d'étrave et d'étambot.

4.5.1.3. Charpente transversale :

L'ensemble des couples a été prolongé afin d'atteindre la hauteur du livet. Il en va de même pour la marotte. Outre le couple M49, un fourcat, le M52, situé lui aussi sur l'extrémité arrière a été entièrement reconstitué. Toutefois sa présence n'est pas certifiée compte-tenu de l'absence de marquage sur les vestiges attestant de sa présence originelle.

[358] Pekary, 1999, I-N 21, p. 176
[359] Pekary, 1999, Libya-20, p. 318
[360] Cependant, comme nous le soulignons précédemment, la présence non loin de l'épave d'une petite barque découverte à Herculanum d'un élément décoratif de la charpente axiale que l'on peut interpréter comme un col de cygne vient atténuer cette affirmation.
[361] L'assemblage de la première virure de pavois avec la préceinte haute sur l'épave 2 des Laurons (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 85) renforce cette idée d'une râblure qui accueillerait le pavois tout comme pour le bordé et les préceintes.

L'implantation des jambettes est demeurée une question difficile à résoudre. Faute de pouvoir nous appuyer sur d'autres éléments nous avons, au final, pris le parti encore une fois de prolonger une allonge de couple sur deux en se référant à l'alternance déjà observée sur l'épave *Laurons 2*[362] **(Fig. 30)** et sur celle de *County Hall*[363]. Nous reviendrons plus en détail sur la restitution de ces éléments dans la partie consacrée à la restitution des éléments de pavois. Notons cependant que cette alternance se rapproche aussi d'un modèle encore en vigueur très récemment dans la charpenterie navale traditionnelle[364].

4.5.1.4. Bordé et préceintes :

Dans le cadre de cette première hypothèse nous ne traiterons que d'une seule configuration en ce qui concerne la hauteur de restitution du niveau de livet de pont et pour laquelle nous avons donc restitué deux hauteurs de préceintes amenant la hauteur sous-barrot à 1,11 m au niveau du maître-couple M26[365].

Partant des vestiges conservés du bordé sur sa partie tribord, il était possible de restituer sur toute la longueur de la carène la onzième virure encore formée partiellement par les bordés T26b et T27b[366]. Directement au-dessus de celle-ci, vient prendre place la première préceinte qui constitue de ce fait la douzième virure. Un simple bordé fait la liaison entre les deux préceintes dont les largeurs et les épaisseurs sont plus importantes que celles des autres parties du bordé (12 cm environ contre un peu moins de 10 cm pour les autres virures). Le lissage général des préceintes, à partir du maître-couple, nous permet d'obtenir le niveau du livet sur toute la longueur, définissant de ce fait la tonture globale du pont[367].

4.5.1.5. Structures du pont :

Le travail de restitution des superstructures pour l'épave *Napoli C* a rencontré les mêmes difficultés que celles présentées pour l'épave A : carence d'éléments iconographiques pertinents et corpus archéologique très limité[368].

---

[362] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 75-105
[363] P. Marsden, 1974, p. 59, fig. 4, et p. 61, fig. 6.
[364] Par exemple, sur les dundees et sloops langoustiers de Camaret (Cadoret, 1987, Tome 2, p. 60-63), ou encore sur les barques catalanes ou les jambettes peuvent se placer chaque deux ou trois couples (AAMM, 2000) ; voir aussi le navire à quille longue « type » de H. Dervin (Dervin, 1990, p. 191).
[365] Il s'agit de celle déterminée à partir de trois représentations iconographiques dont le rapport moyen entre la longueur hors-tout et la hauteur (entre le haut du pavois et le bas de quille) s'établit en moyenne autour de 7,01,
[366] A noter que cette onzième virure se termine en joint perdu vers le tableau et s'achève aux environs du couple M4.
[367] Tonture très légère, dont la flèche à peu près équivalente au 1/40ème de la longueur au pont.
[368] Voir *supra*. Chapitre consacré à la restitution de *Napoli A*

Malgré les apparentes disparités de formes existantes entre l'épave *Napoli C* et la plupart des épaves romaines qui nous sont connues, nous avons fait le choix de restituer dans cette première hypothèse une implantation générale du pont correspondant à ce qui a pu être observé sur l'épave *Laurons 2*[369] . Il s'agit donc d'un pont couvrant la majeure partie du navire, notamment aux extrémités et laissant place, en son centre, à une écoutille de grandes dimensions (6,80 m de longueur sur 3 m de largeur) dont les bords sont parcourus par deux passe-avants présentant une largeur moyenne de 56 cm **(Pl. XX)**. La taille de l'écoutille peut éventuellement prêter à interrogation : la présence d'une très grande ouverture sur le pont n'est pas la disposition la plus courante sur les navires de charge. Toutefois on retrouve sans mal, dans différents milieux maritimes et pour différentes époques des dispositions comparables[370]. Dans l'espace maritime méditerranéen, pour des périodes plus récentes, on pense en particulier à certaines tartanes ligures ou encore aux *Bracere* de l'Adriatique. Au centre de la grande écoutille, l'espace laissé libre étant d'importance, nous avons fait le choix de restituer deux barrots transversaux qui divisent l'ouverture en trois parties et qui viennent s'appuyer directement sur la préceinte[371].

Parallèlement, il s'avérait essentiel d'exploiter le peu d'indices archéologiques positifs provenant de l'épave et pouvant éventuellement nous renseigner sur l'implantation du pont. Ainsi, comme pour *Napoli A*, nous avons jugé que les mortaises découvertes dans les vaigres Fi2, Fi3 et Fi4 traduisaient sans nul doute la présence originelle d'épontilles dont l'emplacement correspondrait avec ceux de certains barrots de pont. Les mortaises situées au niveau des couples M38 et M10 définissant ainsi la position des deux épontilles situées aux extrémités de l'écoutille de chargement.

Au final, il nous a paru ici encore adéquat de restituer un barrot de pont tous les trois couples environ. Une telle disposition correspondait au schéma moyen observé sur l'épave n°2 de l'anse des Laurons[372]. Au total ce sont donc onze barrots de ponts que nous avons restitués ainsi que quatorze barrotins (soit sept repartis de part et d'autre de la grande écoutille). Nous supposons que l'ensemble de ces barrots pouvait être assemblé par des queues d'aronde à la préceinte haute à l'image de ce qui a pu être observé sur le navire des

[369] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78, fig. 12, fig. 17c et fig. 21

[370] Notons aussi que les barrots transversaux reposant sur le rang supérieur des vaigres, découverts sur l'épave de Kyrenia ont conduit à la restitution de deux zones pontées sur l'avant et sur l'arrière laissant ainsi la zone de chargement complétement découverte.

[371] En conséquence ces barrots sont assemblés à mi-bois avec les deux hiloires longitudinaux et s'assemblent à queue d'aronde dans les préceintes.

[372] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78 et p. 98 : la maille moyenne étant de 20 à 22 cm et l'espace entre chaque barrot, ou entre chaque barrotin, étant d'environ 50 à 60 cm, on peut considérer qu'il y ait un barrot tous les trois couples. Notons aussi que cette disposition correspond aussi à celle observée sur l'épave n°2 de Nemi (Ucelli, 1950, fig .184, p. 172).

Laurons[373]. Toutefois, comme précédemment souligné dans le processus de restitution de *Napoli A*, on ne peut exclure d'autres formes d'assemblage **(Pl. XXI)**.

Concernant les dimensions et la forme des barrots, c'est encore une fois essentiellement sur les vestiges découverts aux Laurons que nous nous sommes basés[374] : on notera qu'en section le tour du barrot a été restitué plus haut que large (12cm de haut pour 7cm de large). La courbure transversale des barrots, soit le bouge du pont, permet quant à lui de gérer les efforts en flexion résultant des forces appliquées verticalement sur le pont[375]. Déterminer avec précision l'importance du bouge s'est avéré particulièrement complexe.

Sur ce point nous avons pris le parti de nous éloigner des données observées sur l'épave des Laurons en restituant, au maître-couple, un bouge moins important (12 cm) correspondant au 1/32ème de la longueur du barrot (la longueur du barrot au maître-couple étant de 4,02 m). L'angle formé par le bordé étant alors de 6,5° par rapport à l'horizontale. Notons que le gabarit du barrot au maître-couple est le même qui a été utilisé sur l'ensemble des barrots. Seule la largeur des pièces ayant été modifiée en fonction du renfermement de la carène. Dans le sens longitudinal, la restitution au maître-couple de quatre niveaux de préceinte et le brochetage aux extrémités qui en découle, nous a permis d'établir la tonture du pont. Notons que cette tonture présente une flèche de 33,5 cm, ce qui représente à peu près 1/40 de la longueur totale du pont, proportion bien différente de celle observée sur le navire des Laurons (1/25) et de celle restitué sur *Napoli A*.

Le bordé de pont est composé de virures assemblées par un jeu de clefs et de mortaises et devait reposer sur l'ensemble des barrots et des barrotins. Si l'on s'en réfère toujours à l'épave 2 de l'anse des Laurons[376], les virures composant le pont étaient assemblées à franc-bord et présentaient un arc de courbure inverse de celle du bordé avec, peut-être, comme objectif d'empêcher un vrillage longitudinal trop important[377] **(Pl. XX)**.

Une seule grande ouverture est laissée dans le pont. Il s'agit de la grande écoutille dont les contours longitudinaux sont parcourus par des élongis destinés à la renforcer[378]. Les bords avant et arrière de l'écoutille sont formés en partie par deux surbaux, ou sur-barrots, de grande

[373] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78 et fig. 9
[374] Soulignons que les vestiges de l'épave tardive de *Santa Sabina 1*, découverts non loin de Brindisi sur la côte des Pouilles en Italie, présentent de très fortes similitudes avec les structures observées sur l'épave des Laurons II. Des éléments qui semblent pouvoir être interprétés comme des barrots et des surbaux de pont ont été observés et présentent, visuellement, une courbure et un tour similaires à ceux trouvés aux Laurons (communication personnelle de Maurizio di Bartolo).
[375] On peut penser ici particulièrement au poids d'un chargement en ponté : cargaison, équipages, armement, etc…
[376] A noter une particularité sur cet assemblage : l'absence de chevilles de blocages pour les clefs. Si il en est ainsi sur le navire des Laurons, on ne peut toutefois exclure que dans certains cas les clefs aient pu être chevillées.
[377] Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78
[378] Tel celui retrouvé sur l'épave des Laurons sur lequel venait s'appuyer l'hiloire de la grande écoutille (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, fig. 12).

dimension (17 cm x 9 cm), qui suivent le contour formé par le bordé de pont et qui s'assemblent à mi-bois avec la lisse de pavois, et peut-être aussi avec la préceinte haute.

4.5.1.6. Structure du pavois :

Le pavois restitué est ici exactement semblable à celui de l'épave A, déduit essentiellement des vestiges découverts sur l'épave *Laurons 2*. Nous ne détaillerons pas ici son implantation et vous invitons à vous référer à la partie traitant du pavois dans la restitution de *Napoli A*.

4.5.1.7. Structure du gréement :

Comme nous l'avons souligné précédemment, la présence sur le dos de dix-neuf varangues d'encoches triangulaires semblables à celles découvertes sur l'épave A permettent d'affirmer la présence originelle d'une carlingue longitudinale. La présence sur l'axe de quille d'une série de vaigres fixes centrales, témoignant d'une transformation de la structure durant la période même d'utilisation du navire. Si l'on s'en tient à l'interprétation d'une carlingue faisant office d'emplanture, la substitution du massif par les vaigres marquerait alors aussi un changement radical dans le mode de propulsion du navire : l'usage de la voile dans les déplacements étant alors secondaire ou plutôt complétement abandonné.

Par ailleurs, l'absence du massif d'emplanture a engendré une série de questionnements sur la restitution qui devait en être faite. En se tenant aux observations effectuées sur l'épave A, il est apparu que la largeur du massif ne pouvait vraisemblablement pas excéder la largeur définie par les entailles pratiquées sur le dos des varangues et que la disposition de celles-ci nous permettait de retrouver l'emprise totale de la carlingue. En conséquence, l'emplanture ne présente pas un profil rectangle régulier étant donné la disparité dans la disposition et les dimensions des encoches. S'étendant longitudinalement entre les couples M10 sur l'avant et M40 sur l'arrière, le massif s'avère ainsi plus large dans sa partie centrale (entre les couples M18 et M26) et va en s'affinant vers les deux extrémités[379]. L'épaisseur donnée qui nous échappe complétement, est restituée d'après le massif découvert sur l'épave A.

[379] On notera que cette forme restituée correspond à ce qui a été observé sur l'épave de *Pisa C* (Camili, 2002, p. 11) : la carlingue-emplanture s'avère plus large en son centre au niveau de la mortaise de pied de mât, tandis que ses extrémités s'affinent considérablement.

Le reste de l'implantation du gréement, et des structures qui lui sont reliées comme l'étambrai, a été déterminé en suivant peu ou prou les mêmes raisonnement que ceux utilisés pour la restitution de *Napoli A*. Il a cependant fallu composer ici avec l'extrême pauvreté du corpus iconographique se limitant aux deux occurrences précédemment citées dont l'apport final se révèle bien minime[380]. L'identification formelle d'une *horeia* sur ces deux représentations est rendue difficile par la qualité de la représentation et par la technique utilisée. Si l'on peut convenir dans les deux cas qu'il s'agit bien d'un gréement à voile carrée aucune autre déduction ne nous semble pouvoir être établie de façon définitive.

La position supposée de la mortaise devant accueillir le pied du mât au niveau des varangues M18 et M22 ainsi que la restitution d'un barrot transversal au droit du couple M 19 permet de restituer un ensemble d'étambrai correspondant à celui restitué sur *Napoli A* et qui semble être le plus commun dans l'espace méditerranéen durant la période romaine. Le reste du gréement est aussi à l'image de l'étambrai, restitué conformément à ce que l'on peut observer majoritairement sur l'iconographie et qui est détaillé précédemment pour l'épave A. Avant les analyses hydrostatiques, sur la stabilité transversale et sur la surface mouillée, le travail de comparaison iconographique nous amène donc à restituer un mât d'environ 13,80 m de haut depuis le bas de quille, ainsi qu'une vergue de 10,20 m[381].

4.5.1.8. Système de gouverne :

Dans le cadre de cette première hypothèse de restitution, soit celle d'un navire portuaire de charge à propulsion vélique, la restitution pour l'appareil de gouverne nous amène naturellement à privilégier la possibilité de l'usage de gouvernails latéraux. C'est d'ailleurs exclusivement ce mode de direction que l'on peut apercevoir sur les différentes représentations d'*horeiae* qui nous sont parvenues à l'exception du relief trouvé à Isola Sacra représentant une scène de remorquage et de la mosaïque de Rimini. La restitution du système de gouverne s'est donc basée sur les mêmes hypothèses que celles présentées pour *Napoli A* : un long barrot transversal encastré au niveau de la préceinte basse, qui déborde de part et d'autre de la coque afin de proposer un appui aux deux mèches des gouvernails.

[380] La mosaïque découverte dans les thermes de Uadi-ez-Zgàia ainsi que la mosaïque en *opus sectile* découverte dans la zone est du port de Corinthe datée au IV s. ap. J.-C.
[381] Pour l'étude de comparaison iconographie sur la hauteur des mâts, se reporter au paragraphe *Mature et gréement* du chapitre consacré à la restitution de l'épave *Napoli A*.

4.5.2. Seconde hypothèse : un navire de batellerie portuaire polyvalent à propulsion mixte?

La question de la production d'une hypothèse de restitution différente pour l'épave *Napoli C*, s'est posée très tôt durant le travail de recherche : comme nous l'avons souligné, les ambiguïtés inhérentes aux vestiges ajoutées à celles apparues lors des recherches iconographiques ne permettaient pas de nous limiter à la seule restitution d'un navire de charge. L'un des principaux arguments venant à l'encontre de cette première hypothèse repose sur l'identification du mode de propulsion.

Il ressort indéniablement de l'iconographie que l'usage des rames était courant sur les *horeiae*. Pourtant, l'hypothèse premièrement proposée ne nous semble pas adaptée ni adaptable à une navigation établie à la rame[382]. Par ailleurs, la substitution de la carlingue-emplanture par un système de vaigres fixes, inadaptées à la mise en place d'un gréement, nous a paru être le témoignage de l'abandon de la propulsion vélique au profit d'un autre mode de propulsion, la rame se posant de fait comme l'hypothèse la plus vraisemblable. On ne peut cependant pas écarter l'hypothèse d'un abandon de la propulsion autonome au profit du remorquage par une autre embarcation comme on peut l'observer sur la peinture pompéienne figurant une *horeia* chargée d'amphores et qui paraît tractée par un autre bateau non figuré sur la représentation[383].

L'ensemble de ces données nous ont donc amenés à projeter un navire doté initialement d'une propulsion mixte associant une voile carrée à un ensemble d'avirons pouvant permettre au navire d'assurer différentes taches dans un espace portuaire restreint. Parmi les fonctions possibles on pense donc au remorquage, tel que présenté sur l'iconographie, mais aussi au transbordement de cargaison ou de personnes.

La production d'une hypothèse qui puisse mettre en correspondance les vestiges de notre épave avec les parallèles archéologiques connus, ainsi qu'avec les éléments déduits de l'étude iconographique, s'est pourtant révélée relativement malaisée :

En premier lieu, poser l'hypothèse d'une propulsion à la rame, même secondaire, rentre en contradiction avec certaines particularités architecturales et morphologiques constatées sur les vestiges. Ainsi la grande largeur (rappelons que le rapport de proportion L/l

[382] Hormis lors de certaines manœuvres particulières au port ou au mouillage comme précisé précédemment. Ceci ne nécessitant pas d'aménagements trop conséquents, ni un besoin d'efficacité avancé.
[383] Voir la fresque pompéienne, **(Fig. XXXII)**, sur laquelle on aperçoit deux Pygmées conduisant *horeia* qui semble remorquée (Carcani, 1757, vol.5, pl.67).

est de 3,45 environ), l'importante surface mouillée, les grands volumes immergés ainsi que les forts modules de bois utilisés sont autant d'éléments qui paraissent incompatibles avec un déplacement à la rame.

On conviendra que dans le cadre d'une navigation commerciale, limitée géographiquement, le souci de la vitesse s'avère secondaire et que si la forme et le poids du navire ne permettent pas d'espérer des vitesses conséquentes, la rame n'en demeure pas moins, peut-être, un moyen de déplacement suffisamment efficace pour permettre à cette embarcation d'assurer pleinement sa fonction[384]. La seconde difficulté provient de l'absence de tout marqueur permettant de reconnaitre dans la charpente interne la présence initiale de bancs de nage ou d'appui ayant pu servir aux rameurs. Aucun cale-pieds n'a ainsi été retrouvé et la charpente du navire n'a pas été conservée suffisamment en élévation afin de mettre en évidence des aménagements destinés à accueillir ces éventuels bancs de nage.

Toutefois, un tel vide nous a paru exploitable du point de vue de la restitution en élévation du navire : en règle générale, la distance entre le banc de nage et les cale-pieds destinés aux rameurs doit conserver une certaine hauteur, aux alentours d'une cinquantaine centimètres, afin de préserver toute son efficacité[385]. Ici, sur toute l'élévation de vestiges conservés (96 cm au maximum), on ne trouve aucune trace d'encastrement des éléments de calage transversaux tel que ceux généralement présents sur une embarcation se mouvant à la rame. Si ceux-ci s'étaient trouvés plus haut que le niveau de conservation des vestiges, les éventuels bancs de nage auraient alors dû se situer plus haut que le niveau du livet restitué dans la première hypothèse. Compte-tenu du déplacement ainsi que de la hauteur de franc-bord présentée dans notre première hypothèse de restitution, il apparaît fort peu probable, qu'un déplacement à la rame s'effectue avec un navire plus lourd et plus haut sur l'eau. Cela nous a menés à privilégier la restitution d'une hauteur de livet plus basse pour cette seconde restitution. En effet, il nous a semblé que seule pouvait s'effectuer la restitution d'un banc de nage permettant l'appui des rameurs directement sur le vaigrage. Ce qui correspondait à l'établissement du livet au niveau de la première préceinte.

[384] En lège, compte-tenu du déplacement d'environ 6,8 t.m, on peut estimer que chaque rameur (ou chaque rame) devait assurer le déplacement de 682 Kg.

[385] L'appréciation de l'efficience du système de rame restitué ici est assez complexe. Il nous est, en effet, impossible de déterminer exactement le mode de nage pratiqué sur une telle embarcation. L'absence probable de cale-pied nous a amené à restituer une hauteur de 55 cm, ce qui nous a semblé correspondre à un positionnement raisonnable pour le calage du rameur directement sur le vaigrage et qui permettait, par ailleurs, de faire correspondre la position en hauteur du banc de nage avec celle de la première préceinte. Par ailleurs, on peut noter que cette hauteur se rapproche fortement de celle observée sur des galères plus tardives, comme les 53 cm d'une galère ordinaire de la fin du XVIIème s. (Bondioli, Burlet, Zysberg, 1995, p. 194).

4.5.2.1. Les dimensions générales de l'hypothèse n°2 de restitution :

La recherche d'une hauteur de livet convenable pour cette seconde hypothèse fait face aux mêmes inconvénients et aux mêmes incertitudes que pour l'hypothèse n°1. On constate cependant que les points de comparaison avec certains documents, tels que les exemples archéologiques toulonnais, sont plus nombreux et plus adaptés que ceux dont nous avons fait usage dans le dressement de l'hypothèse d'un navire uniquement dédié au transport de charges.

Au sein de notre corpus iconographique, ce sont plus particulièrement les deux représentations de Rimini et de l'Isola Sacra qui vont nous intéresser, entendu que ce sont là deux bases fondatrices de notre raisonnement pour cette seconde hypothèse. Du point de vue des rapports de dimensions, les deux *horeiae* présentent des rapports entre le haut du pavois et le bas de quille de 5,61 et 6,61.

Tab. 22 : Représentations d'*horeiae* présentant leur tableau à la proue (pelle-gouvernail axiale)

Document iconographique	Provenance	Datation	Rapport L/h	Référence bibliographique
Tombe n°78 de l'Isola Sacra	Ostie	IIIème s. ap. J.-C.	5,61	Gentili, 1979, p.54-55, fig.10
Mosaïque de Rimini	Rimini	117 et 138 ap. J.-C.	6,61	Casson, 1965, pl.1, p.32
Moyenne			**6,11**	

Afin de se rapprocher des rapports de proportions observés sur ces représentations, il nous faudrait produire une restitution pour la hauteur entre le haut du pavois et le bas de quille proche de 2,26 m, soit près de 0,3 m plus haut que dans notre première hypothèse. Or, nous avons vu que certaines caractéristiques de notre épave ainsi que l'hypothèse de propulsion mixte ne permettent pas raisonnablement de projeter la restitution d'une carène avec un livet trop haut[386].

L'utilisation de l'iconographie nous semblant encore ici difficile et limitée, la comparaison archéologique avec les *horeiae* toulonnaises nous a paru être l'axe de recherche le plus valable pour l'approximation du niveau du livet. Les différences dimensionnelles ainsi que la variété de fonction entre ces deux *horeiae* et la seconde hypothèse de restitution que

[386] Il nous semble qu'une telle restitution produirait un navire dont les caractéristiques ne lui permettraient ni de se déplacer efficacement à la rame, ni de prendre en charge une quantité significative de marchandises. Il s'agirait d'une solution technique exigeante, devant embrasser un large spectre d'utilisations, ce qui exige une adaptation à différents programmes de navigation, ce qui paraît généralement difficile à obtenir sur un seul et unique projet de navire.

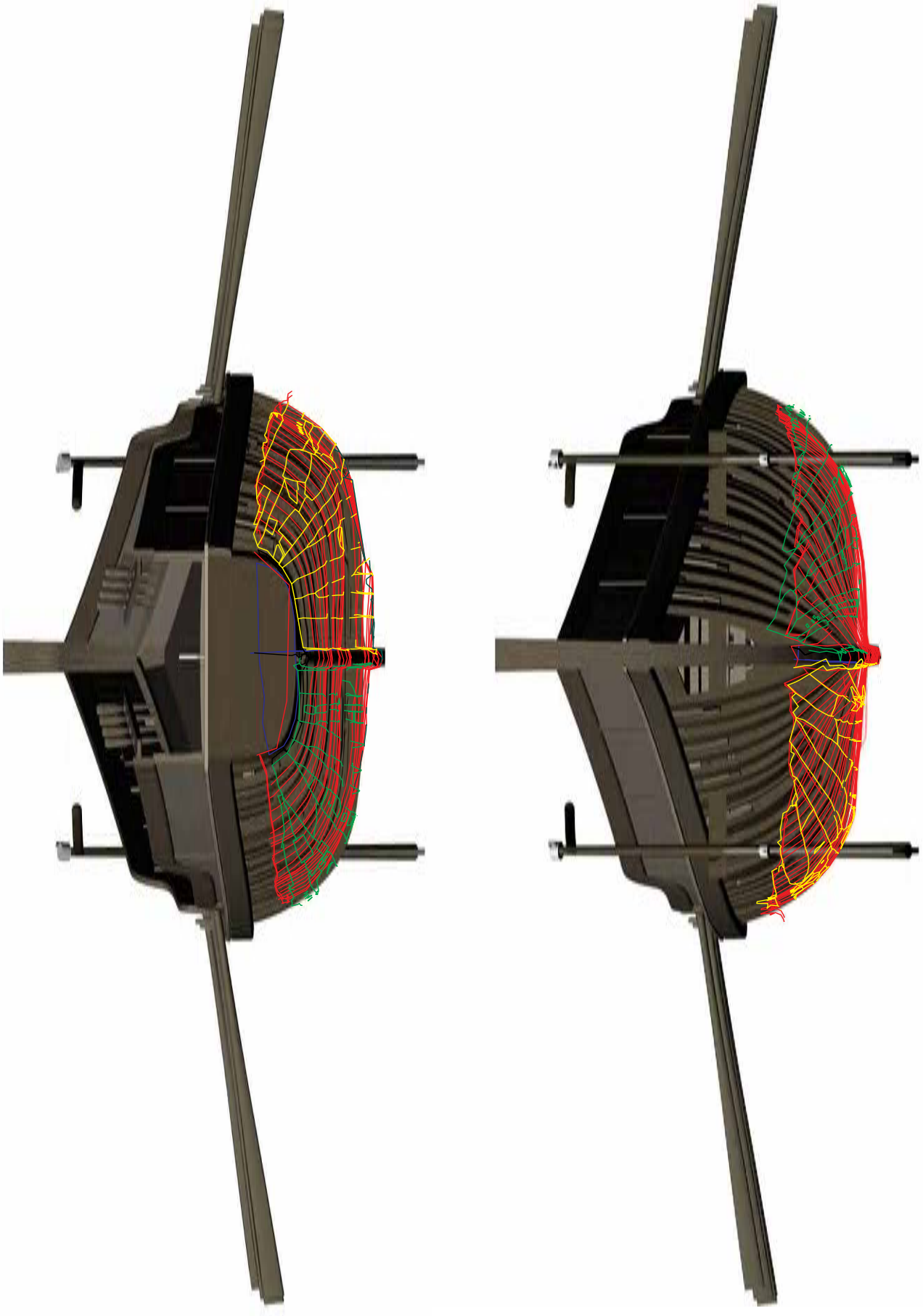


Fig. 87 : Représentation des relevés de terrain remis à niveau sur le modèle tridimensionnel de l'hypothèse n°2.

nous proposons de *Napoli C*, ne permettent certes pas de relier parfaitement ces trois embarcations au sein d'une même typologie[387]. A défaut d'autres éléments, il nous a semblé que la propulsion à la rame que ces trois navires ont pu éventuellement partager, permettait de justifier *a minima* d'une comparaison entre leur rapports de dimensions. Concernant cette mesure des rapports de proportions des deux *horeiae* toulonnaises, nous avons profité de l'étude menée actuellement par Giulia Boetto sur les bois conservés de cette épave, afin de produire de nouveaux rapports de dimensions à partir du remontage de la charpente axiale et de la charpente transversale **(Fig. 96)**. C'est particulièrement sur l'épave 2 que nous nous sommes concentrés étant donné que celle-ci, longue de 6,30 m et large de 2,25 m[388], s'avère particulièrement bien conservée puisque le plat-bord a pu être distingué sur une majeure partie de l'épave, témoignant d'une préservation exceptionnelle de ses formes et de ses élancements. A partir du relevé et du remontage du maître-couple, identifiable aux alentours du couple M99, ainsi que de la charpente axiale, qui comprend trois éléments, il nous a été permis d'effectuer les mesures nécessaires à l'établissement des rapports de proportions de comparaison. Les dimensions mesurées sont les suivantes :

Tab. 23 : Dimensions et proportions de l'épave *Toulon 2*

	Longueur HT	Longueur entre perpendiculaires	Largeur MC	Creux au MC	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Hauteur BQP[389]	Rapport l/h BQP	Rapport L/h BQP
Toulon 2	6,25	/	1,97	0,43	3,17	4,58	14,53	0,54	3,65	11,57

La transposition de ces rapports de proportions et en particulier du rapport entre la longueur hors-tout et la hauteur sous barrot, permet d'esquisser un niveau de creux plus bas que celui de la première hypothèse de restitution, ce qui pourrait donc convenir plus convenablement à la restitution d'un navire à propulsion mixte. Le creux au maître-couple est alors de 0,95 m **(Fig. 88)**.

[387] On rajoutera que les connaissances aujourd'hui récoltées sur l'*horeia* d'Isola Sacra viennent renforcer le caractère très hétérogène de cette catégorie globale des *horeiae*. Si de nombreux parallèles constructifs et fonctionnels peuvent être tracés entre *Toulon 1* et *Toulon 2*, il n'en demeure pas moins que celles-ci n'ont en commun au final, tant avec *Napoli C* qu'avec *Isola Sacra 1*, que la présence d'une marotte à l'une de ses extrémités.
[388] Brun, 1999, p. 798-802
[389] BQP : bas de quille-pavois

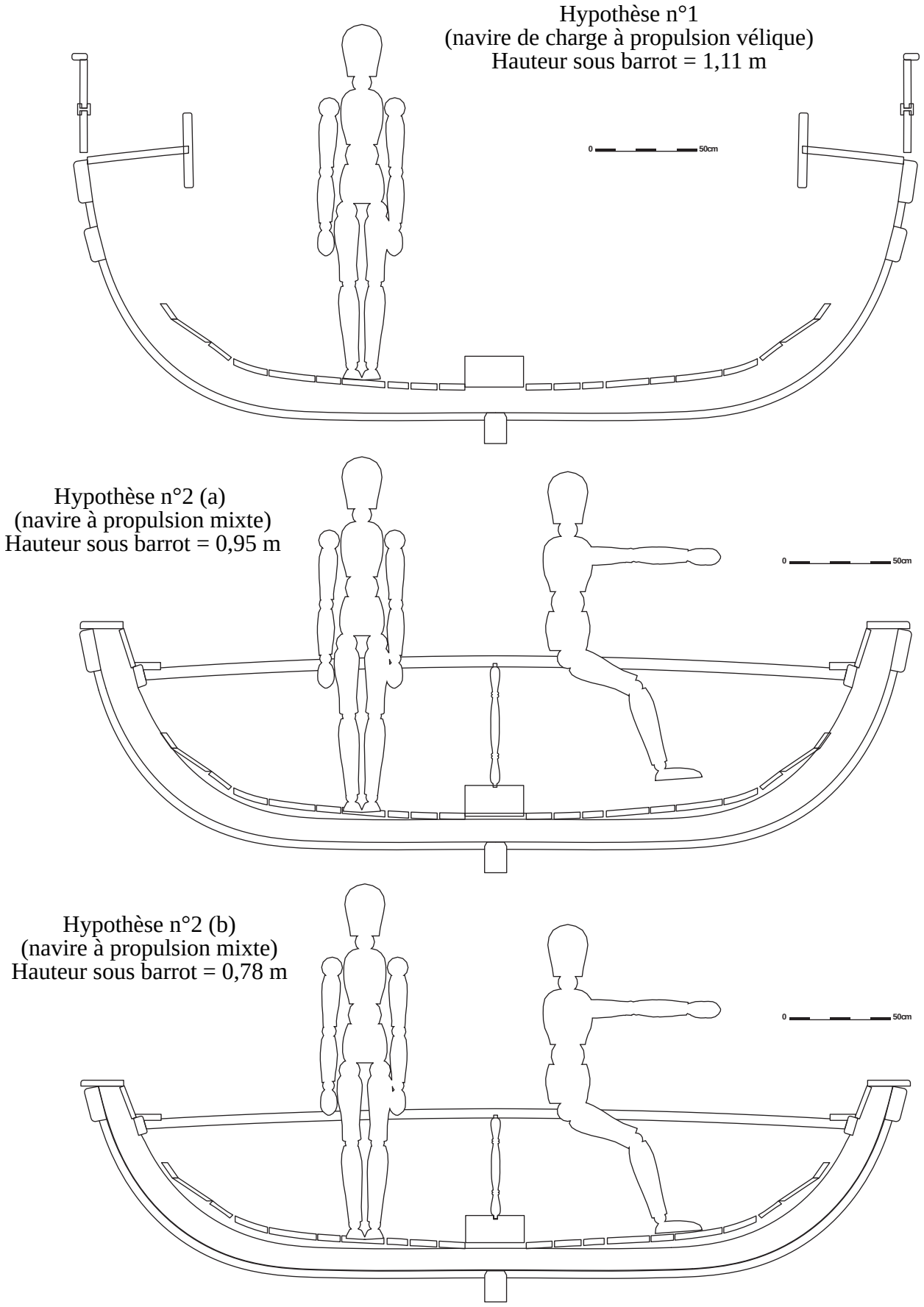


Fig. 88 : Comparaison des différentes restitutions de hauteur du livet en fonction des diverses hypothèses.

Tab. 24 : Résumé des dimensions de la deuxième hypothèse de restitution de *Napoli C*, déduites des rapports de proportion de l'épave *Toulon 2*

	Longueur HT	Longueur entre perpendiculaires	Largeur MC	Creux au MC	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Hauteur BQP	Rapport l/h BQP	Rapport L/h BQP
Hypothèse n°2 (A)	13,83	13,70	3,98	0,95	3,47	4,19	14,53	1,24	3,21	11,25

Les dimensions obtenues de cette manière doivent toutefois être contrebalancées par deux données importantes que nous avons évoquées plus haut et qui concerne d'une part la restitution d'une hauteur permettant aux rameurs de se caler directement sur le vaigrage, d'autre part la restitution d'un nombre de virures dont les dimensions, notamment la largeur, puissent s'approcher de celles encore conservées (environ 17 cm).

Pour ce qui concerne le positionnement des rameurs, il nous semble qu'une telle configuration ne permet tout simplement pas une bonne action de nage. La distance verticale entre le vaigrage et un barrot transversal, positionné légèrement plus bas que le niveau restitué du livet, peut être ainsi mesuré à 75 cm. Cette hauteur pour un banc de nage nous paraît tout à fait excessive. Pour une bonne action de rame, il serait alors nécessaire de pourvoir des cale-pieds aux rameurs, or nous l'avons vu, aucune trace de tels aménagements n'a été repéré sur les vestiges de la charpente interne de notre épave. En ce qui concerne le positionnement d'un rameur, d'une stature moyenne de 1,70 m, nous savons que la distance horizontale projetée entre la position du centre de gravité et celle du point de calage des pieds, associée à la distance verticale entre ces deux points permet de mesurer l'efficience mécanique d'un rameur en fonction de son poids[390]. Avec un barrot situé 75 cm plus haut que le niveau du vaigrage, on peut considérer que l'efficience du mouvement de nage est considérablement réduit étant donné que le rameur se trouve quasiment en position debout, en appui sur le barrot plus que réellement assis sur celui-ci **(Fig. 88)**. A défaut de pouvoir restituer des éléments de calage il nous a donc semblé nécessaire de rabaisser la position verticale des bancs de nage pour diminuer l'espace entre le vaigrage et le banc de nage aux alentours de 60 cm. Toutefois une telle modification entraine forcément une rectification sur le niveau du livet

[390] Shaw, 1996, p. 335

étant donné que celui-ci influe directement sur la position verticale du tolet qui se doit de rester dans une certaine mesure à la verticale de la position des mains du rameur[391].

Au final, afin de se rapprocher au maximum du rapport de proportion évalué sur l'épave *Toulon 2*, nous proposons la restitution d'un livet placé à 1,11 m au-dessus du bas de quille, ce qui engendre la restitution d'un creux de 0,78 cm, soit l'équivalent d'un rabaissement des niveaux du livet et des bancs de nage d'environ 13 cm.

Tab. 25 : Résumé des dimensions de la deuxième hypothèse de restitution

	Longueur HT	Longueur entre perpendiculaires	Largeur MC	Creux au MC	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Hauteur BQP	Rapport l/h BQP	Rapport L/h BQP
Hypothèse n°2 (B)	13,83	13,70	3,94	0,78	3,47	5,05	17,73	1,11	3,67	12,45

A noter, comme précisé précédemment, qu'outre le souci d'efficience du placement des rameurs sur leurs bancs, nous avons aussi tenu compte, comme dans la première hypothèse, de la largeur des dernières virures conservées afin de restituer un ensemble cohérent. Dans cette seconde hypothèse, nous proposons, toujours au niveau du maître-couple, la reconstitution de la dixième virure, partiellement conservée, ainsi que la restitution de trois nouveaux niveaux de virure, d'une largeur moyenne de 17 cm, la dernière virure étant restituée comme une préceinte.

La définition de la ligne de livet sur le reste de la carène est déduite du modèle de vérification, nous permettant ainsi de nous projeter dans la restitution des éléments non conservés dans les hauts.

4.5.2.2. Charpente axiale :

La restitution des parties disparues du tableau et de l'étambot s'est faite de la même manière que pour la première hypothèse : par prolongation des profils des vestiges à partir du plan de formes vérifié. A partir de ces points de référence nous avons légèrement surélevé nos élancements afin de se rapprocher de l'allure observée sur de nombreux exemples iconographiques. L'étambot s'en trouve ainsi notoirement raccourci par rapport à la première hypothèse, la marotte se trouve elle aussi réduite par l'abaissement du niveau du livet **(Fig. 85)**.

[391] Nous écartons ici l'hypothèse d'un passage des rames à travers le bordé ou même à travers les fargues du pavois.

La jonction des extrémités de virures de bordé et du pavois avec l'étambot s'effectuant toujours selon le même principe : avec l'insertion de celles-ci dans une râblure et fixé au massif par le biais d'un cloutage identique aux parties basses conservées.

4.5.2.3. Charpente transversale :

La restitution des parties conservées de la charpente transversale de cette seconde hypothèse reprend exactement celle proposés dans la première, à la différence notoire de l'abaissement général du niveau des têtes de membrures afin de correspondre avec celui du nouveau livet. Dans ce nouveau cadre, la charpente transversale conservée représente désormais 70 % de la membrure restituée. Comme précédemment, l'ensemble des varangues ont pu être reconstruites à partir d'une partie des vestiges, à l'exception du fourcat M49 ayant disparu au moment de la découverte.

On peut noter que le niveau de livet restitué dans cette seconde hypothèse amène la restitution d'une partie haute de la marotte présentant quasiment les mêmes dimensions en hauteur que la partie conservée **(Fig. 87)**. A l'alignement de mortaises observé sur le morceau préservé, nous proposons éventuellement d'y voir associé un aménagement à mi-bois symétrique dans la partie supérieure restituée.

4.5.2.4. Bordé et préceintes **(Pl. XXVI)**:

Dans cette seconde hypothèse le niveau du livet se déplace vers le bas jusqu'au can supérieure de la première préceinte. Outre ce recoupage en hauteur, la restitution de la carène demeure tout à fait identique à ce que l'on a pu proposer dans la première hypothèse. Nous avons donc restitué sur toute la longueur de la coque la onzième virure encore formée partiellement par les bordés T26b et T27b[392]. Directement au-dessus de celle-ci vient prendre place la première préceinte qui constitue de ce fait la douzième et ultime virure.

4.5.2.5. Structures du pont **(Pl.XXVI et XXVII)**:

C'est certainement dans la restitution des parties les plus hautes que l'on note les différences les plus marquées entre nos deux hypothèses. Compte-tenu des caractéristiques fonctionnelles et propulsives proposées pour cette seconde restitution, il s'agissait en premier

[392] A noter que cette onzième virure se termine en joint perdu vers le tableau et s'achève aux environs du couple M4.

lieu de permettre l'installation au centre du bateau de plusieurs bancs de nage destinés aux rameurs. Dans ce cadre, nous proposons la restitution de deux espaces pontés réduits aux extrémités permettant au barreur sur l'arrière de se trouver dans une position toujours confortable pour gouverner et à l'avant de former une plate-forme en arrière de la marotte facilitant certainement les accostages ainsi que les éventuels chargements. On notera que nous avons positionné les limites de ces deux zones pontées à l'aplomb des deux mortaises d'épontilles retrouvées sur les deux vaigres fixes centrales Fi2 et Fi4. De la même manière et comme nous le verrons plus loin, la mortaise retrouvée sur la vaigre Fi3 se retrouve en regard de l'épontille restituée de soutient de l'un des bancs de nage.

Au-delà de ce schéma général d'implantation, dans cette seconde hypothèse, la restitution des structures composant le pont est d'autant plus hypothétique que rares sont les points de comparaisons archéologiques. Parmi les exemples archéologiques à mettre en parallèle, les deux *horeiae* toulonnaises ne présentent malheureusement aucun aménagement de pont et seules quelques encoches pratiquées sur les vaigrages les plus hauts, ainsi que les mortaises percées sur le can supérieur des préceintes, permettent de distinguer l'implantation des bancs de nage ainsi que des tolets de maintien des rames[393]. Ces différences d'aménagement doivent certainement trouver leur fondement dans les différences de dimensions constatables entre ces épaves, dénotant bien des fonctions et des programmes de navigation forts différents. L'*horeia Isola-Sacra 1* récemment découverte entre Fiumicino et Ostie[394], présente quant à elle un profil plus semblable à celui de *Napoli C* : celui d'un navire de batelerie portuaire d'une taille modeste (≤ 15 mètres) présentant une marotte à son étrave. Toutefois, certaines caractéristiques observées sur la carène (présence d'un bouchain vif au niveau de la première préceinte, petite taille de la marotte, présence d'un seul longeron, module de bois utilisé pour la membrure) ne permettent pas d'établir une réelle analogie entre

[393] A propos de ces deux épaves d'*horeiae* on se réfèrera, à défaut, à la présentation qui en est faite par Jean-Pierre Brun dans le numéro de la CAG consacré au département du Var (Brun, 1999, p. 798-802) ou encore à : Boetto, 2009, p. 289-296. Les éléments dont nous faisons état ici (absences de marques d'une structure pontée, mortaises destinées aux tolets de rame, etc…) sont le résultat d'observations personnelles menées sur les éléments traités et conservés actuellement au Dépôt archéologique régional des Milles (DRASSM-SRA). Ces observations ont tout d'abord été mises en évidence lors de la reprise de l'étude des éléments architecturaux encore conservés menée par Giulia Boetto sur la période 2011-2012.

[394] L'épave *Isola-Sacra 1* a été découverte au printemps 2011 dans la partie sud-est de l'isola sacra à quelques centaines de mètres de la rive droite du Tibre, au niveau du pont de Tor Boacciana. L'apparition de ces vestiges s'est faite lors du creusement de fondation du pilier d'un nouveau pont destiné à améliorer le complexe routier local, en doublant la voie actuelle reliant Ostie à l'aéroport de Fiumicino. Une fouille d'urgence y a été pratiqué par une coopérative privée, sous la direction de la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Ostia. Concernant plus particulièrement l'étude des navires (deux ayant été découverts à ce jour), un partenariat a été mis en place avec le Centre Camille Jullian (UMR-CNRS 7299) afin de confier celle-ci à Giulia Boetto. Au final, une large documentation a été dressée avant la fin du chantier et nombres d'observations ont déjà pu être effectuées permettant notamment de mettre en évidence la présence d'une marotte à la proue, caractérisant de fait cette épave comme une *horeia*. A noter qu'au sud de cette première épave, la partie supérieure du flanc d'une autre épave (baptisée *Isola-Sacra 2*) a été dégagé, laissant notamment apparaître plusieurs barrots transversaux. Fait exceptionnel, qui permet d'imaginer une très bonne conservation des œuvres mortes du navire. Les modules de bois semblent désigner ici encore une petite embarcation portuaire.

ces deux épaves. Cependant, certains aspects s'avèrent plus favorables à l'établissement d'une comparaison : la grande largeur de cette carène, l'absence apparente d'emplanture, un niveau de livet relativement bas, ainsi que le faible creux, sont autant d'éléments qui rapprochent cette épave de notre deuxième hypothèse de restitution pour *Napoli C*. A ce jour, malheureusement, et dans l'attente d'une publication plus étendue, aucune donnée franche ne permet d'être catégorique sur la présence d'un quelconque espace ponté. Si des encoches à mi-bois trahissent la présence originelle d'éléments transversaux (bancs de nage ?) on ne peut en déduire avec précision ni la nature, ni la structure.

A défaut, nous nous sommes donc référés à ce qui a pu être observé sur l'épave *Pisa C*[395]. Il s'agit là d'un navire de faibles dimensions (≈ 13,30 m de longueur[396]) à propulsion mixte, voile-avirons, présentant la particularité d'avoir une étrave inversée protégée par un taille-mer lié par des clous en fer et en bronze[397] **(Fig. 89 et 90)**. Il s'agirait selon Marco Bonino, en charge de la restitution, d'un navire d'un type proche de celui des *actuaria,* des *celox, cymba*, ou encore des *cydarum*, que l'on peut penser destiné à un usage varié (patrouille ?) sans doute limité géographiquement dans son espace de navigation. Dans une certaine mesure, on peut donc considérer des points communs avec notre deuxième hypothèse de restitution de *Napoli C*. Considérant les vestiges de *Pisa C*, seuls les vestiges du pont avant ont été découverts **(Fig. 91)**. Il s'agirait, encore une fois, faute de détails concernant l'architecture de ce navire dans les différentes publications parues, d'un simple bordé prenant appui sur une série de barrots transversaux dont un seul semble traversant. Au milieu de ce bordé, on trouve une ouverture carrée que l'on pourrait interpréter comme une écoutille de descente. On notera aussi que le pavois est ici surélevé par rapport aux parties centrales, afin de créer un garde-corps plus important. Sans nul doute la poupe devait elle aussi présenter un aménagement comparable, avec une petite zone pontée permettant aux barreurs de manœuvrer le gouvernail convenablement.

C'est donc une solution comparable que nous avons restituée dans notre hypothèse en reconstituant un simple bordé appuyé sur une série de barrots transversaux parfois traversant aussi bien à la proue qu'à la poupe. On notera qu'une serre-bauquière court tout le long du

[395] Malheureusement nous n'avons à ce jour, accès qu'à une quantité de donnés limitées concernant cette magnifique épave, préservée presque entièrement. De très rares plans sont publiés (Camili, 2002, p. 11), mais ils sont de dimensions très réduites. A cela vient s'ajouter une unique coupe transversale (Bruni, 2000, p. 67, fig. 37) relevant plutôt de la minute de fouille. On pourrait aussi se reposer sur la restitution proposée par M. Bonino (Camili, De Laurenzi, Setari 2006, p. 21-24), toutefois, celle-ci est présentée de manière sommaire et il nous paraît extrêmement difficile de nous y référer. A noter ainsi que l'espace arrondi laissé libre dans le vaigrage à l'extrémité arrière de l'emplanture, qui semble désigner la position d'une pompe de cale ne semble pas avoir été pris en compte dans la restitution.
[396] Bonino, 2006, p. 20
[397] Camili, 2002, fig. 6



Fig. 89 : Plan de l'embarcation *Pisa C* (tiré de Bruni 2000).

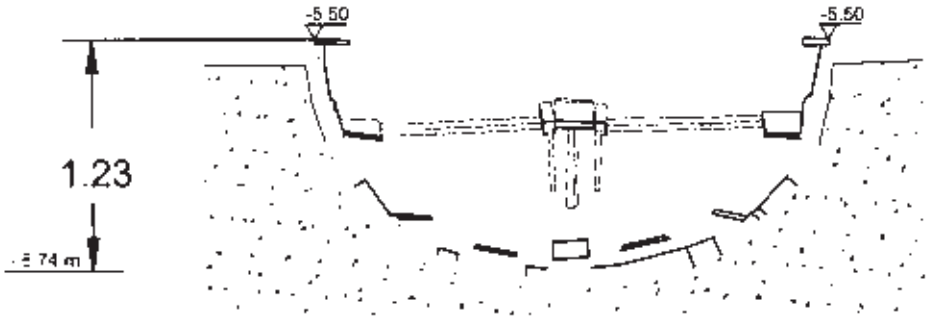


Fig. 90 : Section transversale au maître-couple de l'épave *Pisa C* (tiré de Bruni 2000).



Fig. 91 : Vue de la zone pontée avant de l'épave *Pisa C*, les deux gardes-corps formant le pavois ont déjà été recouvert par la protection blanche en résine de verre. (Photo: H.-B. Maugiron; CEA, Arc-Nucléart).

navire sur l'intérieur pour permettre à la fois le support des barrots du pont ainsi que les bancs de nage, de la même manière que ce qui a été observé sur l'épave *Isola-Sacra 1*[398].

4.5.2.6. Structure du pavois :

Le pavois s'appuie en grande partie, encore une fois, sur les vestiges découverts sur l'épave 2 de l'anse des Laurons. Toutefois il s'agit ici d'un pavois qui ne court pas tout le long du livet du navire, mais de deux séries de garde-corps à l'avant et à l'arrière (à l'image de ce que l'on peut observer sur l'*horeia* chargée d'amphores et dirigée par deux pygmées[399]). La partie centrale présentant un simple plat-bord, plus bas, dans lequel viennent s'insérer les tolets et les dames de nage.

Dans les parties pontées, le pavois restitué ici reprend un détail de l'architecture observée sur *Laurons 2*, mais dont il n'est fait que très peu état dans les publications portant sur cette épave, et que nous avons ignoré précédemment, dans les premières hypothèses présentées[400]. Nous avons reproduit ici la lisse de plat-bord observée aux extrémités du navire des Laurons, de part et d'autre des sur-barrots de l'écoutille **(Fig. 92)**. Il s'agit d'une simple virure courant, à l'intérieur de la charpente, le long du livet, depuis le niveau du pont sur quelques centimètres en hauteur, recouvrant ainsi l'ensemble des têtes de membrure. Au-delà de cette lisse en hauteur, seules les allonges de membrure formant les jambettes de pavois sont conservées, la membrure retaillée étant alors couverte par des accotars formant le plat bord[401]. Les virures de bordé venant dès lors, buter directement contre la lisse. La restitution de ce type d'aménagement ne s'avère pas forcément beaucoup plus justifié que celle d'un simple pavois. L'intérêt de ce choix restitutif était essentiellement de pouvoir proposer une hypothèse pour le pavois qui soit tout aussi valide mais qui soit différente de celle proposée pour l'épave A, afin de rappeler le caractère hautement hypothétique, bien que justifié, de ces parties « du possible ». Observé sur l'épave des *Laurons 2*, cet aménagement s'accorde

[398] Sur l'épave *Isola-Sacra 2* attenante, deux barrots transversaux sont apparus brièvement. Aucun relevé précis n'a pu en être dressé, on a toutefois pu discerner le mode de fixation de ceux-ci au reste de la charpente. Il ne s'agirait semble-t-il pas d'un assemblage par le biais de queues d'arondes, mais d'un simple mi-bois avec les têtes d'un couple. L'extrémité du barrot étant équerrée afin de s'adapter à l'angle de fermeture du bordé. Aucun clou de blocage, soit enfoncé horizontalement depuis l'extérieur du bordé ou depuis les têtes de membrure, n'a été observé et l'on suppose donc que le barrot devait se maintenir par son propre bois ou par un autre moyen invisible au moment du dégagement (observations personnelles, 2011).

[399] Pekary, 1999, I-N 21, p. 176

[400] On n'en trouve d'ailleurs aucune description dans l'article du quatrième numéro d'*Archaeonautica* consacré à l'épave. On la distingue pourtant clairement sur la planimétrie des vestiges présentée sur la figure n°21 (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 99). On en distingue aussi très bien le principe sur l'axonométrie de la partie arrière bâbord du navire proposée par Jean-Marie Gassend (Gassend, 1998, p. 199, fig. 2). Enfin, la consultation de clichés sous-marins non publiés, conservés à la photothèque du Centre Camille Jullian, nous ont permis de confirmer la nature exact de cet aménagement.

[401] Certains éléments découverts sur l'épave Isola-Sacra 1 semblent eux aussi devoir remplir la fonction d'accotar. On est cependant bien en mal à cette d'heure d'en préciser la nature.



Fig. 92 : L'aile de protection, le pavois et le pont arrière de l'épave *Laurons 2*, vus depuis le dessus. A noter: le sur-barrot encore en place ainsi que l'aménagement particulier sur les têtes d'allonges au niveau du pont (Photo: CCJ-CNRS).

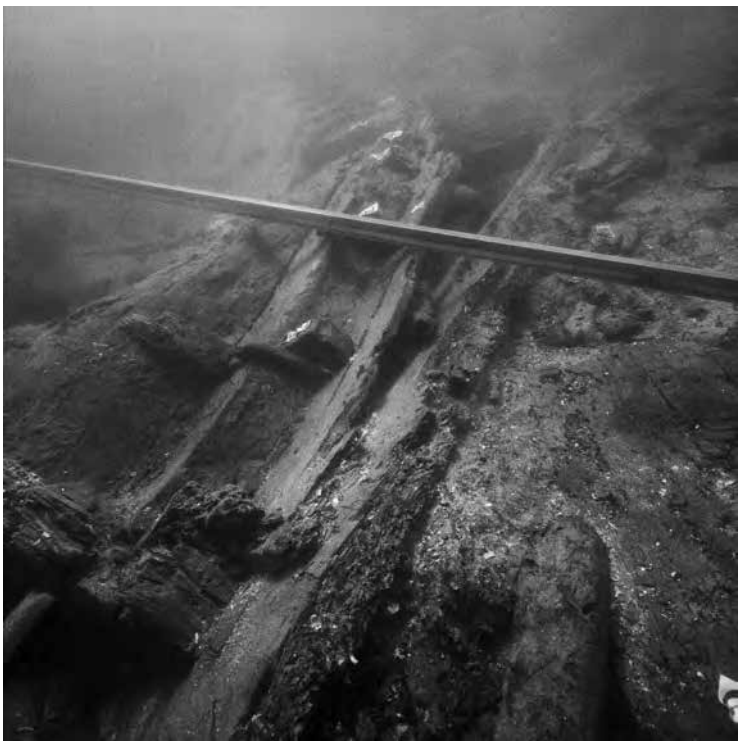


Fig. 93 : L'aile de protection, le pavois et le pont arrière de l'épave *Laurons 2*, vue depuis l'avant. A noter: l'aménagement particulier sur les têtes d'allonges au niveau du pont, ainsi que, dans le fond, la console de soutien de l'aile de protection.
(Photo: P. Foliot, CCJ-CNRS).

parfaitement avec l'ensemble des éléments restitués dans le cadre de cette hypothèse d'un navire propulsé à la rame **(Fig. 93)**.

Enfin, concernant l'aspect du pavois nous avons fait le choix de restituer une allure qui puisse s'accorder avec l'iconographie tout en tenant compte de ce qui a pu être découvert sur l'épave *Toulon 2* ainsi que sur *Pisa C*. La part interprétative dans le processus de restitution étant ici plus important que sur les différents autres points de la structure, nous ne le détaillerons pas en particulier. Notons juste que la hauteur du pavois s'élève fortement aux extrémités afin de créer, nous l'avons dit, un garde-corps plus important, et que les aboutissements arrondis reprennent le profil de ce qui a pu être découvert sur l'épave *Toulon 2*[402] **(Fig. 96)**.

4.5.2.7. Rames et système de propulsion :

La question de la restitution de l'ensemble constituant le système de propulsion s'est avéré relativement complexe à résoudre. Comme nous l'avons souligné à propos de la restitution du pavois, il nous a semblé que l'iconographie menait à la restitution d'un ensemble dans lequel les avirons viennent s'appuyer directement sur le plat-bord tout en étant retenus chacun à un tolet par le biais d'une estrope plutôt que par deux dames de nage parallèles[403]. Par ailleurs, ayant privilégié la restitution de bancs de nage à 55 cm (en moyenne) au-dessus du niveau du vaigrage, favorisant l'hypothèse des rameurs s'appuyant directement sur celui-ci, il nous a semblé que nous rassemblions là suffisamment d'éléments permettant de définir de manière correcte les possibles positions du rameur ainsi que les différentes actions de nage qui lui étaient permises. Il s'agissait alors de préciser les dimensions moyennes de l'aviron utilisé ainsi de pouvoir quantifier l'effort nécessaire et imputable à chacun des rameurs afin que le navire puisse se mouvoir convenablement.

Concernant la forme et les dimensions des avirons, la fouille menée sous les arcades proches de l'épave de la petite barque de pêche retrouvée à Herculanum, datée du Ier s. ap. J.-C., représente à n'en pas douter un parallèle archéologique des plus pertinents par sa proximité géographique et par sa contemporanéité avec notre épave **(Fig. 94 et 95)**. Cette

[402] Un fragment du pavois arrière découvert sur cette épave montre un aboutissement arrondi très soigné que nous avons tenté de reproduire. Il n'est pas fait état de cet élément dans la publication de Jean-Pierre Brun (Brun, 1999, p. 798-802). Il s'agit encore ici, d'une observation effectuée par Giulia Boetto en 2011 sur les vestiges restaurés de cette épave.

[403] On pense notamment à trois peintures pompéiennes : l'une représentant des amours pécheurs découverte dans la *regio* IX, 5, 14-16, datée du Ier s. ap. J.-C., (Pekary, 1999, I-P 91, p. 230) ; l'autre dans la *regio* V, 2, 10, datée du Ier s. ap. J.-C. (Pekary, 1999, I-P 39, p. 216) et la dernière figurant une *horeia* chargée d'amphores et dirigée par deux pygmées (Pekary, 1999, I-N 21, p. 176).

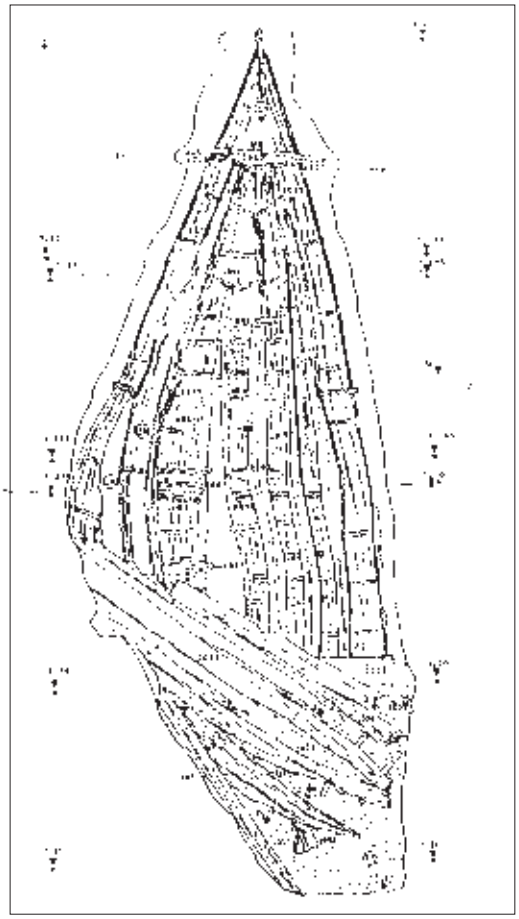


Fig. 94 : Planimétrie de l'épave *Ercolano*, Ier s. ap. J.-C. (tiré de Ferroni, Meucci, 1989, fig.4).

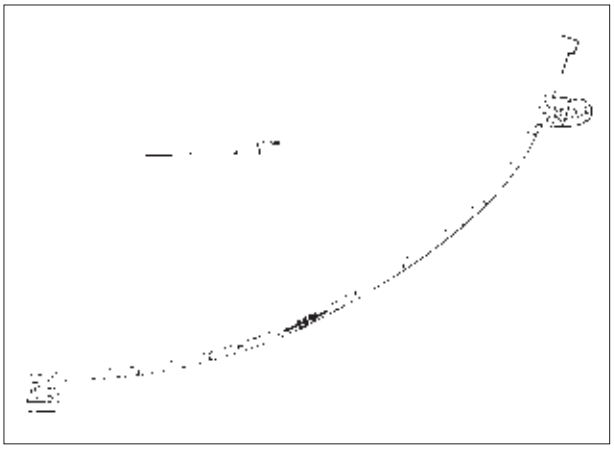


Fig. 95 : Section transversale de l'épave *Ercolano*, Ier s. ap. J.-C. (Tiré de Steffy, 1994, fig.3.56).

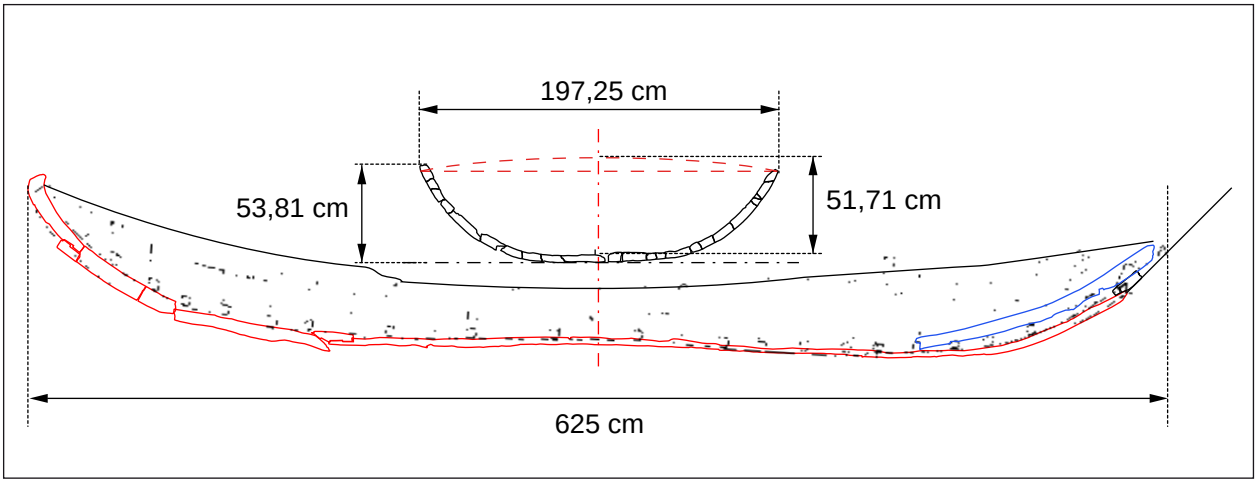


Fig. 96 : Vue en coupe des proportions de l'épave *Toulon 2*, Ier s. ap. J.-C. (relevés: J.-M. Gassend, CNRS-IRAA; G. Boetto, CNRS-CCJ et V. Dumas, CNRS-CCJ).

fouille a en effet permis la récupération et l'étude d'une série de six rames. Si celles-ci n'ont pas fait l'objet d'une publication détaillée, on peut néanmoins en voir quatre exposées dans le nouveau pavillon de présentation de l'épave restaurée. Sans pour autant en connaitre les dimensions exactes, leur aspect nous renseigne déjà très largement sur leur conception. On remarque notamment qu'un contrepoids important, de section carrée, forme la plus grande partie du pivot tandis que la pelle, formée dans le même bloc, est un allongement du manche dont la forme est très vite aplatie. Grossièrement, cette forme se retrouve sur de très nombreuses embarcations méditerranéennes présentant des avirons en bois, depuis les grandes galères jusqu'à la simple barque de pêche traditionnelle plus récente comme les *catalanes* ou les *peramataki* grecs[404]. L'utilisation du contrepoids permet de bien balancer la rame, celle-ci présente alors un centre de gravité lui permettant de se maintenir à la fois hors de l'eau lorsque le rameur pose seulement ses mains au niveau de la poignée, et de se maintenir à un niveau d'immersion normal (soit juste la partie de la pelle active durant le mouvement) lorsque le rameur retire celle-ci et laisse la rame libre[405]. Il nous est en revanche impossible de déterminer le rapport d'allongement entre les deux parties situées de part et d'autre du tolet. Il est cependant certain qu'un rapport trop grand provoquerait de grandes difficultés lors des phases de démarrage ainsi que dans les situations, comme une remontée au vent, nécessitant l'usage d'une cadence courte et rapide. A l'inverse, un rapport trop faible est susceptible d'entrainer des difficultés à maintenir une vitesse de croisière constante. Il s'agit finalement de choisir comme pour un cycliste quel est le « braquet » le plus adapté à l'utilisation que l'on est sensé en faire.

Dans le cadre de notre étude et bien que notre navire soit un peu plus grand que la barque d'Herculanum, la faible hauteur sur l'eau des tolets nous semble être l'argument premier pour envisager la restitution de rames qui en seraient très proches typologiquement malgré d'évidents changements dimensionnels. Par ailleurs, l'usage envisageable pour cette seconde hypothèse de restitution nous amène à penser que ni la vitesse ni la navigation dans des conditions agitées ne devaient être les qualités recherchées pour cette embarcation. En conséquence, sur le modèle des rames découvertes à Herculanum, nous avons restitué des rames mesurant 3,72 m de long[406] : le pivot étant long de 1 m, le manche et la pelle s'étendant

[404] Damianidis, 1989, vol.2, fig. 15b
[405] Shaw, 1995, p. 166
[406] Le volume du modèle restitué présente ainsi un volume de 13,5 dm^3. Ce qui correspond, pour une densité du bois de 0,6, à des avirons de 7,9 Kg, ce qui nous paraît être un chiffre raisonnable. On notera, quoi qu'il en soit, que le centre de gravité de la rame une fois fixée au tolet se situe à une vingtaine de centimètres de celui-ci, déporté sur l'extérieur garantissant le bon équilibrage de la rame.

sur 2,72 m, le « braquet » est donc de 2,72 ce qui nous semble présenter un bon compromis[407] pour notre embarcation. De cette manière, lors de la nage, la poignée de chaque rame décrie une parabole ayant une amplitude longitudinale maximale de 79 cm et une amplitude verticale de 34 cm. Les bancs de nage étant quant à eux distants de 112 cm on peut affirmer sans trop de précaution qu'une telle configuration ne devait pas amener les différents rameurs à se gêner mutuellement. On notera que la position des tolets, à mi-chemin de chacun des bancs, permet d'imaginer une inversion rapide et efficace du sens de nage avec le déplacement et le retournement des rameurs sur le banc d'en face.

Considérant le positionnement moyen de chacun des rameurs, nous avons établi que la traction maximale ponctuelle de ceux-ci sur les poignées (en considérant un poids moyen de 70 Kg) pouvait s'établir à 240 N. Si l'on met en rapport ce chiffre avec le rapport d'allongement (longueur totale sur longueur depuis le tolet jusqu'à la pelle, soit : 1,36) ainsi qu'avec le pourcentage d'efficacité mécanique réel dans le temps du mouvement (que l'on peut estimer équivalente à 30% voire à 20% de la force initiale) nous obtenons une force continue équivalente pour chacun des rameurs à 52,94 N. Nous verrons plus loin les répercussions d'une telle disposition sur le navire ainsi que sur sa vitesse de déplacement potentiel.

4.5.2.8. Système de gouverne :

La possible amphidromie de notre embarcation dans le cadre de cette seconde hypothèse de restitution amène à considérer deux cas de figure : dans la configuration ou la marotte se retrouve être la proue, l'iconographie nous présente des navires pourvus du gouvernail latéral conventionnel. C'est notamment le cas sur les *horeiae* représentées sur la mosaïque d'Aquilée, sur celle d'Uadi-ez-Zgàia, ainsi que sur de nombreuses peintures pompéiennes. On notera que parmi celles-ci, aucune ne présente d'aile de protection sur l'arrière. On peut éventuellement mettre cette absence sur le compte des dimensions originelles des navires représentés, dont la plupart ne devaient être que des barques de quelques mètres seulement ne nécessitant pas la présence d'un élément de protection, tel que l'aile latérale à l'image des deux *horeiae* toulonnaises. Dans ce cas-ci donc, d'une navigation

[407] En règle générale, le coefficient d'allongement pour les avirons est à situer entre 2,3 et 3,4. L'optimum est très variable en fonction de l'utilisation qui en est faite. Si le coefficient augmente sur les huits de pointe olympiques (proche de 3,3), il trouve son optimum aux alentours de 2,7 - 2,9 pour des yoles ou des baleinières, il descend à 2,5 sur les plus petites embarcations. Sur l'*Olympias*, il s'est avéré qu'un rapport de 2,8 permettait tout à la fois l'obtention de bons résultats en vitesse ainsi que l'utilisation d'avirons d'une longueur adaptée aux dimensions de la trirème et assez polyvalents pour être utilisés dans diverses conditions de mer (Morrison, 1996, p. 166).

où le tableau est dirigé vers le flot, nous avons restitué, à l'image de ce que nous avons proposé pour la première hypothèse, une paire de gouvernails latéraux s'appuyant, sur l'arrière, sur la mèche dépassant d'un grand barrot transversal[408].

Dans un second cas, on ne peut négliger la possibilité d'une navigation dans le sens opposé, la marotte faisant alors office de poupe, comme cela est éventuellement représenté sur les bas-reliefs de Rimini et d'Ostie malgré le doute qui subsiste sur l'identification de ces deux représentations en tant qu'*horeiae*. La direction de l'embarcation semble alors assurée par le biais d'une simple pelle axiale posée à même le plat-bord du tableau. On serait tenté d'effectuer un rapprochement entre ce type de gouvernail avec ceux reliés à une navigation fluviale. Il pourrait s'agir d'une part d'un gouvernail à pivot axial maintenu en deux endroits : d'abord à même le plat-bord, ici sur le milieu de la marotte, au niveau de la mèche, puis plus haut sur la mèche, quasiment au niveau du *clavus*. C'est en actionnant celui-ci que le barreur va engendrer une rotation de l'axe de la mèche permettant au navire de virer. Il s'agit donc bien d'un véritable gouvernail à pivot nécessitant la présence d'une structure adéquate[409]. On l'observe très bien sur deux représentations de navires fluviaux : sur la stèle du batelier *Blussus*[410], datée du Ier s. ap. J.-C., découverte à Weisnau en Allemagne **(Fig. 97)**, sur celle de la déesse *Nehalennia*[411], découverte aux Pays-Bas et daté du IIème ou IIIème s. ap. J.-C., ou encore sur la stèle de Cologne[412], datée elle aussi du Ier s. ap. J.-C **(Fig. 98)**.



Fig. 97 : Stèle de *Blussus*, Ier ap. J.-C.
(Pekary, 1999, Dm-66).



Fig. 98 : Stèle de Cologne, Ier–IIIème ap. J.-C.
(Pekary, 1999, Dk-60).

Toutefois, au regard des deux représentations d'*horeiae* dans lesquelles la marotte fait office de support au gouvernail, il semble qu'il n'y ait qu'un seul point de d'articulation. Le barreur agissant directement sur la mèche du gouvernail, le changement de direction provient alors du déplacement latéral de l'ensemble de la mèche et

[408] Un détail plus exhaustif des sources archéologiques utilisées dans la restitution du gouvernail latéral peut-être retrouvé dans la partie traitant de la restitution de cet élément dans le chapitre consacré à l'épave *Napoli A*.
[409] Arnold, 1999, p. 153
[410] Casson, 1971, fig. 189; Pekary, 1999, p. 32, Dm-66
[411] Stuart, Bogaers, 1971, fig. 44a
[412] Höckmann, 1985, p. 137, fig. 111, Pekary, 1999, p. 31, Dk-60

de la pelle situé au-delà du point d'appui sur la marotte **(Fig. 99)**. Il s'agirait donc plutôt ici d'une pelle-gouvernail semblable à celle restituée sur *Altaripa*, reconstitution de l'épave du chaland découvert à Bevaix[413]. La pelle, longue de 10,10 m, découverte en Mars 1911 dans la zone ou sera plus tard découvert le chaland ne semble pas devoir se rattacher à ce type de pelle-gouvernail[414], étant donné la présence d'une mortaise à son extrémité supérieure, ce qui permet d'envisager la présence d'un clavus ainsi qu'une utilisation comparable à celle décrite précédemment, du type gouvernail à pivot comme représenté sur les stèles de *Blussus* et Cologne. A noter qu'une pelle quasiment similaire, bien que plus petite (7,35 m) a été retrouvé dans le Rhône au niveau d'Arles lors de la campagne 2004 de fouille[415]. Bien qu'exposée lors de l'exposition *César, Le Rhône pour Mémoire*, elle n'a pas fait pour l'instant l'objet d'une publication, la présence d'une mortaise destinée au clavus à l'extrémité supérieure de la pelle permet cependant d'en comprendre le fonctionnement sur pivot et par rotation.

C'est très certainement ce genre d'appareil de direction qu'il faudrait restituer pour notre épave dans le cadre d'une navigation inversée. D'autant plus que si l'on considère l'*horeia* comme une embarcation totalement amphidrome[416], ce type de système directionnel présente, *a priori*, l'avantage de ne pas nécessiter d'important aménagements et permet le cas échéant de déposer facilement la pelle gouvernail et de la ranger à l'intérieur du bateau. L'intérêt premier d'un tel système de gouverne est cependant difficile à déterminer et n'apparaît pas clairement au regard de l'utilisation supposée de notre restitution. Nous verrons notamment en traitant de la question



Fig. 99 : Détail de la scène de remorquage figurant sur un bas-relief de la tombe n°78 découverte sur l'Isola Sacra, IIème ap. J.-C.
(Pekary, 1999, I-O 30, p.196)

[413] Beat Arnold remarque que ce point de restitution du chaland de Bevaix repose en partie sur des parallèles ethnographiques récents, tels que les chalands du XIXème s. utilisés sur le Douro, l'Adour ou encore le Rhin (Arnold, 1999, p. 153). Autre comparaison, on notera l'utilisation spécifique qui est faite de ce type de pelle-gouvernail sur les *surfboats* de différents pays. Ces petites embarcations de cinq mètres environ, destinées au sauvetage dans les zones côtières agitées, sont propulsées par cinq rameurs et dirigées par un cinquième équipier actionnant une pelle-gouvernail axiale montée sur un tolet à l'arrière du bateau. L'intérêt de la rame gouvernail réside ici dans l'angle d'enfoncement que peut donner le barreur à sa rame. Le passage dans les vagues, ainsi que les faibles profondeurs de navigation amèneraient continuellement un gouvernail fixe à heurter le fond et successivement de décrocher dans les airs, le rendant ainsi complétement inopérant.
[414] Arnold, 1992, p. 95
[415] Long, Picard, 2009, p .242-245.
[416] Comme peut le laisser supposer l'*horeia* de la mosaïque de Rimini (Cf. *supra*), ou le col de cygne est étrangement présenté face au flot.

de la vitesse sous rame ainsi que de celle du remorquage de navires plus importants, que la question demeure en suspens.

4.5.2.9. Gréement :

La restitution de la mâture et de tous les éléments du gréement est tout à fait semblable à ce que nous avons proposé dans la première hypothèse de restitution exposée précédemment. Un point de différence sensible est néanmoins à relever : il s'agit de l'abaissement du niveau supérieur du fourreau d'étambrai afin de s'adapter à la nouvelle hauteur du barrot transversal principal sur lequel il vient s'appuyer. A ce stade de la restitution nous avons fait le choix de ne pas modifier les dimensions générales du mât, de la vergue et celles de la voile, en jugeant que les résultats des analyses hydrostatiques et de stabilité transversale seraient certainement beaucoup plus à même de nous renseigner sur ce point de restitution comme cela a pu être le cas pour *Napoli A*.

4.6. Evaluation hydrostatique de l'hypothèse n°1 : un navire de charge

4.6.1. Devis de poids du navire en lège :

Comme pour l'hypothèse de *Napoli A*, la restitution complète de tous les éléments du navire nous a permis d'estimer précisément le volume ainsi que le centre de gravité de chacune des pièces constituant la charpente du navire. Parallèlement, l'étude xylologique systématique, qui a pu être menée sur les bois conservés, a permis une identification des essences de bois utilisées, permettant d'attribuer à chacune de nos pièces un poids spécifique. Nous avons, comme précédemment, fait le choix de mesurer le poids des éléments en nous basant sur une densité du bois de 15%, correspondant à un état sec de celui-ci. Nous ne détaillerons pas ici les essences choisies dans notre devis de poids, ni le mode de calcul particulier mis en place pour mesurer celui-ci. Un tableau présente en annexe le détail de ce calcul qui se résume en une série d'additions et de moyennes pondérées. Les deux particularités de ce calcul pondéré, mis en évidence dans l'étude hydrostatique de *Napoli A*, se retrouvent ici. Lorsqu'un ensemble distinctif, tel que le vaigrage ou le bordé, se révèle composé de différentes essences (ensemble du bordé, ou du vaigrage[417]) une première moyenne pondérée est effectuée sur cet ensemble fin de définir le centre de gravité et le poids de cet ensemble. Pour les éléments entièrement restitués, le poids spécifique attribué correspond à celui d'éléments morphologiquement et structurellement proches qui ont été conservés et dont l'essence a pu être identifiée. Ainsi, le poids spécifique des barrots transversaux et des allonges non conservés correspond à celui de la membrure, celui du pavois correspondant à celui du bordé, etc… Une particularité sur *Napoli C* vient de la restitution de certains éléments de la charpente interne, comme le massif d'emplanture ou le vaigrage mobile. Ayant totalement disparus sur l'épave C, nous avons fait le choix de leur attribuer la densité des éléments correspondants découverts sur l'épave A.

[417] Ainsi, le vaigrage fixe se compose de cinq essences distinctes (sapin, pin maritime, pin sylvestre, pin pignon, chêne caducifolié). Chaque vaigre ayant été modélisée séparément, un poids spécifique leur a été attribué à chacune, correspondant à l'essence identifiée. La moyenne pondérée des centres de gravité permettant de définir le centre de gravité général. A noter que le bordé est composé de six espèces (sapin, cyprès, pin sylvestre, pin pignon, chêne caducifolié, peuplier). La méthode d'évaluation du poids du bordé étant équivalente à celle mis en place pour le vaigrage.

Tab. 26 : Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°1

	Volume (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Poids Spé.	Poids (T)
Bordé	2,245	0	704,75	62,41	Variable	1,145
Membrure	2,809	-1	745	69,98	Variable	2,245
Charpente axiale	0,352	0	506	100	0,47	0,165
Pont	2,553	0	716	164	Variable	1,643
Mâture	1,051	0	878	526	Variable	0,567
Gouvernail	0,233	0	232	90,1	Variable	0,173
Divers	1,515	/	/	/	/	0,864
TOTAL	10,758	0	718,63	132,92	Variable	**6,802**

L'absence de trace sur les vestiges, ainsi que les formes assez larges de la carène, nous ont amenés à tabler sur l'absence d'un quelconque lest. Dans cette configuration, notre restitution présente un tirant d'eau, au niveau du maître-couple, très faible : 44,4 cm. Dans ces conditions, le navire paraît très haut sur l'eau. Malgré cela, la largeur importante de notre carène génère déjà une stabilité transversale appréciable permettant, comme nous le verrons, au navire de se déplacer à vide, dans une certaine mesure.

4.6.2. Equipage et armement :

Dans le cadre de cette première hypothèse, l'importance de l'équipage est difficile à définir. Il nous semble néanmoins que celui-ci devait être relativement réduit, à l'instar de ce qui a été proposé pour l'épave A, et devait donc s'établir entre deux et quatre personnes. Sur la base d'un poids moyen de 70 Kg, cela représenterait une charge totale entre 140 et 280 Kg.

Pour les mêmes raisons que celles évoquées au chapitre concernant Napoli A, nous avons fait le choix de négliger à la fois la donnée du poids de l'équipage dans la mesure du déplacement ainsi que l'influence de ce même équipage sur la stabilité transversale, étant donné que c'est essentiellement son comportement à la mer qui va déterminer sa masse comme un facteur de redressement ou au contraire de chavirage. Toutefois, contrairement à *Napoli A*, la restitution proposée ici présente des caractéristiques morphologiques qui engendrent une très bonne stabilité de forme. En conséquence, l'influence du déplacement de

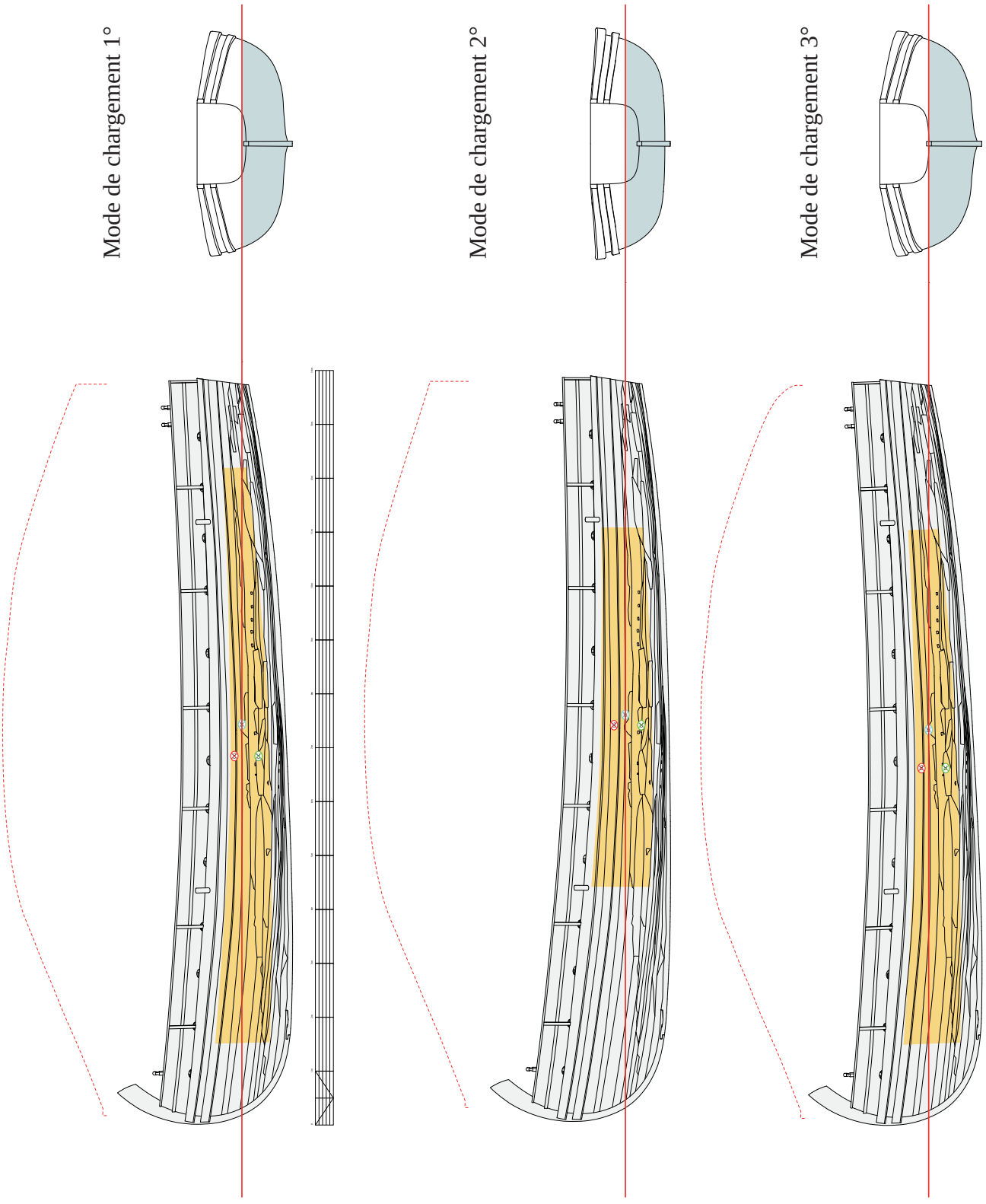


Fig. 100 : Enfoncement et assiette de la restitution n°1 de *Napoli C* en fonction de la répartition d'un chargement de 13,2 t.m (Δ= 20 t.m).

l'équipage, d'un bord sur l'autre, sur la stabilité transversale peut être considérée comme mineure.

4.6.3. Espace disponible de chargement :

Nous avons tenté, à partir du modèle tridimensionnel, de définir le volume utile de chargement. Il s'est avéré, en l'absence sur les vestiges de toute trace du chargement, très délicat de définir précisément l'emprise de la cale. Dans une configuration maximale, celle-ci devait pouvoir s'étendre dans tout l'espace défini par le vaigrage. En effet, compte-tenu du programme de navigation restreint de notre navire[418], il n'est pas inimaginable que les espaces non dédiés à la cargaison (tels qu'une cambuse ou un poste d'équipage) aient été sacrifiés au profit du chargement. La cale, délimitée par le vaigrage et les barrots de pont sur ces bords, n'est alors tronquée que par les espaces correspondant au puits de la pompe de cale et au fourreau d'étambrai, et s'inscrit dans un volume de 28,50 m^3. Si nous avons aussi projeté deux autres espaces de cale plus limités, occupant chacun 24,8 m^3, nous avons surtout porté notre attention sur le positionnement longitudinal des chargements.

Incontestablement, la restitution d'un navire présentant à sa proue une marotte quasiment verticale, nous amène à considérer avec beaucoup de prudence l'assiette longitudinale du navire qui est fortement conditionnée par la répartition du chargement à l'intérieur de la cale. Afin de bien cerner l'importance particulière de la répartition des charges, nous avons donc projeté trois sortes de dispositions pour chaque chargement **(Fig. 100)**. Nous verrons qu'à poids et volume constants un déplacement même minime des charges a pu avoir une influence considérable sur la forme du flotteur ainsi que sur l'enfoncement du tableau, modifiant, de fait, le comportement du navire à la mer.

Comme précédemment avec l'analyse de *Napoli A*, afin de comparer différentes configurations de chargement de notre restitution, nous avons dû déterminer le centre de gravité ainsi que le poids spécifique du volume de ces espaces de cargaison. Nous avons encore ici fait le choix de simuler un chargement d'une densité de 0,73 tonnes par m^3 nous permettant de nous rapprocher du coefficient d'arrimage d'un chargement de blé en sac[419], marchandise potentielle de notre navire. Afin de proposer une vision tout à fait différente, nous avons aussi projeté un chargement d'amphores campaniennes, contemporaines de notre

[418] Voir *infra*

[419] Le coefficient d'arrimage d'un chargement de blé en sac se situe entre 1,27 et 1,47 m^3/T. La densité du volume que nous avons défini, 0,73, nous donne ainsi un coefficient d'arrimage de 1,37 m^3/T.

navire, du type Dressel 2-4, modélisées à partir des amphores du groupe 3 mis en évidence par C. Panella et M. Fano parmi les diverses céramiques pompéiennes de ce type[420]. A la manière d'une cargaison de plomb en comparaison d'une cargaison de plumes, il fallait alors composer différemment, avec une cargaison dont le coefficient d'arrimage était très important (9 tonnes pour 27 m^3 de cale, soit 3 m^3/T) et dont le centre de gravité s'avère bien plus haut qu'une cargaison telle que le blé. Les diverses analyses que nous présenterons, si elles n'en demeurent pas moins représentatives de situations sans doute assez courantes, ne doivent cependant pas faire oublier leurs spécificités et les possibilités de chargement tout à fait différentes qui seraient, de toutes façons, impossibles à analyser de manière exhaustive.

4.6.4. Estimations du port en lourd :

La production d'un modèle tridimensionnel, qui précise et facilite la multiplication des calculs hydrostatiques, nous a permis de déterminer rapidement plusieurs conditions d'enfoncement, de chargement et d'assiette pour notre hypothèse. Au sein de celle-ci nous distinguons clairement deux groupes bien distincts, dont nous avons déjà évoqué les natures variées dans la partie traitant de la méthode du calcul des tonnages en archéologie.

4.6.4.1. Port en lourd théorique :

Le premier groupe correspond ainsi à l'ensemble des analyses menées avec comme objectif la recherche d'une condition de chargement bien précise correspondant à l'immersion du livet pour un angle donné. La détermination du port en lourd théorique par cette méthode permet par ailleurs de donner un aperçu global des ordres de grandeur sur le tonnage des différentes restitutions.

Pour notre restitution nous avons fait le choix d'une marge de sécurité de franc-bord garantissant l'immersion du livet, au niveau du maître-couple, pas avant 10° de gîte. En suivant un tel facteur, la flottaison en charge serait alors à placer au niveau du maître-couple à une hauteur de 1,04 m depuis le bas de quille (soit 38,3 cm de franc bord), donnant ainsi à voir un déplacement lourd de 28,65 tonnes, soit 20,45 tonnes de port en lourd.

A cette méthode des 10°, utilisée lors de l'analyse de nombreuses restitutions, il nous semble pertinent d'adosser, ou du moins d'évoquer, les résultats d'analyses similaires

[420] Panella, Fano 1977, p. 169, fig. 17

correspondant à une immersion du livet pour d'autres angulations de gîte : pour 20° de gîte, le déplacement est de 16,13 tonnes métriques, le port en lourd de 8,1 tonnes métriques ; pour 15° de gîte, le déplacement est de 21,89 tonnes métriques et le port en lourd de 13,69 tonnes métriques ; enfin pour une limite de sécurité correspondant à 5° de gîte, le déplacement culmine à 36,2 tonnes pour un port en lourd de 28 tonnes.

4.6.4.2. Ports en lourd potentiels :

Nous nous proposons ici d'évaluer plusieurs configurations de chargement pour notre restitution **(Fig.101, 102 et 103)**. Il s'agit de mesurer pour diverses situations, depuis la navigation en lège jusqu'à un chargement maximum, à la fois le degré de gîte générant l'envahissement du navire[421], celui générant une immersion du livet, mais aussi la stabilité transversale du navire. En associant les résultats bruts de ces trois mesures, il nous est permis de juger de la pertinence d'une situation de charge en estimant ses avantages et ses désavantages tant d'un point de vue marin, que d'un point de vue commercial. Il s'agit en d'autres termes d'en apprécier le rapport « qualités nautiques / rendement économique ». En tout, ce sont ainsi six modèles qui ont été étudiés depuis la situation en lège sur lest jusqu'à un déplacement lourd maximum de 27,71 tonnes métriques.

La méthode employée ici est tout à fait similaire à celle décrite précédemment dans l'étude portant sur la seconde restitution de l'épave *Napoli A*. Cependant, un élément spécifique à notre restitution a été pris en compte ici et correspond au degré d'immersion du tableau **(Fig. 100 et 102)**. Indéniablement les qualités nautiques de *Napoli C* devaient être grandement influencées par la présence de la marotte à sa proue, et l'on imagine aisément que son opposition face à la vague devait entrainer une augmentation importante de la résistance à l'avancement, s'accompagnant par ailleurs d'un effort décuplé sur la structure. Comme nous l'avons souligné précédemment, la répartition des charges revêt donc une importance toute particulière. La simulation de chargements, équivalents en poids et en volume, présentant des répartitions différentes nous a permis de bien mesurer l'impact éventuel de l'immersion du tableau sur les qualités nautiques en fonction de ces divers chargements. De cette manière, nous avons voulu inclure la donnée marotte dans l'estimation des différents compromis « qualités nautiques / rendement économique » de notre restitution.

[421] L'angle d'envahissement est atteint lorsque le niveau vertical de l'eau dépasse celui de l'une des ouvertures du pont. Dans le cadre de notre restitution il s'agit de l'angle de gîte pour lequel l'angle supérieur de l'hiloire central est submergé. Au-delà de cet angle, si l'on excepte la présence d'un panneau de fermeture, il est plus que probable que le navire embarque une quantité d'eau suffisante pour le faire chavirer et couler.

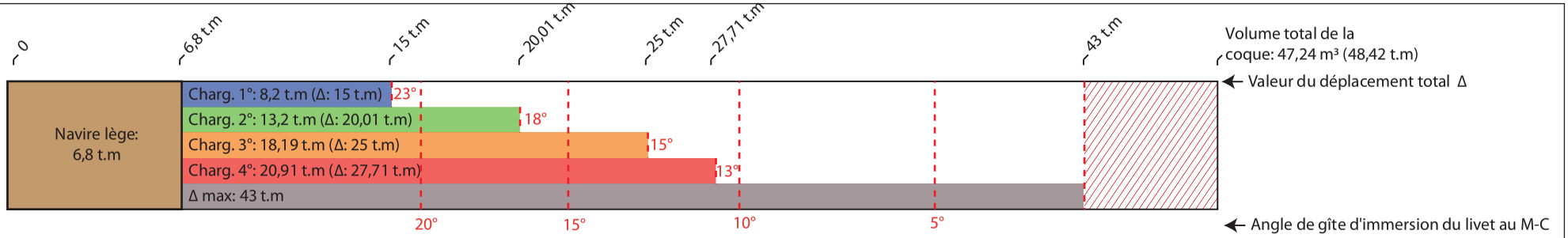


Fig. 101 : Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.

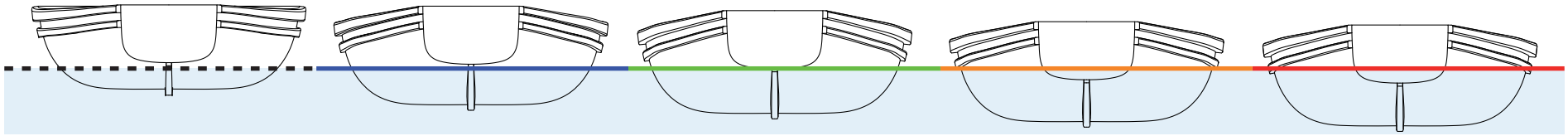


Fig. 102 : Représentation des différentes lignes de flottaison du navire vu de face.

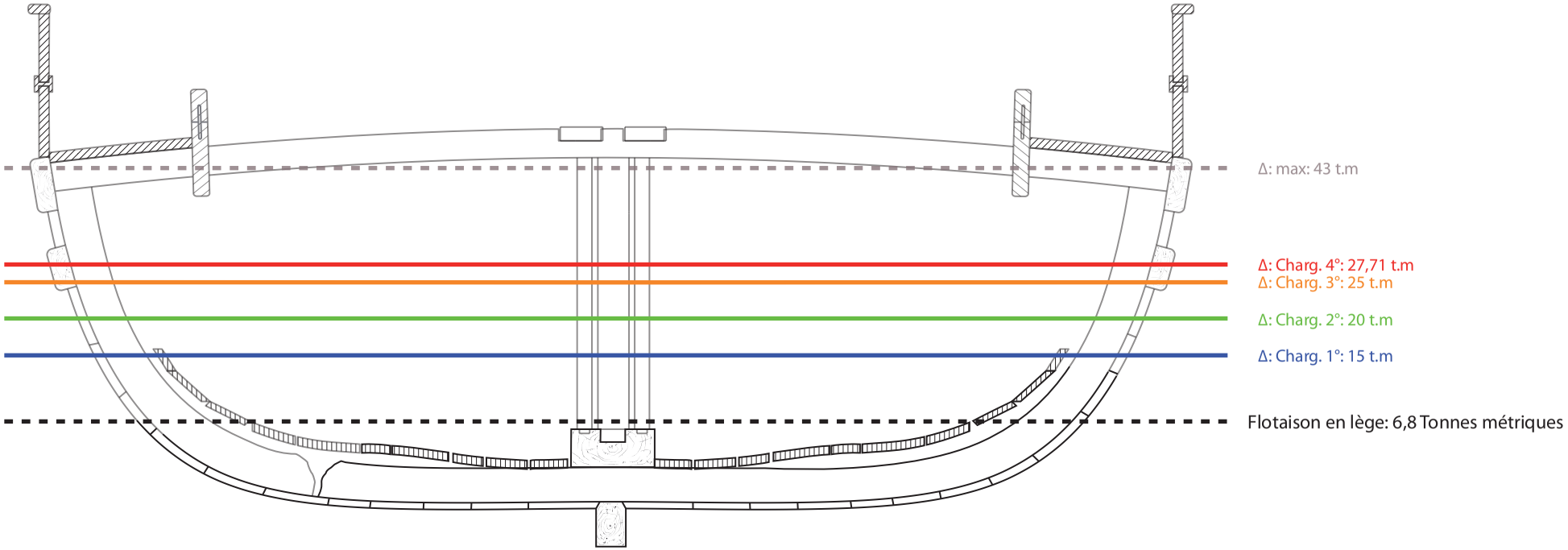


Fig. 103 : Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple.

En ce qui concerne l'analyse de la stabilité de chacun de ces chargements, nous avons appliqué la même méthode que pour *Napoli A* en comparant les moments de redressement et de chavirage. Une telle comparaison est fortement liée à la restitution de la mâture et de la voilure. Le centre de gravité du mât ainsi que de la vergue influençant grandement celle du navire, une attention particulière devait être portée lors de l'armement afin de ne pas doter le bateau d'un gréement démesuré et trop lourd. Parallèlement à cela, le maintien d'un rapport de voilure raisonnable qui soit fonction de la surface mouillée devait aussi être l'un des points importants. Dans la marine traditionnelle en bois, ce ratio s'établit rarement en-dessous de 2[422] ; ceci afin d'éviter que le navire soit sous-toilé dans le petit temps et qu'il soit éventuellement drossé à la côte. La surface mouillée de notre restitution s'établit, si l'on tient compte des différents chargements étudiés, entre 33 m² et 57 m^2.

En moyenne, il s'agirait donc d'une surface de 45 m^2 nécessitant au minimum l'établissement d'une voile de 90 m^2. Dans l'hypothèse d'un mât de 13,80 m et d'une vergue de 10,20 m, déduite des rapports mesurés sur l'iconographie, porter une telle surface de toile ne poserait aucun souci. Cependant, on constate que dans cette configuration les centres de gravité du mât et surtout de la vergue sont excentrés en hauteur, influençant grandement la position du centre de gravité général du navire, entrainant une forte dégradation de sa stabilité transversale. Il est vite apparu que la diminution sensible de la position en hauteur de la vergue, et du coup de la taille du mât (12,65 m), permettait de bénéficier d'une bien meilleure stabilité tout en maintenant une aire significative pour la voile (80 m2) permettant toujours d'assurer un ratio minimal avec la surface mouillée moyenne (1,8).

4.6.5. Analyse de cinq configurations de chargement :

Nous présenterons ici les résultats d'une analyse de la stabilité transversale pour cinq situations différentes : tout d'abord le déplacement lège puis des déplacements en charge associés avec des ports en lourd de 8,2 t.m, 13,2 t.m, 17,2 t.m et 20,9 t.m. Pour les simulations de cargaison nous avons projeté trois modes de chargement différents qui ont fait tous trois l'objet d'une analyse **(Fig. 100)**.

Le premier mode correspond à un chargement sur toute la longueur de la cale et sur une hauteur limitée. Dans ce cas, le centre de gravité se retrouve donc assez bas et l'assiette

[422] Voir *supra*. ; Communication personnelle de François Vivier, architecte naval spécialisé dans la réalisation de petites embarcations à voiles d'inspiration traditionnelle.

du navire chargé tend à le porter sur son arrière faisant ressortir sensiblement sa marotte[423]. C'est là le mode de chargement conférant la meilleure stabilité transversale au bateau. Ce n'est pas cependant la configuration optimale en ce qui concerne la navigation étant donné l'immersion progressive du tableau de proue.

Le second mode correspond à un chargement plus ramassé sur la longueur et occupant plus de hauteur dans la cale. Le centre de gravité s'en trouve grandement modifié et gagne en hauteur. Pour les chargements les plus réduits, l'assiette demeure identique à celle présentée sur le plan de formes[424]. Toutefois, lorsque le port en lourd augmente, on observe la même tendance d'enfoncement sur l'arrière[425]. Dans le cadre de ce mode de chargement, la stabilité transversale se trouve très diminuée étant donné le rehaussement du centre de gravité général. Par ailleurs, le déplacement du centre de gravité vers l'avant provoque une immersion du tableau plus rapide et plus forte que dans les deux autres modes de chargement, entravant sans nul doute fortement la bonne navigation du bateau.

Un dernier mode de chargement, compromis des deux premiers, nous est apparu intéressant à analyser. La zone destinée à la cargaison se trouve alors plutôt portée sur l'arrière du navire et elle occupe un espace en hauteur plus important que dans le premier des cas. La stabilité transversale demeure bonne[426], l'assiette présente le navire avec une tendance à pivoter sur l'arrière de manière bien plus accentuée que précédemment. On est en droit de penser que c'est là la meilleure solution de chargement étant donné l'immersion limitée de la marotte associée à une bonne stabilité transversale. Toutefois, dans le cas des déplacements les plus importants, on observe une forte déformation de la carène qui pourrait s'avérer contreproductive.

Nous présenterons donc ici des résultats d'analyses menées sur différents déplacements associés à des cargaisons réparties selon le premier et le troisième mode de chargement. Nous estimons qu'entre ceux-ci, les moments de redressement ainsi que la stabilité transversale ne varient que très peu. Concernant l'immersion de la marotte, il est apparu que pour les chargements les moins importants, une répartition de la cargaison selon le troisième mode (la cargaison étant rapportée sur l'arrière) était préférable, tandis que pour les déplacements plus importants, une répartition du chargement sur toute la longueur de la cale semblait la meilleure solution.

[423] Pour ce mode de chargement, le pivotement sur l'arrière est progressif en fonction de chargement : il est de 1,25° pour un chargement de 8,2 t.m ; de 1,5° pour un chargement de 13,2 t.m ; de 1,77° pour un chargement de 17,2 t.m ; de 1,91° pour un chargement de 20,9 t.m

[424] Pour 8,2 et 13,2 t.m de chargement le navire a même tendance à plonger très légèrement du nez de 0,14°.

[425] Toujours 1,77° pour un chargement de 17,2 t.m ; de 2,14° pour un chargement de 20,9 t.m.

[426] Elle est même équivalente à celle du premier mode cargaison pour les angles de gîte en-dessous de 20°. Par la suite elle s'avère très légèrement moins importante.

- Déplacement lège: déplacement de 6,8 tonnes **(Fig. LII).**

Contrairement à *Napoli A*, les formes de la carène de *Napoli C* lui une confère une stabilité de forme importante qui se traduit par l'inutilité d'un quelconque lest, fixe ou mobile. Le bras de levier de redressement maximal, atteint aux alentours de 35° de gîte, est appréciable (0,57 m) et permet déjà, compte tenu du déplacement de conférer une certaine raideur au bateau lui permettant de naviguer à vide dans des conditions de vent déjà établies. Avec une voile de 80,6 m², bordée à plat, un vent de travers de 19 nœuds (force 5 Beaufort) serait nécessaire afin de générer une gîte assez forte, à même d'entrainer un chavirement du navire. Par ailleurs, la marge de sécurité de flottabilité est importante : l'angle d'envahissement n'est atteint que tardivement, à 64° de gîte, et le livet n'est immergé qu'à partir de 32° environ. Le tableau émerge quant à lui complétement de l'eau, son point le plus bas se situant 10 cm au-dessus de la surface. Malgré cela, il nous semble que son immersion devait être déjà effective et irrégulière en conséquence du tangage. En règle générale cependant, dans les conditions de mer les plus favorables, on peut imaginer une navigation sous voile un tant soit peu efficace.

- Chargement 1° : déplacement de 15 tonnes, 8,2 tonnes de chargement **(Fig. LIII).**

Dans cette configuration, on constate une légère augmentation du bras de levier de redressement (0,59 m), atteint à 34° de gîte. L'augmentation importante du déplacement génère ainsi un moment de redressement important conférant une bonne stabilité transversale à notre embarcation. L'angle d'envahissement tardif, 41°, et l'angle d'immersion du livet, environ 23°, permettent de tabler sur une navigation jusque dans des conditions de vent assez forte. Toujours avec une voile de 80,6 m², un vent de travers de 26 nœuds (force 6 Beaufort) serait nécessaire afin de générer une gîte assez forte, à même d'entrainer un chavirement du navire. Pour ce qui concerne l'assiette du navire et l'immersion du tableau avant, nous observons un basculement léger sur l'arrière de l'embarcation (de 1,6°) par rapport à la position représentée sur le plan de formes. De cette manière, la marotte se retrouve entière hors de l'eau, le point le plus bas se situant 7 cm au-dessus de la surface. Comme dans le cas d'une navigation en lège, il semble probable que la marotte devait être régulièrement immergée sous l'effet des mouvements de tangage.

- Chargement 2° : déplacement de 20 tonnes, 13,2 tonnes de chargement **(Fig. LIV).**

Si l'on observe une diminution de la longueur du bras de redressement maximum, d'une longueur de 0,49 m intervenant à 32° de gîte, l'augmentation du déplacement génère cependant une augmentation du moment de redressement. En conséquence, la stabilité transversale s'en trouve augmentée. Toutefois, l'abaissement du franc-bord entrainant une diminution de l'angle d'envahissement (33°) ainsi que l'immersion plus précoce du livet de pont (18°) ne permet pas au navire chargé de telle manière, de faire face à des conditions de vent plus rudes que précédemment. Avec une voile de 80,6 m², un vent de travers de 26 nœuds (force 6 Beaufort) entrainerait encore un chavirement du navire. L'assiette du navire s'en trouve légèrement modifiée, celui-ci basculant légèrement plus sur son arrière, le bas de la marotte se situant alors dans ce cas au ras de la flottaison. Si le tableau ne se présente toujours pas comme un frein important à l'avancement, il n'en demeure pas moins que son positionnement commence à devenir critique dans la perspective d'une navigation sous voile convenable[427].

- Chargement 3° : déplacement de 25 tonnes, 18,2 tonnes de chargement **(Fig. LV).**

On observe une diminution constante du bras de bras de levier de redressement, qui n'atteint plus que 0,39 cm à 30° de gîte. L'augmentation du déplacement ne provoque cependant qu'une variation du moment de redressement à la hausse très faible et limitée aux plus petits angles de gîte. Malgré l'abaissement du franc-bord, l'immersion du livet (15°) et la diminution de l'angle d'envahissement (28°), la raideur à la toile et la capacité de redressement du navire demeurent bonnes, lui permettant toujours de porter toute la toile par vent de travers jusqu'à 26 nœuds (force 6 Beaufort). La marotte est dès lors immergée en partie et la surface frontale située en dessous de la flottaison mesure 0,19 m². Sans nul doute, le tableau représente dès lors un sérieux obstacle à l'avancement et ce quelles que soient les conditions de mer.

- Chargement 4° : déplacement de 27,71 tonnes, 20,91 tonnes de chargement **(Fig. LVI).**

L'augmentation du port en lourd et le relèvement du centre de gravité, amènent une dégradation sensible de la stabilité transversale : le bras de levier continue de

[427] On notera que le tableau se retrouve progressivement immergé à la gîte.

diminuer (0,32 m à 28° de gîte) et l'angle d'envahissement devient critique (25°) tout comme celui d'immersion du livet (13°). Le moment de redressement demeure relativement important, notamment aux angles de gîte inférieur à 25°, ou il est même plus important que celui du chargement 3°. En conséquence, l'analyse de la raideur transversale du navire démontre qu'il faudrait encore un vent de 25 nœuds pour coucher le bateau et le faire chavirer. L'enfoncement désormais important du navire provoque une immersion encore plus grande de la marotte, dont la surface immergée s'étend sur 0,26 m². Tout comme dans le cas du chargement 3°, la marotte présente dès lors un niveau d'immersion critique limitant fortement la vitesse d'avancement et ne permettant plus la navigation dans des conditions de mer agitée.

4.6.6. Interprétations :

On constate que la stabilité transversale ne se présente pas comme une limite à l'évolution de cette première hypothèse de restitution **(Fig.104 et 105)**. Sa largeur importante lui permet de bénéficier d'une stabilité de formes assez importante afin de ne pas avoir à se soucier de trop de la répartition verticale des poids dans la cale comme cela pouvait être le cas pour Napoli A. Au-delà de la question de la stabilité transversale, c'est plutôt l'assiette longitudinale du navire qui s'avère ici problématique et réclame donc une attention particulière dans la répartition des charges.

La marotte se présente en effet comme une spécificité de la carène qui ne peut être négligée tant son impact sur la résistance à l'avancement va être prépondérant. Par ailleurs, l'opposition face à la vague d'une surface verticale peut s'avérer particulièrement dangereuse : on ne peut pas d'une part négliger la possibilité d'embarquer une quantité d'eau importante, mais c'est surtout la répétition des chocs frontaux sur la structure qui doivent faire craindre une dislocation de l'ensemble ou encore le desserrement des coutures du bordé aux environs du tableau. Au final, c'est bien la présence de cet élément qui contribue à définir les conditions de mer et de vent permettant au navire de naviguer convenablement sous voile. Pour les déplacements les moins importants, jusqu'à 13 tonnes de chargement, la présence du tableau n'entrave que modérément la navigation : celui-ci n'est immergé que très partiellement à la gîte, et lors des phases de tangage. Si la stabilité transversale, pour ces conditions de chargement, a démontré que le bateau pouvait soutenir des vents jusqu'à 25

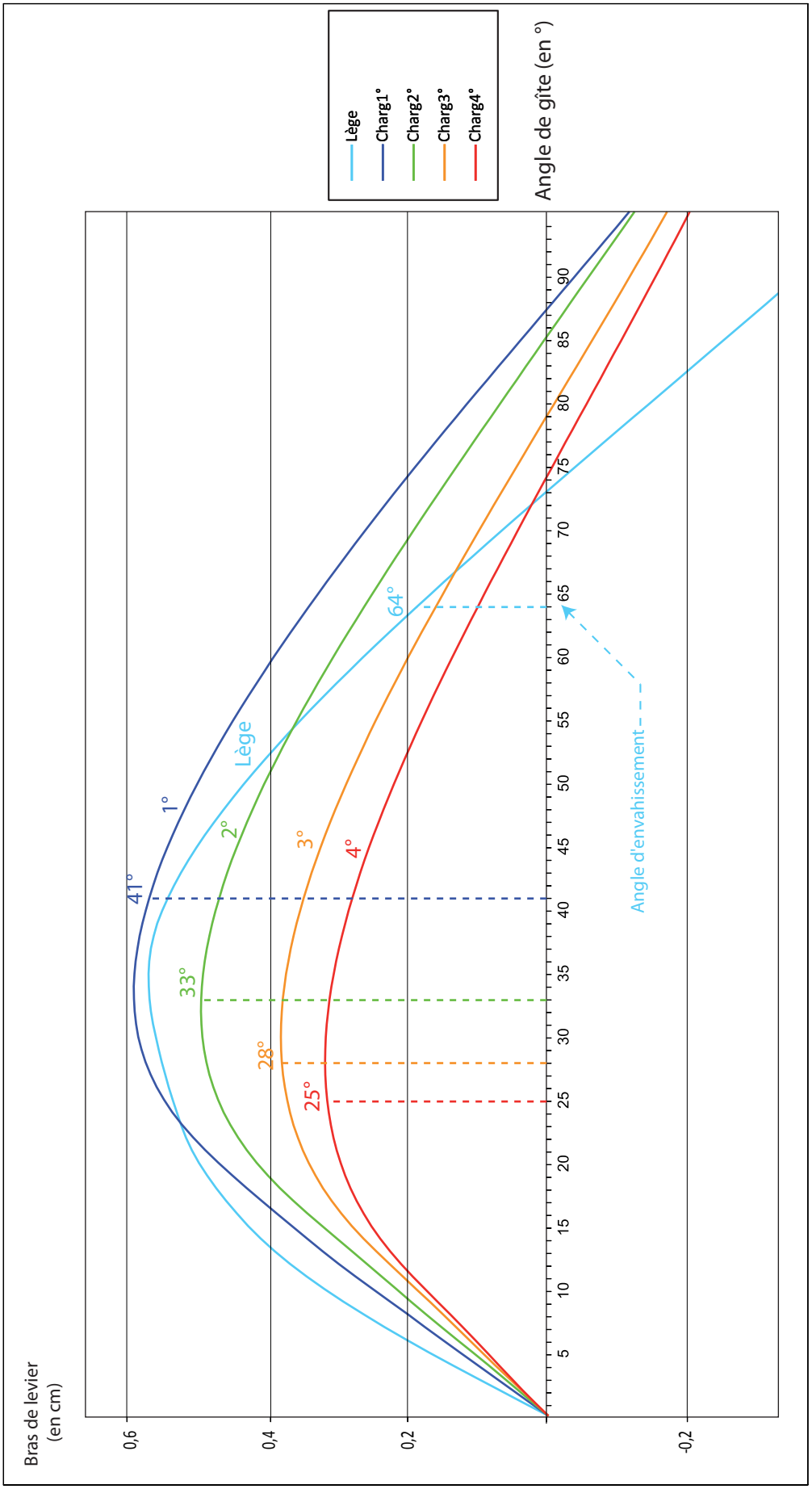


Fig. 104 : Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.

nœuds, son utilisation va donc être essentiellement conditionnée par l'état de la mer. Il nous est malheureusement impossible de jauger objectivement la limite raisonnable d'utilisation.

Au-delà de 13 tonnes de port en lourd, l'immersion du tableau est progressive et on peut dès lors considérer que, même pour une navigation à plat dans des conditions de vent et de mer favorables, cette surface verticale déplace une masse d'eau considérable d'une manière très peu optimisée **(Fig. 102)**. La dégradation de l'hydrodynamisme entraine dès lors une diminution notable des vitesses potentielles du navire, l'énergie nécessaire pour vaincre la résistance de vague provoquée par la marotte croissant de manière exponentielle. Dans ces conditions de chargement il n'est guère plus question de prendre la mer autrement que lorsque celle-ci est calme. Il nous semble que même la présence d'un clapot faible mais court engendrerait une prise de risques trop importante pour être envisagée. Cependant dans des conditions de mer favorables et un vent assez puissant, de telles situations de chargement sont plus envisageables.

4.6.7. Remarques sur les qualités nautiques du navire :

L'importance de la répartition des masses au sein du navire influe, nous l'avons vu, de manière importante sur la forme du flotteur ainsi que sur l'assiette du navire. L'influence de ces éléments sur les qualités nautiques du navire nous paraît évidente tant ceux-ci provoquent des variations considérables de la position des centres caractéristiques de la carène. Il nous est donc difficile ne serait-ce que de percevoir une esquisse du comportement à la mer de notre restitution. Cependant, au-delà des considérations sur l'assiette et sur la position des centres de carène et de dérive, certains aspects de la carène de *Napoli C* sont immuables et occupent une place déterminante dans l'appréciation des qualités nautiques de notre navire. On note tout d'abord que *Napoli C* est à n'en pas douter un navire conçu « à différence », son tirant d'eau arrière étant toujours plus important que le tirant d'eau avant. Si les centres de carène demeurent centraux, quelles que soient l'importance et la répartition des chargements, cette différence entraine avec plus ou moins de prégnance un déport du centre de dérive sur l'arrière. Cet élément tend à conforter l'idée d'une bonne stabilité de route que l'on pourrait avoir tendance à lier au caractère évolutif de la carène. Toutefois l'importance des volumes à l'avant se place en opposition face à une telle affirmation.

D'autre part, au-delà des considérations sur la structure, la présence de la marotte doit indéniablement dégrader les qualités nautiques de notre embarcation. Aux allures portantes, la

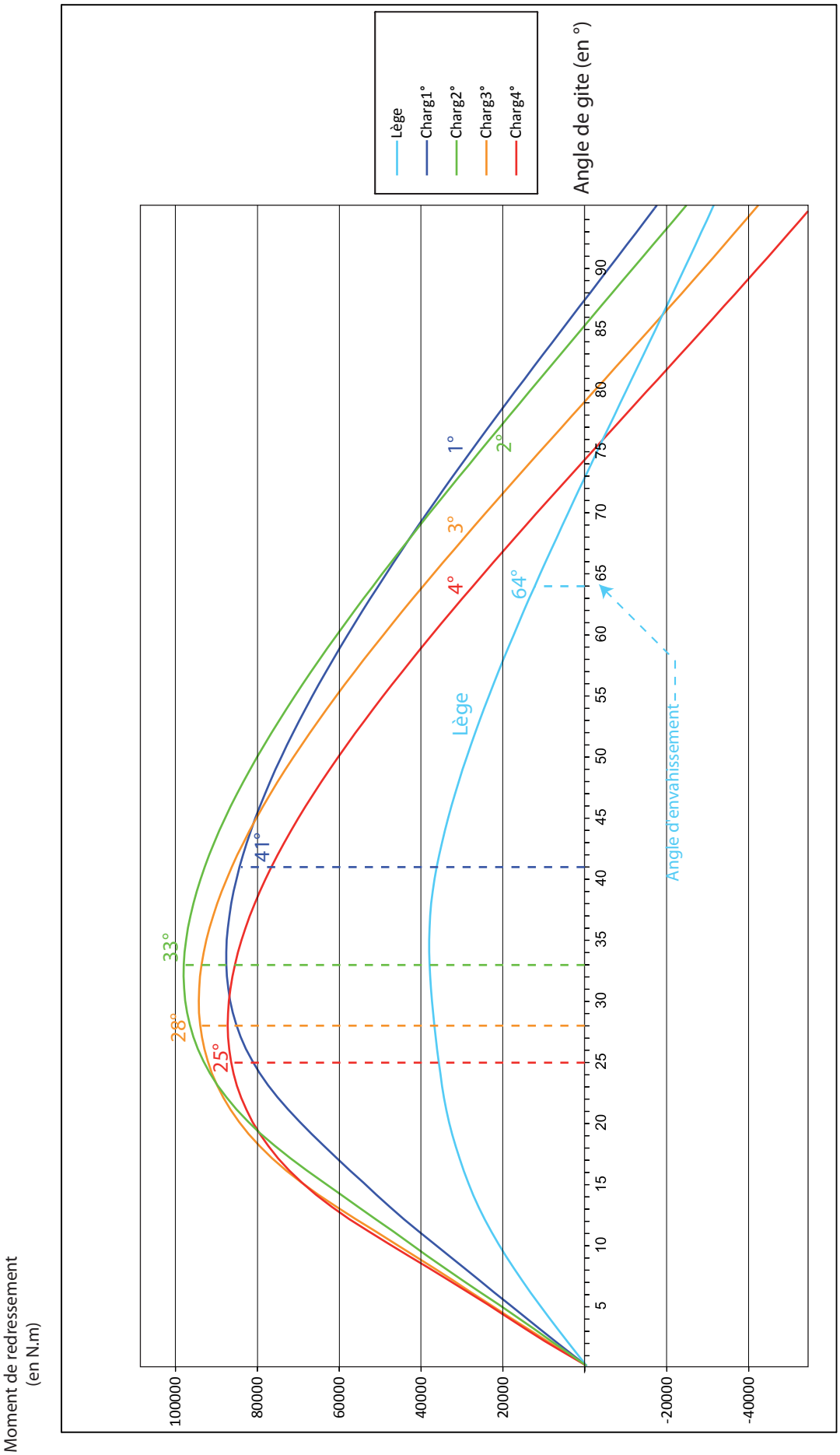


Fig. 105 : Comparaison des différents moments de redressement de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.

Fiche technique : *NAPOLI C* V.1

Dimensions générales :

- Longueur hors-tout..... **13,83 m**
- Longueur entre perpendiculaires ..... **13,70 m**
- Largeur interne au maître-couple..... **4,02 m**
- Largeur maximum au maître-couple..... **4,29 m**
- Creux au maître-couple..... **1,11 m**
- Hauteur bas de quille - pavois ..... **1,95 m**
- Poids du navire en lège..... **6,8 t.m**

Rapports de proportion remarquables :

- Longueur PP / largeur int **3,44**
- Largeur int. / Creux..... **3,62**
- Longueur HT / Creux..... **12,45**
- Largeur max. / Hauteur BQP..... **2,2**
- Longueur HT /Hauteur BQP..... **7,09**

Données sur le déplacement :

- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 20°..... **16,13 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 15°..... **21,89 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 10°..... **28,65 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 5°..... **32,20 t.m**

Dimensions remarquables dans le cas d'un déplacement de 28,65 t.m :
(correspondant à la configuration pour laquelle le livet est immergé à 10° de gîte)

Longueur à la flottaison..... **13,70 m**
Largeur à la flottaison au maître-couple..... **4,12 m**
Tirant d'eau maximum..... **1,18 m**
Port-en-lourd..... **21,85 t.m**
Surface mouillée..... **55,27 m²**
Cb..... **0,415**
Cp..... **0,604**

poussée vélique entraine certainement un tangage longitudinal amenant l'immersion de la marotte. La perte de vitesse générée par celle ici ne peut être négligée. C'est peut-être dans les allures plus proches de travers que la carène semble montrer son meilleur visage. La largeur importante lui confère alors une stabilité transversale importante qui, traduite en puissance, lui permet de porter beaucoup de toile sur une grande plage de conditions de vent. D'autre part, l'assiette tend à se modifier légèrement, la carène s'inclinant un peu plus sur son arrière, on note un positionnement moins pénalisant de la marotte. Concernant le près, on remarquera que le tableau tend à s'immerger à nouveau, et que la surface latérale antidérive demeure plus que limitée. En conséquence nous estimons qu'il pouvait éventuellement être vain de vouloir gagner au vent avec Napoli C. Une évolution au petit largue devait ainsi certainement se traduire, par la faute de la dérive et des ralentissements successifs provoqués par la percussion des vagues sur la marotte, au mieux comme un simple travers. Par ailleurs, si l'on considère la distance perdue lors des virements lof pour lof, on tablera plutôt sur un VMG négatif à ces allures du près.

4.7. Evaluation hydrostatique de l'hypothèse n°2 : un navire de batellerie portuaire polyvalent à propulsion mixte

4.7.1. Devis de poids du navire en lège :

La méthode utilisée ici pour dresser le devis de poids de notre épave est tout à fait similaire à celle énoncée plus haut pour la première hypothèse.

Tab. 27 : Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°2

	Volume (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Poids Spé.	Poids (T)
Bordé	1,952	0	708,26	50,7	Variable	0,995
Membrure	2,40	- 2,18	743,7	59,15	Variable	1,917
Charpente axiale	0,288	0	441	62	0,47	0,135
Pont	1,102	0	686	130	Variable	0,664
Mâture	1,051	0	878	530	Variable	0,567
Gouvernail	0,162	0	228	91,5	Variable	0,114
Divers	1,698	/	/	/	/	1,02
TOTAL	8,653	0	725,36	121,48	Variable	**5,412**

Dans cette seconde hypothèse de restitution, la présence d'un lest ne paraît pas non plus nécessaire, les formes amples de la carène lui permettant toujours de bénéficier d'une importante stabilité de forme.

4.7.2. Equipage et armement :

Nous ne pouvions ici ignorer l'importance du poids des rameurs, ainsi que leur incidence éventuelle sur la stabilité transversale. Au-delà du barreur, que nous avons éludé à l'image de ce que nous proposons dans la première hypothèse, nous avons donc restitué un équipage de dix rameurs dont le poids a été fixé à 70 Kg. Cette masse de 0,7 tonnes entraine

un léger redressement du centre de gravité et n'influe que marginalement sur la stabilité transversale et sur la flottaison.

4.7.3. Ports en lourd :

Si l'on recherche le déplacement nécessaire pour que livet soit immergé à 10° de gîte, la flottaison serait alors à placer au niveau du maître-couple à une hauteur de 0,77 m depuis le bas de quille, donnant ainsi à voir un déplacement lourd de 16,81 tonnes, soit 10,7 tonnes de port en lourd.

A cette méthode des 10°, utilisée lors de l'analyse de nombreuses restitutions, il nous semble pertinent d'adosser, ou du moins d'évoquer, les résultats d'analyses similaires correspondant à une immersion du livet pour d'autres angulations de gîte : pour 20° de gîte, le déplacement est de 7,2 tonnes, le port en lourd de 1,78 tonnes ; pour 15° de gîte, le déplacement est de 12 tonnes et le port en lourd de 6,58 tonnes ; enfin pour une limite de sécurité correspondant à 5° de gîte, le déplacement culmine à 22,85 tonnes pour un port en lourd de 17,43 tonnes **(Fig. LVIII)**.

Dans le cas d'un déplacement en lège avec l'équipage, le tirant d'eau est de 41 cm, le franc bord de 66 cm, l'angle d'envahissement s'établissant quant à lui à 22°. Si le bras de levier de redressement et le moment qui en découle demeurent limités (0,61 m atteint à 28° pour un moment de 36500 N.m), ceux-ci s'avèrent cependant suffisants pour étaler un vent de travers de 16 nœuds **(Fig. LIX)**.

Contrairement à l'hypothèse n°1, nous avons fait ici le choix d'analyser une seule et unique hypothèse de chargement en plus des configurations en lège **(Fig. LX)**. Cette configuration représente un chargement quasi complet de l'espace demeurant libre aux alentours des rameurs. En appliquant une densité de 0,73 à ce volume nous obtenons un port en lourd de 8,5 t.m. Le bateau s'enfonce alors de 29 cm environ et sa surface mouillée atteint 42,26 m². Si l'on constate un raccourcissement du bras de levier Gz, l'augmentation du poids du navire engendre une amélioration du moment de redressement et donc de la stabilité transversale. Cependant, l'abaissement du franc bord rend critique l'angle d'envahissement (12°), qui correspond ici à l'angle d'immersion du livet, limitant la navigation de l'embarcation aux conditions de mer et de vent les plus favorables. Si l'on compare la courbe des moments de redressement avec celle des moments inclinants générés par l'action d'un vent de travers sur la voile, on constate ainsi qu'un vent de 16 nœuds seulement est à même

Fiche technique : *NAPOLI C* V.2

Dimensions générales :

- Longueur hors-tout..... **13,83 m**
- Longueur entre perpendiculaires ..... **13,70 m**
- Largeur interne au maître-couple..... **3,94 m**
- Largeur maximum au maître-couple..... **4,08 m**
- Creux au maître-couple..... **0,78 m**
- Hauteur bas de quille - pavois ..... **1,11 m**
- Poids du navire en lège..... **5,41 t.m**

Rapports de proportion remarquables :

- Longueur PP / largeur int..... **3,47**
- Largeur int. / Creux..... **5,05**
- Longueur HT / Creux..... **17,73**
- Largeur max. / Hauteur BQP..... **3,67**
- Longueur HT /Hauteur BQP..... **12,45**

Données sur le déplacement :

- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 20°..... **7,2 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 15°..... **12 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 10°..... **16,81 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 5°..... **22,85 t.m**

Dimensions remarquables dans le cas d'un déplacement de 16,81 t.m :
(correspondant à la configuration pour laquelle le livet est immergé à 10° de gîte)

Longueur à la flottaison..... **13,48 m**
Largeur à la flottaison au maître-couple..... **3,78 m**
Tirant d'eau maximum..... **0,81 m**
Port-en-lourd..... **10, 7 t.m**
Surface mouillée..... **44,4 m²**
Cb..... **0,397**
Cp..... **0,561**

de faire gîter le navire au point de faire craindre un embarquement d'eau par-dessus le livet **(Fig. 106 et 107)**.

4.7.4. Remarques sur les qualités nautiques du navire :

L'attitude sous voile de cette seconde hypothèse de restitution de Napoli C nous présente un navire tout à fait limité par les conditions de vent et de mer rencontrées, et ce principalement à cause de la hauteur restreinte de son franc-bord. En règle générale, quel que soit le déplacement, il ne semble pas opportun de prendre la mer au-delà de 4 Beaufort **(Fig.105 et 107)**. A cela viennent s'ajouter les remarques sur la présence de la marotte, déjà évoquées pour la première hypothèse de restitution : frein à l'avancement important, effort structurel généré par l'impact répété des vagues, etc… Au final, cette seconde hypothèse donne donc à voir un navire susceptible de prendre la mer uniquement par beau temps et pour lequel on favorisera les allures de portant et de travers, les éléments à charge contre la capacité à remonter au vent, identiques à celle de l'hypothèse n°1, s'avérant trop nombreuses et importantes pour tabler raisonnablement sur un VMG positif au près[428].

- Propulsion à la rame :

L'étude du comportement du navire sous l'action des rameurs s'est révélée bien plus facile à appréhender que celle sous voile. Nous avons fait le choix de rechercher la vitesse d'équilibre atteinte par le navire lors d'un effort χ de l'équipage dans des conditions de mer calme et par vent nul, en reprenant la méthodologie proposée par M. Philippe Allard dans son mémoire[429] présenté à l'EHESS et portant sur les caractéristiques nautiques et les performances des navires antiques.

Sachant que la résistance totale hydrodynamique de la carène ($\mathbf{R^{hydro}}$) correspond pour chaque vitesse à une puissance ($\mathbf{P^{hydro}}$) correspondant au produit de la vitesse par la résistance $\mathbf{R^{hydro}}$, il s'agit donc, afin de déterminer la vitesse d'évolution pour un effort donné, de comparer cette puissance hydrodynamique dissipée par la carène avec la puissance ($\mathbf{P^{musc}}$) transmise par les rameurs à l'embarcation par le biais des tolets. Toutefois, la puissance musculaire développée par les rameurs ne se transmet pas totalement à l'embarcation et il est

[428] Parmi les points principaux on rappellera l'immersion de la marotte à la gîte, faible importance de la surface antidérive. A cela vient s'ajouter ici la bassesse du franc-bord se traduisant par un très faible angle d'envahissement.
[429] Allard, 1997, p. 83-88

donc nécessaire de définir un rendement **η** correspondant à la déperdition d'énergie liée à divers facteurs physiques et mécanique dont il est difficile de dresser un compte exhaustif. On notera que J.T. Shaw, à propos des tests effectués à bord de l'hypothèse flottante de trirème l'*Olympias*, a pu mesurer des rendements variables s'établissant entre 0,18 pour une vitesse de 1 nœud et 0,72 à 6 nœuds[430]. Nous avons fait le choix d'utiliser un rendement de 0,45 correspondant à la moyenne de ces deux bornes et qui s'accorde avec le rendement réel d'un système mécanique très proche de celui d'un aviron, utilisé par P. Allard dans son mémoire : la roue à aube[431].

Au final la recherche de la vitesse d'équilibre est donnée par l'équation :

$$\mathbf{P^{hydro} = \eta * P^{musc}}.$$

- Mesure de $\mathbf{P^{hydro}}$ **:**

Si la résistance totale de la carène est produite, avec l'appui de l'informatique, par analyse directe de la forme de la carène, il nous faut cependant lui adjoindre la résistance produite par l'immersion des gouvernails latéraux. Les mesures menées à bord de l'*Olympias* ayant démontré l'importance de la résistance générée par les pelles immergées sur la résistance totale de la carène[432] (équivalent à la moitié de la résistance à 7 nœuds, lorsque les deux pelles sont immergées). Par ailleurs l'immersion modérée d'un seul des deux gouvernails génère en moyenne une augmentation de 20% de la résistance à l'avancement. A défaut de pouvoir mesurer précisément la résistance de cet appendice, nous avons donc fait le choix d'appliquer un coefficient correcteur de 1,20 à la résistance mesurée sur la carène seule. On trouvera en annexe un graphique représentant la résistance de la carène ainsi que la résistance totale une fois pondérée.

- Définition de $\mathbf{P^{musc}}$:

Il s'agit ici de définir l'effort que peut fournir un rameur sur une certaine durée. Deux cas vont particulièrement nous intéresser : la puissance maximale lors d'un effort intense et court dans le temps (quelques minutes tout au plus) afin de mesure la vitesse maximale, et la puissance disponible pour un effort mesuré mais constant dans le temps afin de mesurer la vitesse croisière.

Les tests d'efforts sur ergomètre pratiqués par l'équipe de recherche de la trirème *Olympias* ont mis en avant la puissance moyenne de 195 watts pour un effort maximal sur une

[430] Coates, 1994, p. 249-256
[431] Saunders, 1957.
[432] Coates, Platis, Shaw, 1990, p. 72-74

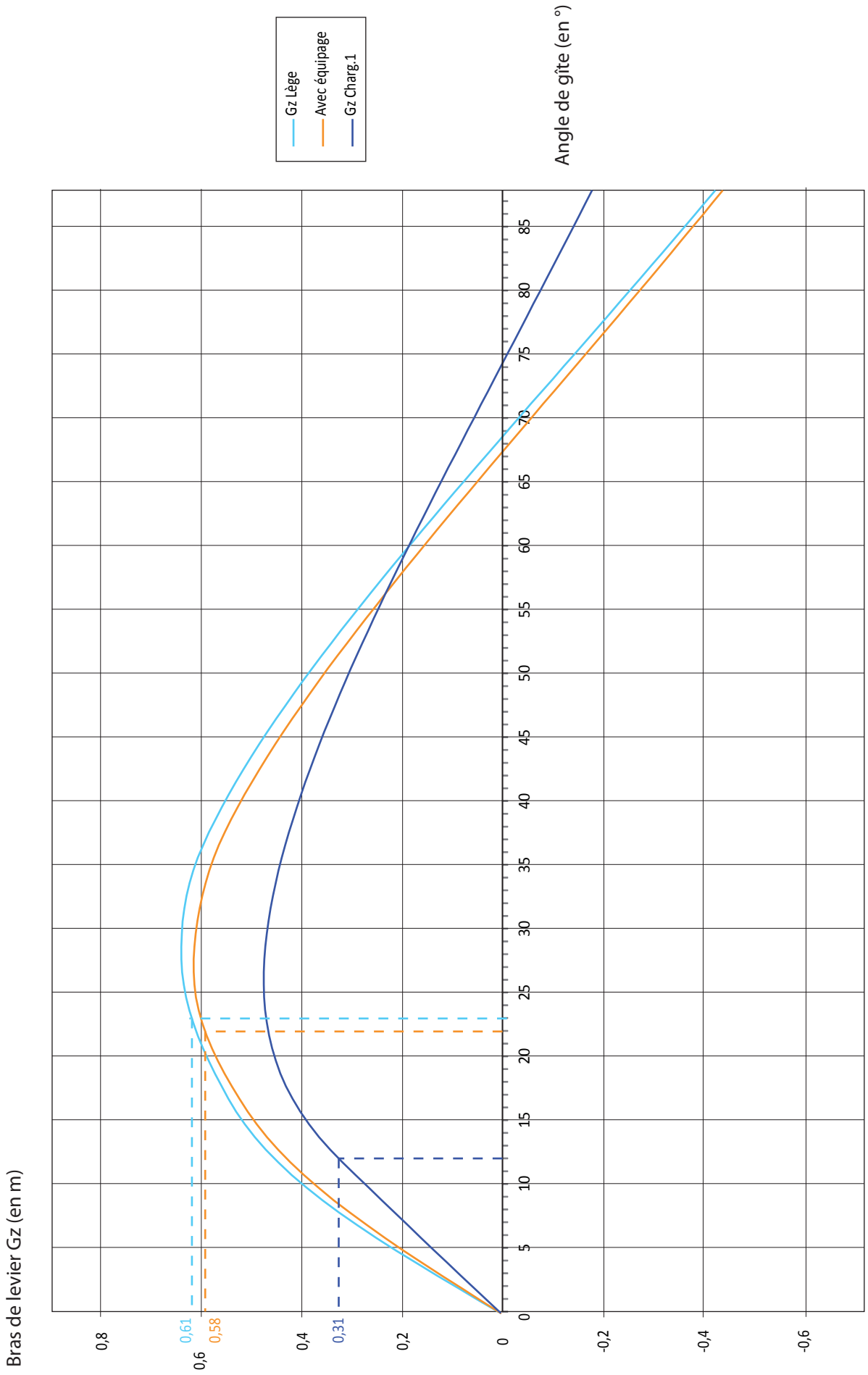


Fig. 106 : Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°2 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.

durée de cinq minutes, de la part d'un groupe de 29 hommes[433]. S'il n'est pas fait état directement de la puissance moyenne développée sur un intervalle de temps plus allongé, on est en droit de penser que celle-ci se situe aux alentours de 90 watts. Les deux puissances exploitables, développées par notre groupe de dix rameurs sont donc les suivantes :

- Puissance maximale (/5minute) = 10 * 0,45 * 195 = **877,5 watts**
- Puissance de croisière (/6heures) = 10 * 0,45 * 90 = **405 watts**

En se reportant à notre graphique de la résistance totale de la carène, on retrouve les vitesses suivantes **(Fig. LXI)**:

- Vitesse maximale (/5minute) = 6,3 nœuds
- Vitesse de croisière (/6heures) = 4,6 nœuds

De tels chiffres démontrent parfaitement selon nous, la capacité de cette restitution de *Napoli C* à se mouvoir à la rame dans un espace de navigation restreint et protégé. Ainsi, considérant la distance entre Naples et Pouzzoles (10,4 miles nautiques) on peut projeter un trajet à la rame par vent et mer calmes d'environ 2h15. En projetant la même méthode d'évaluation des vitesses maximales et de croisière pour le chargement 1°, on observe une diminution de près de 1,3 nœuds des deux vitesses **(Fig. LXII)**:

- Vitesse maximale (/5minute) = 5 nœuds
- Vitesse de croisière (/6heures) = 3,3 nœuds

Si la diminution de la vitesse potentielle en condition du chargement n'est pas négligeable (entre 15% et 21%), il n'en demeure pas moins que la vitesse de croisière permet encore d'imaginer une utilisation commerciale raisonnable de cette restitution dans un espace de navigation restreint et protégé : toujours en considérant la distance entre Naples et Pouzzoles (10,4 miles nautiques) on peut projeter un trajet à la rame par vent et mer calmes d'environ 3h10.

[433] *Ibid*. p. 68

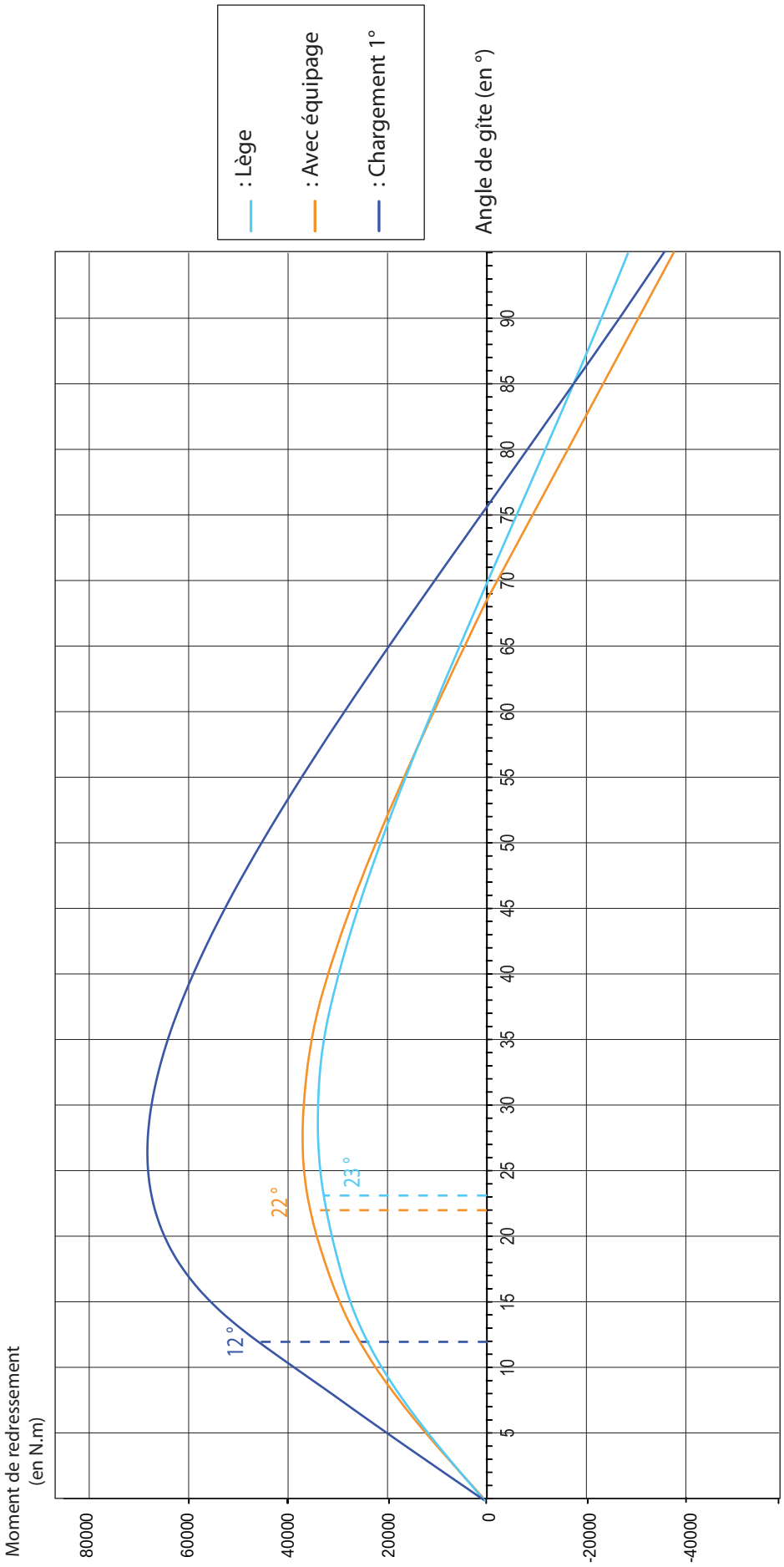


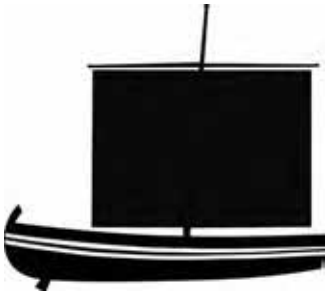
Fig. 107 : Comparaison des différents moments de redressement de l'hypothèse de restitution n°2 de l'épave *Napoli C*, en fonction du type de chargement.

4.8. Synthèse :

Au final, le travail de restitution mené sur l'épave *Napoli C* permet, à travers la réalisation de deux hypothèses bien distinctes et complémentaires, de dégager des axes d'interprétation qui se révèlent déjà très significatifs.

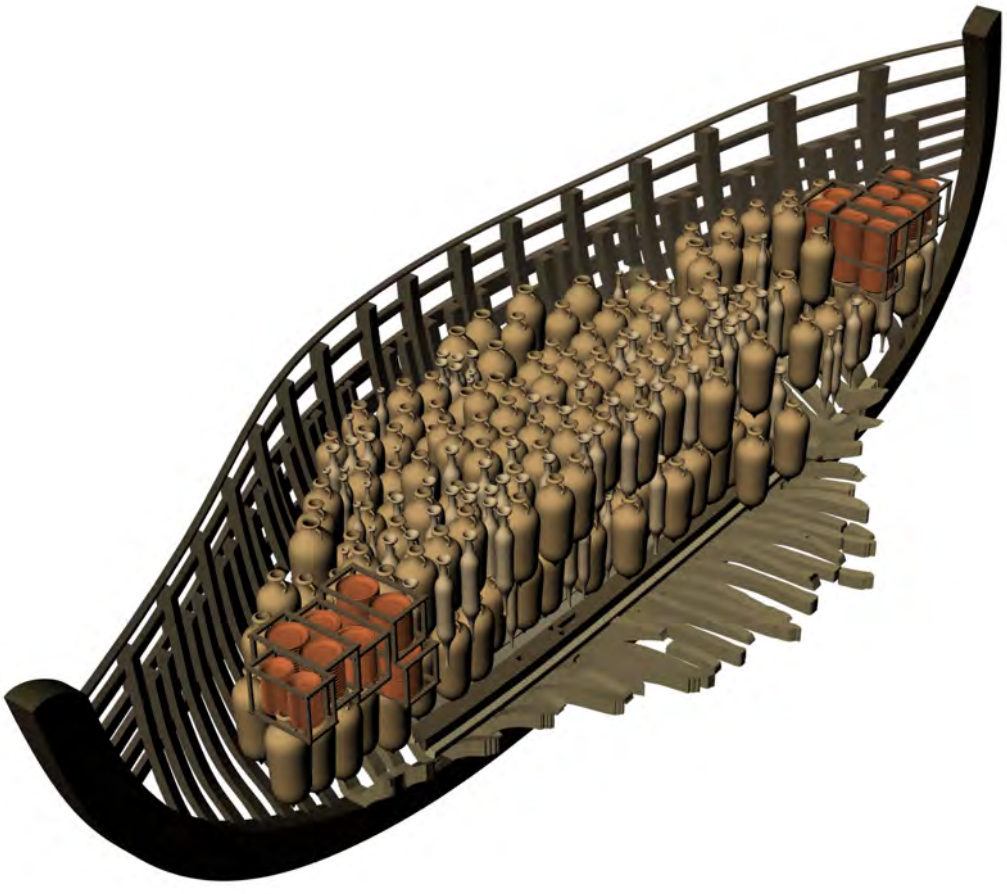
En effet, malgré les ambiguïtés portant sur le mode de propulsion et sur le sens de navigation, on peut toutefois s'avancer sur le fait qu'il s'agit bien d'un navire de faible tonnage dont l'espace de navigation devait être réduit, puisque les formes de la carène caractérisées par la présence de la marotte, devaient nécessairement limiter les capacités de navigation aux espaces protégés. Concernant sa fonction, le spectre des possibilités est relativement large : depuis l'unité de batellerie portuaire, à titre d'allège ou d'unité de remorquage, jusqu'à celle de simple transbordeur.

Si nombres de questions demeurent aujourd'hui encore en suspens à propos de l'interprétation de cette épave, les travaux ainsi que les nouvelles découvertes effectuées par Giulia Boetto permettent d'espérer un affinement de nos connaissances qui pourrait amener à reconsidérer la validité des hypothèses développées dans ce chapitre.



V. *Dramont E*

5.1. Choix de l'épave..... p. 301
5.2. Historique et présentation des vestiges..... p. 302
5.3. Remise en place des vestiges et recherche des formes..... p. 325
5.4. Evaluation de deux hypothèses de restitution de l'épave *Dramont E*..... p. 360
5.5. Conclusions..... p. 376



5. *Dramont E*

5.1. Choix de l'épave :

L'application de notre méthode de restitution et d'analyse à l'épave *Dramont E*, trouve son fondement dans plusieurs éléments de natures variées :

Il s'agissait en tout premier lieu de fournir une matière première archéologique au travail de master préfigurant la présente thèse. Cela supposait de trouver une épave adaptée à la mise en application d'une étude de restitution et d'évaluation du tonnage par l'usage nouveau de l'outil informatique. Il nous fallait de toute évidence une épave pour laquelle les informations sur l'architecture ne manquent pas, et qui soit relativement bien conservée afin de pouvoir envisager sa restitution. L'épave *Dramont E* répondait positivement à ces deux conditions. D'une part, nous avions une épave relativement bien préservée, malgré de nombreux pillages, et nous avions surtout la possibilité de nous appuyer sur la très complète publication de Claude Santamaria sur l'épave[434]. A côté de ces conditions premières, l'épave *Dramont E* présentait des caractéristiques que l'on pouvait espérer intéressantes, telles que ses dimensions inhabituelles et son tonnage important. Mais c'est notamment le fait que ce soit une épave d'époque tardive, période de mutation pour l'architecture navale méditerranéenne, qui était particulièrement attrayant. En effet, seule l'épave de *Port-Vendres 1* avait jusque-là fait l'objet, pour cette époque et pour l'ouest méditerranéen, d'une étude architecturale détaillée[435]. Elle a ainsi pu faire l'objet d'une restitution de ses formes[436].

Dans un second temps, dans le cadre de cette thèse, l'amélioration et l'enrichissement de notre méthode de restitution et d'analyse nous ont poussés à réexaminer entièrement ce premier travail de master, dont les conclusions nous paraissaient pour trop parcellaires. Au-delà des éléments qui avaient justifié la production d'une première restitution en master, éléments par ailleurs toujours valables au moment de la thèse, nous étions désormais à même de pouvoir proposer différentes hypothèses. Autre élément fondamental, il nous était dès lors permis, par l'amélioration de nos aptitudes à manier l'outil informatique, de produire un modèle plus riche comprenant les vestiges bruts ainsi que leur remise en forme. De là, a pu découler une analyse critique de la documentation graphique originale à même de nous

[434] Santamaria, 1995. En plus de cette monographie, relativement exhaustive, on se doit de mentionner l'existence de nombreux écrits antérieurs à celle-ci, à propos de cette épave : Tchernia, 1969, p. 470-472 ; Chevalier, Santamaria, 1970, p. 356 ; Joncheray, 1975, p. 141-146 ; Santamaria, 1983, p. 57 ; Santamaria, 1984, p. 107-114.
[435] Rival, 1991, p. 267-291.
[436] Roman, 1997, p. 139-159.

indiquer la pertinence des différents relevés, nous fournissant un nouvel argument justifiant du travail de restitution effectué sur cette épave.

5.2. Historique et présentation des vestiges :

5.2.1. Lieu et date de découverte :

L'épave *Dramont E* a été déclarée le 5 Octobre 1965 par Mme J. Issaverdens et M. F. Dumas[437]. Elle repose par 42 m de profondeur, à l'ouest du cap Dramont **(Fig. 108)**, à quelques huit cents mètres de l'île d'Or et de ses écueils, et à environ cinq cents mètres dans le sud-est de la pointe de Pierre Blave.

L'épave, avant la déclaration, semble avoir été la victime d'une première série de pillages, avant qu'une expertise menée en Avril 1966 par M. Yves Chevalier, assistant de la Direction des Antiquités chargé de l'archéologie sous-marine, ne mette en évidence l'importance et l'homogénéité du gisement ainsi que, malheureusement, l'importance croissante des pillages effectués sur celle-ci. Ces constatations se poursuivant lors de plongées ponctuelles effectuées sur le site jusqu'en 1969 par Y. Chevallier et C. Santamaria[438] **(Fig. 109-110)**, puis par J.-P. Joncheray en 1972[439].

La mise en place d'un véritable programme de fouille n'intervint qu'à partir de 1981 sous l'impulsion de M. Claude Santamaria qui, durant dix campagnes, va poursuivre l'investigation complète de l'épave jusqu'en 1991, ce qui permettra la publication en 1995 dans la collection *Archaeonautica* d'un numéro entièrement consacré à la fouille et aux découvertes produites sur le site du *Dramont E*[440].

5.2.2. Méthode employée durant la fouille :

Pour notre étude nous nous sommes attardés particulièrement sur les éléments de la coque de l'épave. C'est pourquoi nous n'aborderons dans ce passage que la méthodologie employée durant la seconde partie de la fouille, c'est-à-dire celle concernant le navire en lui-même et non plus sa cargaison, en prêtant attention particulièrement à la manière dont ont été effectués les relevés. Comme le souligne à maintes reprises Claude Santamaria,

[437] Tchernia, 1969, p. 470-472.
[438] Chevalier, Santamaria, 1970, p. 356 ; Plongées qui furent l'occasion d'effectuer une couverture photographique complète du gisement avant le début de la fouille.
[439] Joncheray, 1975, p. 141-146
[440] Santamaria, 1995.

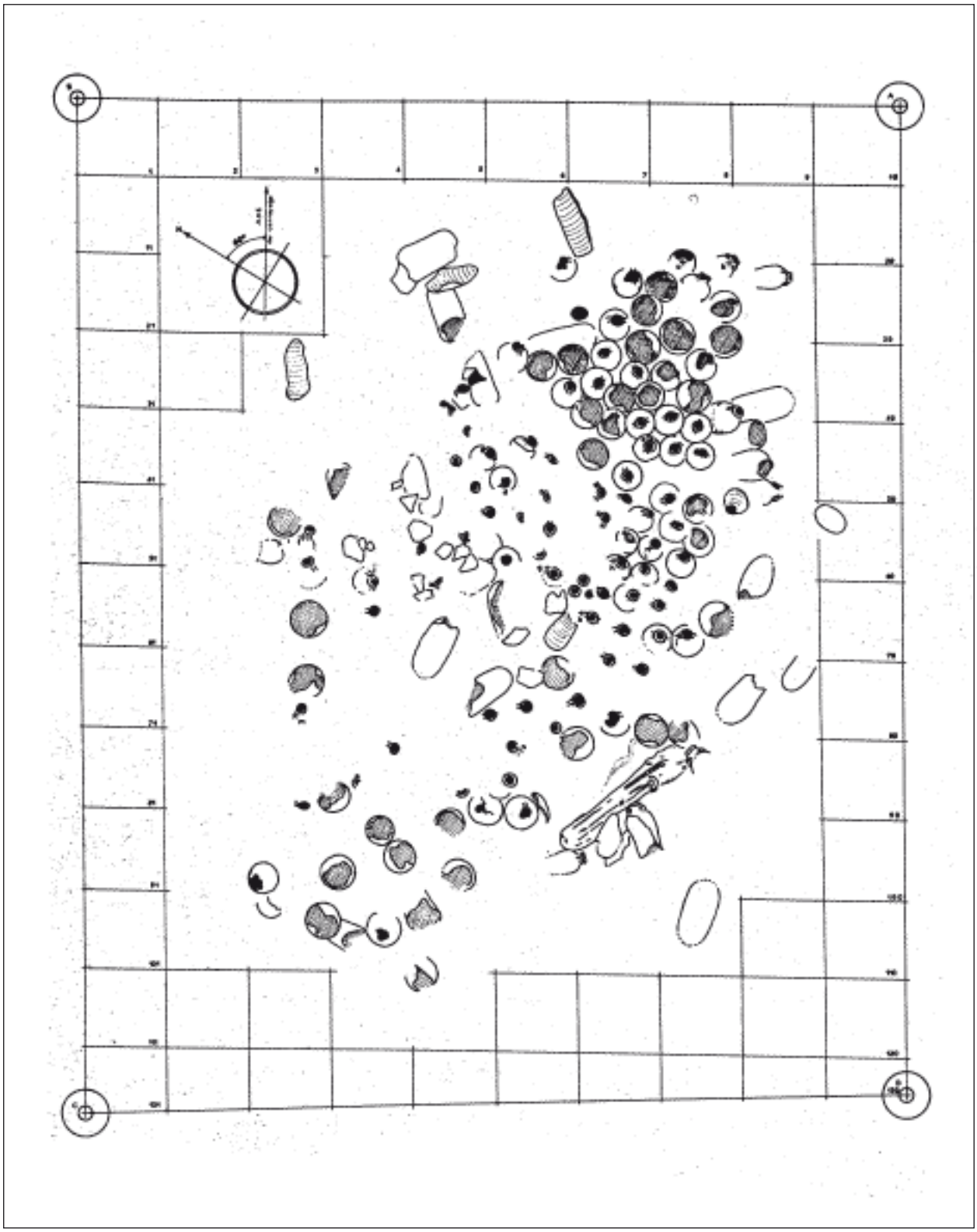


Fig. 108 : Plan du site en septembre 1968 (tiré de : Santamaria, 1995).

l'inconvénient majeur de la fouille fut incontestablement la profondeur importante du gisement. A cela venait s'ajouter, en ce qui concerne l'étude de la coque, le problème de la dégradation rapide des parties de bois laissées en pleine eau. Bien conscients de ce dernier point, les fouilleurs adoptèrent donc une procédure d'étude dans laquelle l'épave serait scindée en trois tranches à fouiller successivement. La première tranche allant de l'arrière à la membrure C13 (les membrures étant numérotées de 1 à « n » en partant de l'arrière), la deuxième de la membrure C14 à la membrure C24 et la dernière de la membrure C25 à l'avant.

Chaque tranche se voyait par ailleurs attribuer quatre niveaux distincts correspondant aux différents éléments architecturaux découverts:

- Un premier niveau correspondant aux éléments supérieurs : vaigrage, massif d'emplanture, cloisons, carlingots.
- Un deuxième niveau correspondant à la membrure.
- Un troisième niveau correspondant au bordé.
- Un dernier niveau correspondant à la quille et à ses prolongements.

En suivant ce schéma de fouille, il fut ainsi possible de produire différentes planimétries, notamment celles du massif d'emplanture, du vaigrage, de la membrure et du bordé[441].
Par ailleurs une coupe longitudinale au niveau de la quille fut aussi relevée, tout comme deux détails des profils des massifs d'étambot et d'étrave, ainsi que 16 coupes transversales sur différents couples.

Concernant l'étude des liaisons et de la construction en particulier, il est à noter que certains éléments ont fait l'objet d'une étude détaillée : c'est notamment le cas pour le bordé entièrement prélevé en deux endroits : à bâbord entre les membrures C17 et C20 et à tribord entre les membrures C7 et C13. C'est aussi le cas au niveau des « traits de Jupiter » où la construction de ceux-ci est précisément étudiée, et c'est enfin le cas avec le massif d'emplanture et le morceau de pied de mât qui y était encore encastré.

[441] Lors de notre étude nous avons jugé nécessaire de vectoriser l'ensemble de ces planimétrie afin de faciliter la production du modèle virtuel d'étude et de restitution. Ce sont ces derniers que nous présentons dans le volume de figures et de planches. Ils sont tout à fait identiques aux originaux à l'exception de leur format d'enregistrement.

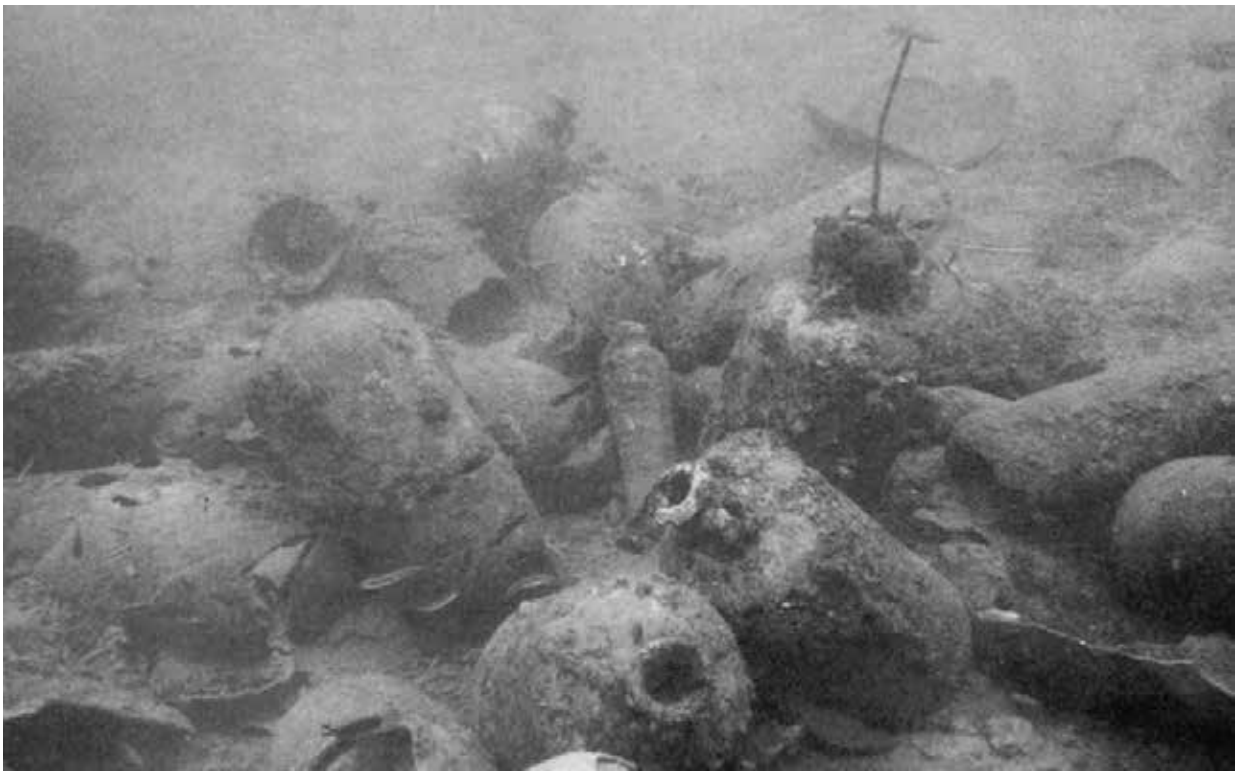


Fig. 109 : Amphores du niveau supérieur éparpillées par les pilleurs (tiré de: Santamaria, 1995).



Fig. 110 : Amphores du niveau inférieur encore en place (tiré de: Santamaria, 1995).

5.2.3. Description des vestiges :

L'épave est située par quarante-deux mètres de profondeur sur un fond vaso-argileux présentant un double pendage faible vers le sud et vers l'ouest.

5.2.3.1. Le tumulus amphorique :

L'épave, lors des expertises de 1966 se distinguait particulièrement par une forte présence d'amphores sur le haut d'un tumulus (au-moins deux cents apparentes selon C. Santamaria). Amphores anarchiquement réparties dans une zone de forme ovale dont les dimensions sont les suivantes : neuf mètres pour l'axe longitudinal, quatre pour l'axe transversal **(Fig. 111)**. L'examen attentif de la cargaison visible ne laissait alors aucun doute sur la présence d'un empilement d'amphores et sur l'existence d'un niveau inférieur presque invisible durant ces expertises.

Lors du début des fouilles programmées en 1981 la présence de l'épave n'était plus marquée que par l'affleurement des cols des amphores de la couche inférieure **(Fig. 110)**, les amphores du niveau supérieur ayant été soit enlevées par les pillards, soit brisées par ceux-ci dans leurs tentatives de dévasement. Comme le rapporte C. Santamaria, dans ses observations faites sur cette couche inferieure en 1968, il ressort que la cargaison vient s'inscrire dans une zone de forme ovale aux dimensions plus conséquentes que celle de l'empilement d'abord observé : dix mètres cinquante pour l'axe le plus grand orienté est-ouest et sept mètres pour l'axe plus petit **(Fig. 111)**. La double pente sur laquelle est venue se reposer l'épave a, par ailleurs, engendré le déversement des amphores à la fois vers le sud et vers l'ouest, plaçant en conséquence le point culminant du gisement dans sa partie nord-est.

Toutefois l'importance des pillages durant les treize années séparant ces observations et la fouille de l'épave a considérablement bouleversé la morphologie du site au point d'empêcher en 1981 les fouilleurs de retrouver les limites initiales de cette couche. Néanmoins, trois des quatre fers à béton implantés pour le carroyage en 1968 demeurant encore visibles, les limites originelles du gisement furent finalement grossièrement replacées.

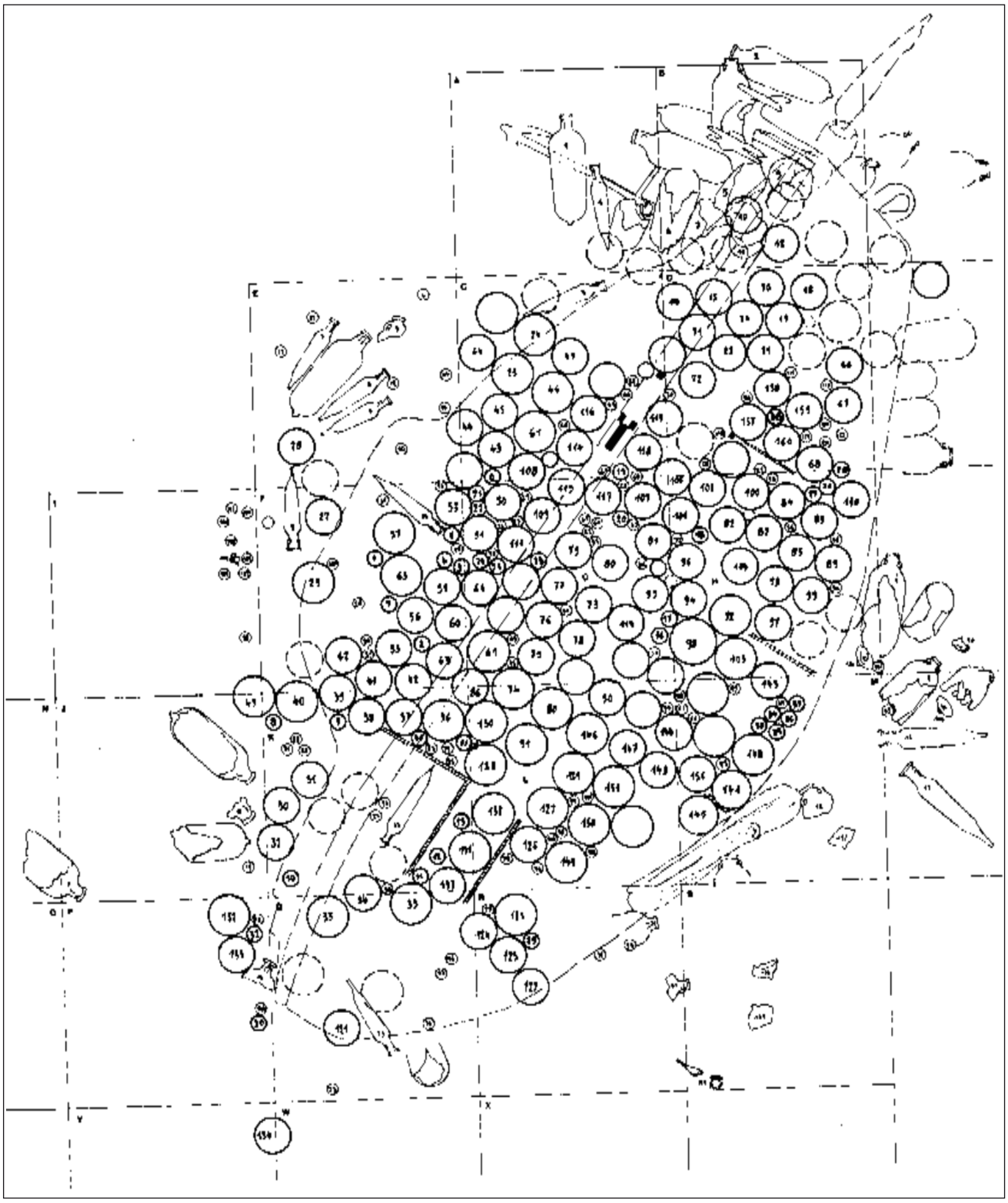


Fig. 111 : Plan de répartition des amphores. Synthèse des travaux de 1968 et de la fouille (1981-1991) (tiré de : Santamaria, 1995).

5.2.3.2. Les vestiges de la coque :

En ce qui concerne particulièrement les éléments d'architecture, nous ne dresserons pas ici un bilan exhaustif et précis des découvertes effectuées sur l'épave étant donné la riche publication qui en a été produite par M. Santamaria. Nous nous bornerons donc ici à rappeler les éléments les plus marquants et les plus significatifs des parties conservées et relevées durant la fouille[442].

5.2.3.2.1. Etat d'abandon du navire :

Certaines données issues de la fouille semblent indiquer un navire en bon état : ainsi aucun élément de réparation n'a pu être mis en évidence sur l'ensemble de la carène tant sur le bordé que sur la membrure. A cela vient s'ajouter le fait que le vaigrage ne présente nullement les traces de poinçonnage dues aux pointes des pieds des amphores.

Ces éléments demeurent cependant trop peu nombreux et trop faibles pour pouvoir tabler sur une durée courte d'utilisation de ce navire. D'autant que les traces d'usure observées dans le fond de la mortaise de pied de mât, sur l'emplanture, trahissent une utilisation prolongée de ce massif[443].

5.2.3.2.2. Charpente axiale :

Le plus grand ensemble conservé de la charpente axiale, constitué de la quille et de fragments des brions d'étrave et d'étambot, s'étend sur une longueur de 10,04 m. A cela s'ajoute un fragment d'étrave long de 1,20 m, découvert 50 cm en avant du brion.

La quille, longue de 7,09 m sur sa face supérieure, présente un profil quasiment rectiligne à l'exception de ses extrémités ou l'on peut percevoir l'amorce légère des courbures d'étrave et d'étambot **(Fig. 112)**. Large en moyenne de 0,21 et haute de 0,30 m, la pièce semble avoir été débitée avec soin et présente sur presque toute sa longueur un chanfrein destiné à accueillir le can intérieur du galbord. On note toutefois, sur l'extrémité arrière de la quille l'évolution de ce chanfrein en râblure. Changement qui sera effectif sur l'étambot, une fois passé l'enture. Le même type d'évolution de la râblure se perçoit au niveau de l'enture avant avec le brion d'étrave.

[442] L'ensemble des descriptions ci-après, prenant comme référence le chapitre : *XIX. Description des vestiges de la coque*, de la monographie de M. Santamaria (Santamaria, 1995, p. 133-174)

[443] Cette observation est cependant à mettre en regard avec celle menée sur le pied de mât en lui-même qui ne présente aucune trace d'usure.

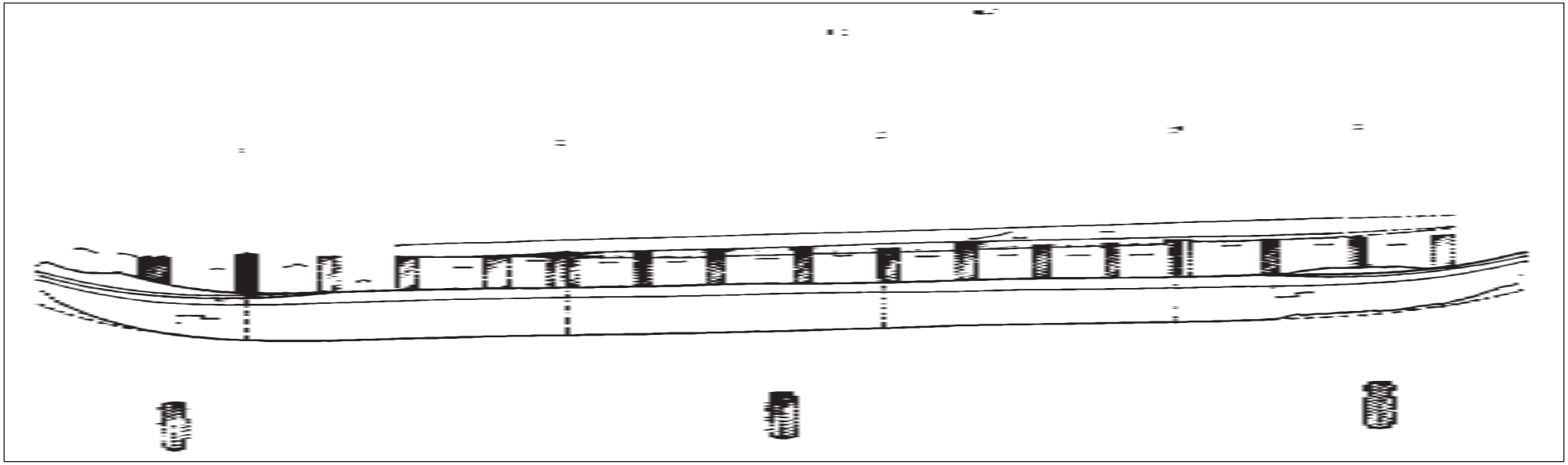


Fig. 112 : Coupe longitudinale de la quille (Santamaria, 1995).

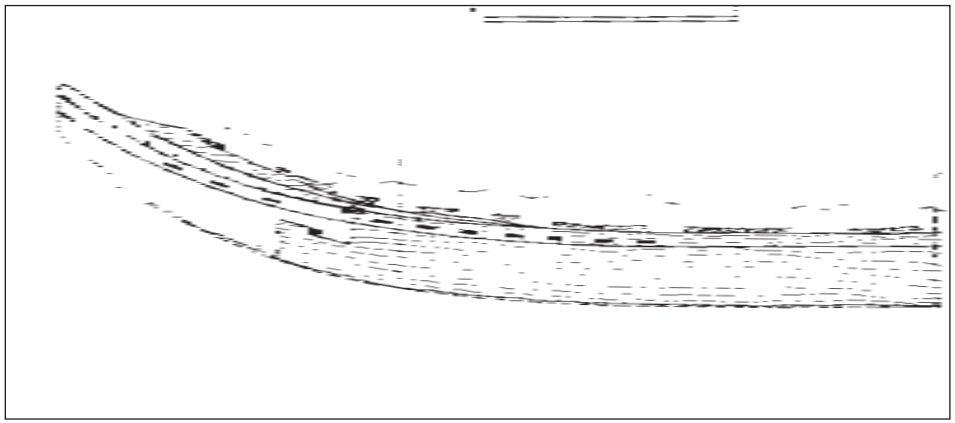


Fig. 114 : Détail du profil de la quille et de l'étambot (Santamaria, 1995).

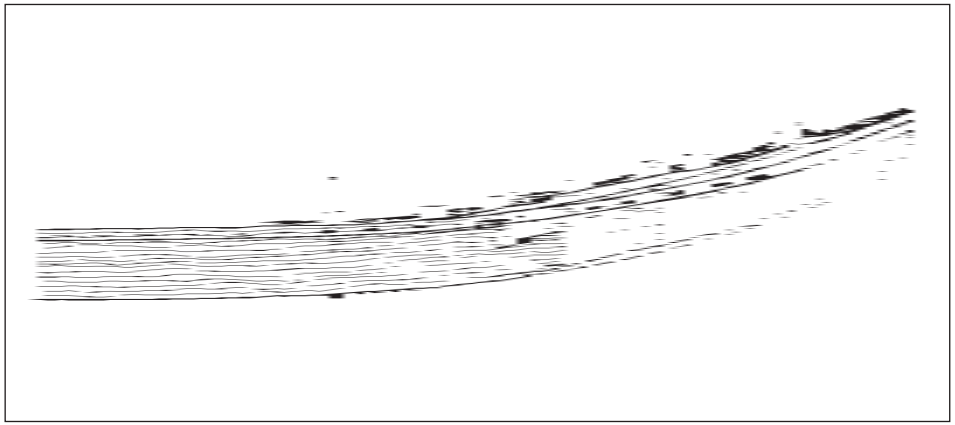


Fig. 113 : Détail du profil de la quille et du brion d'étrave (Santamaria, 1995).

Le brion d'étambot, conservé sur une longueur de 1,25 m, prolonge le mouvement de courbure déjà décelé sur la quille et vient ainsi s'inscrire dans un cercle de 2,50 m de rayon **(Fig. 114)**. Au niveau du trait de Jupiter, la pièce présente une section comparable à celle de la quille. Elle tend toutefois à prendre une forme plus trapézoïdale sur son extrémité.

Le fragment d'étrave abouté à la quille, long de 1,75 m, prolonge lui aussi la courbure de l'extrémité de la quille selon une pente ascendante s'inscrivant dans un cercle de 2,35 m de rayon **(Fig. 113)**.

5.2.3.2.3. Bordé :

En tout, ce sont trente virures qui ont pu être mises en évidence sur le fragment de carène conservé **(Fig. 115)**. Sur tribord, partie la mieux conservée, on en dénombre dix-neuf quand seulement onze virures ont été conservées, dans une moindre extension, sur bâbord.

Assemblées à franc-bord, les virures présentent des épaisseurs variables : plus importantes pour le ribord (5 cm) et le galbord (4,8 à 5 cm) et établies aux alentours de 3,4 à 3,8 cm pour le reste des bordages. Les largeurs des virures ne sont pas constantes et l'on observe aussi ponctuellement des différences de largeur sur une même virure. La largeur la plus grande se retrouve généralement au niveau du maître-couple : elle est de 20 cm pour le galbord, 18 cm pour le ribord, moindre pour les autres virures, à l'exception de celle placée entre les deux préceintes également large de 19 cm.

L'épaisseur particulière des 17e et 18e virures permet de les distinguer en tant que préceintes. Sur le prélèvement effectué sur la première préceinte (dix-septième virure) une largeur de 19,9 cm a été mesurée pour une épaisseur de 16 cm. Mal conservée, la seconde préceinte semble toutefois présenter des caractéristiques morphologiques comparables **(**Cf. coupe sur C18 et C21, **Fig. 120)**.

L'ensemble du bordé est assemblé par un jeu de clefs chevillées insérées dans une série de mortaises. La liaison entre le galbord et les divers éléments de la charpente axiale s'effectue de la même manière. En revanche, le morceau d'étrave retrouvé isolé, tend cependant à prouver que, dans les parties les plus hautes, la liaison de l'extrémité des virures à la râblure devait s'effectuer par le biais d'une série de clous insérés depuis l'extérieur. Enfin, l'étude détaillée d'un fragment de bordé, prélevé sur l'épave, a permis de bien mettre en évidence le sens et la chronologie de chevillage des tenons du bordé et des gournables de

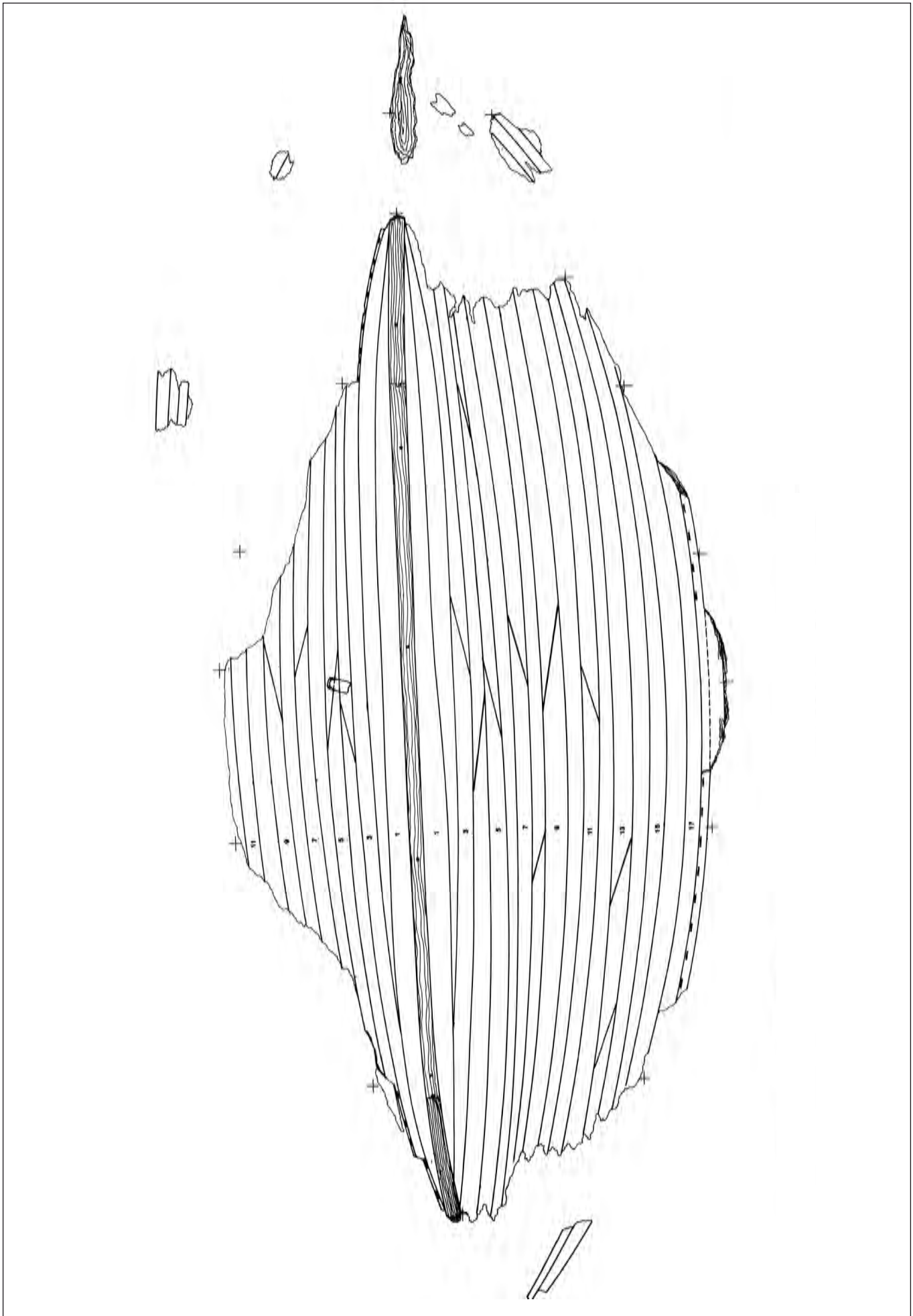


Fig. 115 : Planimétrie générale du bordé (tiré de : Santamaria, 1995)

fixation de la membrure, révélant ainsi clairement une construction sur bordé premier du navire.

Concernant ces assemblages à tenons et mortaises, deux modules dimensionnels peuvent être individualisés : dans un cas, des mortaises larges d'environ 6,5 à 7 cm et espacées de 10 à 14 cm ; dans un second cas, des mortaises de plus grande taille (10 à 11 cm) espacées de manière erratique, parfois de façon serrée (écart de 8 à 9 cm), parfois de façon très lâche (26 à 31 cm). De telles disparités doivent, très certainement, être mises sur le compte d'un renforcement ponctuel des zones où la courbure des virures, comme la vrille du galbord à ses extrémités, est particulièrement prononcée et amène un accroissement des efforts mécaniques sur l'assemblage.

On notera la présence sur la face intérieure du bordé d'un enduit résineux, et sur sa face extérieure d'une épaisse couche d'une matière pouvant être identifiée comme de la poix ou du brai. En plus de ces deux précautions, destinées à maintenir la bonne étanchéité de la coque, on rajoutera la découverte d'étoupe dans certaines coutures des virures. C. Santamaria note que ce tissu se retrouve de part et d'autre des clefs attestant de la pose de ce matériau avant la jonction avec la virure successive. Il ne s'agirait donc pas d'un matériel de calfatage mais plutôt d'une sorte de luttage destiné à assurer le bon ajustage des cans entre deux virures. Par ailleurs, l'usage ponctuel de cette technique permet d'en confirmer le caractère palliatif et exceptionnel.

5.2.3.2.4. Membrure :

La charpente transversale conservée se compose de trente-cinq membres au sein desquels on peut distinguer dix-huit couples et seize demi-couples **(Fig. 116)**. Ces derniers sont, la plus part du temps, affrontés symétriquement sur l'axe de quille et l'on ne distingue pas de couples outrepassés.

Compte-tenu de l'usage systématique de bois tors, il est difficile d'apprécier précisément la maille **(Fig. 117 et 118)**. Cependant on note un écart moyen de 2,10 m tous les huit couples. Afin de définir la maille, on peut éventuellement effectuer une moyenne de cette répartition, par laquelle on obtient une maille de 26,2 cm. La moyenne mesurée sur l'ensemble de la carène conservée, donne un chiffre à peu près équivalent de 27 cm.

La largeur en section de ces pièces de membrure s'établit entre 10 et 18 cm, tandis que leur hauteur varie entre 10 et 15 cm. Leur liaison au bordé s'effectue par le biais de

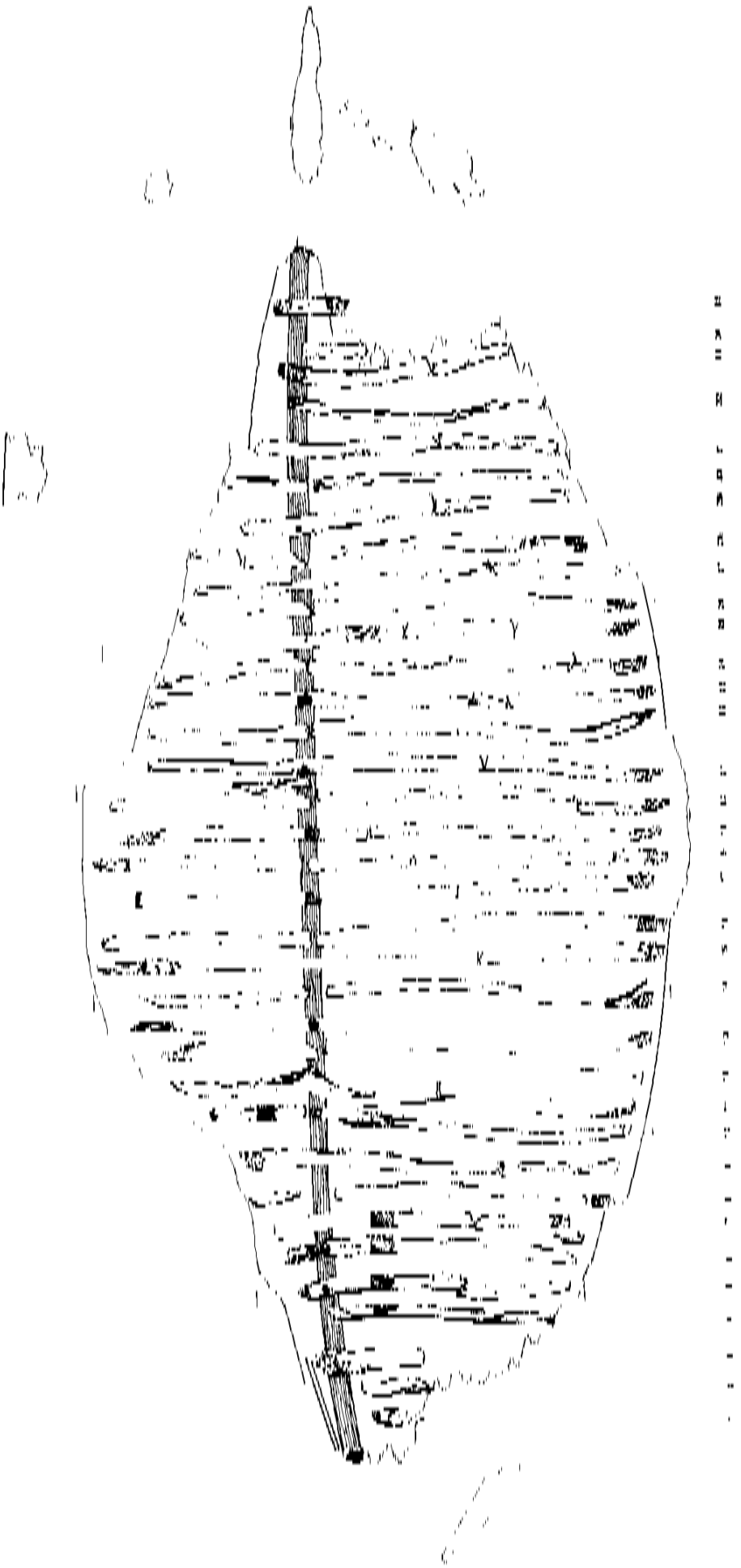


Fig. 116 : Planimétrie générale de la membrure (tiré de : Santamaria, 1995)

gournables dont le diamètre moyen s'échelonne entre 1,5 et 1,7 cm. Elles sont enfoncées en quinconce depuis l'extérieur de la carène, selon un rythme de deux gournables par virure. On distingue par ailleurs, cinq varangues brochées à la charpente axiale (C5, C13, C21, C29 et C35), dont on peut penser qu'elles aient joué un rôle actif au sein de la structure du navire **(Fig. 119 à 121)**. La présence de ces broches aurait pour principale conséquence structurelle de renforcer l'assemblage de la quille au reste de la coque qui se révèle d'une certaine faiblesse compte-tenu de l'importance du retour de galbord[444]. Enfin, toujours au niveau des assemblages de la membrure, aucune forme de liaison n'a pu être mise en évidence entre les différentes parties d'un même couple, que ce soit entre deux demi-couples, ou entre varangue et allonge.

Au final, l'usage de bois tors, les dimensions du tour et du droit de ces membrures, ainsi que la présence de nombreuses varangues brochées, amènent à considérer cette charpente transversale comme relativement solide au-delà de l'apparence négligée de l'ensemble.

5.2.3.2.5. Massif d'emplanture, carlingots et pied de mât :

Deux carlingots longs de 6,38 m et 6,60, placés de part et d'autre de l'axe de quille directement sur le dos des membres[445], avaient pour destination principale le support et le blocage de la carlingue-emplanture **(Fig. 124)**. De dimensions réduites en section, 12 à 13,5 cm de largeur pour 3,5 à 4 cm d'épaisseur, ils sont fixés à l'aide de clous en fer à la membrure, selon un rythme d'un clou toutes les deux ou trois varangues **(Fig. 123)**.

Le massif d'emplanture est quant à lui conservé sur une longueur de 6,4 m, sa longueur originelle pouvant être estimée à 7,14 m. De section rectangulaire, sa largeur évolue entre 23,7 cm au niveau le plus fort et une vingtaine de centimètres aux extrémités. Son épaisseur semble s'établir autour de 15 cm, même si une diminution importante est observée vers les extrémités **(Fig. 125)**. Le massif n'est pas lié systématiquement à la charpente transversale, puisqu'il se retrouve tout juste bloqué transversalement par les carlingots et longitudinalement par des encoches pratiquées sur sa face inférieure, afin de l'encastrer sur la tête de certaines varangues (au niveau des membres C13, C15, C17, C19 et C29).

[444] A l'image de ce qui a pu être constaté sur des vestiges de navires plus anciens assemblés eux-aussi à tenons et mortaises (Pomey, 2002, p. 11-19).
[445] Certaines varangues présentant distinctement des évidements destinés à renforcer l'encastrement.

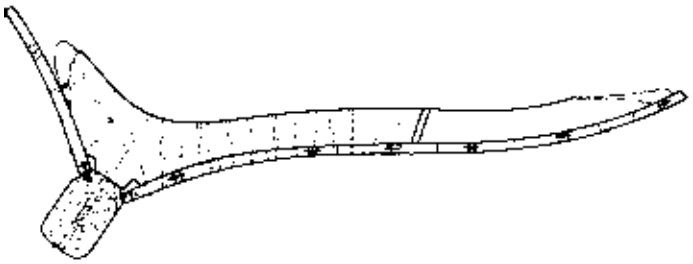


Fig. 117 : Vue depuis le sud-ouest de l'épave, après prélèvement de la cargaison et d'une partie du massif d'emplanture (tiré de : Santamaria, 1995).

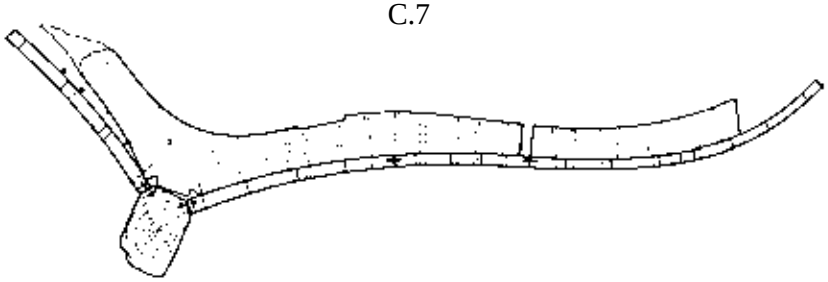


Fig. 118 : Vue depuis le sud des membrures M8 à M20 (tiré de : Santamaria, 1995)

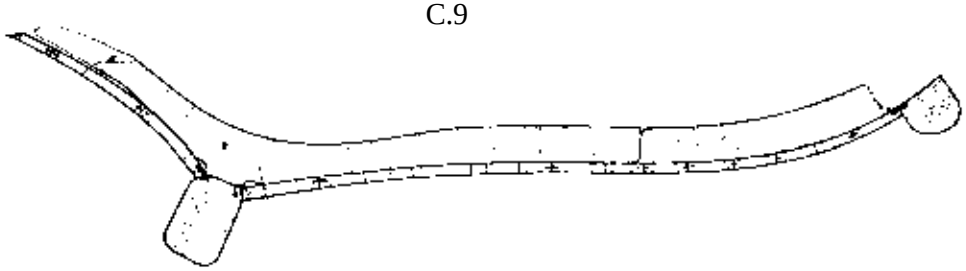
C.5



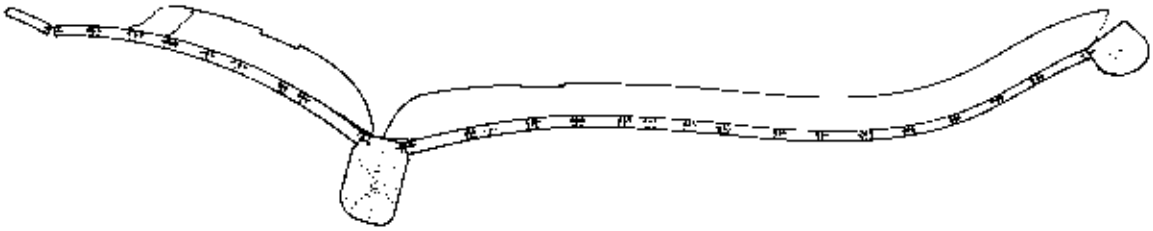
C.7



C.9



C. 10



C.13



C.15



Fig. 119 : Coupes transversales des couples C5 à C15, sur lesquelles on aperçoit aussi en partie le bordé, la préceinte basse et la quille (tiré de : Santamaria, 1995).

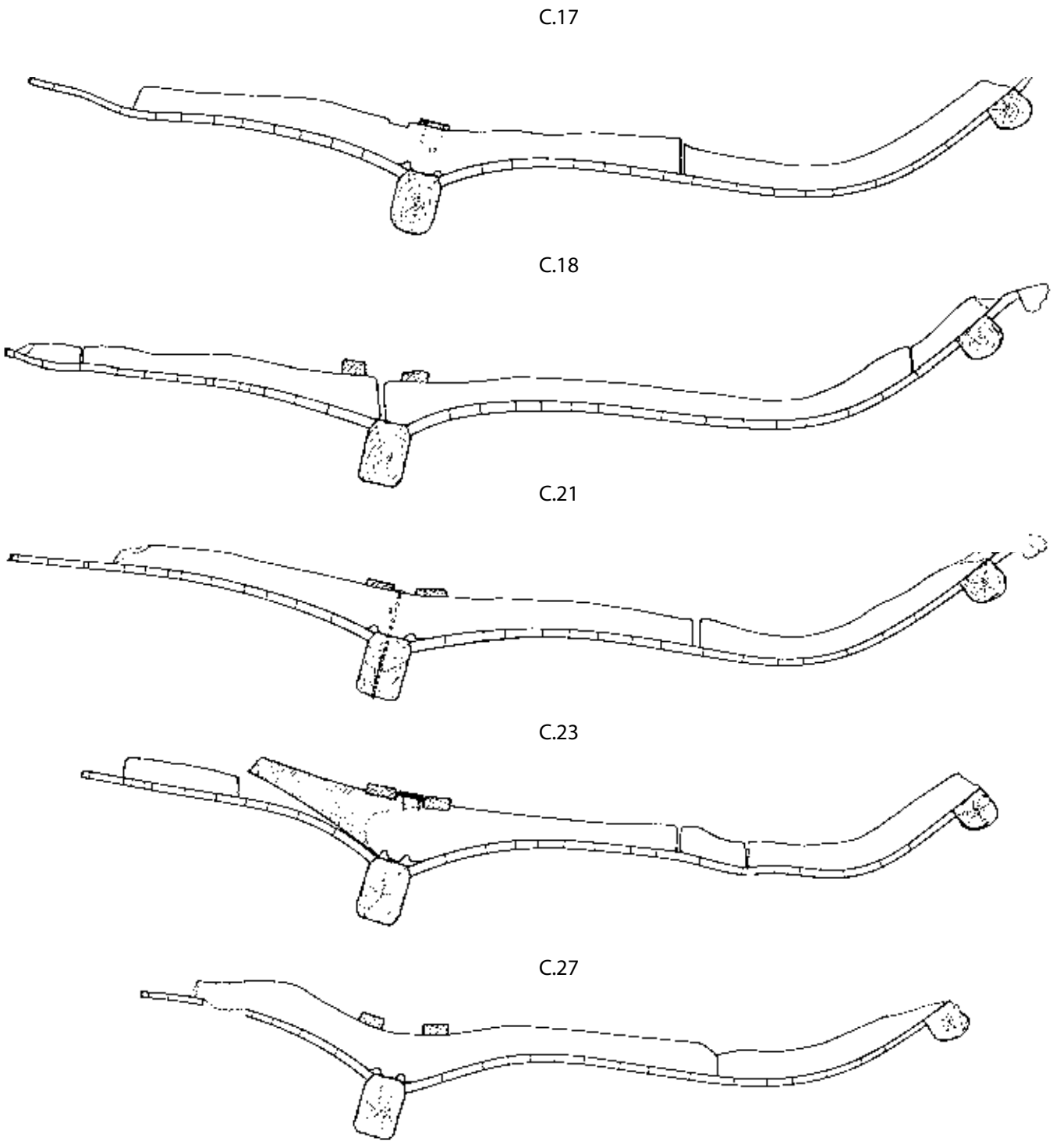


Fig. 120 : Coupes transversales des couples C17 à C27, sur lesquelles on aperçoit aussi en partie le bordé, les préceintes et la quille (tiré de : Santamaria, 1995).

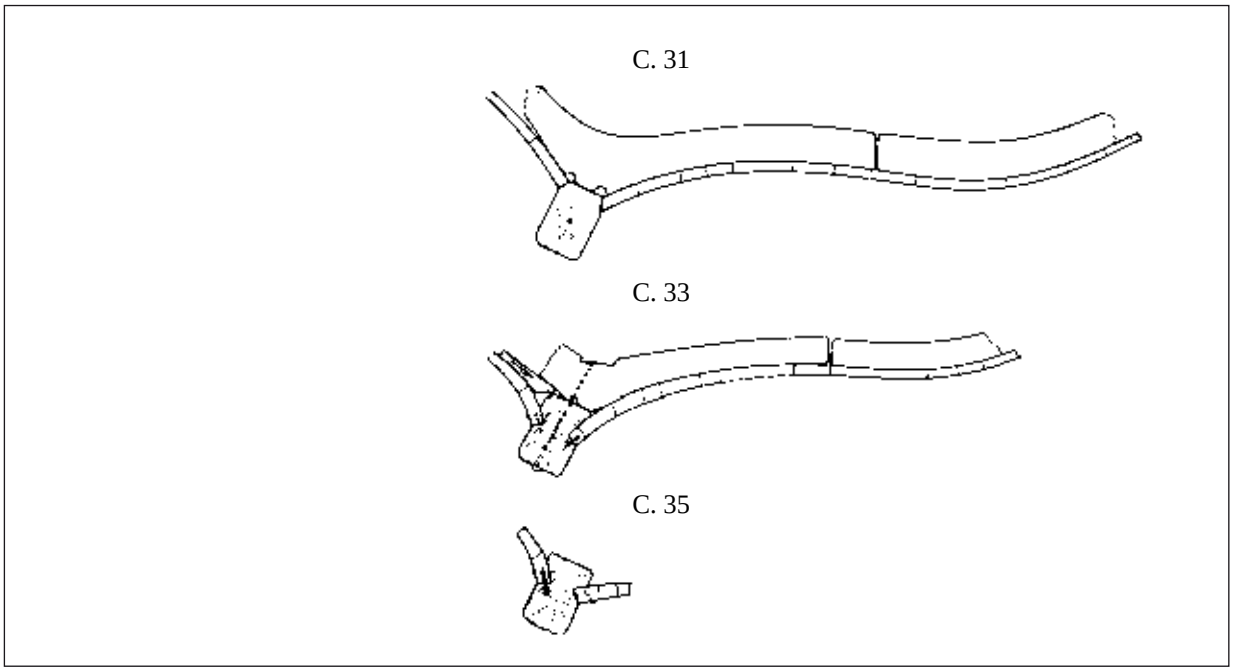


Fig. 121 : Coupes longitudinales des couples C31 à C35, sur lesquelles on aperçoit aussi en partie le bordé et la quille (tiré de : Santamaria, 1995).

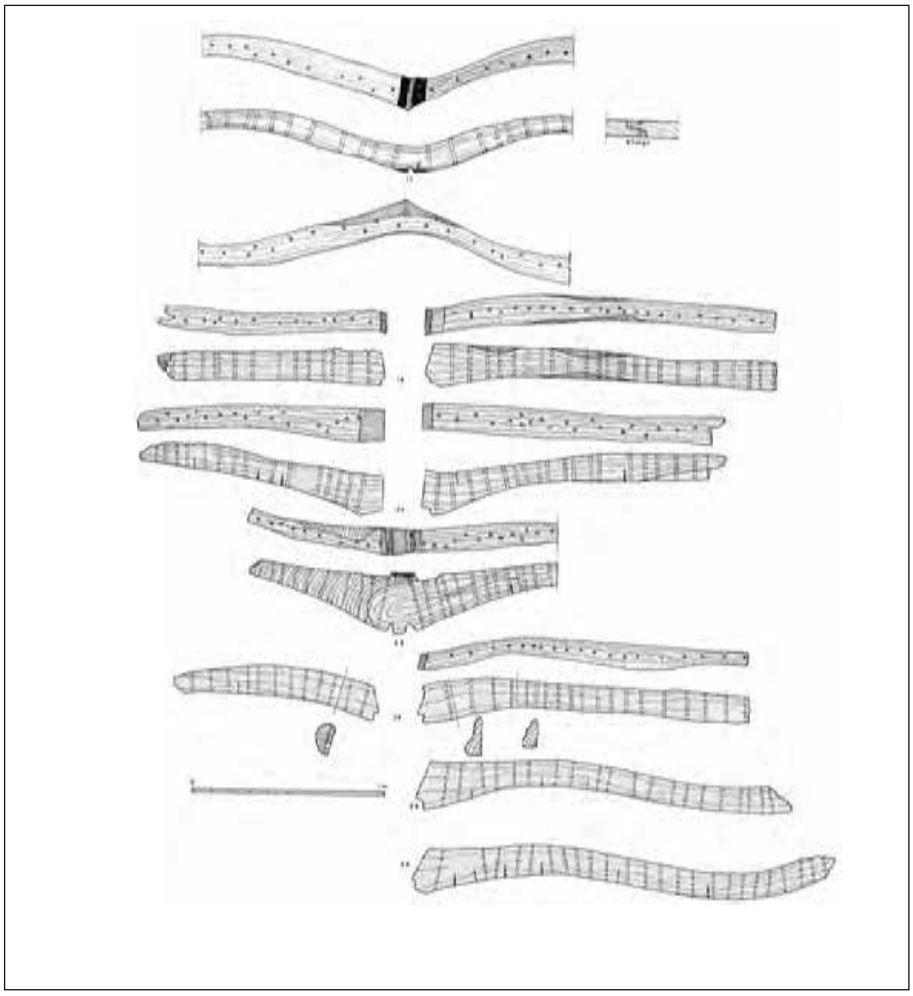


Fig. 122 : Détails des membres C11, C14, C23, C24, C28 et C30 (Santamaria, 1995).

Sur la face supérieure de cette carlingue-emplanture, quatre mortaises définissent, à environ 2,87 m de l'extrémité avant du massif, la position du pied de mât **(Fig. 128)**. La cavité principale, longue de 29,5 cm et large de 7,5 cm, présente les caractéristiques habituelles d'une mortaise destinée à accueillir le pied de mât : la profondeur de cette mortaise varie selon une pente ascendante arrondie vers l'avant, et présente une profondeur de 7 cm sur l'arrière et 2 cm sur l'avant **(Fig. 126)**. Deux autres mortaises étaient destinées à la flasque avant du fourreau d'étambrai, qui était constitué par ailleurs de deux panneaux latéraux reposant directement sur les carlingots et dépourvus de mortaises de blocage. Environ 50 cm en avant de ces trois mortaises, on observe une cavité destinée très certainement à une épontille axiale.

Découverte exceptionnelle, la partie inférieure du mât, conservée sur une hauteur de 55 cm, a été découverte encore en place dans son fourreau au niveau de la mortaise de pied de mât **(Fig. 127 et 126)**. De section rectangulaire, la pièce est longue de 27,5 cm dans le sens longitudinal et large 23,5 cm. La partie inférieure présente un tenon curviligne, large de 6,5 cm, taillé sur toute la longueur de la pièce et se présentant comme un positif de la mortaise observée dans le massif d'emplanture[446]. Claude Santamaria remarque cependant que ce tenon présente une hauteur maximale supérieure à celle de la mortaise de l'emplanture, ce qui nous amène à penser que toute la force de poinçonnement générée par le mât devait se répercuter au massif par le biais de ce seul tenon.

5.2.3.2.6. Vaigrage:

Surtout conservé sur le côté bâbord, ou l'on dénombre dix-neuf virures, le vaigrage de l'épave E du cap Dramont se révèle particulièrement soigné **(Fig. 125)**. Composé uniquement de vaigres fixes courant sur toute la longueur des vestiges conservés, on note une attention particulière portée à l'ajustage de leurs joints longitudinaux ainsi que des liaisons entre les vaigres formant une même virure de vaigrage par l'usage d'écart à tenon ou à mi-bois. Fixées au dos de la membrure par des clous en fer enfoncés en quinconce tous les trois couples environ, les vaigres présentent des dimensions variables : elles mesurent entre 11 et 16,5 cm de largeur, pour une épaisseur de 2,5 cm à 3,5 cm (à l'exception des virures 4,8 et 16 qui semblent légèrement plus épaisses), leur longueur s'échelonnant entre 2,2 et 5 m.

[446] Deux feuilles en bronze ont été retrouvées entre le tenon et le fond de la mortaise d'emplanture. Très certainement afin de préserver les deux pièces d'une usure par friction trop rapide.

5.2.3.2.7. Epontilles, cloisons et puits de la pompe de cale :

Outre l'épontille observée sur le massif d'emplanture au-dessus de l'axe de quille, ce ne sont pas moins de trois autres épontilles qui ont été découvertes. L'une d'elles, située décalée sur tribord de 88 cm par rapport à l'épontille axiale, devait très certainement permettre le soutien du même barrot transversal que l'épontille axiale. On associera à cette épontille les traces d'une cloison transversale destinée à compartimenter la cargaison.

Deux autres épontilles forment les bords du puits de la pompe de cale conservée au niveau des couples C6 à C10. Le mécanisme en lui-même n'ayant pas été retrouvé, l'identification de cet aménagement est rendu tout à fait explicite à la fois par la présence des cloisons latérales protégeant l'espace dans lequel devait s'insérer la pompe, mais aussi par l'espace laissé libre pour le puisage entre les têtes de deux demi-couples du couple C8.

5.2.4. Type et fonction de l'embarcation :

L'épave *Dramont E* représente à n'en pas douter un cas exceptionnel au sein de nos connaissances actuelles sur l'architecture navale antique méditerranéenne. A travers son mode de construction et sa morphologie, apparaissent des influences de traditions architecturales variées dont il est malaisé de déterminer avec exactitude la prégnance respective durant la phase de conception et de construction du navire.

En effet, la section transversale qui présente un retour de galbord très prononcé ainsi que l'alternance de varangues et de demi-couples (sans couples outrepassés) nous conduisent à considérer une proximité de *Dramont E* avec le type hellénistique ou républicain tel qu'il a été défini par Patrice Pomey[447]. Par ailleurs, la présence de nombreuses varangues brochées semble devoir accréditer cette interprétation étant donné l'importance des broches sur les coques à retour de galbord de la période républicaine[448]. On notera cependant que l'utilisation chronique de bois tors pour la réalisation de la membrure, chose peu commune dans le bassin occidental de la Méditerranée aux périodes hellénistique et républicaine, atténue légèrement cette première identification.

Dans le même sens, on note que le système d'encastrement du massif d'emplanture sur deux carlingots latéraux rattacherait plutôt *Dramont E* à une tradition de construction de la

[447] Pomey, 2004, p. 370-373 ; Pomey, Rieth, 2005, p.163-165 ; Pomey, Kahanov, Rieth, 2012, p. 256-257.
[448] Pomey, 1997, p. 195-203 ; Pomey, 2002, p. 11-19.

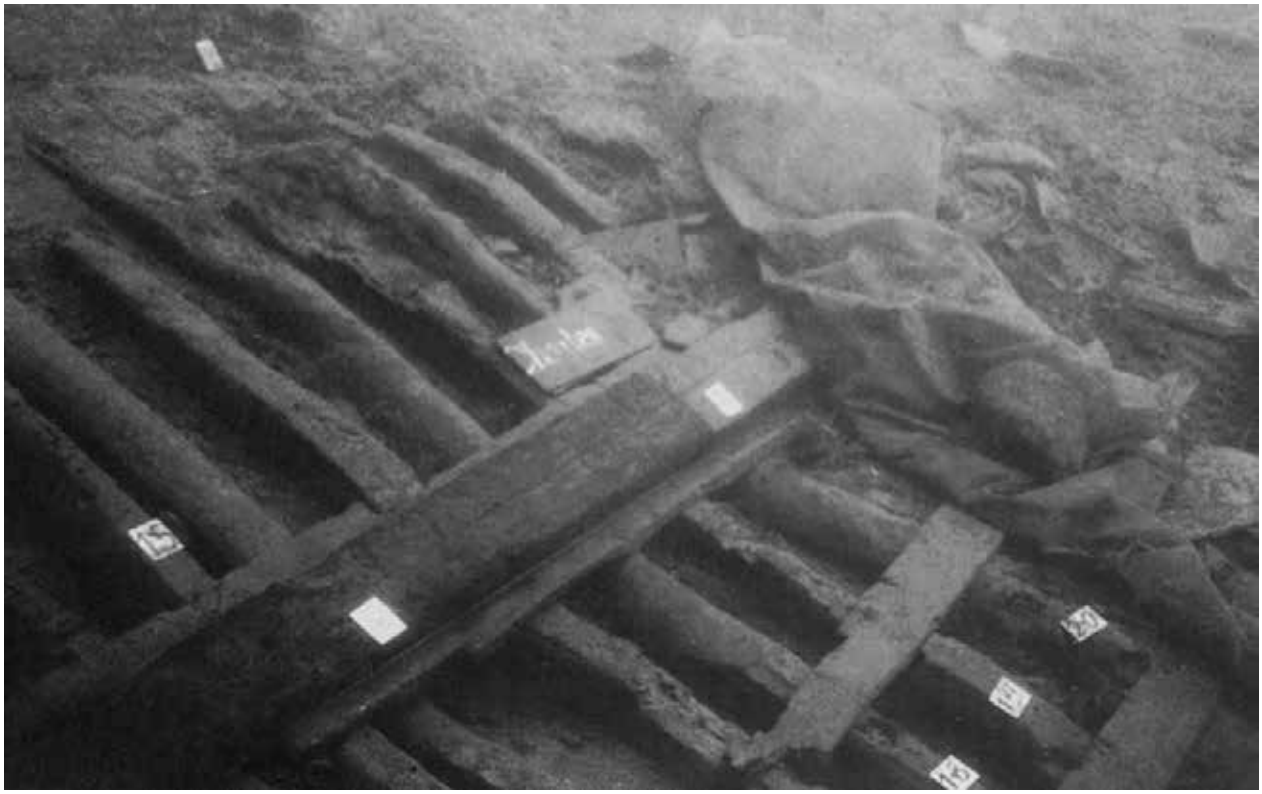


Fig. 123 : Vue depuis le sud-ouest du massif d'emplanture, entre ses deux carlingots (tiré de : Santamaria, 1995).



Fig. 124 : Vue depuis l'ouest des membrures C4, C5, C6 et C7 (tiré de : Santamaria, 1995).

période impériale[449]. Pour autant, on constate dès le Ier siècle ap. J.-C. la généralisation de l'usage des fonds plats pour les carènes des navires de commerce associée à des galbords de forme simplifiée, or il n'en est rien pour notre épave qui présente un retour de galbord très marqué. De plus, la structure de *Dramont E* présente d'autres particularités de construction qui contribuent aussi à la distinguer de cette éventuelle tradition architecturale d'époque impériale : comme le très fort échantillonnage de la quille (30 cm x 20 cm) qui apparaît comme un élément plutôt inhabituel pour un navire de cette taille.

Au final, *Dramont E* apparaît comme le résultat d'une combinaison au sein de laquelle l'influence des traditions architecturales hellénistiques et républicaines se révèle légèrement plus affirmée. Compte-tenu de la datation tardive de cette épave, et de l'absence de données sur son lieu de construction, il nous semble donc seulement possible aujourd'hui d'avancer l'hypothèse d'une réminiscence tardive de certaines formes de carène[450], plus diffuses durant les périodes classiques et tardo-républicaine, à l'image de celles observées sur l'épave de *Kyrenia*[451] ou encore sur celle de la *Madrague de Giens*[452]. On pourrait sinon évoquer l'hypothèse d'une survivance de cette tradition architecturale et de ce type de carène dont *Dramont E* ne serait que l'une des rares expressions. Dans le même ordre d'idée, rappelons que la construction de ce navire sur bordé premier, commence déjà à faire figure d'archaïsme au sein de l'architecture navale méditerranéenne du Vème s. ap. J.-C[453].

[449] Pomey, Rieth 2005, p. 166-167.
[450] Pomey, Kahanov, Rieth, 2012, p. 256-257.
[451] Steffy, 1985, p. 81, Ill.6 et Ill.10.
[452] Tchernia, Pomey, Hesnard, 1978, p. 75-99; Pomey, 1982, p. 133-154.
[453] Parallèlement à ces considérations typologiques rappelons que depuis la fouille et la publication de cette épave, deux études ont portés sur des épaves de navires de commerce datés aux alentours du début du Vème s. ap. J.-C., découverts dans le bassin occidental de la Méditerranée et dont les cargaisons sont d'origine nord-africaine. Il s'agit pour la première de l'épave *Port-Vendres I* (Liou, 1974, p. 414-433 ; Rival, 1991, p. 267-291), dont Robert Roman a repris l'étude architecturale dans le cadre de sa thèse (Roman, 1997, p. 139-159, fig. 88 à 109), le menant à proposer une hypothèse de restitution des formes de la carène. Si la construction semble devoir rapprocher ces vestiges d'une tradition impériale de construction, qui se traduit contrairement à *Dramont E* par la présence d'un fond plat avec absence d'un quelconque retour de galbord. On note cependant que cette carène présente des rapports de proportion remarquables : conservés sur 13,90 m de long et 7,50 m de large, les vestiges de la carène dénotent la présence d'un navire proportionnellement très large. Impression confirmée par l'hypothèse de restitution proposée par Robert Roman. Nous verrons dans la suite de notre démonstration que l'on peut considérer cela comme une caractéristique commune avec l'épave *Dramont E*.
La seconde épave, découverte au large du village de Pakostane en Croatie et fouillée par une équipe franco-croate entre 2007 et 2008, sous la direction conjointe de Giulia Boetto (CNRS-CCJ), Irena Radic-Rossi (Université de Zadar) et Sabrina Marlier (Association Arkaeos), a permis de mettre au jour une importante quantité de vestiges appartenant au fond de carène d'un navire de commerce (Boetto *et al*., 2012 [à paraître]). Malheureusement, si la faible quantité de matériel retrouvé en connexion avec l'épave, a permis d'affiner la datation du site(dernier quart du IVème – première moitié du Vème ap. J.-C.) et aussi de définir l'origine africaine de la grande majorité du matériel céramique (Huget *in Ibid*.), les lacunes dans les éléments

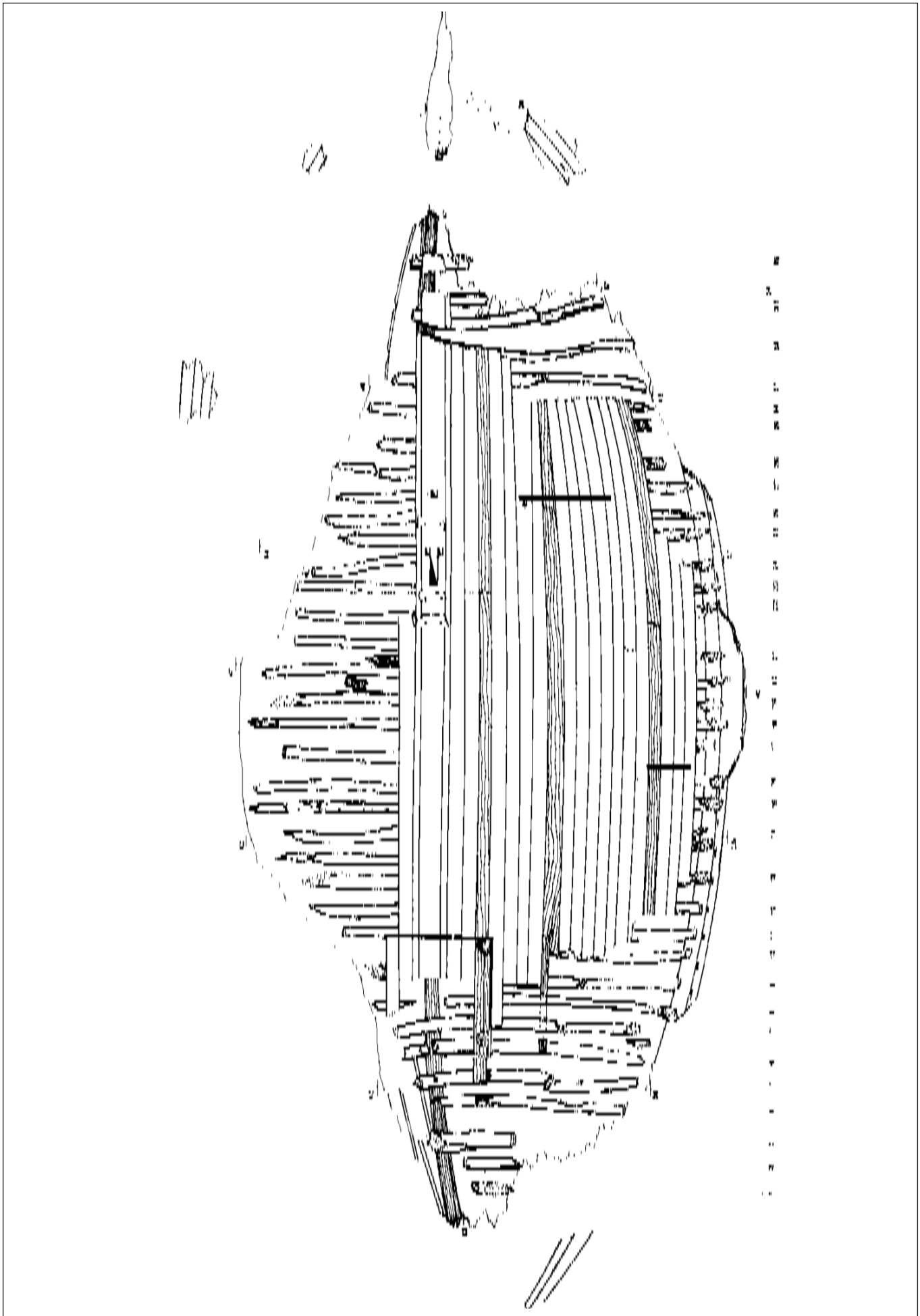


Fig. 125 : Planimétrie générale des vestiges de la coque (tiré de : Santamaria, 1995)

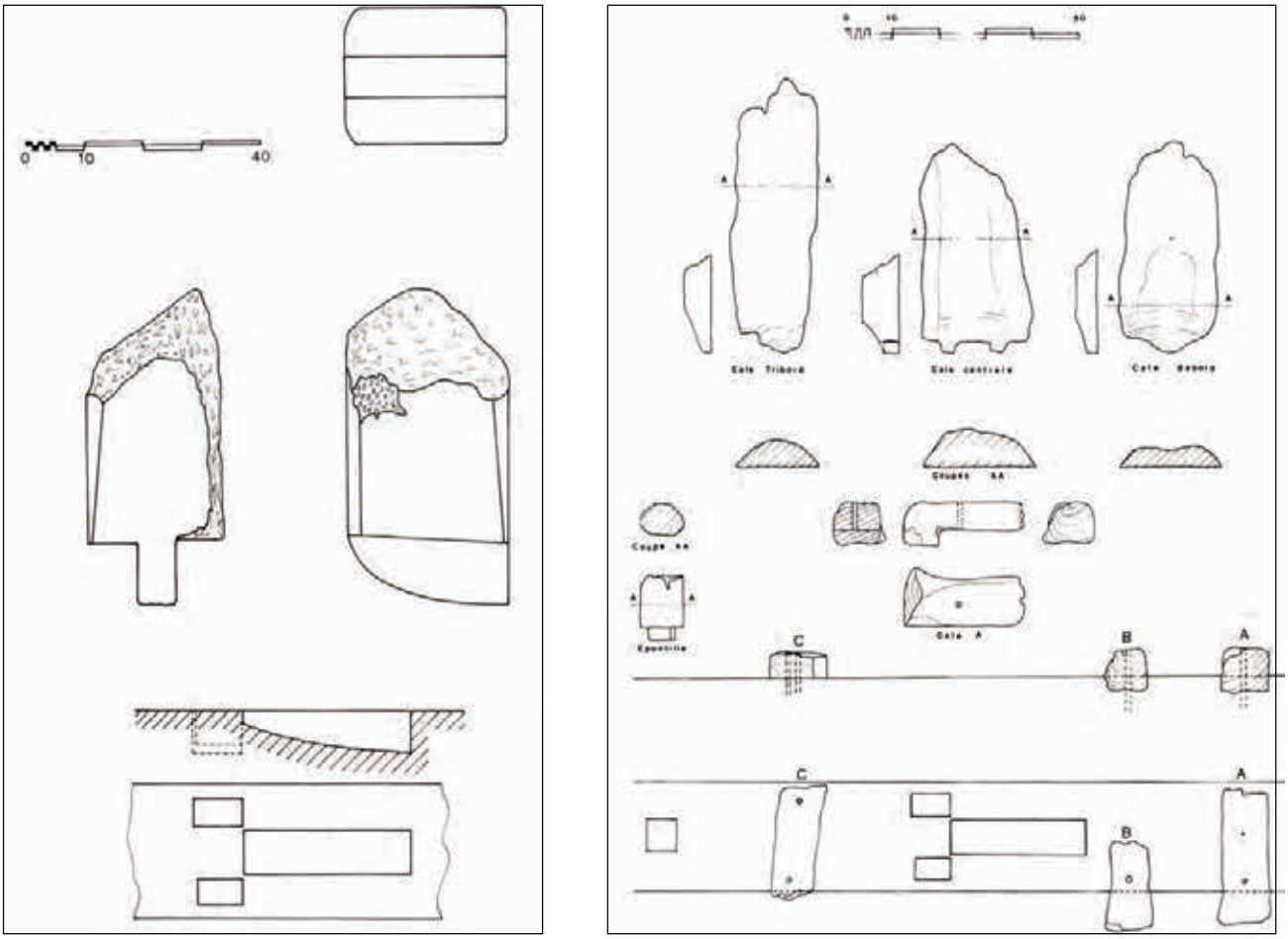


Fig. 126 : Relevés de détail du pied de mât, de la cavité d'emplanture et des cavités annexes (à gauche) et des différentes parois du fourreau d'étambrai (à droite), (tiré de : Santamaria, 1995).



Fig. 127 : Le pied de mât en place; on distingue à gauche la paroi avant du fourreau d'étambrai et, au premier plan, la paroi latérale bâbord, légèrement déplacée de sa position initiale, contre la carlingue
(tiré de : Santamaria, 1995).



Fig. 128 : Après dépose des parois du fourreau d'étambrai et du pied de mât, on aperçoit la carlingue, la cavité d'emplanture ainsi que les deux mortaises qui recevaient les tenons de la paroi avant du fourreau
(tiré de : Santamaria, 1995).

L'identification de la fonction et du mode de propulsion originel de notre navire nous pose considérablement moins de problèmes puisque l'ensemble des vestiges permet de les identifier clairement : avec *Dramont E* nous avons, en effet, à faire à un navire de commerce de petites dimensions, propulsé à la voile et dont la direction devait certainement s'effectuer par le biais d'une paire de gouvernails latéraux.

5.3. Remise en place des vestiges et recherche des formes :

5.3.1. Etat de l'épave et documentation disponible:

5.3.1.1. Etat et degré de conservation des vestiges :

Le navire a été découvert gisant sur son flanc droit selon une gîte de 16° environ. Cette disposition a permis d'une part la bonne conservation de toute la partie tribord de la carène mais aussi une meilleure conservation des formes de la carène dans cette partie. Celle-ci pouvant opposer au poids de la cargaison le soutien du fond sableux. A l'inverse, le côté bâbord ne se voit que très partiellement conservé et fortement déformé : le poids des amphores et son ensablement plus tardif ne permettant pas une conservation optimale. Au niveau des extrémités, l'importance des forces appliquées à la structure a amené une ouverture plus rapide du bordé ainsi qu'une déformation plus marquée de la charpente transversale.

Plus ponctuellement, sur la base des documents qui nous ont été fournis, il est apparu bien complexe de déterminer la présence de déformations et de quantifier leur importance. Sur les coupes transversales on remarque ainsi les nombreuses divergences d'angle par rapport au droit de la quille entre les pattes tribord et bâbord d'un même couple, les plus importantes différences étant localisées sur les couples C18, C19, C21, C27 et C33 **(Fig.129)**. C. Santamaria évoque certaines asymétries dans le façonnage des chanfreins du bord supérieur de la quille pouvant nous amener à conclure à une asymétrie générale de la carène,

architecturaux ainsi que le désordre et l'aplatissement des éléments conservés, ne permettent pas de tracer un quelconque lien de familiarité entre l'épave de Pakostane et celle du Dramont. Ainsi, à partir de l'observation des coupes transversales de certains demi-couples entièrement conservés (F128, F127, F124, F121, F119, F112) il s'avère difficile de déterminer si l'on est en présence d'une carène avec retour de galbord, ou à fond plat.

chose possible dans le cadre d'une construction sur bordé premier. Toutefois, dans la majorité des cas, les divergences bâbord/tribord sont telles que nous aurions d'abord tendance à conclure à une importante déformation résultant de l'ouverture du flanc bâbord amenant l'écrasement des pattes de varangue sur ce côté. Nous avons cependant essayé de prendre en compte les disparités de forme de la coque lors du dressement du plan de formes en les considérant comme potentiellement originelles **(Fig. 129 bis)**.

5.3.1.2. Documentation disponible :

Les sources sur lesquelles nous avons pu nous appuyer sont peu nombreuses mais très complètes. En effet, la publication par C. Santamaria parue en 1995 dans la collection *Archaeonautica* est riche de détails et l'étude générale de l'épave semble tout à fait exhaustive et satisfaisante. Cependant, concernant les vestiges de l'épave, le manque de données brutes, que l'on ne peut de toute évidence inclure intégralement dans une publication, nous a souvent handicapés[454].

5.3.1.2.1. Les relevés de fouille :

En ce qui concerne les relevés de fouilles, nous nous sommes essentiellement intéressés à la membrure, à la quille, et aux massifs d'étrave et d'étambot, jugeant que les informations planimétriques concernant les différentes virures du bordé ne nous permettaient pas *a priori* d'effectuer une étude aussi poussée concernant ces éléments. Ce sont donc tout particulièrement les coupes transversales et longitudinales qui ont fait l'objet de notre attention. Il s'est rapidement avéré que l'échelle originelle des documents (1/50e) était souvent trop importante pour notre travail et nécessitait, outre un scan en haute résolution, la vectorisation systématique de tous les relevés.

En ce qui concerne la membrure, nous avons pu nous appuyer sur un ensemble de quatorze coupes transversales au vingtième sur lesquelles on peut observer la quille, les virures et les parties restantes de la membrure (varangue, allonges, genou…) **(Fig. 119 à 122)**. A ces coupes vient s'ajouter une élévation transversale des différents couples relevés au droit des membrures. Il semble pourtant probable, nous le verrons par la suite, que cette élévation

[454] Après consultation des carnets de fouille dans les archives du DRASSM, il s'est avéré que les relevés présentés dans la publication sont identiques et en même nombre que ceux se trouvant dans les rapports.

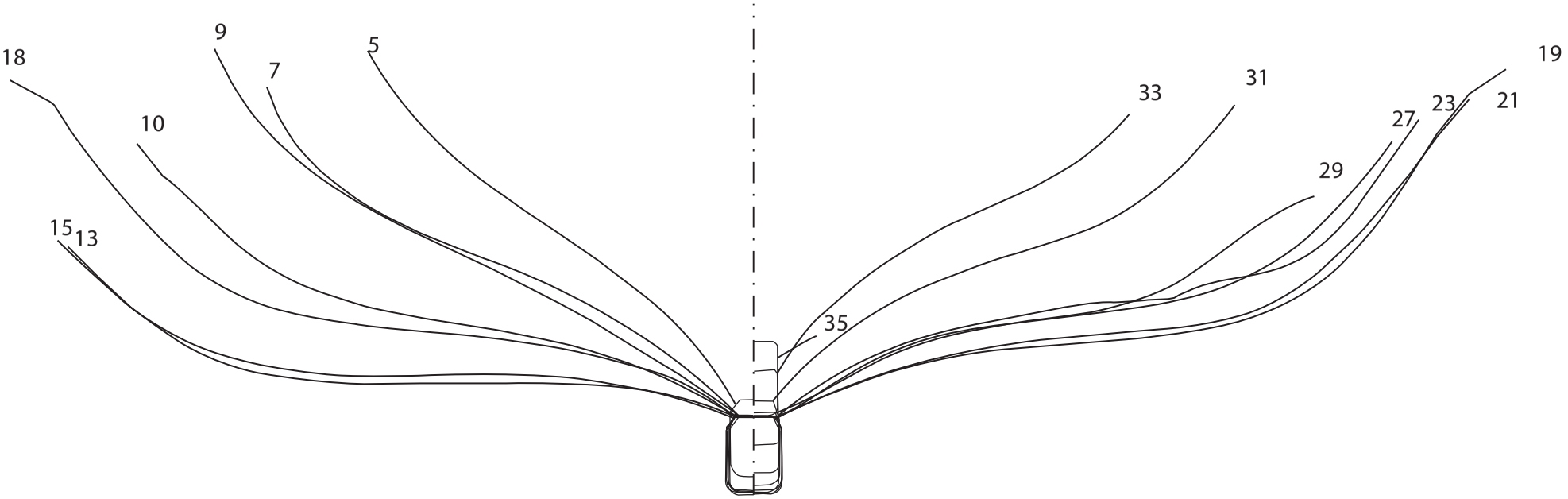


Fig. 129 : Vue des sections transversales bruts, remis sur le même plan, en se fiant au droit du dessus de quille.

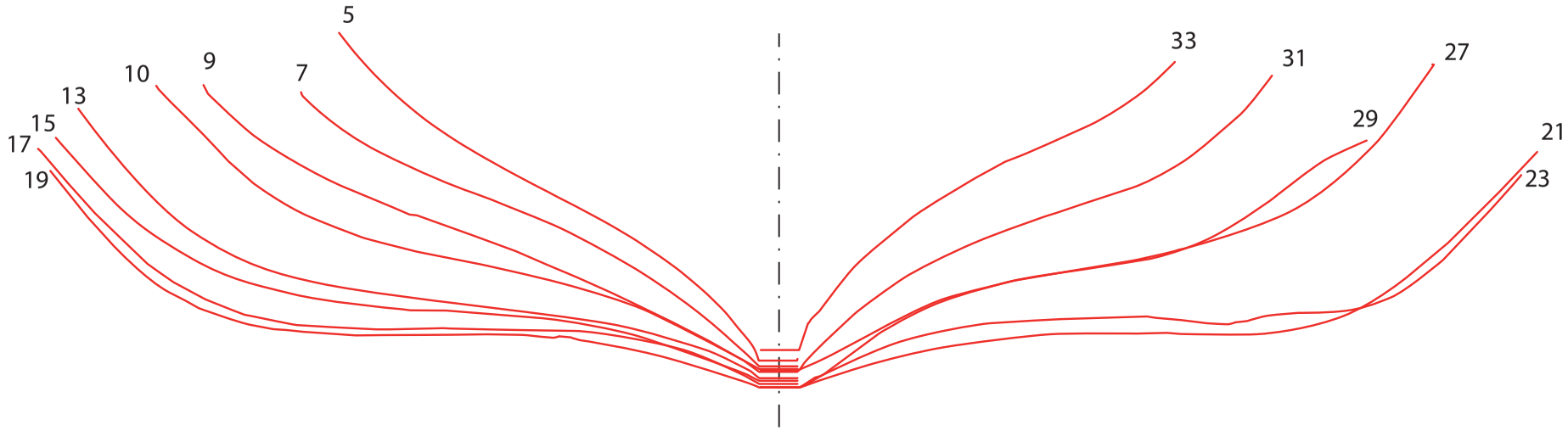


Fig. 129 bis : Vue des sections transversales bruts, remis sur le même plan, en se fiant aux relevés planimétriques et à la symétrie des varangues.

résulte a priori d'un premier travail de relèvement des formes et non d'un simple relevé in-situ.

C'est au niveau des coupes longitudinales **(Fig. 112 à 114)** que nous nous sommes heurtés aux plus grandes difficultés. On ne trouve, dans la publication, qu'une unique coupe longitudinale générale du navire au niveau de la quille à l'échelle du quarantième **(Fig. 112)**. Par ailleurs, des détails de l'étambot et du brion d'étrave sont présentés dans une échelle imprécise se rapprochant du 1/13e [455]. Certaines observations peuvent être produites : d'une part, la coupe longitudinale générale effectuée sur la quille s'avère relativement schématique, notamment en ce qui concerne les éléments au-dessus de la quille : les largeurs des varangues ne correspondent ainsi pas forcément à celles observées sur la planimétrie de la membrure ou sur les détails des massifs avant et arrière. De plus, en observant, en particulier, la quête des deux massifs d'étambot et d'étrave on remarque que le profil général de l'épave se révèle particulièrement plat et que les angles de courbure ne correspondent pas à ceux des détails, dont il ne nous a pas été possible de vérifier si ceux-ci correspondaient à des relevés effectués à terre lors de prélèvements.

Si l'on se rapporte toutefois aux rapports de fouille de Claude Santamaria, on apprend que l'étambot présente un rayon de courbure proche de 2,5 mètres et que son extrémité s'élève jusqu'à 80 centimètres au-dessus du niveau du bas de la quille, données que l'on retrouve parfaitement sur le détail au 1/13e et non sur la coupe longitudinale. De même, pour le massif d'étrave dont le rayon de courbure observé, 4,35 mètres, se retrouve sur le relevé de détail et non sur la coupe générale.

Au vu du manque de précisions sur la coupe longitudinale générale nous avons donc tenté de combiner les informations des planimétries et des coupes transversales. Après avoir remis ces trois éléments à la même échelle nous les avons superposés afin d'y percevoir les éventuelles différences et de tenter de produire une vue longitudinale générale cohérente **(Fig. 130)**.

On remarque une différence notoire entre les quêtes observées sur la coupe longitudinale et celles observées sur les détails. La correspondance entre les relevés des hauteurs données dans le texte et les hauteurs sur les détails est significative. C'est pourquoi il nous a semblé juste de garder les profils des détails et non celui de la coupe complète, et de les combiner avec la longueur totale de la charpente axiale fournie par C. Santamaria. A défaut de pouvoir nous baser sur une documentation originelle fiable, nous estimons que cette

[455] Sur la planche on peut mesurer : 1 mètre = 7,65 centimètres ; sachant que pour une échelle au 1/13 : 1 centimètre équivaut environ à 7,69 centimètres.

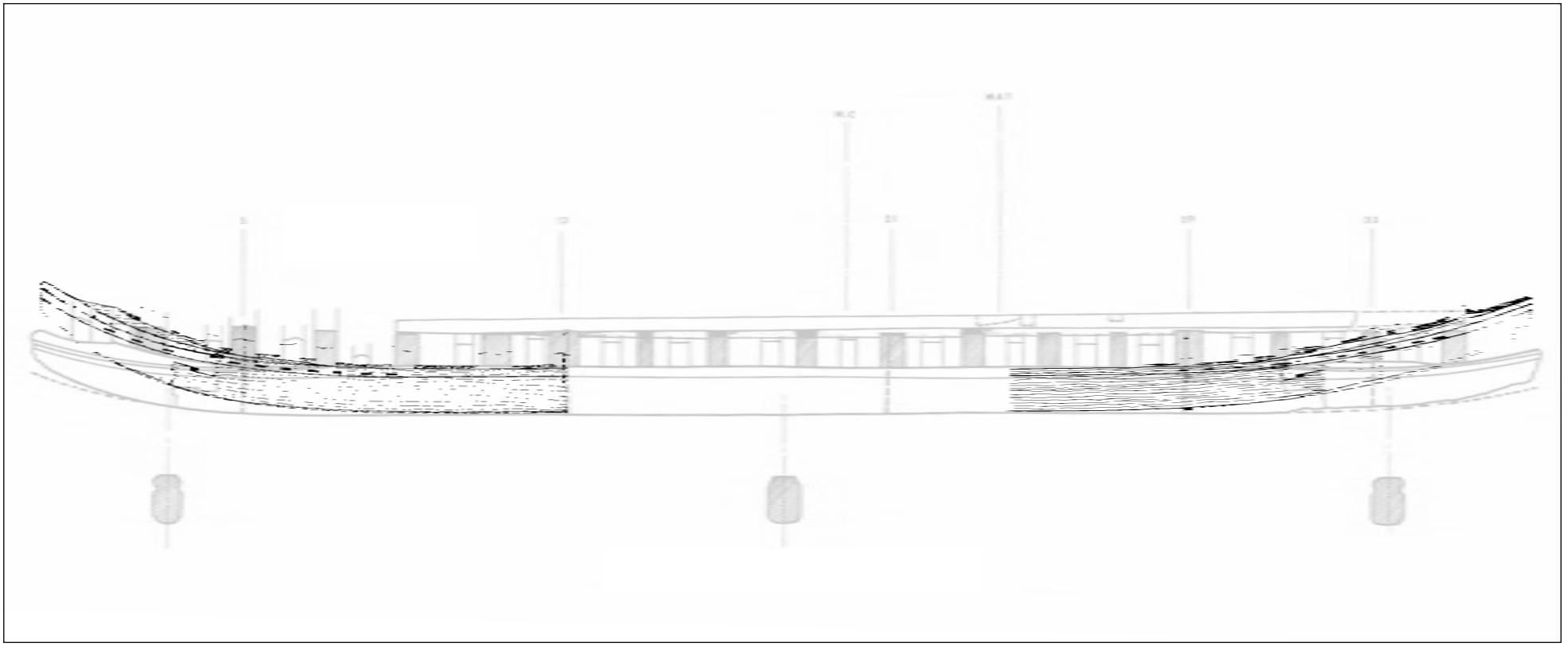


Fig. 130 : Superposition dans une échelle identique des détails de l’étrave et de l’étambot avec la coupe longitudinale de la quille (tiré de : Santamaria, 1995).

nouvelle coupe présente une cohérence satisfaisante dans le cadre d'une étude de restitution telle que la nôtre.

5.3.1.2.2. Les photos sous-marines :

Elles sont hélas peu nombreuses et ne donnent donc finalement qu'un nombre restreint d'informations. On peut toutefois apprécier sur certaines vues, une partie de l'épave en cours de fouille dans laquelle on distingue clairement l'agencement des couples, leur profil brut sur le dessus, la position de certaines vaigres ainsi que le massif d'étambot, ou encore les faibles carlingots qui l'entouraient **(Fig. 117-118 et 123-124)**. C'est à partir d'observations sur ces photos que nous avons pu déduire le redressement déjà effectué sur certaines coupes de membrures dans la publication.

5.3.1.2.3. Les carnets de fouille :

Nous avons pu consulter les carnets de fouille de Claude Santamaria tenus par ce dernier durant la fouille de *Dramont E*[456]. On y apprend notamment que les coupes transversales ont été faites en deux séries durant deux campagnes différentes : les coupes des membrures de l'arrière (les couples C5, C7, C9, C10, C13, et C15) ont ainsi été effectuées distinctement de celles des membrures de l'avant. C'est à partir de cette constatation et des observations sur les photos de la membrure que nous avons pu résoudre certains problèmes posés par l'élévation transversale des coupes **(Fig. 129 bis)**.

5.3.2. Recherche des formes dans les parties conservées :

Contrairement au travail effectué sur les navires de Naples, le dressement du plan des formes du navire du cap Dramont s'est révélé fort peu aisé et a nécessité plus que d'ordinaire, une remise en question permanente des résultats aboutissant au final à la production de pas moins de trois versions différentes du plan de formes de restitution[457]. Ces difficultés proviennent pour l'essentiel d'une déformation importante des formes conservées de la

[456] Cette consultation a notamment été rendue possible grâce à l'aide de Mme Florence Richez du service de documentation du D.R.A.S.S.M, que nous souhaitons remercier grandement ici encore.
[457] Nous ne présenterons ici en détail que les deux dernières versions du plan de formes de restitution qui nous paraissent les plus cohérentes. On trouvera cependant dans le volume de planches une vue de la première version, correspondant à l'hypothèse développée lors de la réalisation du Master 2.

carène, donnant aux relevés transversaux une apparence très torturée et hétérogène. A ces déformations, s'ajoute la possibilité d'approximation dans les relevés sous-marins et dans leur remise au net. Loin de vouloir remettre en cause la qualité des travaux de C. Santamaria, qui révèlent un travail soigné et méticuleux, il nous semble néanmoins raisonnable de penser qu'une part d'erreur a pu éventuellement se glisser lors de la réalisation des coupes et des planimétries. Les relevés sous-marins sont très souvent source d'imprécision et l'on ne saurait oublier ce détail pour l'épave E du cap Dramont, où, rappelons-le, le travail a été effectué à une profondeur de 42 m ùu le temps de travail est nécessairement limité.

Au sein des problèmes rencontrés au niveau des relevés, nous avons déjà abordé celui portant sur la production d'une vue longitudinale cohérente et la manière dont nous l'avons abordé. Toutefois l'essentiel des difficultés s'est plutôt porté à ce stade sur la remise en cohérence des différents relevés transversaux. Dans un premier temps nous avons procédé à la remise sur un même plan de toutes les coupes transversales en nous fiant au droit de la face supérieure de la quille, pensant qu'il s'agissait là de l'élément commun de ces coupes, le moins à même de subir de déformations **(Fig. 129-129 bis)**. Le résultat, présenté sur une élévation transversale, est particulièrement déroutant tant les incohérences de formes y sont nombreuses. On remarque notamment une variation importante des angles formés par le galbord entre deux coupes adjacentes, comme cela avait été évoqué dans la description des vestiges par C. Santamaria, ce qui se révèle dans le cadre d'une réalisation d'un plan de formes comme un handicap important. Par ailleurs, on note que le couple C18 est particulièrement décalé vers l'intérieur de la carène par rapport aux couples précédents de la partie arrière (C5, C7, C9, C10, C13 et C15). Il semble dans un alignement plus acceptable avec les couples suivants vers l'avant. Les déformations observées sont même quasiment identiques à celles observées sur le couple C19 mitoyen. Si l'on s'en tient à l'hypothèse d'une quille de forte section n'ayant subi que peu de déformations, on peut alors considérer que ce décalage est relativement important et ne peut pas être raisonnablement considéré comme normal pour une carène en bois. De plus sur les photos sous-marine, on n'observe à cet endroit ni déchirure, ni déformation particulière de l'épave. En revenant sur la chronologie de réalisation des coupes transversales, il est apparu que la diachronie entre les deux groupes de relevés (les coupes depuis l'arrière jusqu'au couple C15 ayant été effectuées la saison précédente de celle des coupes de l'avant) pouvait expliquer en partie ces incongruités. Toutefois, cela ne permettait pas de résoudre l'ensemble des questions posées par les déformations et nécessitait la mise en place d'une méthode différente de celle basée sur le redressement de la face supérieure de la quille.

Pour ce faire, nous avons tenté, à partir des différents relevés planimétriques et en coupes de recréer dans *Rhinocéros*™ un modèle virtuel des vestiges afin de comparer la validité et la cohérence d'ensemble de ceux-ci. Le but étant de retrouver le basculement de chaque coupe transversale en nous basant sur la cohérence entre le plan et les coupes pour chaque joint de virures. Au final, il apparaît qu'un basculement hétérogène et spécifique de chacun des couples permet d'obtenir une cohérence accrue entre les différents relevés **(Fig. 131)**. Les résultats de ces redressements nous conduisent à penser que l'inclinaison latérale de la quille, telle qu'elle est représentée sur les relevés transversaux, est bien trop importante pour être réaliste (près de 8° de différence peuvent ainsi être mesuré entre les coupes C9 et C10). Il n'est pas précisé si les profils de quille ont bien été relevés afin de dresser ces coupes transversales. Il nous est donc impossible de savoir si l'inclinaison latérale importante de la quille est le résultat d'une première restitution approximative ou bien encore d'un relevé imprécis. Quoi qu'il en soit, avec ce redressement on note une amélioration importante au niveau de la continuité des formes hors membrure, qui tend à valider cette nouvelle répartition. Et ce d'autant plus que ce basculement permet de retrouver une meilleure symétrie de formes entre les pattes bâbord et tribord des varangues ainsi qu'entre les angles d'ouverture du galbord.

L'importante différence observée entre les deux méthodes de redressement des coupes transversales provient, selon toute vraisemblance, à la fois de l'écart chronologique entre les deux phases de relevés mais aussi de l'inadaptation du dessus de quille comme repère initial : sur une distance si courte une infime différence de niveau peut entrainer de grands changements dans le balancement de la varangue. Par ailleurs, la représentation de la section de quille sur chacune des coupes transversales semble indiquer que celle-ci a bien été relevée à chaque endroit, renforçant l'idée d'un dessus de quille comme repère fiable. Or s'il n'est pas précisé que cette partie n'a pas été effectivement relevée par C. Santamaria, cela semble pour autant être une éventualité peu probable, la découpe de la carène à chaque coupe transversale n'ayant pas été effectuée ; pas plus qu'une souille assez importante sur le dessous de la coque, à même de permettre le relevé des profils de la quille à chaque endroit.

Malgré les variations importantes de l'inclinaison latérale de quille qu'elle entraine, nous estimons que la seconde solution de redressement des coupes permet d'obtenir un résultat plus que satisfaisant : cohérence avec l'ensemble des données de fouille (notamment les données planimétriques) et apparition, en vue transversale, d'une forme de carène cohérente à même de se prêter à une tentative de restitution **(Fig. 132-133-134)**. C'est sur

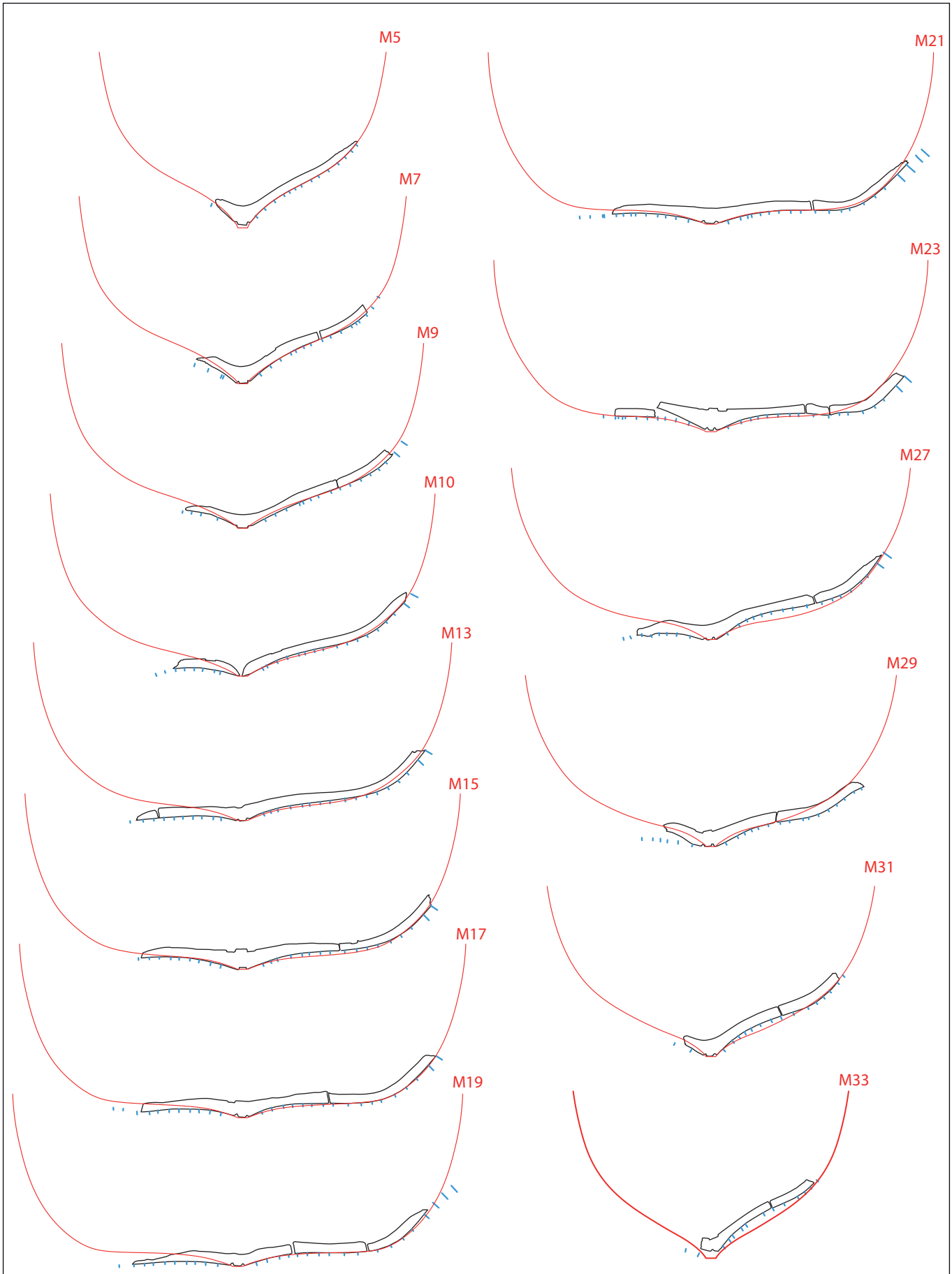


Fig. 131 : vue de la remise en place des coupes transversale des vestiges sur les coupe du plan de formes de restitution.

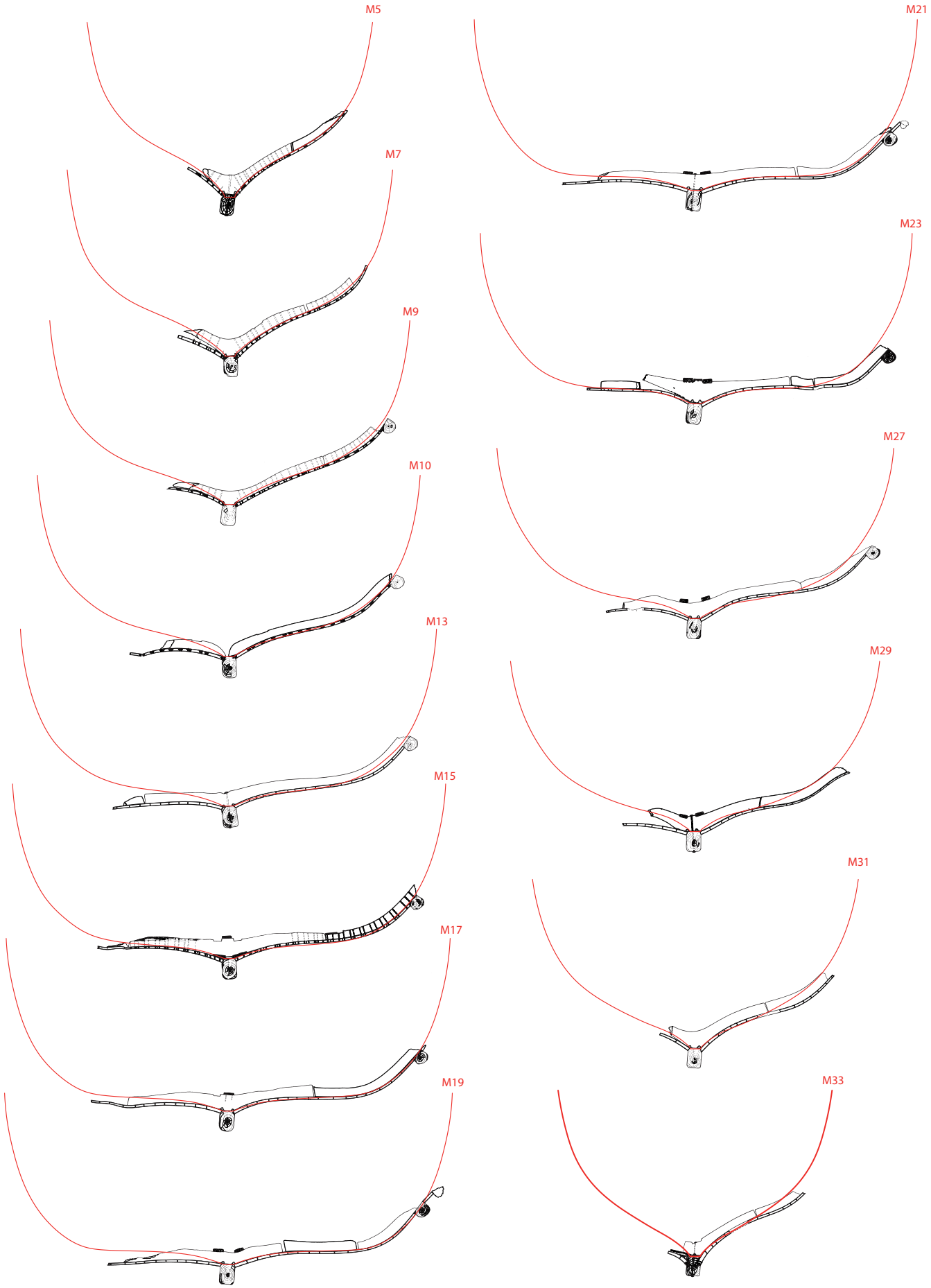


Fig. 132 : Vue de la remise en place des coupes transversale des vestiges sur les coupe du plan de formes de restitution.

cette base de redressement transversal ainsi que sur le remontage de la coupe longitudinale que nous nous sommes donc reposés afin de projeter nos élancements en respectant au maximum l'allure des lignes d'eau décrite par les vestiges redressés. Pour l'étambot, la conservation du bordé en hauteur sur l'arrière, au niveau du couple M5, permet de définir des bornes de restitution fiables pour l'allure du massif disparu, en se fiant aux lignes encore conservées. On obtient de cette manière des lignes d'eau légèrement pincées qui engendrent la restitution d'un étambot présentant un rayon de courbure de 2,44 mètres, soit très proche de ce qu'avait pu observer C. Santamaria. Concernant l'étrave, nous avons estimé que la solution la plus simple semblait la plus justifiée : laisser filer quasiment droites les lignes d'eau des parties conservées. Comme pour l'étambot, le rayon de courbure restitué, 4,51 mètres, s'avère très proche de ce qui a pu être mesuré sur les vestiges **(Fig. 135)**.

Sur ce point particulier de la restitution des élancements arrière et avant, on aurait pu s'interroger sur la validité de notre hypothèse au regard de la longueur du navire estimée brièvement par C. Santamaria[458]. Celui-ci évoque une longueur de tête en tête probable entre 15,50 m et 16 m, ce qui nous semble être incompatible avec les formes décrites par les lignes d'eau des vestiges conservés aux extrémités. On aurait pu restituer une telle longueur au prix d'un pincement déraisonnable du bordé dans ces zones, ce qui paraît peu probable. On note à ce propos que la première hypothèse de Santamaria, basée sur un rapport moyen de 1/3 entre la longueur et la largeur, portait tout d'abord sur un navire de 18 m environ. Suite à diverses phases de recherches à la table à dessin, menées en collaboration avec le charpentier de marine Sétois Joseph Candela, et à l'aide d'une maquette au 1/20°, C. Santamaria revient sur cette première proposition en arguant de l'importance dérisoire des élancements nécessaires à la restitution de telles longueurs. Il nous semble que notre démarche n'a fait qu'accentuer ce nécessaire besoin d'atténuation des élancements.

Pour rappel, les dimensions de base des vestiges archéologiques de *Dramont E* sont les suivantes :

Tab. 28 : Rappel des dimensions principales des vestiges de l'épave *Dramont E*

Longueur max.	Larg. (MC) face int. préceinte 2	Hauteur max	Creux int.
≈ 10,04 m	≈ 5,54 m	≈ 1,16 m	≈ 0,84 m

[458] Santamaria, 1995, p. 175-176

Nous ne pouvons, enfin, manquer de souligner ici un point particulier de l'épave du *Dramont E* et qui a eu une influence fort importante dans le dressement des formes : l'utilisation de bois tors pour la membrure a nécessairement dû entrainer lors du relevé des coupes transversales une part de projection importante qu'il est difficile de quantifier dans notre dressement du plan de formes. A cela s'ajoute qu'il n'est pas mentionné clairement les positions sur lesquelles ont été effectuées les coupes transversales. Si nous estimons que cela n'a pu avoir qu'une influence négligeable dans la restitution des formes des couples centraux, il n'en va pas de même pour ceux positionnés aux extrémités. Les angles de renfermement du bordé y sont assez importants de manière à exiger un équerrage important des faces inferieures des couples. La restitution des formes aux extrémités s'est révélée ainsi très sensible au repositionnement des coupes transversales. Par exemple : le positionnement dans le plan de formes de la varangue figurant sur la coupe transversale du couple n°5 au niveau de sa face avant ou arrière était à même de faire se modifier grandement l'ensemble des lignes d'eau à cette extrémité. A défaut de pouvoir juger véritablement de l'orientation dans la réalisation des coupes transversales, nous avons pris le parti de toujours positionner les coupes transversales sur le milieu de la varangue au niveau de l'axe de quille. Cela a donc pu entrainer une part d'erreur et d'approximation dans notre travail de restitution.

5.3.3. Définition des dimensions principales :

Comme c'est bien souvent le cas pour la restitution des plans de formes d'épaves anciennes, la détermination de la hauteur du livet de pont ainsi que du pavois est demeurée la question la plus difficile à résoudre. Compte-tenu de la préservation d'une grande partie du matériel amphorique, la simple restitution de l'ensemble de la cargaison dans notre modèle virtuel pouvait éventuellement nous indiquer le niveau minimal nécessaire de restitution du livet afin que la cale présente des dimensions suffisantes pour accueillir l'ensemble de cette cargaison **(Fig. 136)**. Cette donnée pouvant être couplée à la restitution d'un certain nombre de préceintes répétant le schéma observé sur les parties conservées. Malgré le fait que cette méthode nous paraisse justifier à elle seule notre choix restitutif en ce qui concerne la hauteur sous-barrot, nous avons jugé nécessaire d'examiner en plus de cela les divers éléments archéologiques et iconographiques pouvant nous amener à justifier la restitution des proportions de notre navire.



Fig. 133 : Vue du modèle virtuel des vestiges remis en forme.

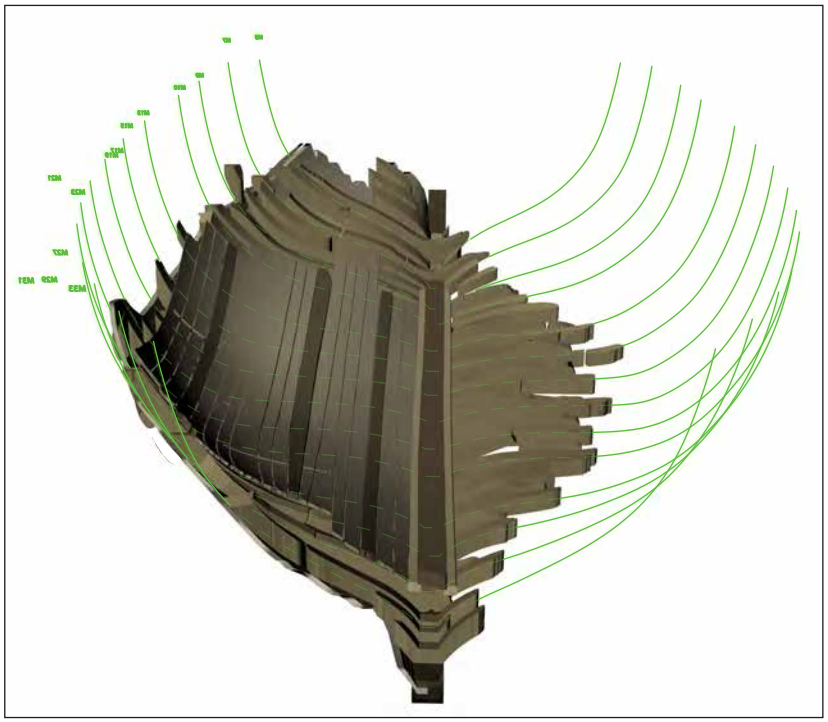


Fig. 134 : Vue du modèle virtuel des vestiges remis en forme avec les premières courbes transversales de restitution.

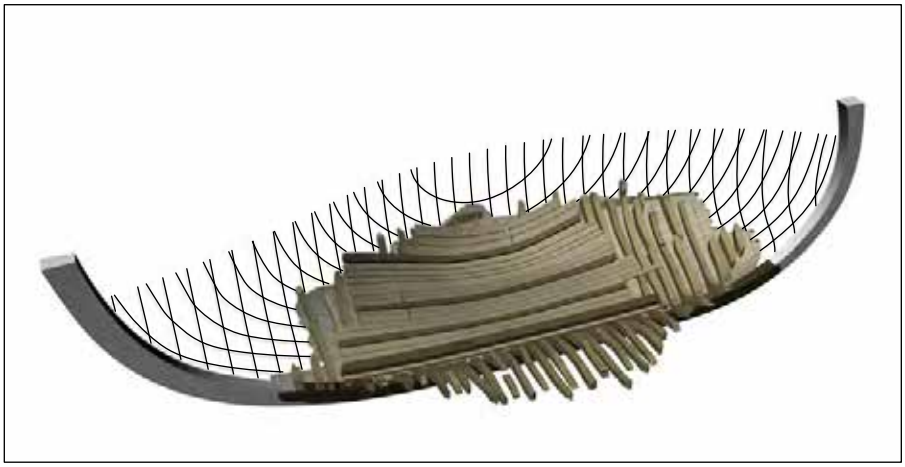


Fig. 135 : Vue du modèle virtuel des vestiges remis en forme avec un premier prolongement des élancements et l'ébauche du plan de formes de restitution.

Seules certitudes, quelle que soit la hauteur de livet restituée, les vestiges conservés amènent à restituer une coque très large proportionnellement à sa longueur. A ce stade il nous était ainsi possible d'affirmer, sur la base du prolongement des lignes déduites de la remise en forme des vestiges, que la longueur hors-tout devait s'établir au maximum à 14,10 m, la longueur entre perpendiculaires pouvant être estimée entre 13,26 m et 13,70 m et la largeur avoisinant 6,09 m à 6,33 m, mesurée hors-bordé au niveau du maître-couple M19 – M20 **(Fig. 135)**.

5.3.3.1. Recherche d'une hauteur sous barrot à partir de la restitution de la cargaison :

Nous reviendrons plus longuement, dans les parties suivantes, sur la méthode employée dans la restitution du chargement. Nous nous contenterons ici de donner les hauteurs sous-barrot nécessaires à la restitution de différents niveaux d'amphores. C'est essentiellement au niveau du maître-couple (M19-M20) que nous avons recherché la mesure minimale nécessaire pour le placement d'un ou de deux niveaux d'amphores.

Sur l'axe de quille, en prenant le module le plus grand des amphores Keay XXXV d'une hauteur de 107 cm[459], la restitution d'un double niveau d'amphores nécessite une hauteur sous barrot de 1,85 m environ[460] **(Fig. 138)**. Vers les flancs, la répartition des amphores dans la cale devait être telle que la présence d'un deuxième niveau aux extrémités était exclu[461]. La hauteur sous barrot nécessaire est alors plus limitée et devait s'établir aux alentours d'une centaine de centimètres. En ce qui concerne la restitution d'un unique niveau d'amphore, si la hauteur sous barrot nécessaire au niveau de l'axe de quille n'excède pas 1,10 m, la présence d'une rangée d'amphores vers les flancs commande toujours, quoi qu'il en soit, la restitution d'une hauteur de 1,00 m environ à cet endroit précis **(Fig. 137)**. Ce qui entraine la restitution d'un creux au niveau de l'axe de quille de 1,40 m environ.

En résumé, la restitution d'un unique niveau d'amphores, entrainerait donc la restitution d'une hauteur entre le bas de quille et le livet d'environ 1,90 m. Si le creux est de 1,40 m dans cette configuration, on notera que ponctuellement au niveau de l'axe de quille notamment, la hauteur sous barrot devait être plus importante compte-tenu du bouge que devait présenter le pont. La restitution d'un second niveau nécessite, quant à elle, une hauteur

[459] Nous prenons ici volontairement en référence l'amphore complète la plus grande, inventoriée comme A. 01/81 (Santamaria, 1995, p. 27 et p. 30, Pl.I).
[460] Mesuré graphiquement sur l'empilement d'amphores restitué dans le modèle virtuel.
[461] Voir *infra*.

sous barrot minimale entre 1,48 et 1,67 m environ. De la même manière que précédemment, on notera que la possible présence d'un bouge du pont devait engendrer une hauteur sous barrot légèrement plus importante vers le centre du navire le long de l'axe de quille[462], suffisant en tout cas pour pouvoir y intégrer, sur une certaine surface, les deux niveaux d'amphores dont la hauteur totale était de 1,85 m[463]. On peut ainsi estimer que la hauteur de livet qui doit être restituée, depuis le bas de quille, s'établit donc entre 1,98 m et 2,17 m.

5.3.3.2. Proportions déduites sur la base du *corpus* iconographique :

Concernant l'iconographie, nous avons tout d'abord tenté de définir un corpus significatif en ne sélectionnant que les représentations occidentales de navires de commerce d'époque tardive et de taille réduite[464]. Etant données les importantes limitations qu'impliquaient de telles conditions, nous avons décidé d'élargir notre corpus de comparaison pour y inclure l'ensemble des représentations de navires de commerce des bassins orientaux et occidentaux de Méditerranée, datées entre le IIIe s. ap. J.-C. et le VIe s. ap. J.-C. À partir de cette sélection nous avons mesuré, pour chaque cas, le rapport de proportion entre la longueur entre perpendiculaires et la hauteur approximative entre le bas de quille et le haut du pavois[465].

On note d'importantes différences à travers les proportions des différentes représentations de ce corpus. Ceci aurait tendance à prouver, selon nous, l'inadéquation de cette méthode pour l'établissement des dimensions pour notre restitution. Toutefois, si l'on devait tout de même appliquer, à notre plan de formes de restitution, le rapport de dimension moyen observé à travers l'iconographie nous obtiendrions une longueur moyenne entre perpendiculaires de 13,48 m et une hauteur totale, pavois inclus, au maître-couple de 3 m environ. Ce chiffre, qui correspondrait à une hauteur entre le bas de quille et le livet de 2,30 m à 2,50 m, paraît convenir à première vue : en effet, le rapport entre la largeur hors-tout moyenne restituable (6,21 m) et la hauteur bas de quille–livet moyenne déduite de l'iconographie (2,40 m) s'établirait alors à 2,58. Chiffre important qui n'en demeure pas

[462] Comme observé sur le fragment conservé de pont de l'épave 2 de l'anse des Laurons (Gassend, Liou, Ximénès, 1984, p. 78)
[463] Cette hauteur de 1,85 m peut être obtenue si l'on tient compte de l'existence d'un bouge du pont qui serait établi entre 36,5 cm (équivalent au 1/17ème de la largeur au maître-couple comme sur l'épave *Laurons 2*) et 17,8 cm (équivalent au 1/35ème de la largeur au maître-couple, comme on l'a évoqué précédemment à propos de *Napoli A*).
[464] L'absence d'une définition rigoureuse du type architectural de l'épave ne remet pas en cause particulièrement le recours à l'iconographie dans l'établissement de comparaisons dimensionnelles. En effet, l'interprétation sans ambiguïtés du type de navire, de sa fonction, de son mode de propulsion et de direction permettent de produire une telle analyse.
[465] Nous avons vu précédemment, dans la partie concernant la restitution des dimensions principales de l'épave *Napoli A* les inconvénients ainsi que l'imprécision de cette méthode.

moins dans les bornes du raisonnable. De la même manière, le rapport entre la longueur hors-tout moyenne (13,48 m) et la hauteur bas de quille–livet moyenne déduite de l'iconographie (2,40 m) s'établirait selon les mêmes éléments iconographiques à 5,61.

Tab. 29 : Eléments iconographiques utilisés lors de la recherche des proportions de la restitution de *Dramont E.*

Document iconographique	Provenance et datation	N. mâts	N. préceintes visibles	Rapport L/HBqP	Référence bibliographique
Bas-relief votif des *Quinquennales* des Fabri Navales d'Ostie[466] **(Fig. LXIII)**	Rome, IIe – IIIe s. ap. J.-C.	2	4	3,97	Pomey 1997, p. 118
Relief de la Villa Medicis (transport de lions) **(Fig.XX)**	Rome, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 + lisse de pavois)	3,23	Pomey 1997, p. 121
Relief de Narbonne-Bastion St Côsme **(Fig.XIX)**	Narbonne, IIIe s. ap. J.-C.	1	3 (minimum) + lisse de pavois	3,77	Pomey 1997, p. 17
Sarcophage de *Pretextatus* (navire de droite) **(Fig.XVIII)**	Rome, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 (+ lisse de pavois)	3,35	Pomey 1997, p. 126
Sarcophage de *Pretextatus* (navire de gauche) **(Fig.XVIII)**	Rome, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 (+ lisse de pavois)	3,35	Pomey 1997, p. 126
Stèle de *Kalleinikos* **(Fig.XVI-XVII)**	Istanbul, IIIe s. ap. J.-C.	1	2 (minimum) + lisse de pavois	6,30	Casson, 1971, n°143
Sarcophage d'Eudemos **(Fig.XV)**	Olympus, entre le IIe et le IVe ap. J.-C.	0	3 (+ lisse de pavois)	6,84	Pekary, 1999, p.380 Tr32
Peinture de Via Anapo **(Fig.XXII)**	Rome, IIIe – IVe s. ap. J.-C.	1	2 (minimum) + lisse de pavois	3,37	Josi, 1928, fig.30
Sarcophage de Sinope **(Fig.XXI)**	Sinope, IVe s. ap. J.-C.	2	3 (+ lisse de pavois)	6,19	Ballard, 2001
Moyenne				**4,49**	

5.3.3.3. Proportions déduites de restitutions archéologiques comparables :

La comparaison avec d'autres restitutions de navires proches s'est avérée difficile et peu fructueuse. De fait, seules trois épaves restituées se révèlent relativement proches chronologiquement de *Dramont E* : *Port-Vendres I*[467], l'épave *Parco di Teodorico* découverte à Ravenne[468] et *Yassi Ada I*[469]. Concernant ces deux dernières, nous les avons rapidement

[466] Nous incluons ici le bas-relief des *Quinquenales* qui, malgré le fait de se trouver en marge du champ chronologique posé pour notre corpus, présente toutefois une similitude morphologique globale avec *Dramont E* qui permet selon nous de le réintégrer.
[467] Roman, 1997, p. 139-159
[468] Medas, 1999, p. 135-138 ; Medas, 2001, 104-108 ; Medas, 2003, p.42-48
[469] Van Doorninck, 1982, p. 32-64 ; Steffy, 1982, p. 64-86, fig. 44

écartées étant donné l'écart typologique, plus ou moins prononcé, que l'on peut percevoir avec notre épave. L'épave du *Parco Teodorico*, au-delà d'une taille bien plus réduite que celle de *Dramont E*, se présente ainsi sous la forme d'une une construction sur bordé, associée à une conception transversale sur membrure[470]. La présence d'une charpente transversale très active structurellement met bien en évidence le caractère « transitionnel » de cette épave qui ne peut donc être raisonnablement comparée avec l'épave E du cap Dramont. De la même manière, l'épave *Yassi Ada 1*, plus récente de près de deux siècles, relève d'une construction et d'une conception mixte bien éloignée de notre épave[471]. En conséquence, la reprise des coefficients de proportions mesurables sur ces deux restitutions ne nous a pas paru être une solution pertinente.

Il ne nous restait donc plus que la restitution de l'épave *Port-Vendres 1*[472], qui malgré le fait qu'elle relève plus directement de la tradition architecturale de l'époque impériale, nous a semblé à même de former une base significative de comparaison des proportions.

Tab. 30 : Les dimensions principales de l'hypothèse de restitution de l'épave *Port-Vendres 1*

Épave	Longueur entre perpendiculaires	Largeur (au livet de pont)	Creux ou hauteur sous barrot	Rapport L/l	Rapport l/h	Rapport L/h	Bibliographie
Port-Vendres I (IVe- d. Ve s. ap. J.-C.)	16,41	8	1,94	2,05	4,12	8,45	Roman, 1997

Pour cette épave, on remarque que le rapport de proportion entre la longueur entre perpendiculaires et le creux s'établit aux alentours 8,45[473]. Si l'on devait tenir compte de ce coefficient dans la restitution du creux de notre épave, celui-ci mènerait à la restitution d'une hauteur sous barrot de 1,59 m, correspondant à une hauteur totale entre le bas de quille et le livet d'environ 2,10 m.

[470] Pomey, Kahanov, Rieth, 2012, p. 257-259.
[471] *Ibid.*, p. 266-268.
[472] *Ibid.*, p. 256-257.
[473] Soit une valeur qui semble a *priori* bien éloignée de celle déduite de l'iconographie (4,49). Rappelons toutefois qu'il ne s'agit pas tout à fait des mêmes rapports de proportions, car si il s'agit dans les deux cas d'une comparaison incluant la longueur entre perpendiculaires, dans l'une la division s'effectue avec le creux, pour l'autre elle s'effectue avec la hauteur entre le bas de quille et le haut du pavois.

5.3.3.4. Conclusion et choix des hypothèses de restitution :

Au regard de ces différentes évaluations, il nous semble indéniable que l'usage des représentations iconographiques, se révèle tout à fait inadapté dans le cas d'étude présent. En revanche, la restitution de la cargaison ainsi que la comparaison avec *Port-Vendres 1*, nous permettent d'obtenir déjà trois niveaux potentiels de creux pour définir les dimensions générales de notre restitution.

Tab. 31 : Résumé des différents creux pouvant être restitués :

	Rapport L/h de *Port-Vendres 1*	Un niveau d'amphores	Deux niveaux d'amphores
Hauteur bas de quille - livet	≈ 2,10	1,90	2,08
Creux	1,59	1,40	1,57
Rapport L/h	8,45	9,62	8,59
Rapport L/HBqP	/	/	6,48
Rapport l/h	4,12	4,43	3,95

Nota : On se base ici pour ces calculs de proportion sur une longueur moyenne entre perpendiculaires de 13,48 m et sur une largeur maximale moyenne au maître-couple de 6,21 m. Valeurs moyennes établies à partir de l'ébauche du plan de formes effectué précédemment.

Afin de compléter et valider ces différentes propositions de restitution nous avons tenté de définir une hauteur du livet en nous basant sur la restitution de trois, quatre ou cinq niveaux supérieurs de préceintes et de virures dont les dimensions seraient comparables à celles encore conservées. Comme nous l'avons déjà souligné cette méthode peut être largement discutée[474], il nous semble que c'est cependant la solution qui doit tout d'abord être privilégiée, étant donné que c'est là le schéma le plus simple.

[474] Voir *supra* la recherche des dimensions principales de l'hypothèse de restitution de *Napoli A*.

Tab. 32 : Résumé des différents creux pouvant être restitués à partir de la répétition de trois, quatre ou cinq niveaux de préceintes :

	Trois niveaux de préceintes	Quatre niveaux de préceintes	Cinq niveaux de préceintes
Hauteur bas de quille - livet	1,90	2,19	2,55
Creux	1,40	1,575	2,05
Rapport L/h	9,62	8,56	6,55
Rapport L/HBqP	7,09	6,15	5,29
Rapport l/h	4,43	3,94	3,02

On constate ainsi que la restitution de trois niveaux engendrerait la restitution d'une hauteur totale entre le bas de quille et le livet de 1,90 m, générant un rapport de dimension L/HBqP de 7,09[475]. Dans ces conditions, on se rapproche très fortement des conditions déduites d'une restitution de la cargaison sur un seul niveau. Soulignons cependant que dans cette configuration le navire se trouve déjà plein avec les seules amphores rescapées du pillage et inventoriées en début de fouille en 1981.

Dans le cas de la restitution de quatre niveaux préceintes, cela engendrerait la restitution d'une hauteur totale entre le bas de quille et le livet de 2,19 m, générant un rapport de dimension L/h de 8,56. On se rapprocherait alors des rapports mesurés sur la restitution de l'épave *Port-Vendres 1*[476]. Par ailleurs, on note qu'avec une telle hauteur sous barrot, cette seconde hypothèse serait à même de recevoir deux niveaux d'amphores, pouvant correspondre aux amphores inventoriées durant la fouille pour celles du niveau inférieur, et aux amphores pillées pour le niveau supérieur.

Enfin, la restitution de cinq niveaux de préceintes engendrerait une hauteur totale entre le bas de quille et le livet de 2,55 m, générant un rapport de dimension L/h de 6,55. Plusieurs éléments nous paraissent affaiblir la pertinence de cette hypothèse. En tout premier lieu, l'importance des dimensions de la cale ne semble pas s'accommoder des vestiges de cargaison qui ont pu être répertoriés. Par ailleurs, on ne peut que remarquer la différence

[475] Un tel rapport de dimension s'avère bien éloigné de ceux observés sur l'iconographie (moyenne de 5,61), à l'exception de celui du navire figuré sur le sarcophage du capitaine *Eudemos* à Olympus de 6,84.
[476] Ainsi que des rapports mesurés la stèle de *Kalleinikos* (6,3) ainsi que sur le sarcophage de Sinope (6,19).

notable entre le rapport L/h de cette hypothèse (6,55) et celui mesuré sur la restitution de *Port-Vendres 1*[477].

Au final, les deux premières hypothèses semblent parfaitement convenables et il paraissait difficile, à ce stade, de limiter notre étude uniquement à l'une ou à l'autre. Nous avons donc fait le choix de développer de front ces deux hypothèses tout en gardant à l'esprit que l'étude particulière de la restitution du chargement ainsi que les résultats de l'étude hydrostatique et de stabilité permettraient éventuellement de mettre en lumière les incohérences sur l'une d'entre elles.

En nous basant donc sur des hauteurs de livet de 1,90 m et 2,19 m, nous avons placé notre ligne de pont au niveau du maître-couple. Livet que nous avons par la suite prolongé jusqu'aux massifs d'extrémité. La courbure de la tonture du pont étant déterminée par l'allure des cinq dernières virures conservées (deux préceintes et trois virures de bordé).

Les résultats pour les deux hypothèses sont les suivants :

Tab. 33 : Récapitulatif des dimensions des deux hypothèses de restitution

	Hypothèse 1 **(Pl. XXVII)**	Hypothèse 2 **(Pl. XXVIII)**
Longueur HT	**14,10 m**	**14,10 m**
Longueur entre perpendiculaires	**13,26 m**	**13,46 m**
Largeur MC max (préceintes comprises)	**6,39 m**	**6,44 m**
Largeur MC (face int.)	**6,10 m**	**6,21 m**
Creux au MC	**1,40 m**	**1,57 m**
Hauteur bas de quille-pavois (BQP)	**1,90 m**	**2,19 m**
Rapport L / l	2,17	2,17
Rapport l / h	4,36	3,94
Rapport L / h	9,47	8,55
Rapport l / h BQP	3,21	2,83
Rapport L/ h BQP	6,97	6,15

[477] On remarquera aussi que la restitution de cinq niveaux de préceintes ne s'accorde pas non plus parfaitement avec ce que nous propose l'iconographie : puisqu'au sein d'un corpus même élargis, seul le navire représenté sur le relief de Sidon(Pomey 1997, p. 12 ; Basch, 1987, p. 463, fig. 1031), antérieur de deux siècle à notre épave, paraît présenter quatre ou cinq préceintes, la majorité semblant en figurer plutôt deux ou trois.

Au regard des plans de formes obtenus, deux éléments sont particulièrement marquants : il s'agit d'une part de la très grande largeur du navire et d'autre part de son retour de galbord très marqué. La conséquence première de la grande largeur se retrouve dans l'importance de la surface mouillée dès les premiers centimètres d'enfoncement. Cela s'accompagne d'un pincement important des lignes aux alentours de la ligne d'eau n°2. Ce pincement diminue progressivement au point de complétement disparaître au niveau de la ligne d'eau n°6. Comme noté précédemment, il nous semble que le pincement modéré tel qu'il est restitué ici, aussi bien vers l'étrave que vers l'étambot, est un témoin primordial du fait que la longueur à la flottaison ne devait pas être beaucoup plus importante. La restitution d'une plus grande longueur aurait en effet amené un pincement encore plus important, que nous jugeons irréaliste.

Plus globalement, on notera la légère asymétrie des lignes, provoquée par la différence entre les deux rayons de courbure des élancements arrière et avant. Les volumes à l'étambot sont en conséquence sensiblement plus pleins que ceux de l'avant, entrainant un décalage du centre de carène vers l'arrière.

Concernant le retour de galbord, celui-ci, associé à la quille de très forte section, donne à voir une surface latérale extrêmement importante dont le rôle et l'efficacité antidérive doivent être soulignés.

5.3.4. Reconstitution des parties conservées :

Nous traiterons dans les parties suivantes, uniquement de la restitution des parties encore conservées de la carène. Nous ne différencierons pas encore les deux hypothèses de restitution étant donné que le présent discours s'applique indifféremment à l'une comme à l'autre.

5.3.4.1. Charpente Axiale :

Dans l'ensemble, les éléments appartenant à la charpente axiale ne semblent pas avoir trop souffert de dégradations et n'ont donc pas nécessité un travail de restitution particulier en ce qui concerne les parties détruites ou dégradées. Il s'est par contre révélé difficile de pouvoir quantifier les déformations et de pouvoir les différencier d'éventuelles asymétries originelles.

Ainsi, si pour la restitution longitudinale de l'ensemble étambot-quille-étrave, nous avons pu reprendre sans difficultés la coupe dressée à partir de la combinaison des détails des massifs d'extrémité et de la coupe longitudinale d'ensemble[478], l'évaluation de la forme en planimétrie de la charpente axiale a été bien moins aisée. Le redressement opéré sur les coupes transversales ainsi que le mode de représentation adopté dans la planimétrie originelle des vestiges rend en effet la tâche très ardue[479]. Partant de notre modèle virtuel des vestiges nous avons procédé à un redressement global de la charpente axiale, correspondant au redressement effectué sur les coupes transversales, jusqu'à ce que l'épave ne présente plus aucune gîte. Par cette méthode, nous avons pu dresser une vue planimétrique des vestiges sans gîte, nous permettant d'estimer que la charpente axiale devait être globalement droite dans toute sa longueur conservée. C'est donc ainsi que nous l'avons restituée.

En ce qui concerne la restitution des pièces d'extrémité, leur restitution s'est trouvée facilitée par les relevés de détail des deux brions d'étrave et d'étambot. A l'instar de la quille, ces deux pièces ne semblent pas avoir subi de dégradations majeures, ce qui nous permet d'en restituer, avec une bonne précision, à la fois leur section et leur courbure générales (déduites du plan de formes).

[478] Voir *infra*

[479] Il nous a paru évident, après les avoir replacées dans le modèle virtuel, que toutes les planimétries de l'épave proposées par C. Santamaria dans la monographie présente une projection zénithale des vestiges dans leur état gité. Cette vue en projection expliquant notamment l'allure courbée de la charpente axiale sur l'avant et l'arrière de l'épave.

5.3.4.2. Bordé et préceintes :

Afin de procéder à la restitution du bordé conservé, il nous été permis de nous appuyer sur deux types de relevés : d'une part la planimétrie, dont l'échelle et le mode de représentation ne facilitaient pas l'utilisation, et d'autre part, les limites de virures figurées sur les coupes transversales.

Nous avons, afin de percevoir l'allure des virures en trois dimensions, fait figurer à la même échelle dans notre modèle virtuel de restitution à la fois la planimétrie du bordé ainsi que les joints de virures formés par l'ensemble des marques relevées sur les coupes transversales. Dans une vue zénithale, ces deux ensembles de relevés révèlent une parfaite cohérence des joints de virures ainsi obtenus dans les trois dimensions, ce qui semble devoir valider l'actuelle hypothèse de plan de formes.

Toutefois, remis dans le contexte d'une coque en trois dimensions et aux formes courbes, l'allure de ces virures s'avère bien plus problématique **(Pl. XXX)**. Deux éléments nous ont particulièrement interpellés : avec le plan de formes ici proposé, à quelques exceptions près, toutes les virures présentent de fortes courbures qui se révèlent particulièrement importantes vers les extrémités. A cela s'ajoute la très rare présence de virures à joints perdus, trois seulement étant attestées sur les vestiges (V2 et V6 sur tribord ; V2 sur bâbord) et une quatrième (V16 sur tribord) pouvant éventuellement être restituée. On peut alors s'interroger sur la façon de compenser la courbure générale de la coque. Par le biais du modèle tridimensionnel, nous avons cependant bien pu vérifier le caractère développable des virures ainsi restituées. Si nous avons pu en dresser un plan développé **(Pl. XXX)**, il ne nous a cependant pas été possible de comparer celui-ci à un plan développé des virures issu d'un modèle des vestiges encore en place. La production d'un tel modèle s'est trouvée relativement difficile à établir, compte-tenu des déformations de la carène, des imprécisions et des décalages au sein des relevés.

En conclusion, on note que l'utilisation de petites largeurs pour les virures du bordé (14,9 cm en moyenne) dévoile une série de virures parfaitement développables tendant à accréditer la validité des plans de formes **(Pl. XXXI)**. Il n'en demeure pas moins que la plupart des virures[480] présente une importante courbure tout à fait inhabituelle ainsi qu'un lissage des plus aléatoires qui nous amène naturellement à modérer nos conclusions sur la

[480] Ainsi pour la seule partie conservée de la virure n°10 on note un tel rayon de courbure que son plan développé s'inscrit déjà dans un rectangle de 8,85 m de long par 74 cm de largeur. On se doute le débitage d'une telle planche a pu éventuellement s'avérer complexe : soit par le débit dans un arbre à la courbure adaptée, soit par la taille dans un plateau issu d'un arbre dont le diamètre devait être considérable.

validité d'une telle restitution des formes. Une dernière vérification fine concernant la répartition des assemblages, telle que l'implantation des jeux de tenons, aurait pu nous permettre de valider définitivement notre plan de formes restitué. Malheureusement, les données nous manquent sur ce point et nous sommes dans l'incapacité de la réaliser.

5.3.4.3. Charpente transversale :

La restitution des divers éléments constituant la membrure s'est heurtée, au-delà du simple problème de redressement évoqué précédemment, à la disparité de traitement dans les relevés des différents couples ainsi qu'aux difficultés générées par l'utilisation de bois tors dans cette partie du navire **(Pl. XXXIII)**.

Ainsi, compte-tenu de la profondeur de l'épave et de la méthode de relevé employée, seuls quelques couples, seize sur trente-cinq conservés, ont fait l'objet d'un relevé en coupe permettant d'en connaitre plus précisément le profil. La restitution des couples relevés uniquement en plan se fit donc en grande partie, sur la surface hors-membrure définie par le plan de formes et sur la coupe longitudinale afin de les restituer en volume. Parallèlement à cela, l'utilisation de bois tors dans la membrure n'a pas été sans poser problème dans la restitution des couples ayant été relevés en coupe. Si l'on combine en effet ce détail, au fait que le renfermement important des formes aux extrémités exige un équerrage important des faces inférieures des couples situés aux extrémités, on comprendra que la réalisation de la membrure s'est révélée très complexe techniquement.

5.3.4.4. Vaigrage et charpente interne :

Sur la base du même modèle tridimensionnel, combinant l'ensemble des relevés de fouille ainsi que la surface hors-bordé extraite du plan de formes restitué, nous avons tenté de vérifier, à l'image de ce que l'on a fait pour le bordé, l'adéquation des données et la faisabilité de la restitution pour les éléments de vaigrage et de la charpente interne **(Pl. XXXIII)**.

Contrairement au bordé et à la membrure, le vaigrage n'a fait l'objet que d'un relevé en plan. Impossible ici donc de croiser les données avec celles des coupes transversales, ce qui a rendu particulièrement complexe l'évaluation du redressement à effectuer dans un premier temps afin de compenser la projection de la planimétrie de l'épave gitée. Il en ressort que le plan de formes restitué ne semble pas s'adapter à la restitution de ces parties. En effet, si l'on s'en tient à la stricte position des vaigres selon la planimétrie, la restitution de la partie

conservée du vaigrage paraît difficile, voire impossible : si les huit premiers rangs de vaigres paraissent vraisemblables dans leur forme et leur implantation, la très forte courbure des virures les plus élevées, de la n°9 à la n°18, donne à voir des formes complexes et non-développables qui remettent en question une telle restitution de par son inadéquation avec le plan de formes restitué **(Fig. 133-134 et 135)**.

Parallèlement, on notera que la restitution des autres éléments internes et au premier rang desquels on trouve l'emplanture et les carlingots, n'a pas posé de problèmes particuliers.

5.3.5. Critiques et limites d'une restitution des œuvres mortes, des structures de pont, de gouverne et du gréement :

Compte-tenu des importantes approximations qui apparaissent à travers l'analyse et le replacement des différents relevés de terrain sur notre modèle tridimensionnel des vestiges, nous avons estimé que les doutes portant d'une part sur la précision des relevés de terrains et d'autre part sur la validité de notre plan de formes restitué (et plus largement de notre modèle de restitution) étaient trop nombreux pour permettre une restitution aussi détaillée que celle prévue initialement et qui soit comparable à celles menées, par exemple, sur les deux restitutions des épaves de Naples.

L'un des objectifs principaux de notre méthode étant d'évaluer plus précisément et de manière plus justifiée les déplacements, les capacités de chargement ainsi que la stabilité des navires originels, il nous faut avant tout nous reposer sur une hypothèse de restitution qui soit aussi fiable que possible, permettant la définition d'une large partie des structures initiales et d'en tirer une répartition des poids ainsi qu'une évaluation des charges, à même de permettre une analyse hydrostatique et de stabilité qui soit pertinente. Contrairement à *Napoli A* et *C*, les bases sur lesquelles repose notre hypothèse de restitution de l'épave *Dramont E* se révèlent limitées et perfectibles. On est en droit de se questionner sur la meilleure solution à adopter dans la perspective d'un dressement du devis de poids.

La production d'un modèle détaillé à partir de l'hypothèse de restitution initiale est envisageable. Cependant le degré d'approximation qui est alors atteint, conséquence des incertitudes sur la validité du plan de formes initial, peut être considéré comme équivalent à celui d'une simple estimation générale basée simplement sur une analyse globale de la taille du navire. Pour les parties disparues qui n'ont pas fait l'objet d'une restitution particulière ici, c'est cette dernière méthode que nous avons choisi d'appliquer. Nous avons ainsi notamment rapporté à notre restitution le pourcentage du poids total que représentent le pont et les superstructures dans les restitutions de *Napoli A*, *Napoli C* et *Laurons 2*[481]. Nous proposons ainsi dans nos calculs un pont correspondant à environ 21,5% du poids du déplacement lège total, soit 1,92 tonnes pour la première hypothèse et 2,087 tonnes pour la seconde, et dont le centre de gravité correspond grossièrement, dans les deux cas, au centre de l'aire de la surface définissant son emprise totale.

[481] Roman, 1987 ; Roman, 1997, p. 118-138.

Concernant le gréement, sur la base des rapports de proportions mis en évidence à travers divers exemples iconographiques[482], nous avons restitué au plus simple un mât d'une hauteur totale de 13,50 m et dont le plus grand diamètre au niveau du pied, 27,5 cm, correspond à ce qui a été découvert durant la fouille. La vergue, quant à elle, a été restituée sur une longueur de 10,50 m, permettant de cette manière l'établissement de 100 m² de toile environ.

Au final, le poids du navire lège ainsi restitué est estimé entre 9 et 9,75 tonnes selon que l'on restitue trois ou quatre niveaux de préceintes, ce qui correspond, nous le verrons, à un *ratio* établi entre un quart et un tiers du déplacement total.

5.3.6. Restitution de la cargaison :

Nous avons pu voir précédemment que les données rassemblées sur la nature et l'importance de la cargaison ont formé l'un des principaux points argumentatifs lors de la définition des caractéristiques dimensionnelles de notre hypothèse de restitution. Nous reviendrons ici plus précisément sur la manière dont nous avons abordé la production, dans le modèle tridimensionnel, d'une restitution qui soit la plus complète et la plus fidèle possible de l'ensemble de la cargaison. Il s'agissait donc, au-delà de la simple étude des poids et des dispositions de ceux-ci, de pouvoir aussi apprécier à partir des relevés de fouille l'adaptation de la carène et de la cale restituées à la quantité et à l'importance du chargement d'amphores et de céramiques.

L'une des problématiques principale de la restitution de la cargaison était de pouvoir vérifier dans quelle mesure la présence d'un second niveau d'amphores pouvait se justifier à la fois par l'étude de l'espace de cale disponible mais aussi par l'estimation de l'enfoncement et de la stabilité d'une telle hypothèse. L'importance des pillages et l'absence de tout relevé sur ce second niveau, attesté uniquement par des observations et quelques photos peu explicites effectuées lors des premières expertises, nous ont conduits à reconsidérer sa présence, qui paraît pourtant acquise au regard des considérations de C. Santamaria. A l'image des deux hypothèses de restitution pour la carène, nous proposerons donc ici aussi deux hypothèses de restitution pour la cargaison : l'une tablant sur un unique niveau d'amphores, correspondant strictement à ce qui a été découvert lors de la fouille, et une seconde dans laquelle un second niveau vient s'ajouter au premier.

[482] Voir *Supra,* Gréement Napoli A

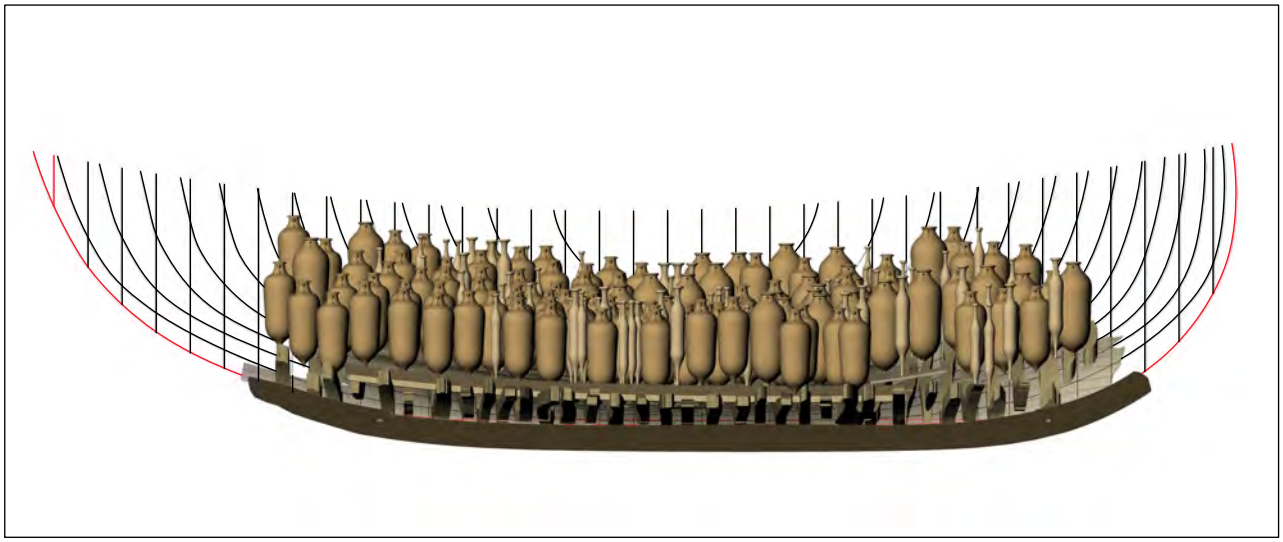


Fig. 136 : Vue de la remise en place des amphores conservées au sein du modèle virtuel.

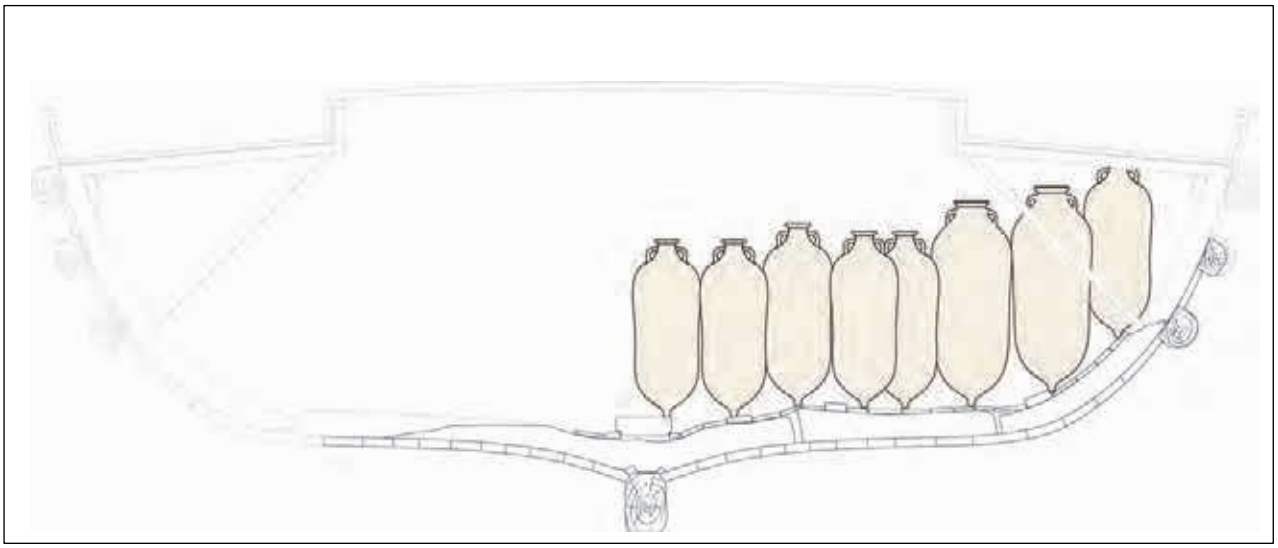


Fig. 137 : Vue de la restitution de la hauteur du livet, au niveau du maître-couple, dans le cas de la restitution d'un unique niveau d'amphores.

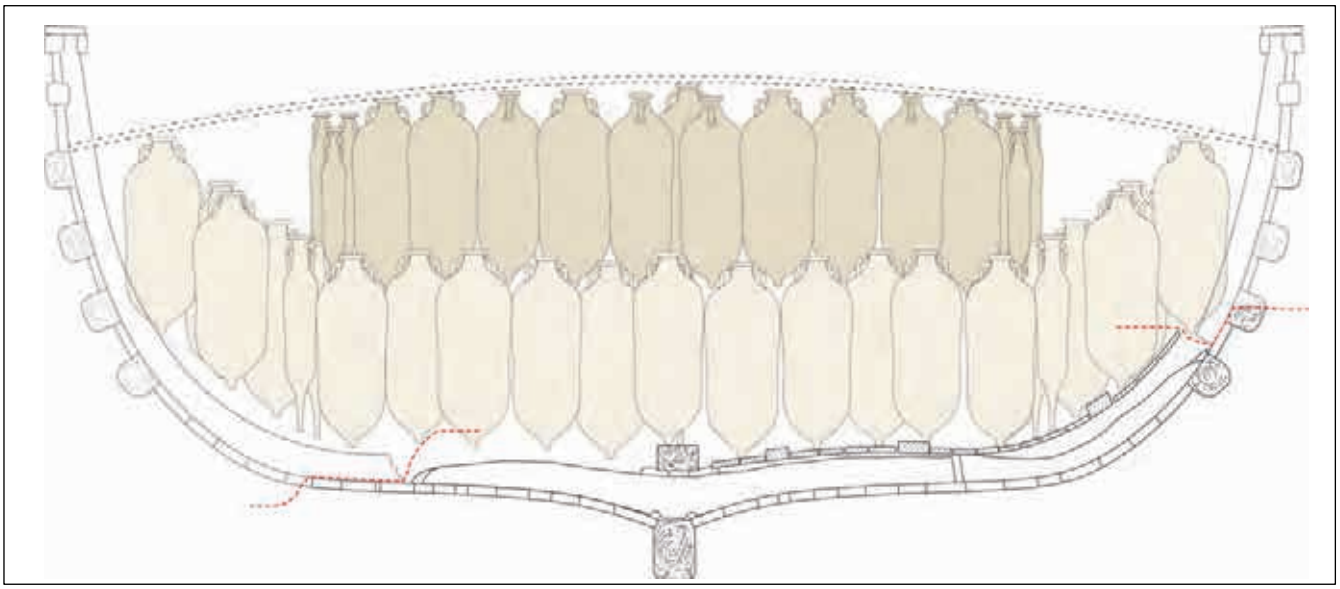


Fig. 138 : Vue de la restitution de la hauteur du livet, au niveau du maître-couple, dans le cas de la restitution de deux niveaux d'amphores.

5.3.6.1. Restitution du premier niveau d'amphores **(Pl. XXXIV):**

Le replacement des amphores conservées du premier niveau dans le modèle tridimensionnel s'effectue sur la base du modèle tridimensionnel de restitution, de la planimétrie de fouille concernant cette partie de la cargaison ainsi que sur la description et le relevé des différents modules découverts et dont C. Santamaria fait une description minutieuse[483]. Les limites aux extrémités pour la restitution de ce premier niveau du chargement ont été déterminées à partir de l'emprise maximum des amphores Keay XXXV retrouvées en place. Sur l'avant, les amphores n°9 et n°2, tout comme les n°121 et n°134 sur l'arrière, nous ont paru définir des bornes vraisemblables, reprisent dans notre modèle de restitution. On constate donc la présence de deux espaces libres vers les extrémités qui peuvent être associés, malgré leur taille réduite, à des lieux de vie et de stockage pour l'équipage.

A l'instar de l'architecture même du navire, nous avons fait le choix de ne restituer que la partie tribord de la cargaison, étant donné que c'est bien là la partie qui rassemble la très grande majorité des informations, d'autant qu'il paraît logique que le chargement complet devait s'effectuer en suivant une certaine symétrie globale entre bâbord et tribord. Par ailleurs, nous avons fait le choix de n'inclure dans notre modèle que quatre modules d'amphores différents.

Bien que les vestiges attestent d'une variété de formes et de dimensions à travers les divers principaux groupes amphoriques, nous avons considérés qu'en ce qui concerne les amphores cylindriques de grand diamètre (du type Keay XXXV) la restitution de deux modules, un moyen (Haut. 97 cm ; Diam. 37 cm) et un grand (Haut. 100 cm ; Diam. 39 cm) serait suffisante dans notre démarche. De la même manière pour les amphores cylindriques de petit diamètre, si l'on peut distinguer plusieurs types de *spatheion* ainsi que divers types de Keay XXV, nous avons fait le choix de nous limiter à deux modules représentant pour l'un les amphores les plus grandes de ce groupe (Haut.100 cm ; Diam.18 cm) et pour l'autre les plus petites (Haut.83 cm ; Diam.13 cm). Enfin, nous avons émis l'hypothèse que la position des amphores lors du relevé devait représenter une situation proche, bien que forcément troublée par le naufrage, du chargement originel et que l'on pouvait donc se permettre de replacer directement à l'intérieur de la cale restituée les amphores dans leur position de découverte. On remarquera dès lors, comme cela avait déjà été noté par C. Santamaria, que la répartition générale des amphores dans la cale ne s'effectue pas de manière homogène et que l'on

[483] Santamaria, 1995, fig. 9, p. 28

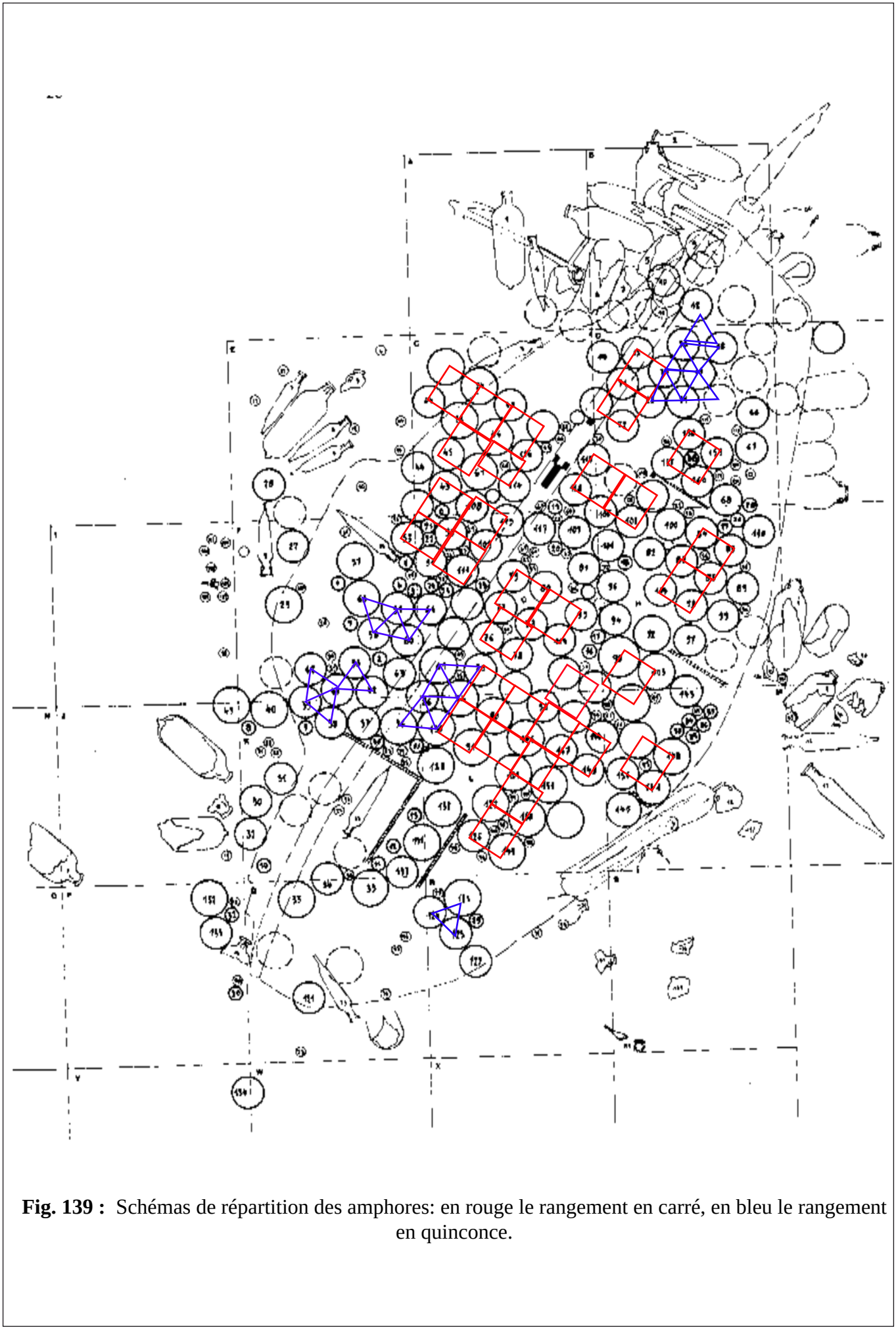


Fig. 139 : Schémas de répartition des amphores: en rouge le rangement en carré, en bleu le rangement en quinconce.

distingue très clairement des schémas de rangement tantôt en quinconce, tantôt en carré, qui traduisent une nécessaire adaptation aux divers modules d'amphores à arrimer ainsi qu'une adaptation, lors du chargement, aux divers obstacles propres à la cale de *Dramont E* que sont le puits de la pompe de cale, les épontilles et le fourreau d'étambrai, etc…[484] **(Fig. 139)**.

Au final, la restitution de ce premier étage dans le modèle tridimensionnel s'avère tout à fait compatible avec l'espace de cale définie dans les deux hypothèses de restitution et l'on constate même que l'on peut se permettre de combler certaines lacunes, notamment aux extrémités, qui peuvent être mis sur le compte des pillages ou du bouleversement post-naufrage. On notera que dans le cadre de la première hypothèse de restitution de la carène, pour laquelle nous n'avons restitué qu'une hauteur sous barrot de 1,40 m, le calage des amphores situées vers les flancs se révèle toutefois légèrement problématique. On ne peut ainsi y parvenir qu'en y plaçant des modules plus restreints en hauteur, de 80 cm de hauteur à la place de 100 cm **(Fig. 137)**.

On peut ainsi dresser un tableau relativement proche de ce qui a pu être découvert lors de la fouille : entre 218 et 222 amphores de type Keay XXXV pour 184 conservées, 120 petits spatheion pour 108 conservés, et 51 amphores Keay XXV ou grands spatheion pour une trentaine conservés. On se rapproche aussi des estimations graphiques données par C. Santamaria, le nombre de Keay XXXV étant d'ailleurs identique, même si nos estimations sont plus basses en ce qui concerne les amphores de petit diamètre.

5.3.6.2. Restitution du deuxième niveau d'amphores **(Pl. XXXV):**

Dans le cadre de la deuxième hypothèse de restitution de la carène, l'espace de cale permet de considérer raisonnablement la présence d'un second niveau d'amphores. Contrairement au premier, dont le plan a pu être dressé avec précision, nous ne possédons que de très rares informations sur la nature, l'importance et la répartition de ce deuxième étage. A partir des rares photos prises du tumulus lors des premières expertises, il apparaît cependant nettement que la composition de cet éventuel second niveau devait être tout à fait comparable à celui du niveau inférieur : amphores cylindriques de grand diamètre du type Keay XXXV, spatheion et amphores cylindriques de petits diamètre du type Keay XXV.

En nous appuyant sur la proportion observée pour le premier niveau entre ces différents types d'amphores, nous avons de cette manière projeté une couche composée de

[484] Phénomène qui avait déjà été clairement mis en évidence sur la fouille de la *Madrague de Giens* (Tchernia, Pomey, Hesnard, 1978, p. 19-25).

106 Keay XXXV et de 87 grands spatheion ou Keay XXV. Encore ici, nous nous rapprochons de l'estimation graphique évoquée par C. Santamaria en ce qui concerne les amphores Keay XXXV (environ 100) et notre estimation s'avère toujours plus basse pour les amphores de diamètre plus réduit (150 selon Santamaria). La manière dont a pu être calée une telle couche demeure énigmatique. Nous avons donc fait le choix, dans la majorité des cas, de placer dans un premier temps les amphores Keay XXXV entre trois ou quatre cols d'amphores du même type du niveau inférieur. Nous estimons qu'ainsi, les cols des spatheia ainsi que les cols des Keay XXV du premier niveau, intercalées entre des Keay XXXV, devaient tout juste permettre l'insertion des pieds des Keay XXXV du niveau supérieur. Les Keay XXV du niveau supérieur, venant combler l'espace entre les Keay XXXV, pouvaient s'appuyer sur les cols ou sur les épaulements des Keay XXXV du niveau inférieur ou encore venir s'intercaler entre celles-ci. Rappelons que la restitution de ces deux niveaux d'amphores ne peut s'effectuer que dans le cadre de la seconde hypothèse de restitution des formes qui prévoit une hauteur sous barrot suffisante.

A ce point, plusieurs remarques d'importance peuvent être produites quant à cette disposition de la cargaison : on note d'une part que les formes creuses de la carène, et donc aussi de la cale, entrainent une variation dans la hauteur d'installation des amphores du premier niveau. Les amphores situées vers les flancs se retrouvant de fait placées bien plus en hauteur que celles du centre, la disposition du second niveau ne peut plus s'effectuer que dans un volume beaucoup plus réduit de la cale équivalent environ à la moitié de celui du premier niveau. Cette donnée invalide définitivement l'hypothèse d'un second niveau identique au premier comme cela avait pu être avancé, avec de nombreuses réserves toutefois, par C. Santamaria. Sur les coupes transversales, concernant le chargement on remarquera d'ailleurs comment les amphores les plus élevées du premier niveau se retrouvent à une altitude comparable à celle du deuxième étage.

Par ailleurs, le remplissage complet de la cale laisse apparaître deux zones de vides qu'il convient de mettre en lumière : il s'agit tout d'abord d'un couloir situé au-dessus des amphores du premier étage et sur chaque bord du second niveau. Dans ce cas, nous avons fait le choix de laisser cet espace vide étant donné que la place manque en hauteur pour pouvoir y insérer de nouvelles amphores et qu'aucune autre trace de cargaison, céramique ou non, ne permet de tabler sereinement sur le remplissage de cette zone. Si l'on peut considérer que la présence d'espace vides dans la cargaison pouvait représenter un écueil susceptible de remettre en cause la bonne cohésion et le bon arrimage du reste du chargement, nous estimons

que cette zone de vide est en l'occurrence assez réduite pour permettre aux arrimeurs de prévenir un quelconque déplacement par quelque moyen comme la liaison des amphores entre elles ou encore par le placement de cloisons comme cela a pu être observé à l'étage inférieur. Le second vide notoire se trouve lui aussi au-dessus de la première couche, cette fois-ci vers les extrémités avant et arrière. Dans cette zone, l'espace en hauteur est insuffisant pour placer un deuxième niveau d'amphores et celles qui sont aux alentours définissent ainsi un espace vide dont le volume s'apparente à celui d'une pyramide inversé. Comme l'avait évoqué par intuition C. Santamaria[485], nous estimons qu'il s'agit sans nul doute là d'un espace dédié à la cargaison des plats de sigillée.

5.3.6.3. Restitution de la cargaison de plats et d'assiettes sigillées **(Pl. XXXVI):**

Sur la base des observations menées *in-situ* par C. Santamaria et sur les informations qui nous étaient fournies par le modèle nous avons tenté de replacer les différentes formes de plats et d'assiettes sigillées retrouvées lors de la fouille dans le modèle tridimensionnel dans les zones de vides mis en évidence aux extrémités du chargement au-dessus de la première couche.

A partir des formes de plats retrouvés ainsi que de la proportion des NMI pour chaque forme, donnée par Santamaria, nous avons projeté la cargaison suivante : 725 plats parmi lesquels on retrouve environ 60% de Hayes 61B, 20% de Hayes 64, 10% de Hayes 65 et 10% de Hayes 50B. Contrairement aux amphores, il nous a semblé que le degré de précision approchée à travers le modèle tridimensionnel dans la restitution de la cargaison de sigillées était bien plus faible et que l'on devait la considérer avec plus de précautions. Il apparaît en effet plus difficile de déterminer avec une bonne précision le degré de vide et de positionnement de cette cargaison : le rangement dans des caisses doit être envisagé et l'arrimage d'un tel conditionnement semble difficile à saisir.

La disposition finalement proposée dans notre modèle donne à voir une solution médiane dans laquelle l'espacement des caisses et l'empilage des plats, bien que non optimisé, remplit complétement, dans la seconde hypothèse de restitution de la carène, l'espace vide laissé entre les amphores du premier étage et le pont. Dans le cadre de la première hypothèse présentant un creux moins important, il est toujours possible de positionner ces sigillées sur le dessus des amphores du premier niveau, vers les extrémités.

485 « […]*le chargement de céramique sigillée se trouvait, à l'avant et à l'arrière, sur les amphores du premier niveau, ou à la hauteur de leur partie supérieure. Sans doute en des endroits où l'espace disponible dans la cale ne permettait pas de superposer de nouvelles amphores*» (Santamaria, 1995, p. 118).

Toutefois, l'espace laissé libre au centre du navire semblerait dans un tel cas de figure bien plus pratique et semblerait donc destiné à recevoir cette cargaison secondaire : l'arrimage ne s'y trouverait pas beaucoup plus difficile et la répartition des charges s'avèrerait bien meilleure.

5.3.6.4. Conclusions sur la restitution de la cargaison :

Notre intention lors de la restitution de la cargaison dans le modèle tridimensionnel était de tenter d'apporter des nouveaux éléments de réflexion dans la validation de l'une ou de l'autre de nos hypothèses de restitution des formes de la carène et de la hauteur sous barrot. De nombreuses données éclairent en effet d'un jour nouveau nos différentes restitutions de la carène. Pour autant celles-ci ne permettent pas selon nous d'être tout à fait catégorique.

Si la deuxième hypothèse de restitution, dans laquelle nous restituons quatre préceintes et un creux de 1,57 m, présente en effet l'avantage de s'accorder parfaitement à la fois avec le premier niveau d'amphores ainsi qu'avec la disposition des céramiques sigillées aux extrémités, nous jugeons cependant que la présence de nombreux vides en périphérie du second niveau d'amphores est une donnée qui vient mitiger ce premier constat. A cela s'ajoute le fait que la présence d'un second niveau d'amphores demeure une inconnue et que les seules observations menées lors des premières expertises ne permettent pas d'en garantir absolument l'existence. On pourrait ainsi très bien poser l'hypothèse d'un glissement vers le centre du navire, sur les amphores des rangées centrales, des amphores disposées le long du flanc bâbord. Par ailleurs, dans le cas d'un chargement sur deux niveaux, on notera que le pillage de cette partie de la cargaison, bien que très important selon C. Santamaria, aurait alors été exhaustif et complet ce qui paraît exceptionnel bien que tout à fait envisageable.

En ce qui concerne l'hypothèse d'un chargement sur un seul et unique niveau, deux éléments viennent considérablement affaiblir cette hypothèse : il s'agit d'une part, nous l'avons déjà évoqué, du manque de hauteur vers les flancs pour insérer le dernier rang d'amphores cylindriques de grand diamètre (Keay XXXV) et d'autre part de l'incohérence d'un positionnement de la cargaison de céramiques sigillées vers les extrémités comme tendent pourtant à le prouver les vestiges.

Au final il nous semble donc que l'hypothèse de chargement sur deux niveaux, associée à une restitution de la carène avec quatre niveaux de préceintes, rassemble plus d'arguments que l'hypothèse plus restreinte en hauteur et en chargement. Toutefois, compte-

tenu des objections que soulèvent les deux hypothèses, nous avons fait le choix de développer l'analyse hydrostatique et de stabilité pour chacune d'entre elles afin d'apporter un nouveau point de vue nous permettant d'affiner notre jugement et de valider éventuellement une seule d'entre elles.

5.4. Evaluation de deux hypothèses de restitution de l'épave *Dramont E*

5.4.1. Devis de poids du navire en lège :

L'étude d'identification xylologique menée sur les bois de l'épave par Fréderic Guibal (IMBE - CNRS UMR 7263) permet, malgré le fait qu'elle ne soit pas exhaustive, de définir globalement les divers types d'essences utilisées dans la construction du navire. Si nous avons donc fait face à certaines lacunes, nous avons aisément pu les combler avec l'appui des données connues. Ainsi, pour la charpente transversale, si seulement un peu plus de la moitié des éléments ont été effectivement analysés, la répartition des essences reconnues nous semble présenter un aperçu significatif que l'on peut se permettre de reproduire sur les éléments non identifiés. C'est ainsi que nous avons attribué aux éléments sans identification une densité équivalente à celle du noyer, essence largement majoritaire au sein des échantillons prélevés. On notera qu'à l'image de ce que nous avons proposé pour l'évaluation des restitutions des navires de Naples, la densité des bois formant la carène est ici celle correspondant à une humidité relative du bois de 15% environ, soit sa densité à l'état sec à l'air.

Nous ne reviendrons pas ici sur la manière dont nous estimons le poids et la répartition des charges pour ce qui concerne le pont ainsi que les superstructures[486]. Voici un résumé, pour chacune des deux hypothèses, de l'importance et de la répartition des poids pour le navire lège :

Tab.34 : Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°1

	Volume (m^3)	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Poids Spé.**	**Poids (T)**
Bordé	4,708	0	617	139	0,5	2,354
Membrure	4,144	0	652	113	0,69	2,825
Charpente axiale	1,295	0	699	112	0,5	0,647
Charpente interne/vaigrage	1,57	0	671	102	0,51	0,711
Pont	≈ 3,5	0	655	240	/	1,92
Mâture	0,721	0	801	847	0,46	0,332
TOTAL	**15,938**	0	657,79	176,01	/	**9,03**

Tab. 35 : Résumé du devis de poids en lège de l'hypothèse de restitution n°2

	Volume (m^3)	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Poids Spé.**	**Poids (T)**
Bordé	5,109	0	615	143	0,5	2,554
Membrure	4,57	0	652	124	0,69	3,117
Charpente axiale	1,399	0	710	132	0,5	0,699
Charpente interne/vaigrage	1,57	0	671	102	0,51	0,711
Pont	≈ 3,5	0	655	260	/	2,087
Mâture	0,721	0	801	847	0,46	0,332
TOTAL	**16,869**	0	657,35	186,01	/	**9,74**

[486] Cf. *Infra*

5.4.2. Devis de poids de la cargaison :

Nous avons fait le détail dans la partie précédente du nombre d'amphores et de céramiques restituées pour chaque niveau. Il s'agissait donc seulement, concernant le devis de poids, d'évaluer pour chacun des modules d'amphores le poids et le centre de gravité de chacune d'entre elles.

Comme précisé précédemment, nous avons utilisé quatre modules d'amphores dans notre modèle représentant approximativement les divers modules découverts dans l'épave. La définition de leur poids à vide et de leur contenance provient essentiellement des données fournies et mesurées par C. Santamaria, directement sur les individus encore conservés et prélevés durant la fouille. Toutefois, le plus grand module de Keay XXXV ainsi que les Keay XXV ont fait l'objet d'une estimation de poids et de volume de notre part. Ainsi, si le module moyen de Keay XXXV peut être évalué à 19 Kg à vide pour une contenance de 60 L environ, nous estimons que les modules les plus grands peuvent être estimés à 20,9 Kg et contenir 87 L. Concernant les grands spatheion et les Keay XXV, nous pensons que leur poids à vide peut-être estimé à 10 Kg tandis que leur contenance devait s'établir aux environs de 10,5 L en moyenne. Les petits spatheion présentent, quant à eux, un poids à vide de 5Kg pour une contenance de 5 L environ.

Dans le cadre de notre devis de poids nous ne pouvions nous abstenir de nous intéresser au contenu même des amphores ainsi qu'à la densité de ces contenus. Cependant, il est très vite apparu qu'au sein de l'hétérogénéité des marchandises transportées dans ces amphores, nous pouvions toutefois distinguer une certaine homogénéité des densités. En effet, mis à part la densité d'un contenu d'olives, qu'il nous a été impossible de mesurer, nous avons constaté que les autres contenus présentaient tous des densités légèrement supérieures ou inférieures à 1 permettant d'arrondir à cette densité celle de l'ensemble de la cargaison. En effet, si quelques amphores Keay XXXV devaient contenir des salaisons de porc dont la densité devait être plus élevée que 1Kg.dm^3, la plupart de ces grandes amphores cylindriques contenaient plutôt de l'huile, dont la densité est de 0,920 Kg.dm^3 ou des salaisons de poissons dont la densité peut-être estimée à 1,06 Kg.dm^3. Concernant les amphores de plus petit diamètre, Keay XXV et Spatheia, la densité de leur contenu d'olives, sous forme de saumure ou de *defrutum*, s'est révélée très difficile à estimer. Par défaut, nous avons donc maintenu une densité de 1 Kg.dm^3.

Tab. 36 : Résumé des poids unitaires de chacun des modules d'amphore restitués.

	Keay XXXV (Gd)	**Keay XXXV**	**Keay XXV**	**Spatheia**
Poids à vide (Kg)	20,9	19	5	5
Contenance (L)	87	60	10,5	5
Poids pleins (Kg)	107,9	79	20,5	10

En tenant compte de la répartition finale du chargement proposée dans notre modèle de restitution, le poids du premier niveau d'amphores peut-être estimé à 21,25 tonnes, tandis que le second niveau peut-être estimé à 10,15 tonnes. La cargaison de sigillées peut, quant à elle, être évaluée à environ 1 tonne.

Tab. 37 : Résumé du devis de poids pour le premier niveau d'amphores.

Premier étage	**Cg x**	**Cg y**	**Cg z**	**Nombre**	**Poids Total**
Keay XXXV Gd	0	544,58	159,08	51	5,5029
Keay XXXV	0	716,33	149,76	171	13,509
Spatheia Pt	0	586,73	151,06	120	1,2
Spatheia Gde / Keay XXV	0	566,13	157,52	51	1,0455
	0	657	153	**393**	**21,2574**

Tab. 38 : Résumé du devis de poids pour le deuxième niveau d'amphores.

Deuxième étage	**Cg x**	**Cg y**	**Cg z**	**Nombre**	**Poids (T.M)**
Keay XXXV	0	672,76	209,09	106	8,374
Spatheia Gde / Keay XXV	0	703,66	206,16	87	1,7835
Sigillées	0	505	237	700/800	1
	0	663	211	**193**	**11,1575**

Tab. 39 : Résumé du devis de poids de la cargaison pour les deux hypothèses.

	Cg x	Cg y	Cg z	Nombre d'amphores	Poids (T.M)
Un étage	0	657	153	**393**	**22,2574**
Deux étages	0	659	173	**586**	**32,41**

5.4.3. Devis de poids total du navire chargé :

Au final, les deux hypothèses de chargement associées aux deux hypothèses de restitution de la carène, donnent à voir deux navires sensiblement différents au regard de leurs capacités nautiques et de leurs capacités commerciales. La première hypothèse présente ainsi un déplacement total de 31,29 tonnes contre 42,16 tonnes pour la seconde.

Toutefois on remarque que le rapport entre le port en lourd et le déplacement lourd varie finalement assez peu entre ces deux hypothèses, de 71,1 % à 76,9 %. De la même manière, les enfoncements respectifs dans l'eau, de l'une et de l'autre, ne semblent pas révéler des situations fort différentes : dans un cas comme dans l'autre le franc-bord en charge correspond grossièrement à la distance entre le livet et l'avant dernière préceinte **(Fig.141 et 143)**. L'analyse hydrostatique de chacune de ces conditions et de la stabilité transversale de celles-ci nous permet cependant de distinguer entre elles des différences non négligeables en ce qui concerne la navigation et les capacités de navigation.

5.4.4. Analyses hydrostatiques et de la stabilité transversale :

Notre analyse s'est ici portée particulièrement sur cinq situations correspondant aux différentes hypothèses de restitution et de chargement précédemment détaillées : navigation en lège et chargé d'un seul niveau d'amphores dans le premier cas (creux de 1,40 m), navigation en lège et chargé de un ou deux niveaux d'amphores dans le deuxième cas (creux de 1,57m). Dans chacun de ces cas, à l'image de ce que nous avons proposé pour les navires de Naples, il s'agissait de pouvoir déterminer plusieurs critères objectifs concernant la capacité de la restitution à prendre la mer : enfoncement, assiette transversale et longitudinale, stabilité transversale, réserve de flottabilité, degré d'immersion du livet, degré d'envahissement, etc…

Fiche technique : *Dramont E* V.1

Dimensions générales :

- Longueur hors-tout..... **14,10 m**
- Longueur entre perpendiculaires **13,26m**
- Largeur interne au maître-couple..... **6,10 m**
- Largeur maximum au maître-couple..... **6,39 m**
- Creux au maître-couple..... **1,40 m**
- Hauteur bas de quille - pavois ..... **1,90 m**
- Poids du navire en lège..... **9,03 t.m**

Rapports de proportion remarquables :

- Longueur PP / largeur int **2,17**
- Largeur int. / Creux..... **4,35**
- Longueur HT / Creux..... **10,07**
- Largeur max. / Hauteur BQP..... **3,36**
- Longueur HT /Hauteur BQP..... **7,42**

Données sur le déplacement :

- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 20°..... **11,08 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 15°..... **18,5 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 10°..... **26,72 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 5°..... **38,65 t.m**

Dimensions remarquables dans le cas d'un déplacement de 26,72 t.m :
(correspondant à la configuration pour laquelle le livet est immergé à 10° de gîte)

Longueur à la flottaison..... **12,31 m**
Largeur à la flottaison au maître-couple..... **5,91 m**
Tirant d'eau maximum..... **1,31 m**
Port-en-lourd..... **17,69 t.m**
Surface mouillée..... **56,17 m²**
Cb..... **0,273**
Cp..... **0,465**

5.4.4.1. Analyse de l'hypothèse n°1 : creux de 1,40 m **(Fig. 140-141)**

Dans cette première hypothèse, dans laquelle nous restituons trois niveaux de préceintes, l'importance de l'enfoncement est considérable compte-tenu que la hauteur du franc-bord qui va vite être très limitée. Au-delà de la stabilité c'est bien cet élément qui va conditionner la marge de sécurité que le navire va présenter à la mer. C'est donc notamment à cet élément que l'on s'est intéressé lors de l'étude du déplacement en lège et chargé d'un seul niveau d'amphores.

5.4.4.1.1. Navigation en lège : déplacement de 9,03 tonnes **(Fig. LXV-LXVI)**

Nous avons déjà souligné la très grande largeur du navire comme l'une de ses caractéristiques morphologiques les plus remarquables. Cependant du point de vue de la navigation cette donnée est tout aussi notable étant donné que la largeur va influer de manière très importante sur la stabilité[487]. Compte tenu donc de cette largeur exceptionnelle, la navigation en lège de cette première hypothèse de restitution ne semble pas devoir poser trop de problèmes, le navire pouvant se reposer à la gîte sur l'un de ses bouchains et faire jouer son poids comme un levier à opposer au basculement provoqué par le vent : le bras de levier maximum Gz (0,99 m atteint à 36° de gîte) est en effet extrêmement important et malgré le fait qu'il soit couplé à un déplacement restreint (9,03 t.m), le moment de redressement généré permet d'étaler un vent jusqu'à 22 nœuds sans avoir à réduire la voilure[488]. Dans ces conditions on notera par ailleurs que la réserve de flottabilité est relativement importante et que la gîte n'est critique que tardivement : le livet se trouvant immergé au-delà de 20° et l'envahissement n'intervenant qu'à partir de 35°. Il semble donc que le navire soit tout à fait apte à naviguer dans des conditions de vent et de mer variées, d'autant que dans une telle configuration le *ratio* entre la surface mouillée (36,3 m²) et la surface de voilure (100 m²) est alors nettement en faveur de la capacité du navire à naviguer dans le petit temps (2,75). Cependant quelques objections sont à apporter à cette vision. Le fait de présenter un bras de redressement (Gz) aussi important s'accompagne, en effet, d'un défaut non négligeable : les coups de rappels lors des phases de gîte seront considérables et en conséquence les efforts

[487] La stabilité transversale d'un navire se décompose généralement entre la stabilité de poids (situation en hauteur du centre de gravité) et la stabilité de formes (engendré par la largeur de la carène et par le déplacement latérale à la gîte du centre de carène).

[488] Nous faisons ici usage de la même méthode développée précédemment qui amène à comparer les moments de redressement et le moment inclinant généré par l'action d'un vent de travers sur la voile carrée bordée à plat. Rappelons qu'il s'agit d'une méthode approximative permettant de dégager des ordres de grandeur. Cette méthode est appliquée ici sur une voile de 100 m² comme proposée par la restitution (Cf. *Infra*).

transmis à la structure seront particulièrement nocifs. On est en droit de penser que celle-ci aurait travaillé de manière inadaptée, au point de menacer la cohésion de l'ensemble, ou tout du moins d'amener à un relâchement des coutures. A cela vient s'ajouter, que la surface immergée, initialement arrondie et effilée à ses extrémités, se déforme très rapidement à la gîte et que les œuvres vives sont alors fortement dissymétriques ce qui pose la question de la tenue de route dans ces conditions **(Pl. XXVIII)**. Toutefois, lorsque le navire est dans ses lignes les centres caractéristiques, centre de carène, de dérive et de voilure, sont tous trois biens alignés ce qui tend à prouver le bon équilibrage sous voile.

5.4.4.1.1. Navigation en charge : déplacement de 31,3 tonnes **(Fig. LXV-LXVI)**

Dans cette configuration, le navire présente un enfoncement bien plus important (1,38 m contre seulement 0,81 m en lège **(Fig. 140-141)** ; le franc-bord s'établissant alors à 0,44 m contre 1,02 m en version lège) mais son assiette longitudinale ne se modifie pas particulièrement, ce qui tend à maintenir les centres caractéristiques alignés, même si l'on constate un léger déplacement du centre de dérive sur l'avant. Le bras de levier diminue considérablement pour atteindre un maximum de 0,57 cm à 24,2° de gîte, valeur encore importante qui tend par ailleurs à diminuer les efforts sur la structure lors des coups de rappel. On demeure, quoiqu'il en soit, dans un cas où la stabilité transversale s'avère très forte, l'accroissement du déplacement permettant au navire de proposer face au moment inclinant un moment redressant à même d'étaler un vent de 30 nœuds. Toutefois, contrairement à la navigation en lège, l'accroissement important de l'enfoncement réduit de façon inquiétante la réserve de flottabilité au point qu'une gîte de 8° seulement suffit à l'immersion du livet, l'envahissement arrivant quant à lui vers 24°. Si une telle configuration ne peut pas être jugée comme tout à fait critique, on peut néanmoins considérer que la marge de sécurité raisonnable est atteinte, voire à déjà été dépassée. Enfin, on notera que la forme de la flottaison des œuvres vives demeure sensiblement identique à plat et à la gîte et que le coefficient de voilure est encore assez élevé pour permettre au navire de se mouvoir même dans les petits airs (1,68).

Au final, cette première hypothèse présente un navire qui, malgré des rapports de proportions extrêmes (allongement de 2,17, rapport largeur/creux de 4,36) peut être considérer, dans une certaine mesure, comme une hypothèse vraisemblable : pour une taille

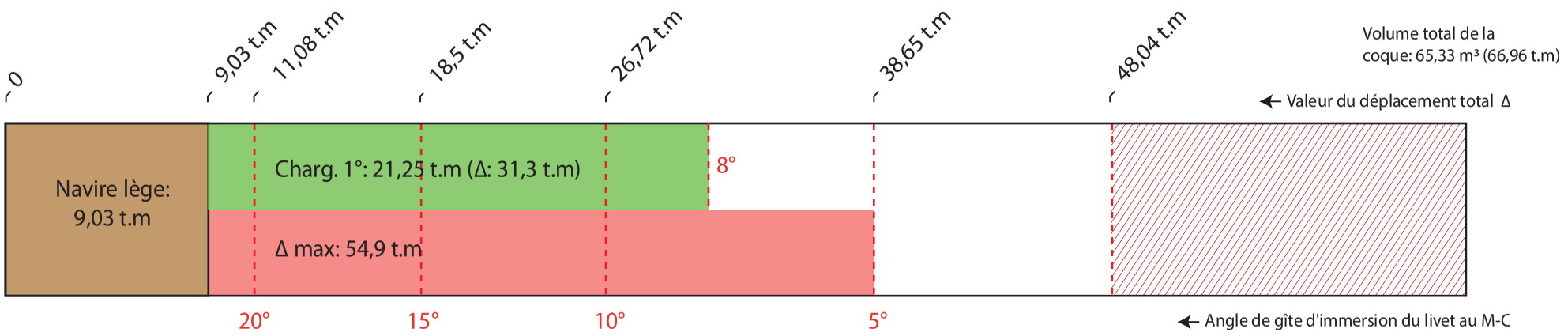


Fig. 140 : Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.

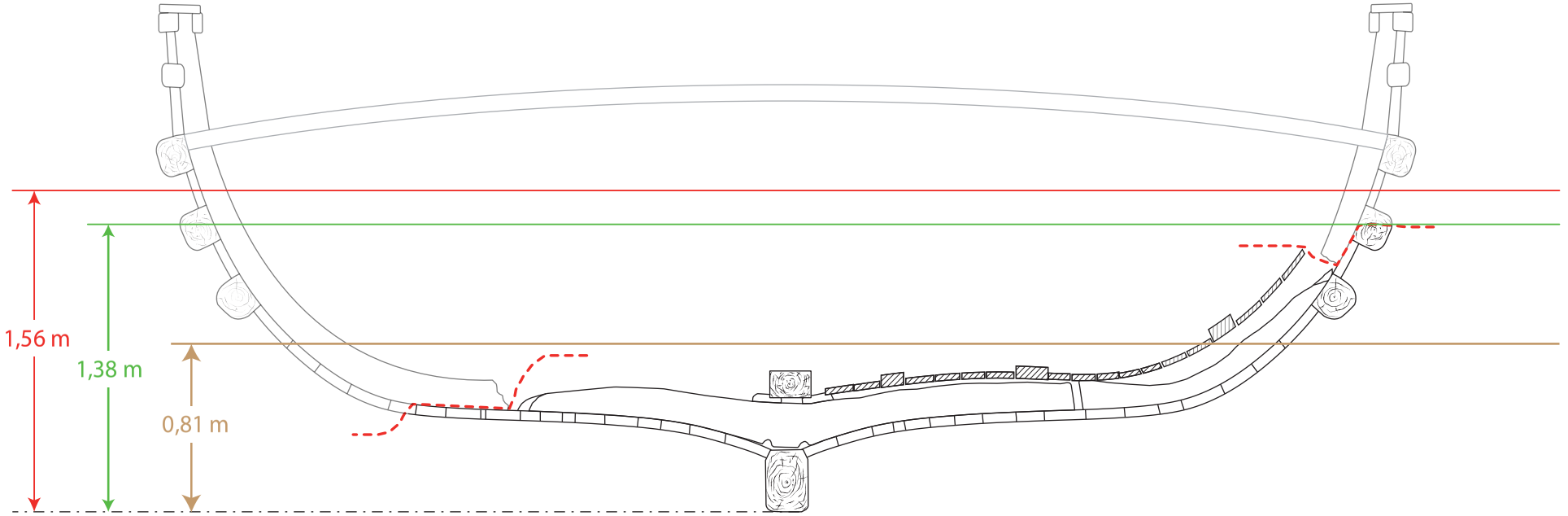


Fig. 141 : Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du couple M20 et les tirants d'eau correspondant.

réduite, le choix de conception s'est porté sur une embarcation favorisant la portée commerciale plutôt que les qualités nautiques[489]. Dans le cadre d'une navigation avec un déplacement de 21,72 tonnes[490], pour laquelle une marge de 10° serait maintenue avant l'immersion du livet, on peut considérer que cette hypothèse de restitution est d'ailleurs à même de réaliser de longs trajets commerciaux et d'affronter des conditions de mer et de vent assez variées. Cependant, le port en lourd proposé dans cette première hypothèse, qui a été mesuré sur la base de la partie conservée de la cargaison relevée en 1981, révèle une situation de chargement relativement critique si l'on doit effectivement considérer un parcours de *Dramont E* depuis les côtes africaines jusqu'aux rivages de la narbonnaise. Les marges de sécurité, comme le franc-bord de 44 cm, sont extrêmement réduites pour un navire amené à naviguer en haute mer sans pouvoir anticiper les conditions rencontrées.

C'est un élément que l'on pourrait juger en défaveur de cette hypothèse de restitution, étant donné qu'elle ne présente que trop peu de garanties au regard de la navigation. Toutefois on ne peut exclure la possibilité d'une surcharge, qui aurait d'ailleurs pu éventuellement engendrer le naufrage, ce qui maintient cette hypothèse de restitution et de chargement comme une hypothèse valide bien qu'elle soit marquée par nombres d'éléments intriguants à la fois du point de vue de la restitution de la cargaison et de l'analyse hydrostatique et de stabilité[491].

[489] Cf. *Infra*
[490] Ce qui correspond au port en lourd théorique du navire : 17,69 tonnes
[491] Cf. *Supra*

Fiche technique : *Dramont E* V.2

Dimensions générales :

- Longueur hors-tout..... **14,10 m**
- Longueur entre perpendiculaires **13,46m**
- Largeur interne au maître-couple..... **6,21 m**
- Largeur maximum au maître-couple..... **6,44 m**
- Creux au maître-couple..... **1,57 m**
- Hauteur bas de quille - pavois ..... **2,19 m**
- Poids du navire en lège..... **9,74 t.m**

Rapports de proportion remarquables :

- Longueur PP / largeur int **2,27**
- Largeur int. / Creux..... **3,95**
- Longueur HT / Creux..... **8,98**
- Largeur max. / Hauteur BQP..... **2,94**
- Longueur HT /Hauteur BQP..... **6,44**

Données sur le déplacement :

- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 20°..... **20,5 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 15°..... **30,4 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 10°..... **41,6 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 5°..... **54,9 t.m**

Dimensions remarquables dans le cas d'un déplacement de 41,6 t.m :
(correspondant à la configuration pour laquelle le livet est immergé à 10° de gîte)

Longueur à la flottaison..... **12,88 m**
Largeur à la flottaison au maître-couple..... **6,01 m**
Tirant d'eau maximum..... **1,63 m**
Port-en-lourd..... **31,86 t.m**
Surface mouillée..... **68,83 m²**
Cb..... **0,320**
Cp..... **0,485**

5.4.4.2. Analyse de l'hypothèse n°2 (creux de 1,57 m) **(Fig. 142-143)** :

Dans cette seconde hypothèse de restitution des formes de la carène, la hauteur du franc-bord paraît à priori moins problématique. Cependant les conditions de déplacement se trouvent largement modifiées au point de nous donner à voir un navire dont les conditions de navigation sont bien différentes de celles de la première hypothèse **(Fig.144)**.

5.4.4.2.1. Navigation en lège : déplacement de 9,74 tonnes **(Fig. LXVII-LXVIII)**

Dans le cas d'une navigation en lège de cette seconde hypothèse de restitution, nous nous retrouvons devant une situation très similaire, en plus accentuée, à celle décrite pour la navigation en lège de la première hypothèse. Les conclusions sur la tenue à la mer, ainsi que sur les objections qu'il faut leur apporter étant identiques, nous n'y reviendrons pas. On notera toutefois que l'enfoncement est faible (0,83 m ; inversement le franc-bord est haut de 1,34 m) et la stabilité de forme très importante, ce qui engendre un bras de redressement très grand (1,07 m atteint à 40°). Le moment de redressement est aussi très important et permet déjà au navire d'étaler un vent de 25°.

5.4.4.2.2. Navigation chargé d'un seul niveau d'amphores: déplacement de 31,3 tonnes

Malgré les infimes doutes qui peuvent porter sur l'éventuelle présence d'un second niveau d'amphores, nous estimons que dans le cadre de la restitution d'un creux de 1,57 m, qui permet l'entreposage de deux niveaux superposés d'amphores dans la cale, la restitution d'une cargaison constituée d'un unique niveau ne semble aucunement justifiée. Nous présentons quoi qu'il en soit dans nos graphiques les résultats de l'analyse hydrostatique et de stabilité d'une telle combinaison. Nous noterons, sans rentrer dans le détail, que cette configuration se rapproche en ce qui concerne la stabilité transversale, de ce que l'on a pu mesurer pour la deuxième hypothèse de chargement pour cette deuxième version de restitution.

5.4.4.2.3. Navigation chargée de deux niveaux d'amphores: déplacement de 42,16 tonnes **(Fig. LXVII-LXVIII)**

Dans cette configuration, la cale est désormais pleine et le port en lourd s'élève à 32,4 tonnes. Le déplacement du navire qui s'élève à 42,16 tonnes, entraine un enfoncement important qui porte le tirant d'eau du navire à 1,65 m, le franc bord n'étant plus que de 0,54 m **(Fig. 142-143)**. L'assiette longitudinale s'en trouve légèrement modifiée, le navire piquant alors du nez de 1,7°, mais les centres caractéristiques demeurent tous relativement bien alignés ce qui présage d'une bonne tenue de route. En ce qui concerne la stabilité transversale, si le bras de levier Gz (0,51 m atteint à 28,5° de gîte) est moins grand que dans les deux configurations précédentes, le poids total du navire engendre un moment de redressement très important qui permet au navire d'étaler des vents très forts, jusqu'à 35 nœuds. La hauteur de franc-bord conservée garantit une réserve de flottabilité non négligeable : le livet ne se trouve immergé que vers 9,8° de gîte et l'envahissement n'intervient qu'à 28,5°, soit une condition très proche de celle du port en lourd théorique (31,86 tonnes) déduit de la règle des 10° de gîte.

Contrairement donc au chargement sur un seul niveau de la première hypothèse de restitution, on peut considérer que cette configuration s'avère plus raisonnable du point de vue de la sécurité à la mer. On demeure, cela dit, dans une situation de charge qui est importante et qui comporte une part de risque significative si l'on est amené à considérer une traversée de la méditerranée. Enfin, si l'on note que le coefficient de voilure est nettement plus faible (1,44 pour 59 m² de surface mouillée) que pour le déplacement lège ou pour le déplacement en charge de la première hypothèse, on s'aperçoit qu'ici encore la forme de la flottaison et des œuvres vives demeure sensiblement identique à plat et à la gîte.

Au regard de ces résultats, il apparaît que l'analyse hydrostatique et de stabilité nous permet d'ajouter un nouvel argument en faveur de cette seconde hypothèse de restitution et de chargement. Il s'agit indéniablement d'une configuration plus sûre que celle proposée premièrement et ce malgré le fait que l'on demeure dans des limites de sécurité très ténues, induites par un chargement extrêmement important.

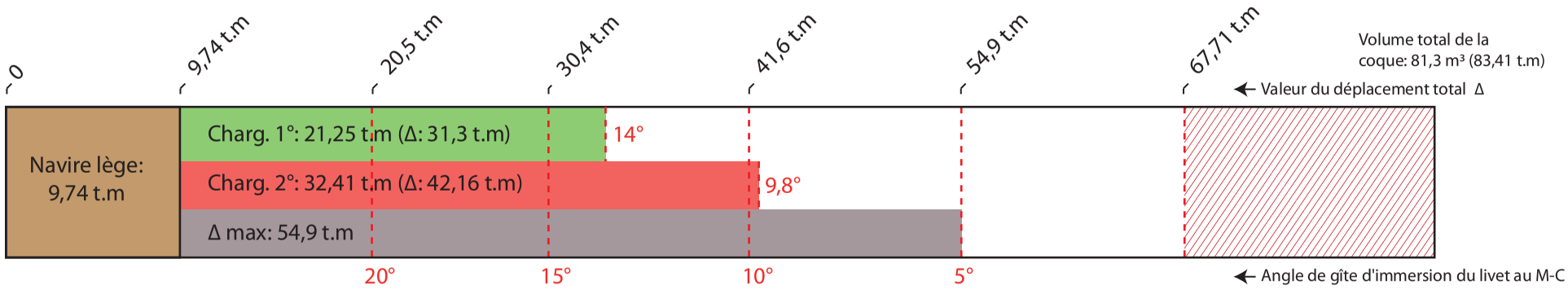


Fig. 142 : Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle de gîte de sécurité, en fonction des divers chargements.

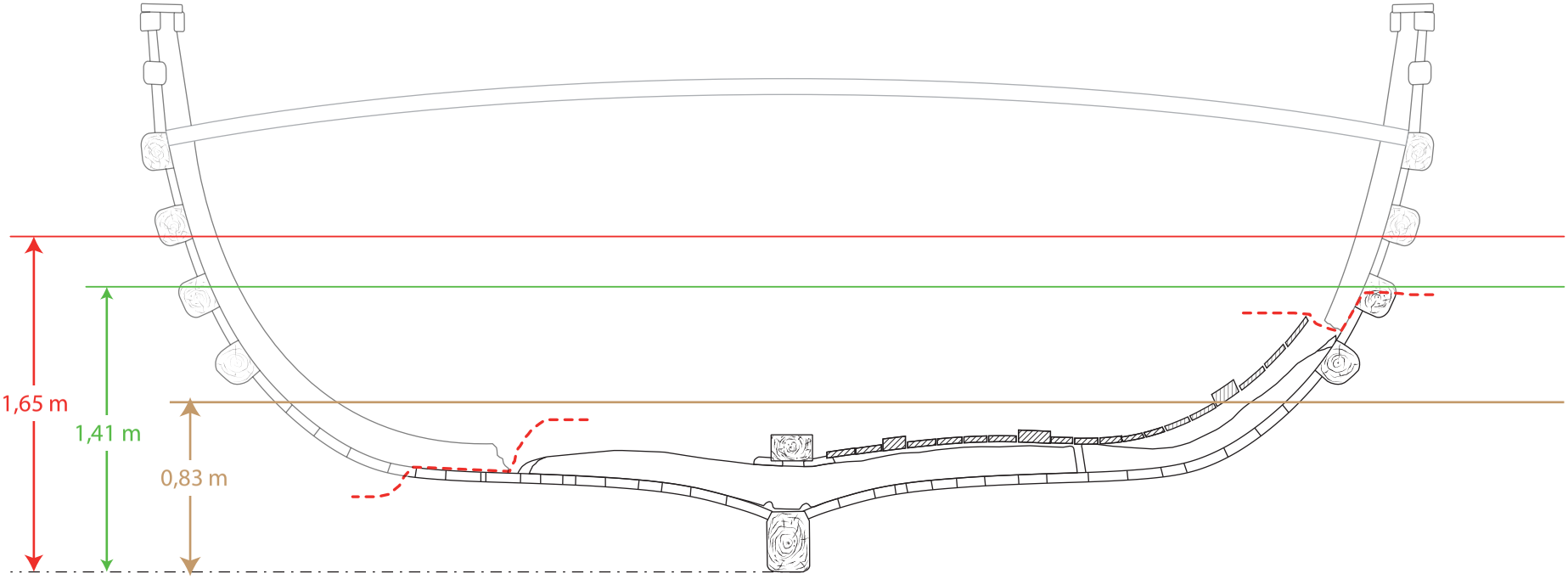


Fig. 143 : Représentation des différentes lignes de flottaison, au niveau du couple M20, pour la deuxième hypothèse de restitution.

5.4.4.3. Qualités nautiques :

Au-delà des considérations sur la stabilité transversale du navire, il paraît bien difficile de distinguer quelles pouvaient être les qualités de navigation et les possibles vitesses de notre restitution. Cependant, certaines caractéristiques de cette carène apportent nombre d'éléments de réflexion intéressants qu'il convient de souligner.

Nous avons ainsi déjà pu constater que, quelles que soient les conditions de chargement, les centres caractéristiques (centre de carène, centre de dérive et centre de voilure) demeurent bien alignés, ce qui laisse penser que le navire devait pouvoir bénéficier d'une bonne tenue de route. Morphologiquement, la présence du retour de galbord associé à une quille de très fort module, dote le navire d'un plan antidérive d'importance que l'on peut considérer comme exceptionnel. Du point de vue de la navigation, depuis le travers jusqu'au près, c'est indéniablement un avantage. Cela ne paraît cependant valable que pour une navigation en lège : car la valeur importante du déplacement, la grande surface mouillée ainsi que la faiblesse du coefficient de voilure, font que notre restitution de *Dramont E* dans sa version chargée devait nécessiter un vent d'une certaine force pour se déplacer. Or les allures de travers et de près dans un vent bien établi s'accompagnent, dans la plupart des cas, d'une mer formée dont l'action devait grandement freiner l'avancée et augmenter la dérive, dégradant ainsi sensiblement les capacités à remonter au vent de notre carène. A cela, s'ajoute que les volumes situés à l'étrave sont bien plus pincés que le reste de la carène : face à la vague il y a fort à craindre que le navire enfourne un tant soit peu. On imagine dans ce cas la vague passant au-dessus du pavois et immergeant la plage avant, avant que la poussée hydrostatique ne soit suffisante et parvienne à soulever l'étrave afin que le navire passe la vague convenablement.

Au final, la forme des œuvres vives semble devoir désigner une carène peut-être plus apte à naviguer des allures portantes jusqu'au travers, et ce dans des conditions de vent et de mer très variées, jusque dans le mauvais temps. Les formes pleines de l'arrière associées à la tonture prononcée semblent en effet conférer à cette hypothèse de restitution les qualités nécessaires pour bien passer dans une mer bien formée, depuis le travers jusqu'au vent arrière. Si la possibilité de sancir complètement peut être écartée, étant donnée la grande stabilité longitudinale du navire, on notera cependant que, comme dans le cas du près face à la vague, la petitesse des volumes à l'étrave ainsi que le déplacement important peuvent rendre complexe la descente dans la vague et qu'il ne devait pas être forcément très rare d'enfourner quelque peu avec ce navire.

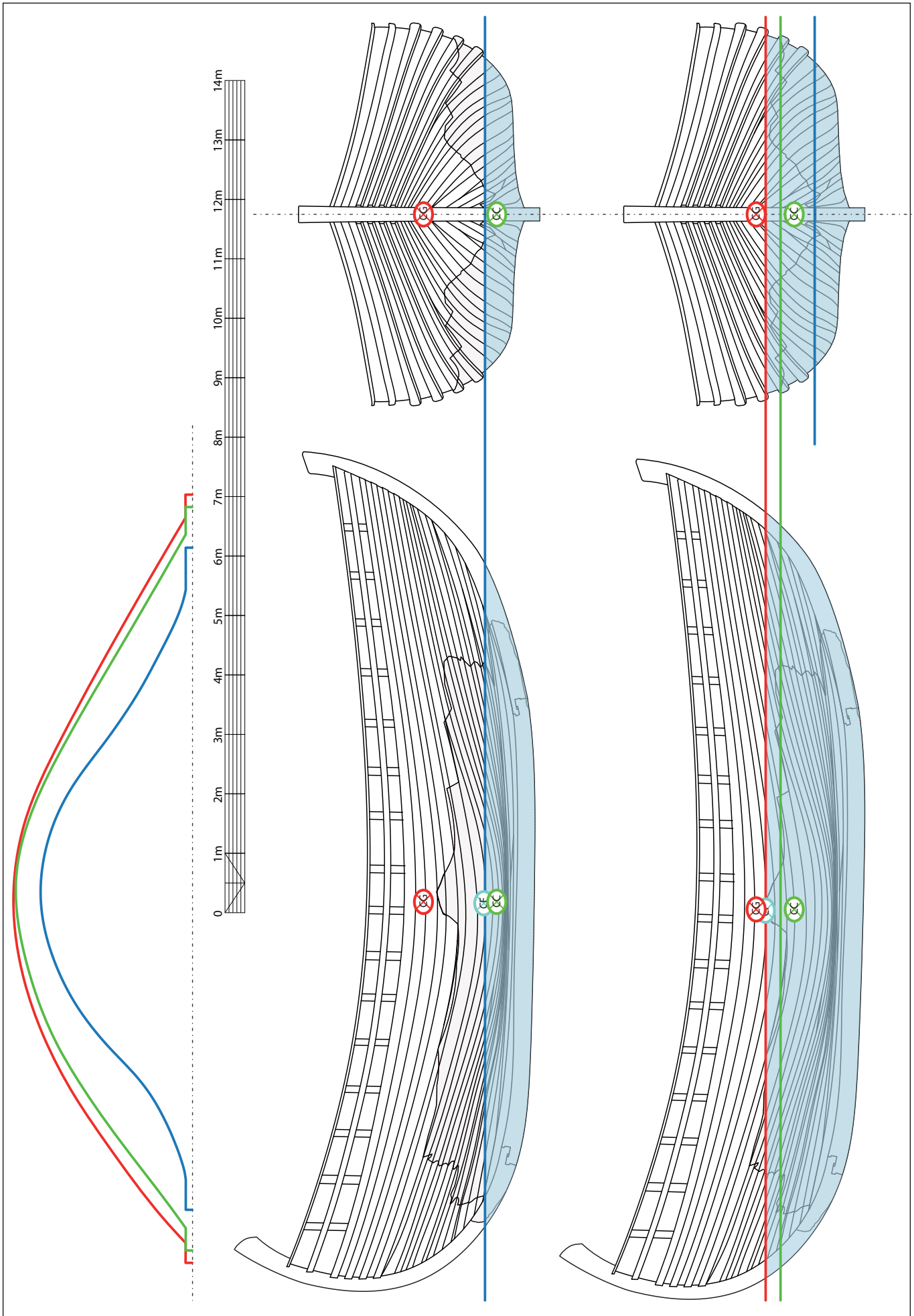


Fig. 144 : Enfoncement et assiette de la restitution n°2 de *Dramont E*, en lège et chargée.

5.5. Conclusions : trajet et route du navire avant son naufrage

Les données qui ressortent de l'analyse hydrostatique et de stabilité de nos restitutions semblent devoir désigner la seconde hypothèse comme la plus vraisemblable. Celle-ci rassemble de fait le plus d'arguments, aussi bien du point de vue de la cohérence structurelle, que de la restitution de la cargaison comme de l'analyse hydrostatique et de stabilité. Dans ce cas, on retiendra que le port en lourd théorique de notre navire, défini selon une marge de sécurité de 10° de gîte pour l'immersion du livet, s'établit à 31,68 tonnes métriques. On soulignera ainsi que le chargement au moment du naufrage devait être légèrement plus important. Le port en lourd s'en trouve donc légèrement augmenté, 32,41 tonnes, sans pour autant diminuer considérablement la marge de sécurité à la gîte, le livet ne se trouvant immergé qu'à partir de 9,8°.

Dans de telles conditions il nous semble tout à fait possible et raisonnable de projeter une traversée Sud-Nord de la Méditerranée depuis la province d'Afrique jusque vers les rivages de la Narbonnaise. Etant donnée la nature très homogène de la cargaison[492], il y a en effet tout lieu de penser que le navire devait arriver directement depuis la région de Nabeul. Si l'on se base sur les *Pilot Charts* modernes[493], pour ce qui est des vents et des courants dominants en fonction des saisons en Méditerranée, on remarque que le parcours entre la Tunisie et le cap Dramont, effectué dans ce sens, n'est pas forcément très favorable aussi bien pour les périodes étésiennes qu'hivernales. Sans être marquée par des conditions très difficiles en général, cette zone se révèle néanmoins bien plus propice à un trajet dans le sens nord-sud. Au regard des capacités nautiques estimées pour notre restitution en configuration de charge, il nous semble que ce trajet est donc tout à fait réalisable même s'il devait être rendu relativement complexe par une majorité de vents plutôt opposés **(Fig. 144)**. On imagine que dans les conditions les plus communes des mois étésiens, un navire comme *Dramont E* devait tenir au plus près le flux majoritaire de Nord-Est en prenant un cap vers le Latium afin de gagner au maximum vers le nord. Par la suite, le nord de la mer tyrrhénienne ainsi que le golfe Ligure devaient proposer des conditions plus changeantes réclamant certainement une navigation plus proche du cabotage sans pour autant devoir rester toujours en vue de la côte **(Fig. 145)**.

[492] Sans pour autant revenir sur le détail de la cargaison, notons que selon Michel Bonifay (CR2, CCJ-CNRS) l'essentiel des amphores provient d'ateliers de la région de Nabeul, tout comme la plupart des céramiques sigillées du chargement complémentaire (Bonifay, 2004, p. 453)

[493] Nous nous basons ici sur l'*Atlas of pilot charts* de l'Atlantique nord et de la méditerranée, produit en 2002 par l'agence nationale d'imagerie et de cartographie (NIMA) des Etats-unis d'Amérique.

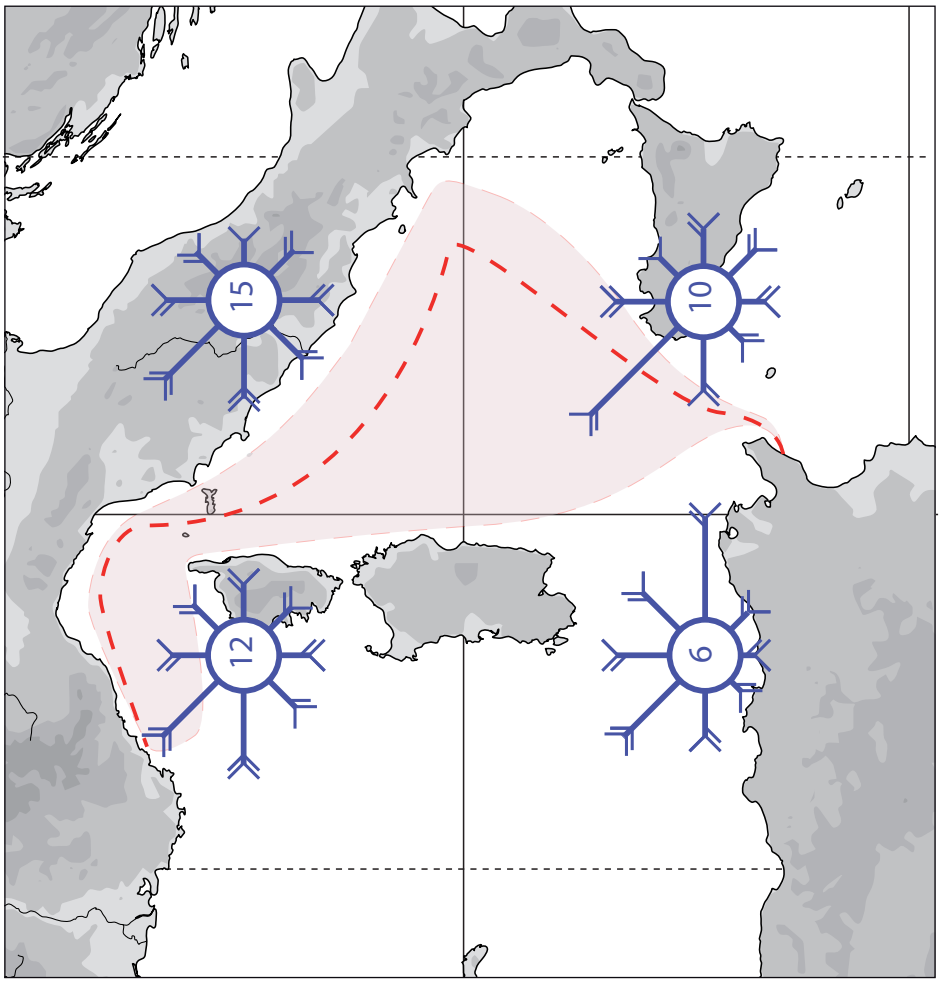


Fig. 146 : représentation des routes potentielles, éventuellement suivies par *Dramont E*, en fonction des vents dominants (d'après l'Atlas of pilot charts, 2002, NIMA).

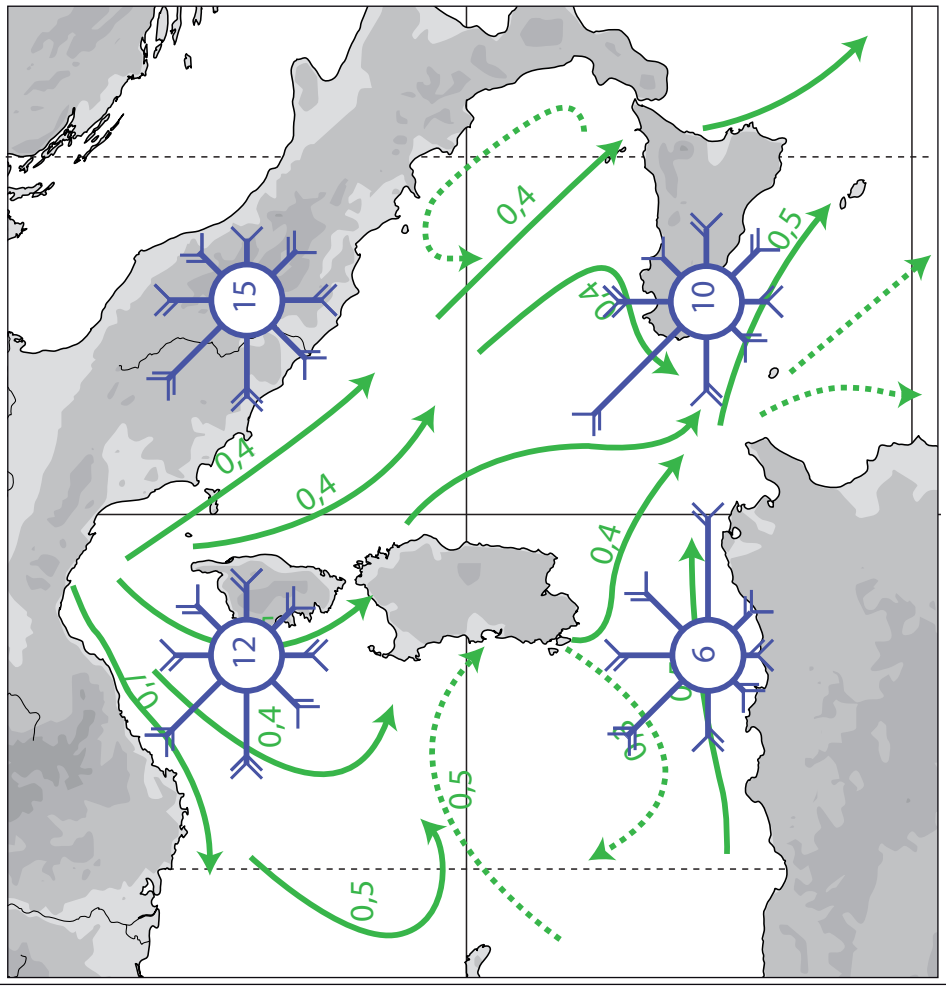


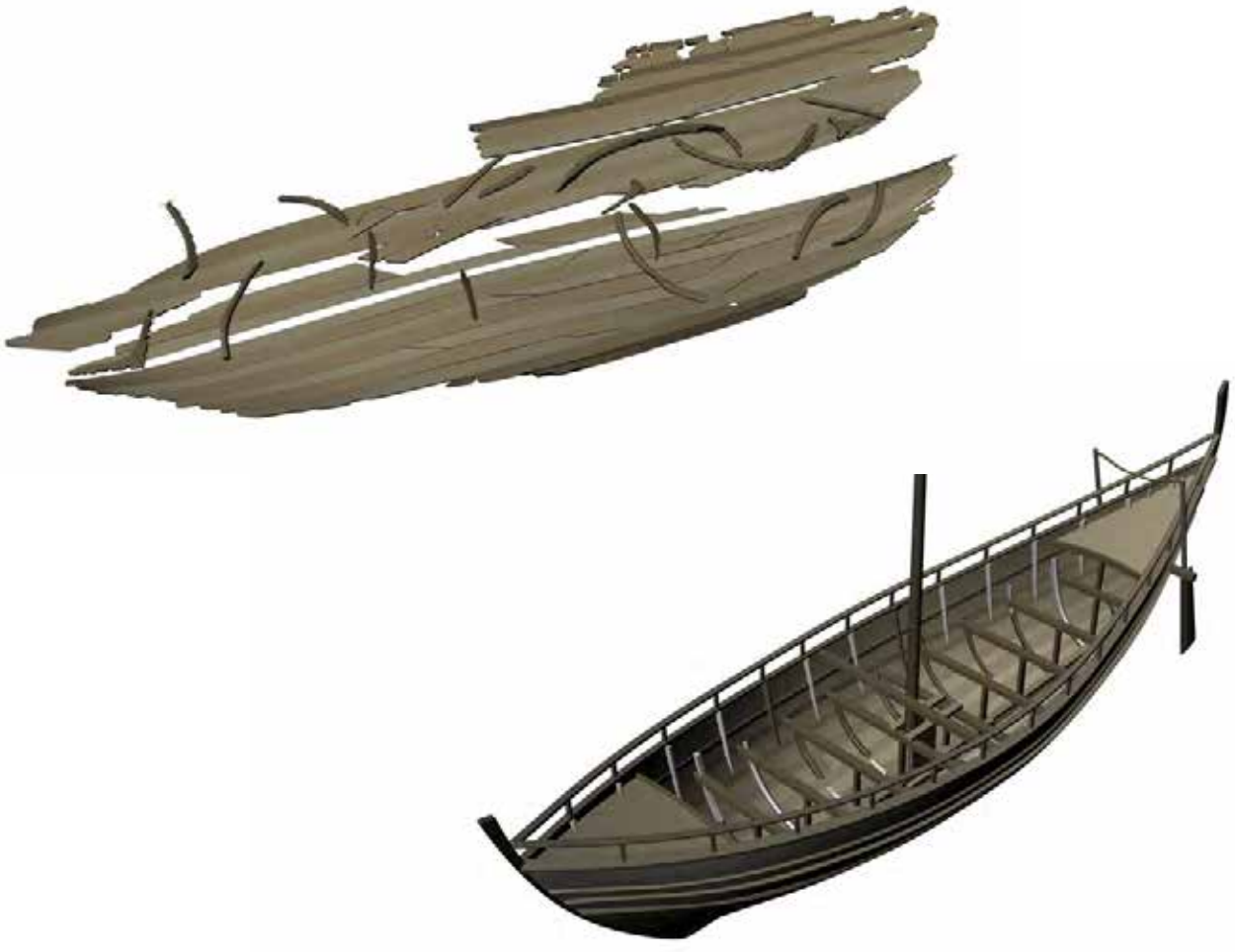
Fig. 145 : représentation des courants et vents dominants durant les mois de Juillet-Août dans l'est du bassin occidental de laMéditerranée (d'après l'Atlas of pilot charts, 2002, NIMA).

Au final, si l'on ne peut, à partir de l'ensemble des données rassemblées, se permettre de définir avec exactitude la cause du naufrage, il nous est cependant permis de relever deux éléments remarquables : d'une part, l'origine supposée de notre navire ainsi que son lieu de perdition permettent selon nous d'exclure tout à fait l'hypothèse d'une errance du navire et de confirmer la Gaule comme sa destination commerciale. Depuis la province d'Afrique il paraît en effet très peu vraisemblable qu'un navire de commerce vienne s'échouer sur les côtes de Provence si celui-ci n'avait pas eu pour intention première de s'y rendre ou d'y transiter : la très grande majorité des vents dominants s'avérant plutôt défavorables dans ce sens du trajet. Second point, la grande surface mouillée et la forme particulièrement renflée de notre navire lui procurent une inertie certaine le rendant difficilement manœuvrable dans le petit temps. C'est l'une des faiblesses éventuelles de ce navire, qui a pu entrainer son naufrage. Faiblesse à laquelle on ne manquera cependant pas d'ajouter un léger surchargement qui touche les limites du raisonnable en termes de sécurité pour un navire destiné à de grandes navigations.



VI. *Jules-Verne 7*

6.1. Présentation..... p. 383
6.2. Processus de restitution de l'épave *Jules-Verne 7* ..... p. 401
6.3. Evaluation de l'hypothèse de restitution de l'épave *Jules-Verne 7*..... p. 411
6.4 Interprétations et synthèse..... p. 422



6. *Jules-Verne 7*

6.1. Présentation :

L'épave *Jules-Verne 7*, tout comme les épaves attenantes, a été découverte lors de travaux conduits sur la place Jules Verne à Marseille, partie qui correspond à la zone du port antique de la cité phocéenne. C'est un projet d'aménagement d'un parking, en 1992, sur cet emplacement qui a amené à la mise en place d'une fouille préventive conduite par l'AFAN sous la direction d'Antoinette Hesnard (CCJ-CNRS, UMR 7299), assistée de M. Pasqualini (SRA, région PACA)[494]. Cette fouille, a notamment permis de mettre en évidence une partie du paléo-littoral antique, de mettre au jour des installations portuaires datées de la période grecque archaïque et hellénistique, puis de la période romaine (du Ier s. av. au IVème s. ap. J.-C.) ainsi qu'un chantier de construction navale (daté du IVème s. av. J-C.) et des entrepôts (datés du Ier s. au IVème s. ap. J.-C.). Au cours de la fouille, ce ne sont pas moins de neuf épaves qui ont été mises au jour : cinq épaves romaines (*Jules-Verne 1-2*, *Jules-Verne 3*, *Jules-Verne 4*, *Jules-Verne 5* et *Jules-Verne 8*)[495] datées des IVème, IIIème, IIème et Ier s. ap. J.-C. ainsi que deux épaves grecques : *Jules-Verne 9* et *Jules-Verne 7*[496] **(Fig. 147)**. Ces dernières ont été découvertes au cours de l'été 1993 à l'angle nord-est du site, sous l'emplacement d'un quai, ou d'une jetée, daté de l'époque romaine[497]. Les deux épaves reposaient l'une contre l'autre, dans un état d'extrême fragilité **(Fig. 148)**.

6.1.1. Processus de formation de l'épave :

Découverte dans la partie la plus reculée, vers le nord du paléo-rivage antique, l'épave *Jules-Verne 7* semble avoir été abandonnée après une longue période d'activité, comme en témoigne la présence de très nombreuses réparations au sein du bordé **(Fig. 147)**. L'absence d'éléments de remplissage, ayant pour objectif d'utiliser l'épave comme base de fondation pour un appontement, permet d'exclure l'hypothèse d'une réutilisation du navire.

[494] Hesnard, Pasqualini 1993 ; Hesnard 1993 ; 1994.
[495] Hesnard, Pasqualini 1993 ; Hesnard, Tréziny 1995, p. 20-23 ; Hesnard 1993 ; 1994, p. 200-213 ; 1999 ; Hermary *et al.* (dir.) 1999, p. 45-47 et p. 125-130.
[496] Pomey, Hesnard 1993 a, p. 60-62 ; 1993 b, p. 114-115 ; Pomey 1995, p. 470-480 ; 1998 b, p. 24-29 ; 1999 c, p. 147-148 ; 1999 a, p. 35 ; 1999 b, p. 47-49 ; 2002 c.
[497] Pomey, Hesnard 1993 a, p. 59-60; 1993 b, p. 112-114 ; Pomey 1995, p. 460-469 ; 1998 b, p. 23. Parmi ces cinq épaves, on compte notamment trois marie-salope : *Jules-Verne* 3, *Jules-Verne* 4 et *Jules-Verne 5* (Pomey 1995, p. 463-469).

6.1.2. Description des vestiges :

Les vestiges ont été conservés sur une longueur de 14 m et une largeur de 4 m. Lors de sa période d'abandon, la coque a beaucoup souffert comme peuvent en témoigner les nombreuses ruptures, marquées notamment par l'ouverture selon l'axe longitudinal et la fragmentation en trois sous-ensembles du bordé, l'affaissement de la muraille tribord, ainsi que le décrochement et l'éparpillement des membrures **(Fig. 153)**. On note cependant que l'ensemble présente extensivement un bon état de conservation : la quille est ainsi conservée sur toute sa longueur et un grand nombre de membrures peuvent être remises en place parmi lesquelles certaines s'avèrent complètes, depuis la varangue jusqu'à la tête d'allonge.

6.1.2.1. Charpente axiale :

La quille, débitée dans du chêne vert, est entièrement conservée et s'étend sur 10,70 m en longueur[498]. Elle est constituée de deux éléments assemblés entre eux par un écart en trait de Jupiter bloqué par une clef verticale, elle-même verrouillée par l'insertion d'une cheville horizontale. Elle présente une section quasiment carrée avec une largeur de 10 cm pour une hauteur de 11 cm. Dans sa partie centrale, aucune râblure, ni aucun chanfrein destiné à accueillir les cans intérieurs du galbord, n'ont été observés. Sur ses extrémités en revanche, à environ 1m en retrait des deux traits de Jupiter, une profonde râblure de section triangulaire a été pratiquée afin de recevoir le galbord. Cette râblure devait, sans doute, se prolonger sur l'étrave et l'étambot, qui n'ont malheureusement pas été conservés. En relation avec ces aménagements, un réseau de tenons et mortaises vient relier le galbord à la quille dans sa partie centrale, tandis qu'au niveau des extrémités, là où l'on observe les râblures, c'est une ligature qui fait la liaison entre ces deux éléments **(Fig. 156)**. Enfin on notera la présence de mortaises sur la face supérieure de la quille. Dans l'une d'elles, était encore conservée une clef verticale dont la fonction était sans doute de relier la quille à une carlingue chevauchant les membrures, à l'image de ce qui a pu être mis en évidence sur l'épave grecque contemporaine de *Jules-Verne 7*, *Gela 1*[499]

[498] Les analyses des essences de bois utilisées pour la construction du navire *Jules-Verne 7* ont été effectuées par F. Guibal (IMEP/CNRS).
[499] Freschi 1991, note 8, p. 209; Panvini 2001

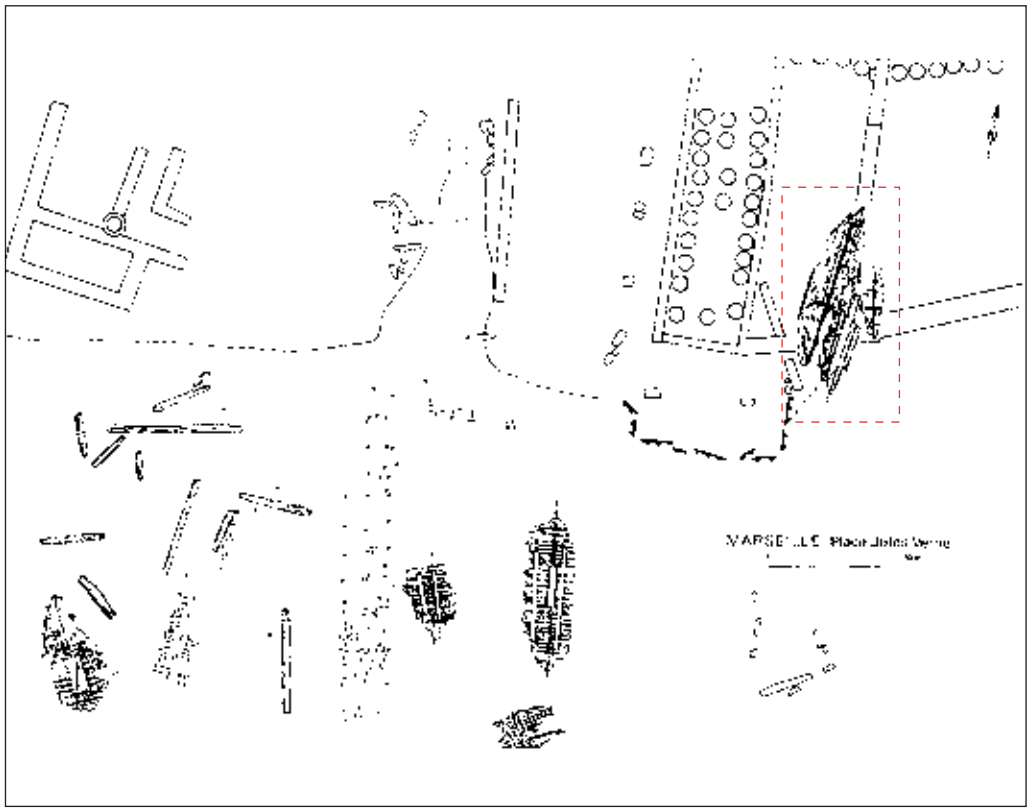


Fig. 147 : Plan général de la partie de la place Jules-Verne où ont été découvertes les épaves romaines ainsI que les deux épaves grecques, visibles en haut à droite.
(Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS)

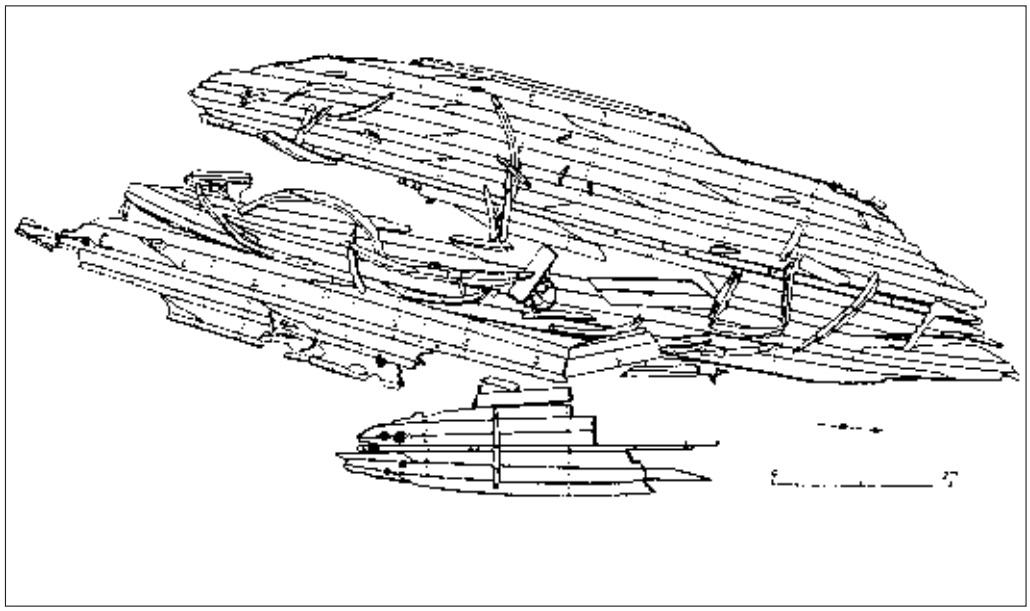


Fig. 148 : Plan de détail des deux épaves grecques (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS)

6.1.2.2. Bordé :

Au total, ce sont près de quarante bordages qui ont pu être conservés et étudiés. Ils se répartissent au sein de vingt-deux virures, neuf pour bâbord et treize pour tribord **(Fig. 153-154 bis)**. Ces virures sont toutes débitées dans du pin d'Alep et présentent des largeurs qui varient entre 14 et 28 cm pour des épaisseurs comprises entre 2,5 et 3 cm. Au sein d'une même virure, les bordages sont raboutés par des joints en biseau simple dans les fonds, jusqu'à la sixième virure, puis au-delà par des joints en ligne brisée, ou curviligne. On distingue trois niveaux de préceintes dont les sections sont polygonales et variables de l'une à l'autre. Elles se révèlent relativement étroites (de 7 à 11 cm de largeur) mais plutôt épaisses (de 8 à 12 cm). L'ensemble du bordé est assemblé à franc-bord au moyen de deux techniques employées simultanément : par tenons et mortaises d'une part et par ligatures d'autre part. Le réseau de mortaises et de tenons chevillés est ainsi utilisé sur la majeure partie du bordé. Les tenons, débités dans de l'olivier, se révèlent longs (de 14 à 15 cm) et étroits (de 3 à 3,5 cm, pour une épaisseur de 0,5 cm) et viennent s'insérer dans des mortaises de dimensions légèrement supérieures, qui sont largement espacées, de 19 à 20 cm en moyenne **(Fig. 155)**. L'étude du sens de chevillage a révélé un enfoncement depuis l'intérieur de la coque. Toutes ces observations amènent à conclure sur l'aspect plutôt primitif de l'usage de cette technique d'assemblage par rapport au système qui sera développé par la suite, notamment à partir du IVème s. av. J.-C.[500]. Concernant les assemblages par ligatures, on note qu'ils sont utilisés de façon précise et très limitée. Comme noté précédemment, ils se retrouvent à la liaison du galbord à la quille au niveau des extrémités, mais aussi sur les têtes de virures. Ce qui indique que ces dernières étaient bien insérées dans la râblure qui devait se poursuivre sur les pièces d'extrémités auxquelles elles étaient assemblées par le biais de ligatures. Il apparaît que c'est la seule zone ou la technique est utilisée dès l'origine de la construction. En effet, ailleurs, c'est uniquement dans diverses zones éparses et réduites du bordé que les charpentiers ont eu recours parcimonieusement à des assemblages par ligature, dans ce qui correspond à des réparations intervenues après l'assemblage initial des virures par tenons et mortaises **(Fig. 156)**. Ici, la technique d'assemblage mise en œuvre se caractérise par le passage de la ligature dans des évidements tétraédriques le long des joints de bordage, environ tous les 3 cm[501]. Ces points de liaison sont identiques à ceux retrouvés sur l'épave attenante *Jules-*

[500] Marlier, 2005, p. 185 ; S. Marlier compare notamment cet assemblage à celui observé sur l'épave plus tardive découverte à Kyrénia.
[501] *Ibid*.



Fig. 149 : Vue de la maquette des vestiges
(Photo: CCJ-CNRS, Réalisation de la maquette:
R. Roman, CCJ-CNRS)

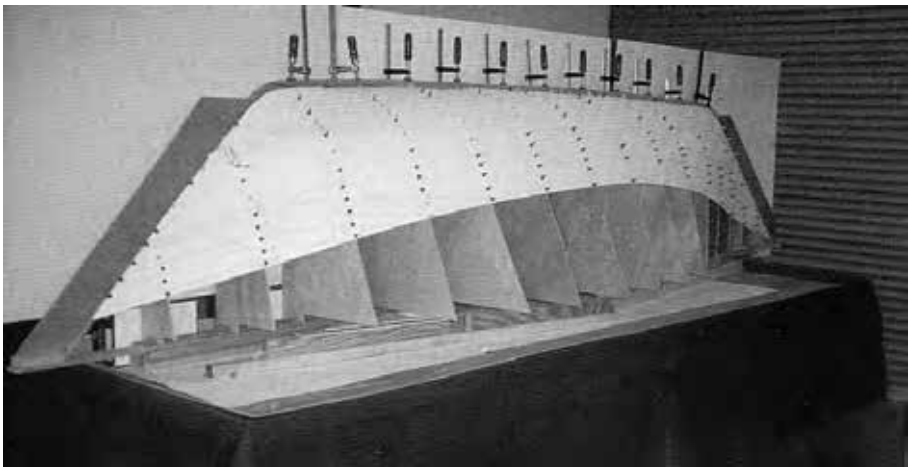


Fig. 150 : Vue de la maquette "carton" de vérification des formes
(Photo: CCJ-CNRS, Réalisation de la maquette:
M. Rival et R. Roman, CCJ-CNRS)

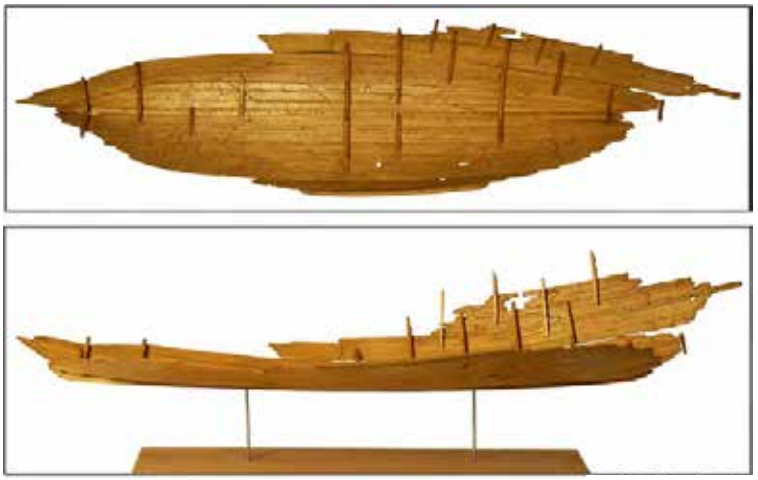


Fig. 151 : Vue de la maquette des vestiges remis en forme
(Photo: L. Damelet, CCJ-CNRS, Réalisation de la maquette: R. Roman, CCJ-CNRS)

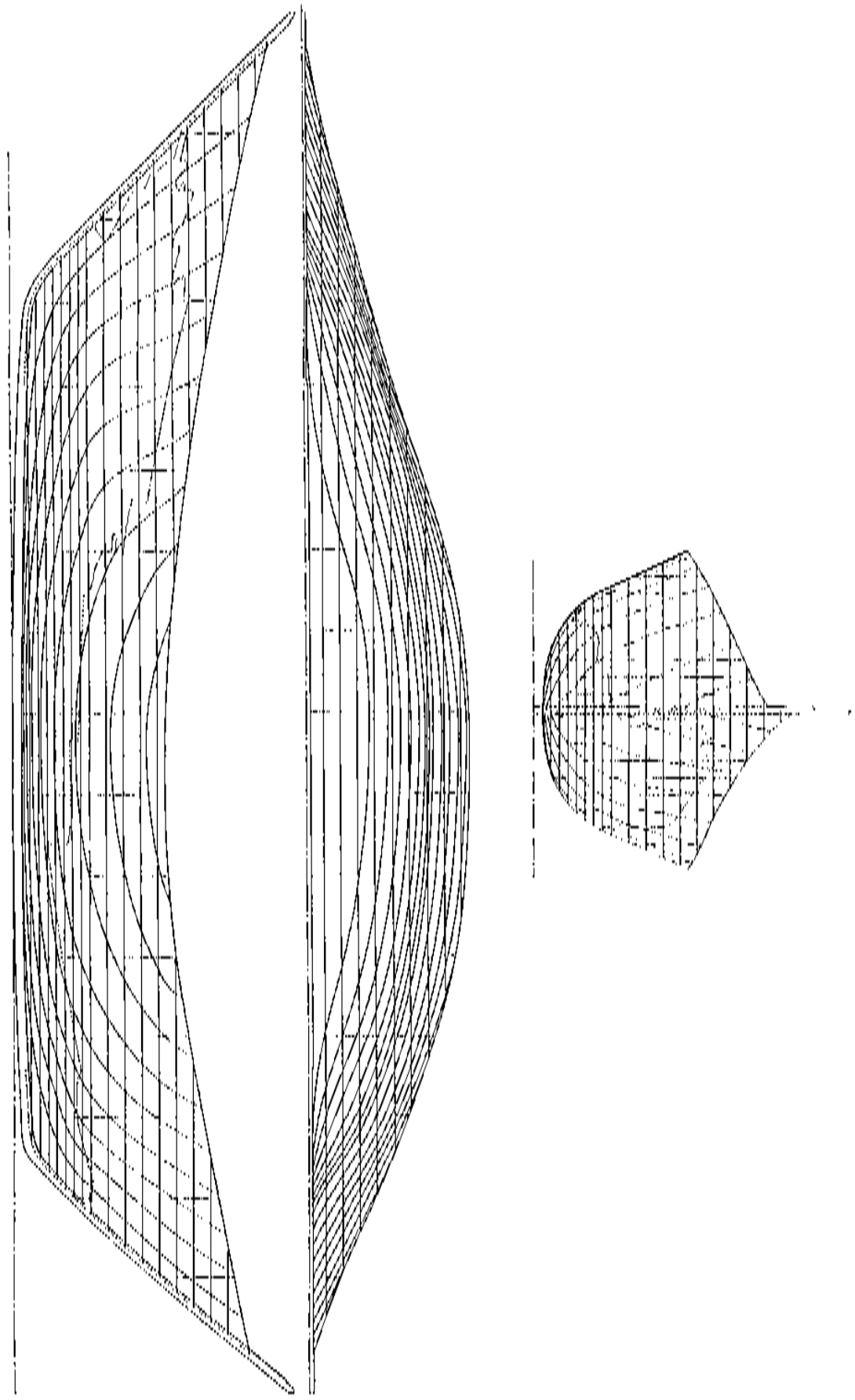


Fig. 152 : Plan de formes de la première hypothèse de restitution (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS)

Verne 9. L'analyse de ces points d'assemblage montre cependant que les réparations ont été effectuées avec moins de soin que l'assemblage d'origine des extrémités.

6.1.2.3. Charpente transversale :

La charpente transversale se compose d'une succession de couples formés d'une varangue et de deux allonges (une sur chaque bord) dont l'extrémité supérieure vient s'appuyer sur la seconde préceinte (onzième virure) **(Fig. 157)**. Entre deux membres viennent s'insérer des couples de revers qui débutent au niveau de la huitième virure et qui s'étendent vraisemblablement jusqu'à hauteur du livet **(Fig. 158)**. La maille mesurée entre les varangues est extrêmement lâche, de l'ordre de 90 cm en moyenne. Les varangues sont d'un type très particulier : elles présentent un pied étroit de 3 à 4 cm de large qui s'évase vers le haut (la hauteur s'établissant entre 11 et 13,5 cm) pour s'achever par un dos arrondi de 8 à 11 cm de largeur. Leur face inférieure est par ailleurs régulièrement entaillée par des évidements de forme rectangulaire, d'une longueur de 4,5 à 6 cm pour une largeur de 1,5 à 2,5 cm, destinés au passage des ligatures du bordé. Les allonges qui prolongent ces varangues leur sont reliés au moyen d'un écart à croc chevillé qui paraît exceptionnel au sein de la construction navale antique[502] **(Fig. 159)**. Elles présentent des sections et des dimensions comparables à celles des varangues. Les couples de revers sont quant à eux de section rectangulaire, d'une hauteur de 7 à 9 cm et d'une largeur de 4 cm, avec une pointe sur leur extrémité inférieure ainsi qu'un décroché sur l'extrémité opposée. Ce décroché pourrait correspondre, avec un assemblage à mi-bois, à une lisse courant le long du livet. Contrairement à ce qui a pu être observé sur l'épave *Jules-Verne 9,* et malgré la morphologie typique des varangues et des allonges, la membrure de *Jules-Verne 7* n'est pas reliée au bordé au moyen de ligatures. Elle est fixée par des clous en fer enfoncés depuis l'extérieur de la coque et dont la pointe a été rabattue sur le dos de la membrure afin de renforcer l'assemblage. On remarque cependant que les couples de revers ont été assemblés au bordé au moyen de gournables enfoncées à partir de l'extérieur et que leur pied a été assemblé au bordé au moyen de ligatures externes. Il nous semble ici nécessaire de relever le fait que la morphologie des varangues ne se justifie en rien puisque d'une part elle est adaptée à un assemblage par ligatures, et que d'autre part les passages pratiqués sur la face inférieure pour le passage des ligatures de liaison du bordé sont rendus inutiles par l'utilisation de l'assemblage par tenons et mortaises. Sabrina Marlier propose ainsi

[502] Ce type d'assemblage, enregistré sur le navire de *Bon Porté*, mais aussi sur les navires *Cala Sant Vicenç*, *Jules-Verne 9*, *Jules-Verne 7*, *César 1*, *Grand Ribaud F*, *Gela 1*, *Gela 2* et *Ma'agan Mikhael* , disparaît en effet par la suite : c'est l'une des caractéristiques de la construction gréco-romaine où il n'existe pas de liaison entre les éléments d'une même membrure (Gianfrotta, Pomey 1981, p. 241-247 ; Pomey 1997, p. 195 ; Pomey, 2010, p. 15-26).

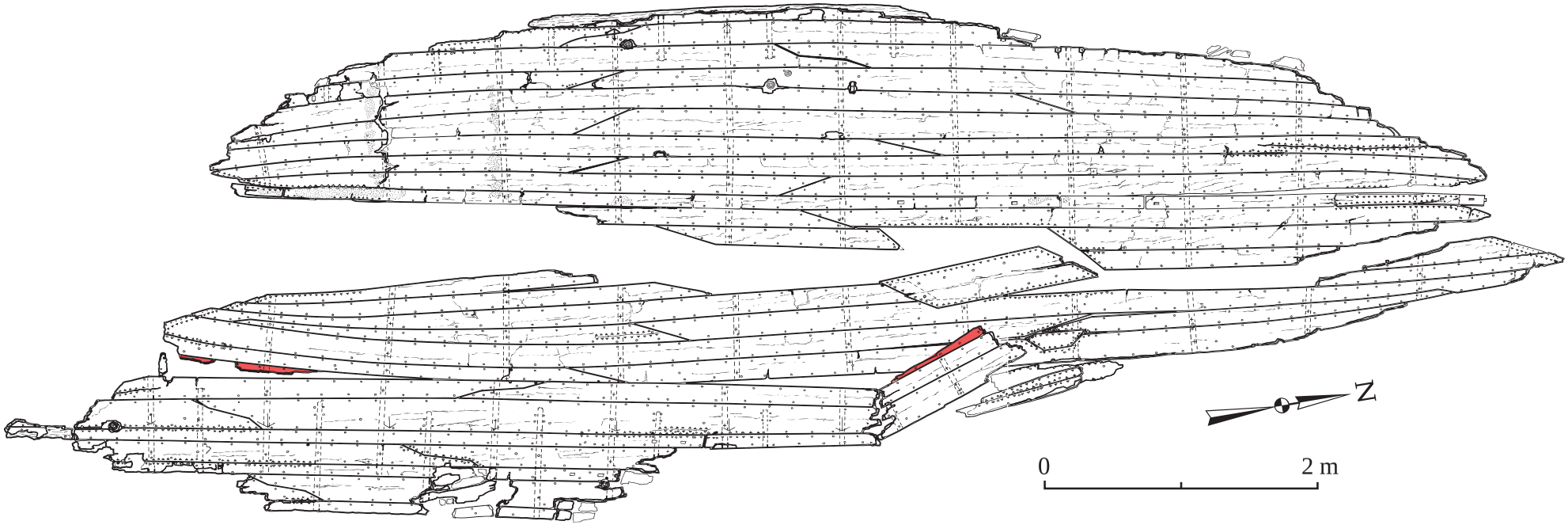


Fig. J53 : Planimétrie de détail du bordé conservé de l'épave *Jules-Verne 7*. On note en rouge les deux fragments de virures (V6bis) interprétés comme des virures de raccord à joint perdu. On note aussi, dans la partie sud-est de l'épave, le fragment de sept virures qui a été déplacé vers le sud. (Dessin: M. Rival, CCJ-CNRS)



Fig. 154 : Vue zénithale de la fouille après le marquage des structures du bordé (Photo: CCJ-CNRS)

d'y voir une perpétuation d'une certaine tradition de façonnage malgré les évidents changements technologiques[503].

6.1.2.4. Charpente interne :

Aucun élément de la structure interne de la charpente du navire n'a été conservé. Cependant, un certain nombre de traces permettent de déceler la présence originelle très probable de certains éléments. Ainsi, les petites entailles pratiquées sur la face supérieure de la quille témoignent de la présence d'une carlingue, faisant aussi office de massif d'emplanture, similaire à celui découvert sur l'épave de *Gela 1*[504] **(Fig. 160)**. Cette carlingue devait venir s'encastrer sur le dos des varangues et être assemblée à la quille par des clefs insérées dans les mortaises pratiquées sur la quille[505]. Les autres éléments notables de la charpente interne, qui peuvent-être reconstitués avec certitudes, sont des baux transversaux dont les encoches de liaison à mi-bois avec les têtes d'allonges ont pu être clairement identifiés au niveau de la deuxième préceinte. Par ailleurs, l'une des flasques latérales du fourreau d'étambrai, conservée entièrement, a aussi été mise au jour dans l'enchevêtrement central de pièces déplacées. Enfin, des mortaises, entaillées sur le dos des varangues, indiquent également la présence d'épontilles axiales dont une a été intégralement conservée.

6.1.3. Principe et méthodes de construction :

Caractérisée par une quille de section carrée associée à des fonds plats dépourvus de retour de galbords, la coque du navire *Jules-Verne 7* est formée d'un bordé assemblé à franc-bord, au moyen de deux techniques différentes, renforcé par une charpente transversale à la maille très lâche. La membrure, qui n'est prévue que pour jouer un rôle secondaire dans la structure permet d'avancer que ce système architectural relève d'une conception longitudinale sur bordé. Par ailleurs, un certain nombre de marques de charpentiers, repérées sur la face interne du bordé, témoignent clairement d'un procédé de construction de type bordé premier **(Fig. 153-154 bis)**[506]. On les retrouve ainsi particulièrement au niveau de la huitième virure. Elles signalent alors l'emplacement des couples, ce qui semble indiquer, par leur recouvrement, qu'elles ont été mises en place après le montage des huit premières virures. La

[503] Marlier, 2005, p. 186 ; Pomey, 1998, p. 195-203.
[504] Freschi 1991, note 8, p. 209 ; Panvini 2001.
[505] Pomey 1997, p. 198.
[506] Ces traces prennent la forme de flèche et sont tracées à la ponte sèche. On a aussi découvert, sur le dos de la quille, des marques de charpentier qui marquent l'emplacement des pieds de varangue.

huitième, qui s'avère plus large, jouerait un rôle de virure de réglage, selon P. Pomey. La pose de cette virure devait permettre d'effectuer des contrôles et des rectifications portant sur la symétrie de la carène, avant la mise en place de la membrure de fond et la poursuite de la construction[507].

A travers l'hétérogénéité des techniques d'assemblage mises en œuvre sur ce navire (tenons-mortaises et ligatures pour le bordé et la quille ; clous, gournables et ligatures pour la membrure), on distingue nettement ici les vestiges d'un navire de transition qui illustre de manière exceptionnelle l'évolution des techniques de construction[508]. En considérant une utilisation contemporaine de cette épave avec la petite barque (*Jules-Verne 9*) retrouvée à côté, on aurait là la preuve d'une coexistence dans la seconde moitié du VIème s. av. J.-C., de deux types d'assemblage pour le montage du bordé – par tenons et mortaises et par ligatures – qui permet de mieux appréhender l'adoption et le développement de l'assemblage à tenons et mortaises, par un milieu qui pratiquait traditionnellement l'assemblage par ligatures. *Jules-Verne 7* demeure cependant à classer dans la famille architecturale des bateaux cousus de tradition grecque telle qu'elle a été définie par P. Pomey[509].

6.1.4. Datation:

L'épave *Jules-Verne 7* a été abandonnée vers la fin du VIème s. av. J.-C. (entre -525 et -510). On peut donc estimer que la construction du navire et sa période d'utilisation remontent à la seconde moitié du VIème s. av. J.-C., soit moins d'un siècle après la fondation de la cité phocéenne.

6.1.5. Type et fonction de l'embarcation :

Le navire *Jules-Verne 7* devait être capable d'effectuer divers types de trajets en assumant la fonction d'un grand caboteur à même d'effectuer des traversées hauturières. Cependant, nous verrons que les analyses hydrostatiques et de stabilité dépeignent une unité qui pouvait certes effectuer des trajets importants, tout en s'exposant aux aléas venteux, mais qui ne pouvait toutefois pas se prévaloir de qualités nautiques exceptionnelles : son grand

[507] On note en effet une nette asymétrie au niveau des sept premières virures qui est rectifiée au niveau de la huitième virure (Pomey 1998 b, p. 29).
[508] Pomey 1997 ; Pomey, 1998, p. 195-203; Kahanov, Pomey 2004 ; Pomey, 2010, p. 15-26.
[509] *Ibid.*

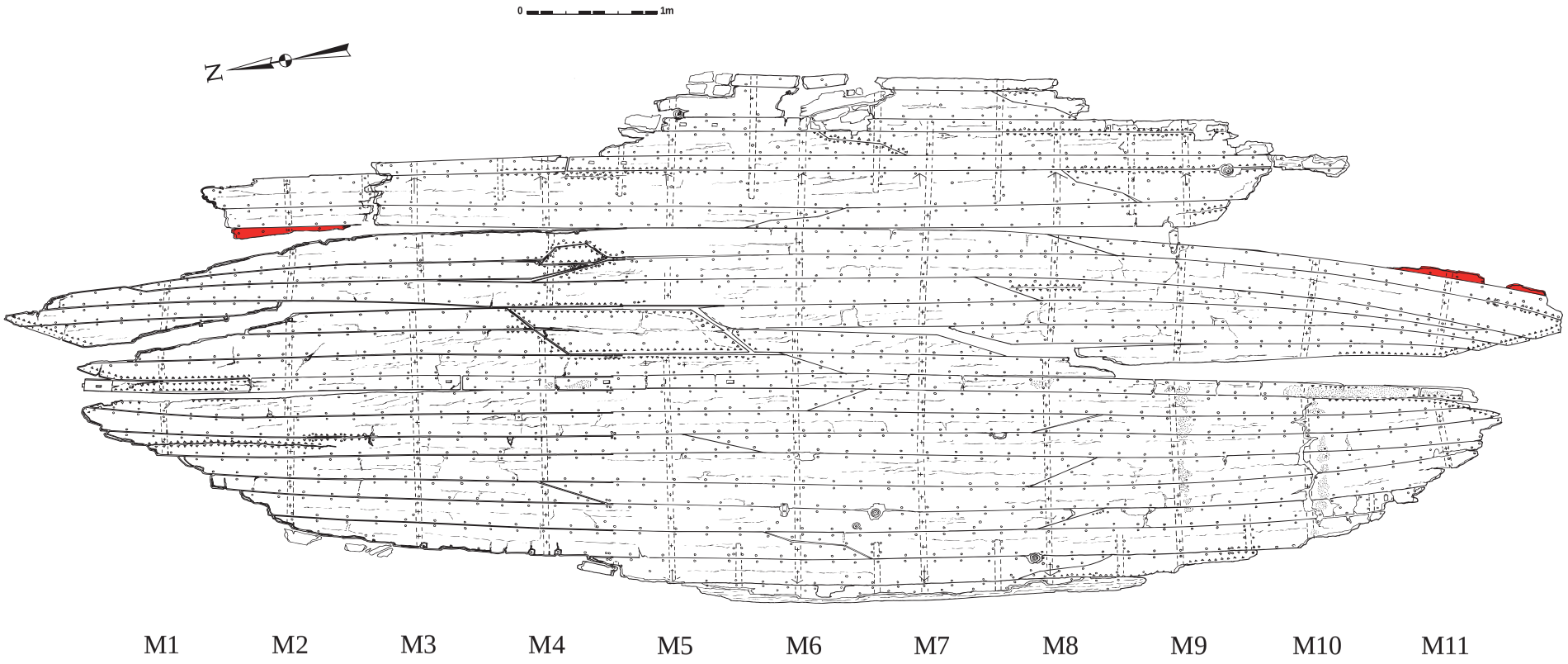


Fig. 154 (bis) : Vue de la planimétrie des vestiges remis en place conformément aux recollages mis en évidence par Arc-Nucléart (Juillet 2012)

allongement, associé à une section transversale très arrondie générant en effet une stabilité initiale relativement limitée.

Parallèlement aux considérations concernant sa fonction, on notera que certaines similitudes de construction qui ont pu être dressées entre *Jules-Verne 7* et *Jules-Verne 9*, qui est interprétée comme étant une grande barque de pêche, permettent de poser l'hypothèse d'une construction de ces deux embarcations dans des chantiers similaires ou voisins, voire dans le même chantier[510]. Le navire *Jules-Verne 7* aurait donc vraisemblablement été construit par la troisième génération de Phocéens installée à *Massalia* en 600 av. J.-C. environ.

6.1.6. Historique du processus de recherche sur l'épave *Jules-Verne 7* :

6.1.6.1. Première phase de recherche : la première hypothèse de restitution

L'épave *Jules-Verne 7* a été fouillée et étudiée en 1993 par l'équipe d'archéologie navale du Centre Camille Jullian (CNRS), sous la direction de P. Pomey. Une étude complète de restitution a ainsi été menée à son terme avec la réalisation d'une importante documentation graphique accompagnée de multiples maquettes d'étude : maquette des vestiges, des vestiges remis en forme, maquette de vérification du bordé (« maquette carton »), maquette de restitution **(Fig. 149, 150 et 151)**[511]. Les résultats, à ce stade de l'étude ont, fait l'objet de diverses publications[512]. Bien que les maquettes de vérification aient permis la validation de l'hypothèse de restitution, un point particulier a amené l'équipe de recherche à considérer avec un certain scepticisme le résultat alors obtenu. L'interrogation portait en particulier sur la mise en connexion avec le reste du bordé du sous-ensemble découvert à l'est de la partie la plus massive de l'épave et constitué de sept niveaux de virures dont trois préceintes. Sa remise en place avec la partie du bordé directement adjacente, sans translation longitudinale, permettait une concordance correcte des assemblages (tenons-mortaises d'une part, empreintes des passages de membrures d'autre part) qui a amené à considérer les légers décalages, qui pouvaient être perçus, comme des conséquences des déformations ponctuelles de la carène. Cette hypothèse permettait en outre la remise en place

[510] Outre le fait que les deux épaves aient été découvertes côte à côte, le nombre de similitudes morphologiques s'avèrent très importantes (débit des membrures, types de ligature utilisées, percements similaires des évidements tétraédrique, etc…), et les marques de charpentier pratiquées pour marquer le passage des membrures sont identiques sur les deux épaves (Marlier, 2005, p. 188). On notera cependant qu'à l'inverse de *Jules-Verne 7*, dont le bordé est assemblé par un jeu de tenons chevillés et de mortaises, l'épave *Jules-Verne 9* présente un bordé entièrement ligaturé.

[511] La plupart de la documentation graphique, au premier rang desquels le plan de formes, a été réalisé par M. Michel Rival (Ingénieur de recherche au CCJ, UMR 7299) tandis que les maquettes d'étude sont l'œuvre de M. Robert Roman (Ingénieur de recherche au CCJ, UMR 7299).

[512] Pomey 1995 ; 1999 c ; 2001 ; 2002 c.

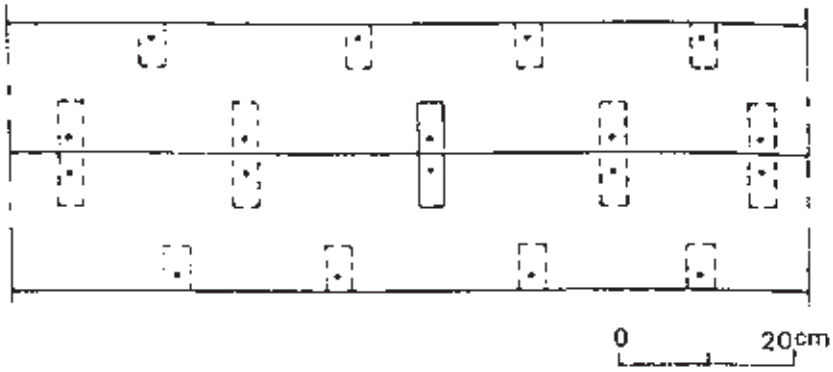


Fig. 155 : Schéma du système d'assemblage par tenons et mortaises du bordé de *Jules-verne 7*
(Dessin : M. Rival CCJ-CNRS)



Fig. 156 : Assemblages par ligatures au niveau de la réparation
de l'une des virures de *Jules-Verne 7*
(Photo : CCJ-CNRS)

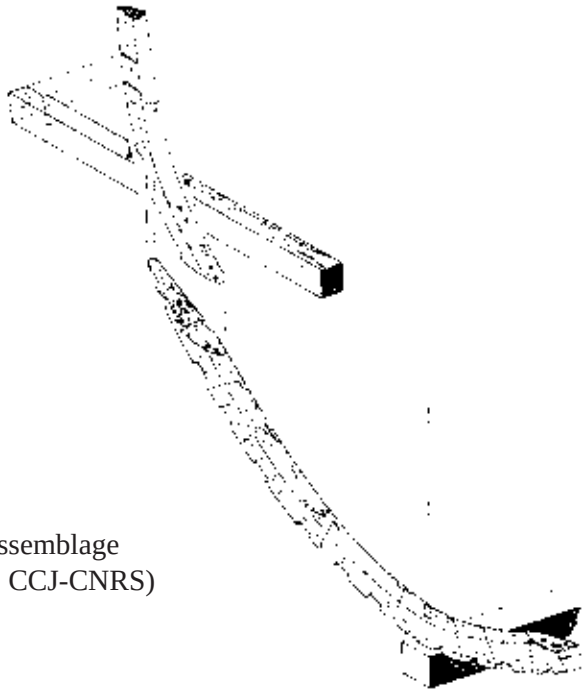


Fig. 157 : Axonométrie représentant le mode d'assemblage
des varangues avec les allonges (Dessin : M. Rival, CCJ-CNRS)

d'un nombre conséquent d'éléments de la charpente transversale. On constate cependant localement qu'un certain nombre d'évidements pratiqués sur la face inférieure des éléments transversaux ne se retrouvait pas toujours en parfaite correspondance avec un joint de virure comme cela aurait dû être le cas[513]. De plus, concernant le bordé, un fragment de virure situé sur le grand ensemble à repositionner (fragment assemblé à la septième virure tribord sur son intérieur à l'extrémité nord) ne correspondait *a priori* à aucune virure située en regard[514] **(Fig. 153)**. La solution adoptée fut alors de considérer ce fragment comme les vestiges d'une virure de bordé de raccord, à joint perdu, baptisée *V6bis*, qui serait située sur l'extrémité avant et qui aurait été enserré par les virures *V6b* et *V7b* du flanc tribord. Cette interprétation était renforcée par la présence toujours sur tribord, cette fois-ci sur l'arrière au niveau du couple M11, d'un fragment d'une septième virure dont on ne trouvait pas la trace sur le sous-ensemble et qui pouvait mener à la même interprétation pour l'extrémité **(Fig. 153)**[515].

Mais c'est avant tout du point de vue des formes qu'une telle remise en place pouvait générer des interrogations. En effet, une telle solution amenait à placer l'extrémité conservée de la première préceinte à bâbord, extrêmement loin sur l'arrière, contraignant alors fortement à la restitution d'un étambot très fortement élancé. Il en résultait des extrémités très pincées, donnant à l'étrave et à l'étambot du navire un aspect que l'on rapprochât de celui d'une « babouche », ainsi que des flancs fortement évasés[516] **(Fig. 152)**. Malgré tout, à ce point de la recherche, la validation de cette hypothèse de restitution par les diverses maquettes tendait tout de même à entériner celle-ci.

6.1.6.2. Insertion dans le corpus de *Jules-Verne 7* :

Notre projet de thèse incluait dès son départ une modélisation succincte de cette première hypothèse de restitution ainsi que la réalisation de l'ensemble des analyses hydrostatiques et celles concernant la stabilité du navire ainsi restituée. L'objectif était alors double, d'une part évaluer la validité de la restitution du gréement[517] selon cette première hypothèse et d'autre part, de fournir à notre développement de méthode un cas d'étude différent de ceux abordés par ailleurs.

[513] Ces évidements, pratiqués sur la face inférieure des éléments transversaux a pour principale but de protéger des frictions les ligatures dans une coque assemblée avec cette technique. Sur *Jules-Verne 7*, ces passages sont rendus inutiles par l'utilisation de l'assemblage par tenons et mortaises (Marlier, 2005, p. 186).
[514] Ce fragment est souligné en rouge dans la planimétrie des vestiges que nous présentons ici.
[515] Ce fragment est lui aussi souligné en rouge dans la planimétrie des vestiges que nous présentons ici.
[516] Ce qui pouvait sembler aller en contradiction avec les élancements les plus hauts conservés, comme par exemple sur le couple Mi18 qui était déjà alors replacé, qui semblent décrire une muraille plus droite.
[517] Il était aussi alors question d'anticiper une éventuelle correction de cette restitution, si les résultats de stabilité s'avéraient trop négatifs, en vue de la production de la réplique navigante de *Jules-Verne 7*, baptisée *Prôtis*.

6.1.6.3. Les nouvelles hypothèses de restitution :

C'est à l'automne 2008 qu'une première modification d'importance a été entreprise sur la première hypothèse de restitution. Un premier décalage de 50 cm vers l'avant de l'ensemble isolé et problématique du bordé conduisit au dressement d'un nouveau plan de formes sur lequel les extrémités se trouvaient moins élancées et qui permettait une meilleure cohérence des traces d'assemblages conservées entre les deux parties remises en connexion. Cette nouvelle hypothèse ne résolvait pas pour autant la question des deux virures supplémentaire *V6bis,* sur tribord avant et arrière, ainsi que la forme particulièrement évasée dans les hauts. Cette modification ne modifiait alors en rien le travail d'analyse prévu pour notre thèse, l'objet de l'étude étant simplement remplacé par la version à jour.

Toutefois, à l'occasion de la refonte du musée d'histoire de Marseille, entreprise entre 2010 et 2013, les projets de restauration et de mise en valeur de certaines épaves découvertes place Jules Verne (*J-V 3*, *J-V 4*, *J-V7* et *J-V9*) ont conduit les restaurateurs du laboratoire Arc-Nucléart (CEA, Grenoble) à mettre en évidence des nouveaux recollages d'éléments éparses, amenant à reconsidérer l'ensemble de l'hypothèse de restitution. Il s'agit en particulier du fragment qui avait été identifié comme les vestiges d'une virure de raccord sur l'avant, d'abord nommé *V6bis*, qui s'est révélé s'assembler parfaitement avec l'extrémité avant de la cinquième virure provoquant un déplacement vers l'avant de 2,95 m de l'ensemble détaché de bordé qui avait tout d'abord était replacé directement au contact du bordé adjacent **(Fig. 154 bis)**. A première vue, cette translation, équivalente à trois fois la maille, permet non seulement de retrouver une cohérence beaucoup plus marquée dans les connexions des tenons et mortaises entre les deux parties du bordé, mais génère aussi une meilleure adéquation des évidements sur les pieds de varangues et d'allonges avec les joints de virures[518]. On ajoutera qu'elle permet de retrouver de nouveaux replacements d'éléments transversaux qui étaient impossibles auparavant, tel que le fragment d'allonge Mi19 replacé à la suite de Mi18.

Face à un tel changement, il nous était devenu impossible de nous appuyer sur les plans de formes de restitution précédents. Les différences qui étaient apparues dans les formes suite à la nouvelle remise en connexion des ensembles de bordé, ne pouvaient pas en effet être négligées. Compte tenu du temps relativement limité que nous avions initialement prévu pour l'étude de *Jules-Verne 7*, il était donc exclu d'envisager une reprise intégrale du travail de restitution, impliquant la réalisation de multiples maquettes de vérification avec l'appui de la

[518] Le déplacement s'appliquant à la partie tribord de la carène, les conséquences de ces recollages n'impliquent donc pas du tout la partie bâbord de l'épave.

modélisation informatique. Deux solutions s'offraient alors à nous : la première consistait à abandonner de façon temporaire, pour la durée de la thèse, l'étude de *Jules-Verne 7* ; la seconde correspondait à une reprise complète de l'étude et ce uniquement par le biais de modèles informatiques pouvant entrainer la simple reprise de la maquette des vestiges remis en place déjà produite. Cette dernière solution, qui présentait l'avantage d'amorcer le nécessaire et nouveau processus de restitution sur l'épave, permettait aussi de produire une étude provisoire assez avancée afin que celle-ci puisse s'insérer harmonieusement dans notre travail de thèse tout en s'inscrivant raisonnablement dans un calendrier déjà préétabli. Estimant que c'était, dans le cadre particulier de notre travail de thèse, le meilleur compromis, nous avons donc fait le choix d'effectuer ce travail préliminaire de recherche qui nécessitera postérieurement un long travail de vérification et de finition que nous n'avons pu poursuivre ici.

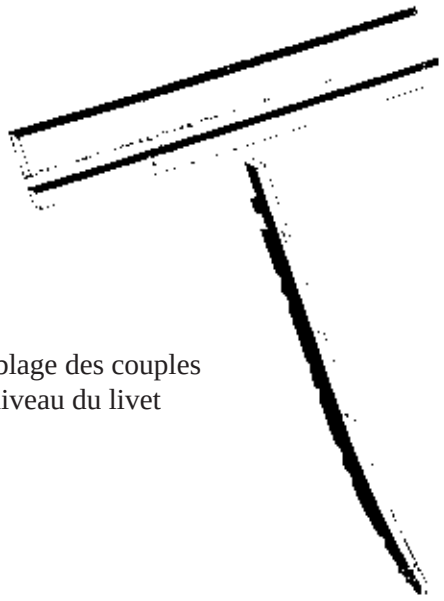


Fig. 158 : Axonométrie représentant le mode d'assemblage des couples de revers avec le pavois et la lisse positionnée au niveau du livet (Dessin : M. Rival, CCJ-CNRS).

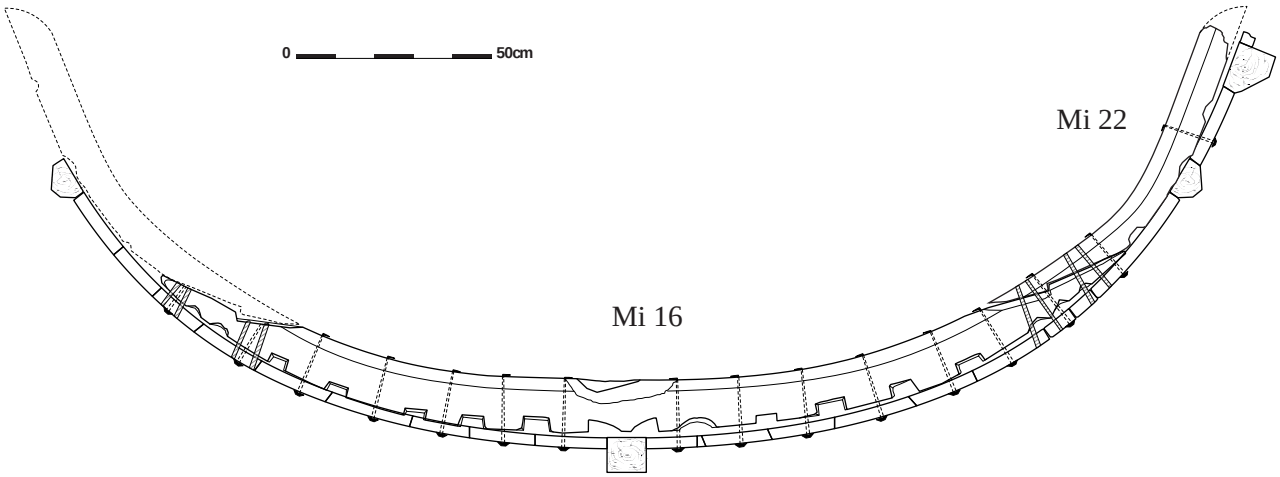


Fig. 159 : Aperçu des assemblages de la membrure au niveau du maître-couple M6 (Dessin : P. Poveda).

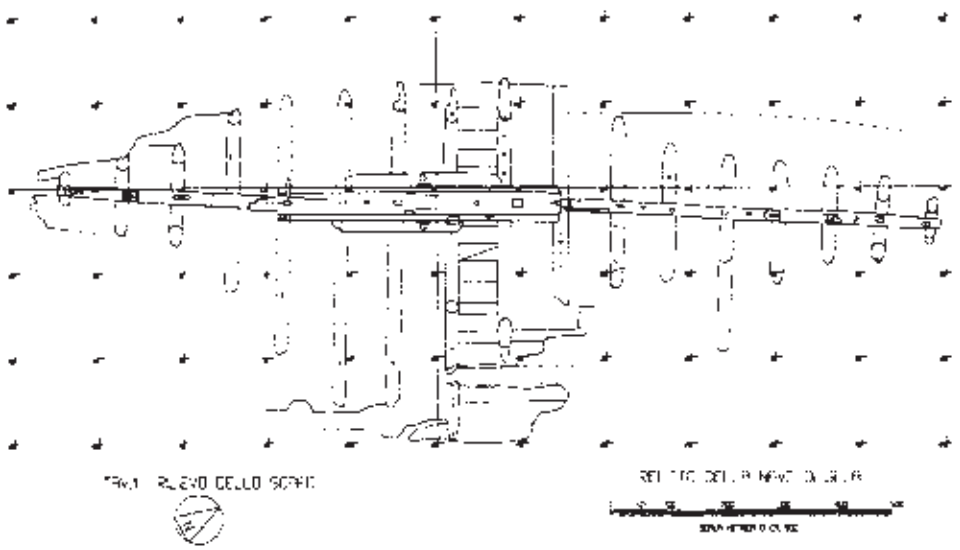


Fig. 160 : Plan de l'épave *Gela 1* sur lequel on aperçoit nottament l'organisation de la charpente axiale interne (tiré de Freschi, 1991).

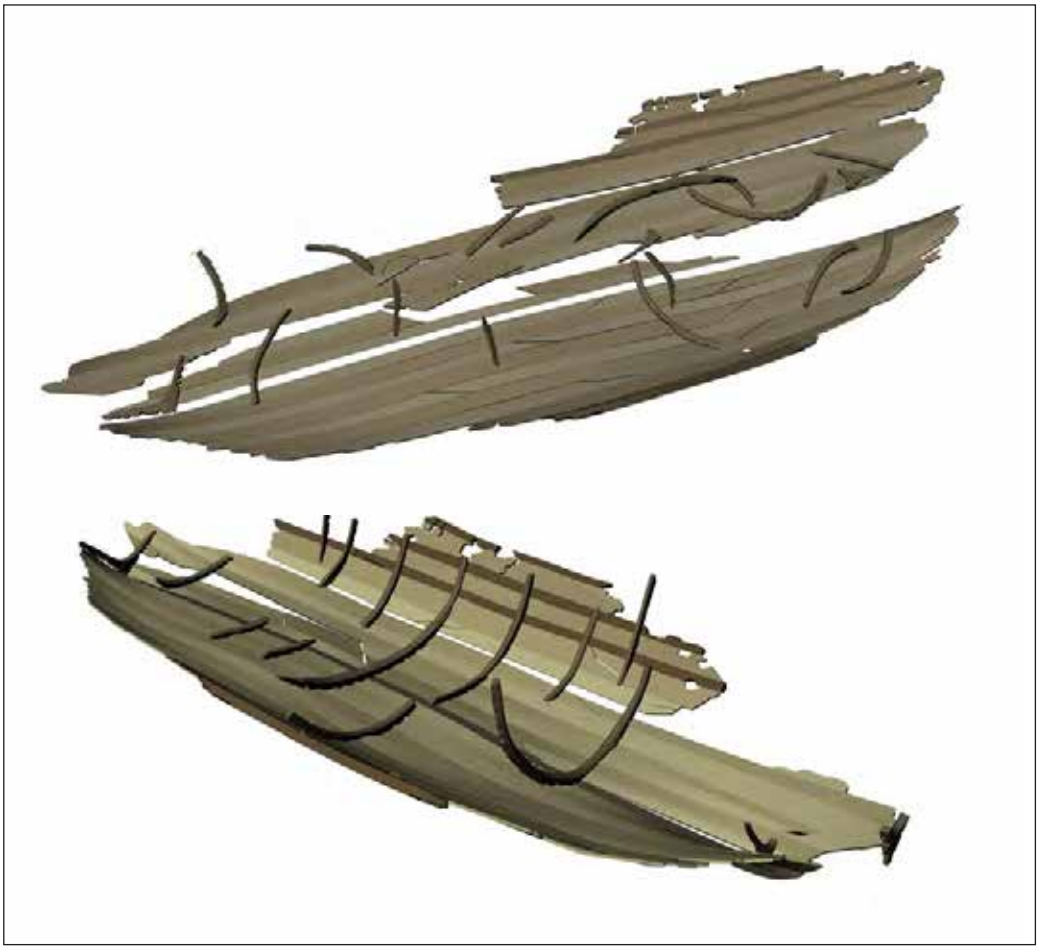


Fig. 161 : Vue du modèle des vestiges (en haut) et des vestiges remis en place (en bas).

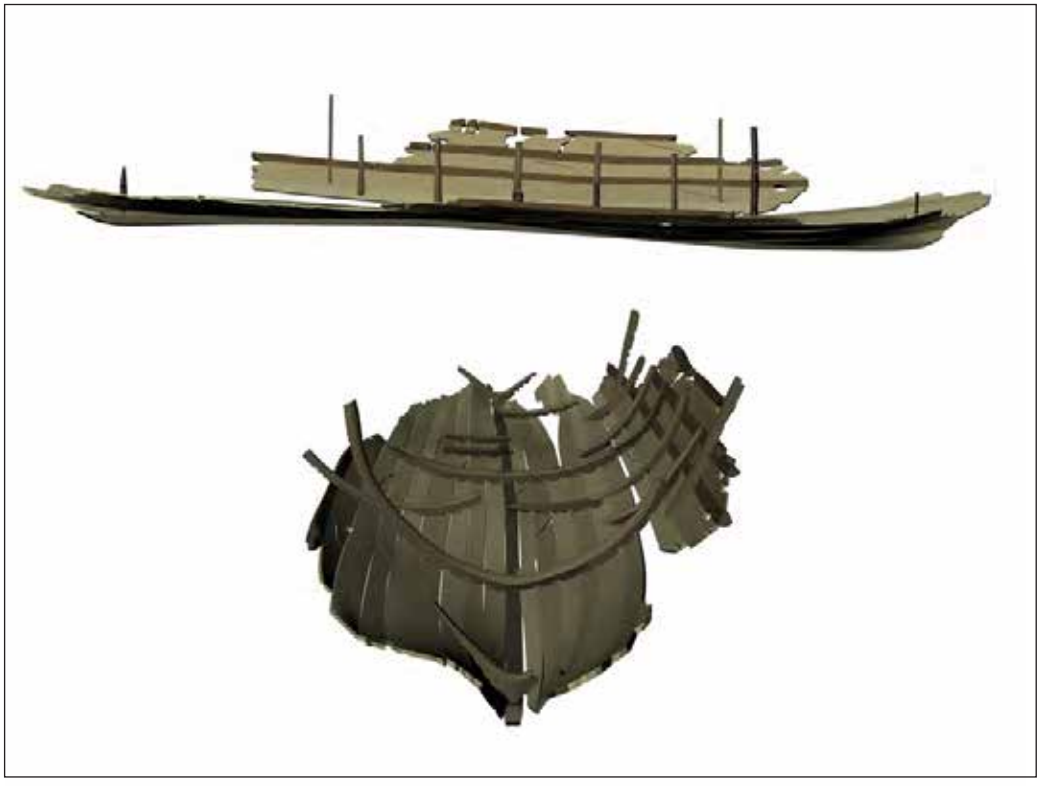


Fig. 162 : Vues du modèle tridimensionnel des vestiges remis en place.

6.2. Processus de restitution du navire *Jules-Verne 7* :

Contrairement aux autres épaves qui forment le corpus de cette thèse, l'épave *Jules-Verne 7* n'a pas fait l'objet d'un travail complet de restitution. Comme nous l'avons évoqué précédemment, le travail initial devait consister à soumettre l'hypothèse de restitution originale à notre méthode analytique du point de vue de l'hydrostatique et de la stabilité. Nous serons donc ici plus concis que pour les autres cas d'étude en ne revenant que sur les phases d'établissement du nouveau plan de formes, des méthodes de vérification concernant la nouvelle hypothèse de restitution ainsi que sur la production du nouveau devis de poids.

6.2.1. Le modèle tridimensionnel des vestiges :

Dans un tout premier temps, il nous a semblé nécessaire de vérifier, dans la mesure du possible, la validité de tous les repositionnements présumés pour les fragments, tant en ce qui concerne le bordé qu'en ce qui concerne la membrure. Afin de parer aux erreurs qui ont pu émailler les études de restitution menées jusqu'ici sur l'épave *Jules-Verne 7*, nous avons fait le choix de réaliser un modèle le plus détaillé possible de l'épave dans sa condition de découverte **(Fig. 161)**. L'objectif était de pouvoir bénéficier des avantages d'une maquette des vestiges[519], à laquelle serait associée la possibilité d'être dupliquée et manipulée indéfiniment.

Concernant la remise en place des divers sous-ensembles de bordé découverts, le modèle tridimensionnel est venu confirmer ce qui, par les plans de fouille aurait déjà pu être une évidence si on l'avait envisagé, soit : la nécessité de déplacer sur près de 2,95 m vers le nord, l'ensemble fragmentaire de sept virures qui reposait au sud-est de la partie principale **(Fig. 162)**. Concernant cette modification, on notera que l'étude de la cohérence des traces d'assemblages préservées s'est révélée primordiale dans le processus de validation. C'est d'ailleurs l'analyse de l'écartement sur le bordé des négatifs de clous de fixation des éléments de la membrure qui nous ont permis, associée à la comparaison des écartements des évidements sur le pied des couples avec les largeurs de virures, de proposer un replacement plus sûr des éléments transversaux sur les vestiges.

Au total, ce ne sont pas moins de trente-et-un fragments qui nous sont parvenus et qu'il fallait tenter de replacer sur les empreintes encore discernables de varangues, d'allonges et de couples de revers. Si, pour certains, leur remise en place n'avait pas posé problème lors

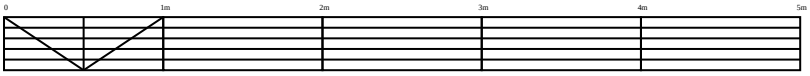
[519] Pomey, 2003, p. 57-64

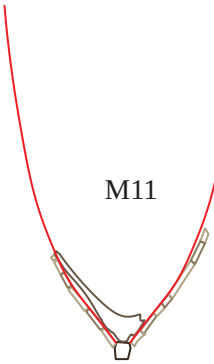
des premières analyses de restitution, il s'avère que pour d'autres fragments, le repositionnement a pu s'avérer délicat, voire impossible. Nous ne ferons pas un compte-rendu détaillé concernant le repositionnement de chacun des couples ; il nous a cependant semblé nécessaire de reproduire ici succinctement, dans un tableau, les diverses correspondances que nous avons pu établir jusqu'à maintenant entre les fragments (baptisés Mi) avec les positions de couples (baptisées M) et de couples de revers (baptisées Ce) découvertes sur le bordé. Plus particulièrement, on notera que la translation du sous-ensemble de bordé, dans la partie orientale du site, a permis d'effectuer de nouvelles remises en place : comme l'allonge Mi17 avec le fragment de varangue Mi15 au niveau du couple M7, ou bien encore, le fragment d'allonge Mi19 sur la varangue Mi18 au niveau du couple M8 **(Fig. 163)**.

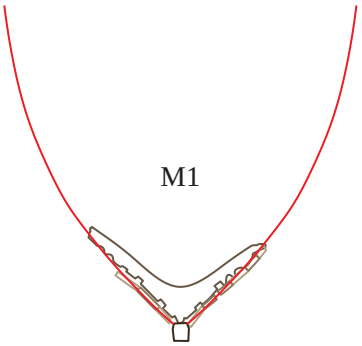
Tab. 40 : Indications sur le replacement des éléments transversaux (en rouge les remise en place certaines)

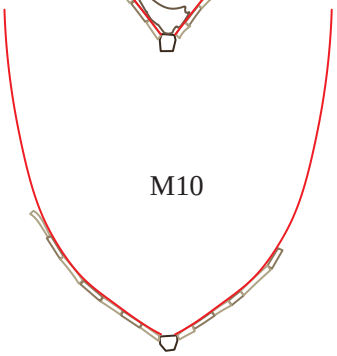
Mi1	**Mi2**	**Mi3**	**Mi4**	**Mi5**	**Mi6**	**Mi7**	**Mi8**	**Mi9**	**Mi10**
M1	M2	/	M4 ouest	/	Ce2 (?)	/	All. M4 (?)	M5 Ouest (?)	All. M8 Est
Mi11	**Mi12**	**Mi13**	**Mi14**	**Mi15**	**Mi16**	**Mi17**	**Mi18**	**Mi19**	**Mi20**
All. M5 Est	Ce3 (?)	M7	M11	M7 Ouest	M6	M7 Est	M9 Ouest	M9 Est	/
Mi21	**Mi22**	**Mi23**	**Mi24**	**Mi25**	**Mi26**	**Mi27**	**Mi28**	**Mi29**	**Mi30**
Ce4 (?)	M6 Est (?)	/	M3 Est (?)	/	M12 (?)	/	Ce7 (?)	/	/

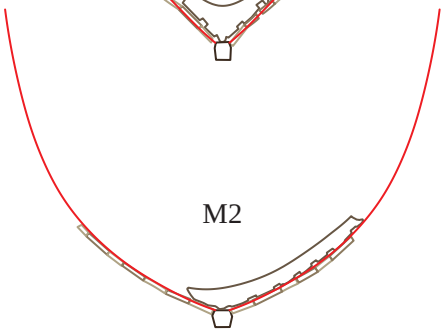
L'autre usage spécifique que nous souhaitions faire à partir de ce modèle des vestiges était de produire, grâce aux fonctionnalités offertes par *Rhinocéros*©, un plan du bordé développé tel que conservé et déformé sur les vestiges. Dans un contexte ne nous permettant pas de produire une maquette de vérification de notre hypothèse de restitution, le fait de réaliser de cette manière un plan développé du bordé conservé semblait la solution la mieux adaptée tant du point de vue de la précision que du temps disponible. L'objectif était ainsi de pouvoir comparer ce premier plan de bordé avec celui que l'on réaliserait à partir du modèle tridimensionnel de restitution et de valider, le cas échéant, notre nouvelle hypothèse.

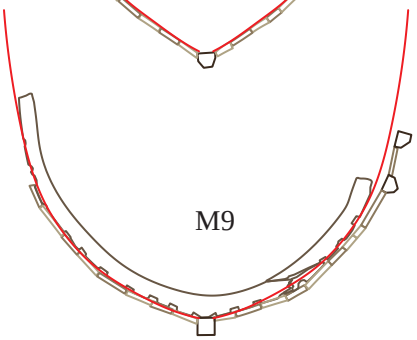


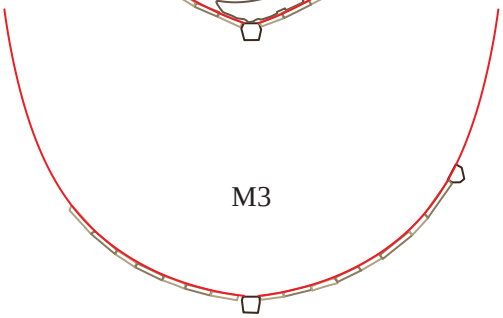


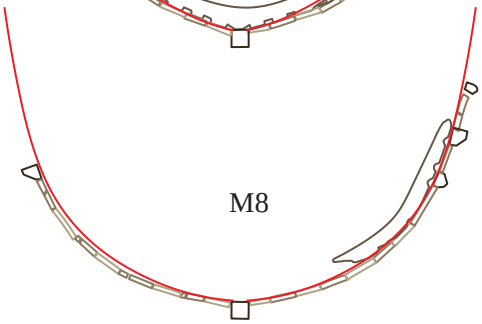


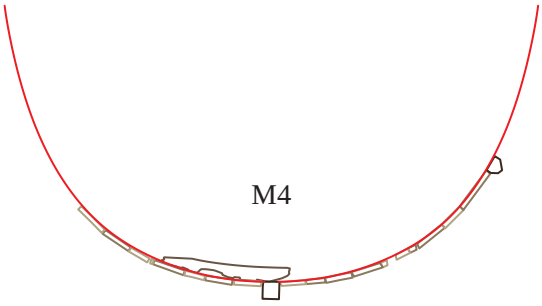


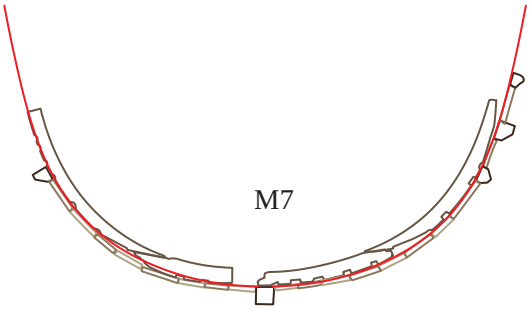


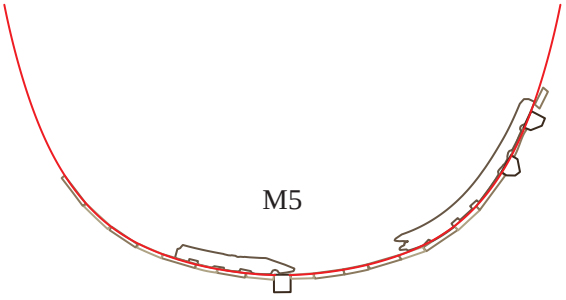












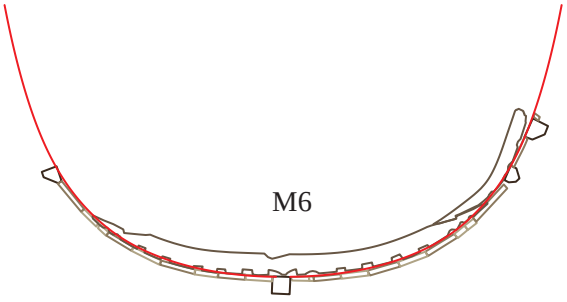


Fig. 163 : Comparaison des coupes hors-membres du nouveau plan de formes de restitution avec les coupes transversales des vestiges remis en place.

6.2.2. Réalisation du plan de formes :

Compte-tenu des changements s'opérant avec le repositionnement du fragment de la partie supérieure du bordé tribord, nous nous attendions à ce que les modifications du plan de formes s'opèrent particulièrement dans les hauts, ainsi qu'éventuellement dans la forme des extrémités. Concernant justement les élancements, nous avons tout d'abord fait le choix de nous en tenir au profil longitudinal défini lors du dressement du plan de formes de la seconde hypothèse de restitution (datée de l'automne 2008 et réalisée par R. Roman) et de nous limiter à reprendre, dans leurs parties supérieures, les élancements des coupes transversales afin que celles-ci puissent correspondre au nouvel agencement des vestiges. Nous estimions alors que les formes de la carène ne seraient pas modifiées dans les parties les plus basses. La comparaison des coupes transversales des deux versions permet de se rendre compte que, globalement, c'est bien ce que l'on remarque, avec la fermeture de l'angle de la muraille dans les parties les plus hautes de la carène **(Fig. 164)**. Nous avons donc aussi jugé, *a posteriori*, qu'il était effectivement inutile de revenir sur le profil longitudinal de la restitution, bien que celle-ci puisse faire l'objet d'une remise en question profonde par le biais d'une étude comparative, sur la base de documents archéologiques, iconographiques ou encore ethnographiques[520]. Nous reviendrons en détail plus tard sur ces possibilités de révision du plan de formes. Plus ponctuellement, on observe que certaines modifications par rapport à l'ancienne hypothèse de restitution, ont pu affecter la forme des couples et celle du bordé : c'est notamment le cas pour les couples situés aux extrémités (M1 et M11) qui voient leurs formes lissées par rapport à celles proposées initialement. Ce choix intervient après avoir constaté que le bordé s'en trouvait soit trop pincé, au niveau de M11, ou au contraire trop renflé, au niveau de M1, par rapport aux formes conservées aux alentours de ces couples. Dans les deux cas, on était en droit de douter du caractère réaliste et développable du bordé ainsi restitué. Nous avons donc fait le choix de lisser ces deux formes afin de nous rapprocher d'une solution qui soit toujours compatible avec les vestiges tout en se révélant moins torturée dans les formes obtenues **(Pl. XXXVII)**.

Le résultat final nous donne donc à voir un navire à la forme moins évasée dans les hauts et aux lignes d'eau moins tendues aux extrémités par rapport aux versions antérieures **(Fig. 164)**[521]. Concernant les dimensions générales, on obtient dès lors une longueur entre

[520] Comme l'étude comparative qui a été réalisé, par exemple, pour un cas proche *de Jules-Verne 7*, lors de la restitution du navire basé sur l'épave de *Ma'agan Mikhael* (Ben Zeev, Kahanov, Tresman, Artzy, 2009).
[521] Concernant le profil longitudinal : l'angle des élancements ne varient, entre les deux hypothèses de restitution, qu'à partir de la première préceinte. Le déplacement du sous-ensemble de bordé vers l'avant, a eu comme principale conséquence de

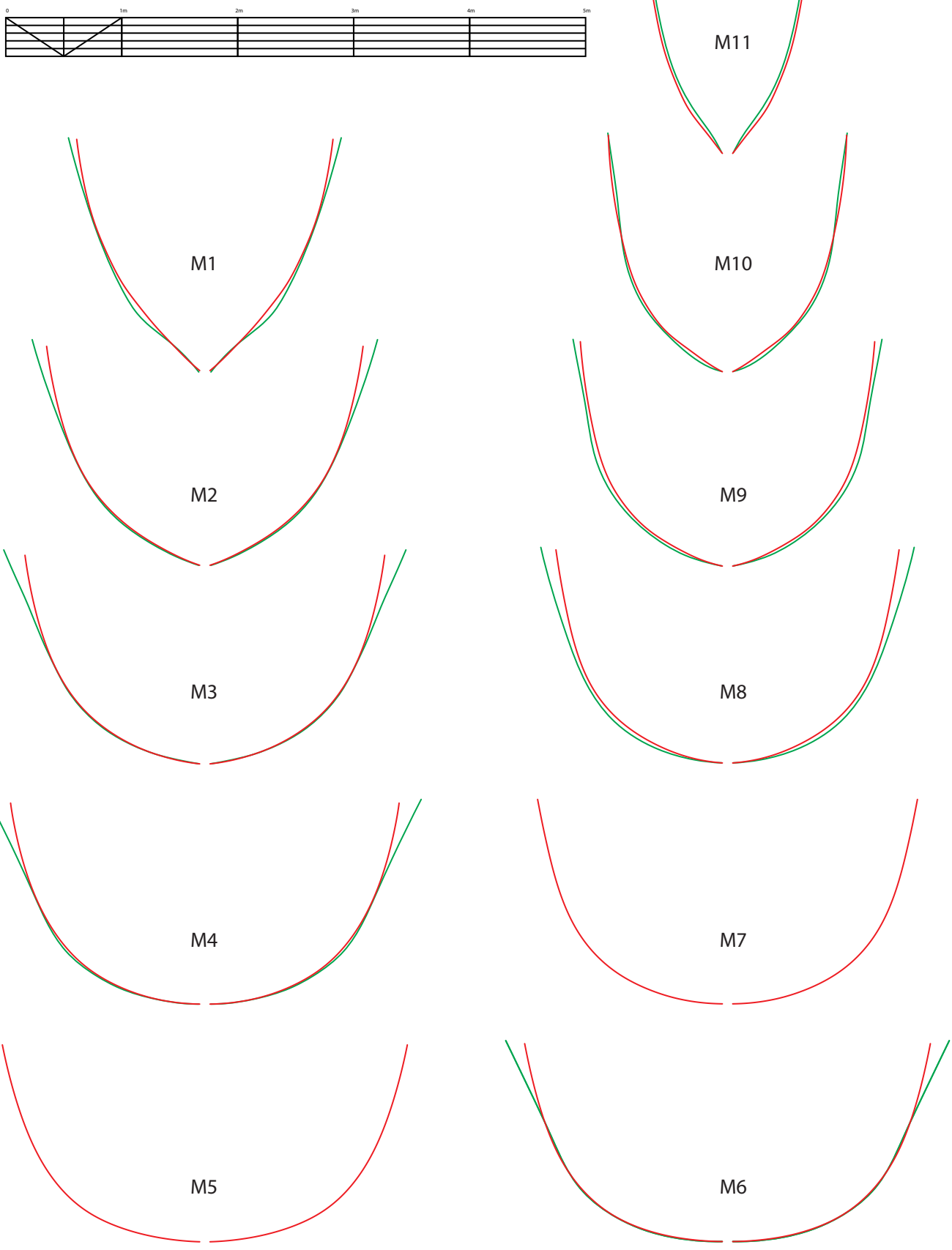


Fig. 164 : Comparaison des coupes hors-membres du nouveau plan de formes de restitution (en rouge) avec les coupes hors-bordé du premier plan de formes (en vert).

perpendiculaires de 14,30 m pour une longueur hors-tout de 14,97 m. La largeur hors-bordé mesurée au maître-couple, que l'on peut situer légèrement en avant du couple M6, s'établit à 3,59 m pour une hauteur, entre le bas de quille et le pavois, de 1,77 m en ce même endroit (la hauteur sous-barrot s'établissant quant à elle à 1,62 m). Pour rappel, les dimensions de la première hypothèse de restitution étaient les suivantes : une longueur de 15,65 m entre perpendiculaires, pour une largeur de 3,80 m et une hauteur sous-barrot de 1,70 m.

On note donc un renfermement de plus de 40 cm au niveau du maître-couple qui s'accompagne d'un raccourcissement de la carène dans sa longueur de plus de 1,30 m. Pris de manière plus globale, le plan de formes nous donne à observer un navire à la section très arrondie : la section hors-membrure du maître-couple s'inscrivant presque parfaitement dans un cercle de 1,75 m de rayon. On constate par ailleurs des lignes relativement symétriques entre les deux extrémités, malgré un déplacement léger des volumes vers l'avant de la carène.

6.2.3. Le modèle tridimensionnel de restitution :

A ce stade, il nous était possible de replacer dans leur forme originale l'ensemble des vestiges conservés de l'épave **(Pl. XLII)**. L'objectif du modèle tridimensionnel, au-delà de proposer et de vérifier une hypothèse de restitution complète comme cela pouvait être le cas par exemple pour les épaves de Naples, était avant tout de pouvoir produire un nouveau devis de poids ainsi que de projeter le plan de bordé développé afin de le comparer avec celui obtenu à partir du modèle tridimensionnel des vestiges.

Pour ce qui est de la restitution des éléments manquants de la charpente transversale, de la charpente interne, du système de gouverne et de la mature, nous nous en sommes tenus strictement aux hypothèses posées précédemment dans la première restitution, puisqu'*a priori*, les modifications opérées sur les formes n'engendraient aucune contradiction avec les choix effectués premièrement[522] **(Fig. 165)**. Notre rôle se limitait, en effet, à réadapter aux limites du nouveau plan de formes les dimensions et le positionnement des divers éléments restitués. Nous ne reviendrons donc pas en détail sur l'ensemble de ces choix de restitution dont on peut percevoir le résultat sur les différentes coupes concernant la structure de cette nouvelle hypothèse **(Pl. XXXVIII)**.

---

déplacer aussi vers l'avant l'extrémité arrière conservée de cette première préceinte qui contraignait à la restitution d'un étambot particulièrement élancé. Ce nouveau repositionnement permet de s'affranchir de cette restitution d'élancements très importants qui n'avaient aucune autre justification et qui engendrait l'aspect « babouche » du navire restitué. L'angle et la portée des élancements du nouveau plan de formes sont ainsi déduits de l'harmonisation des lignes d'eau des parties restituées à partir des lignes d'eau des parties conservées **(Pl. XXXVII)**.

[522] Pomey, 2003, p. 60 à 63

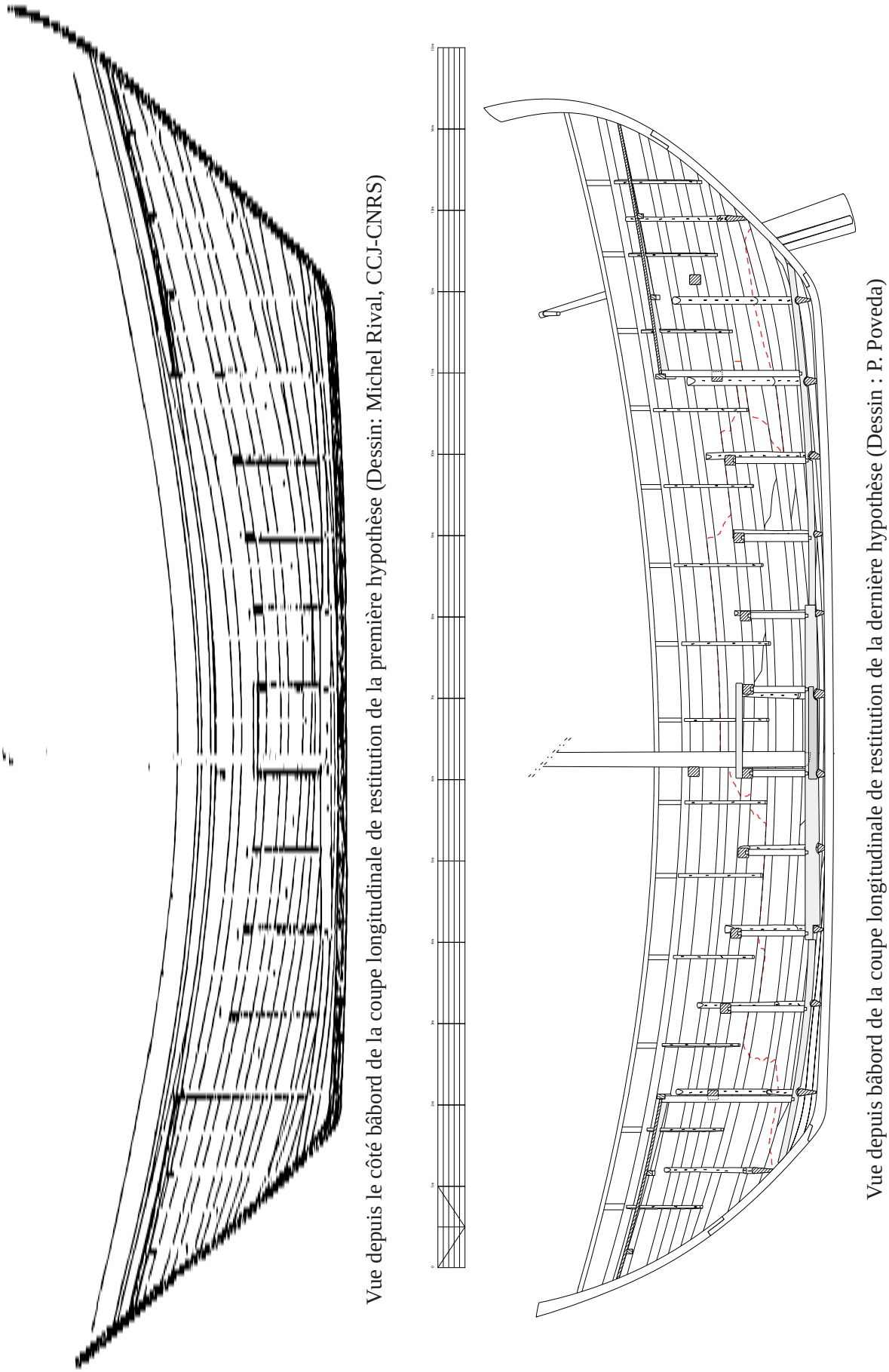
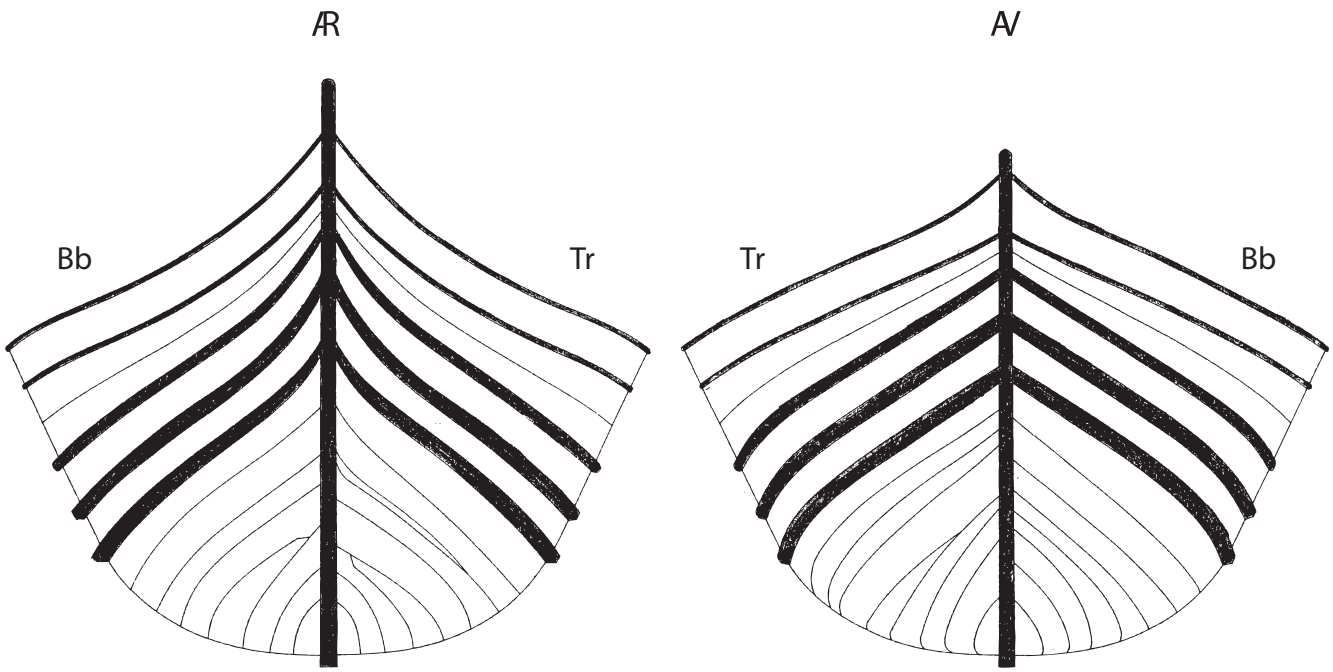


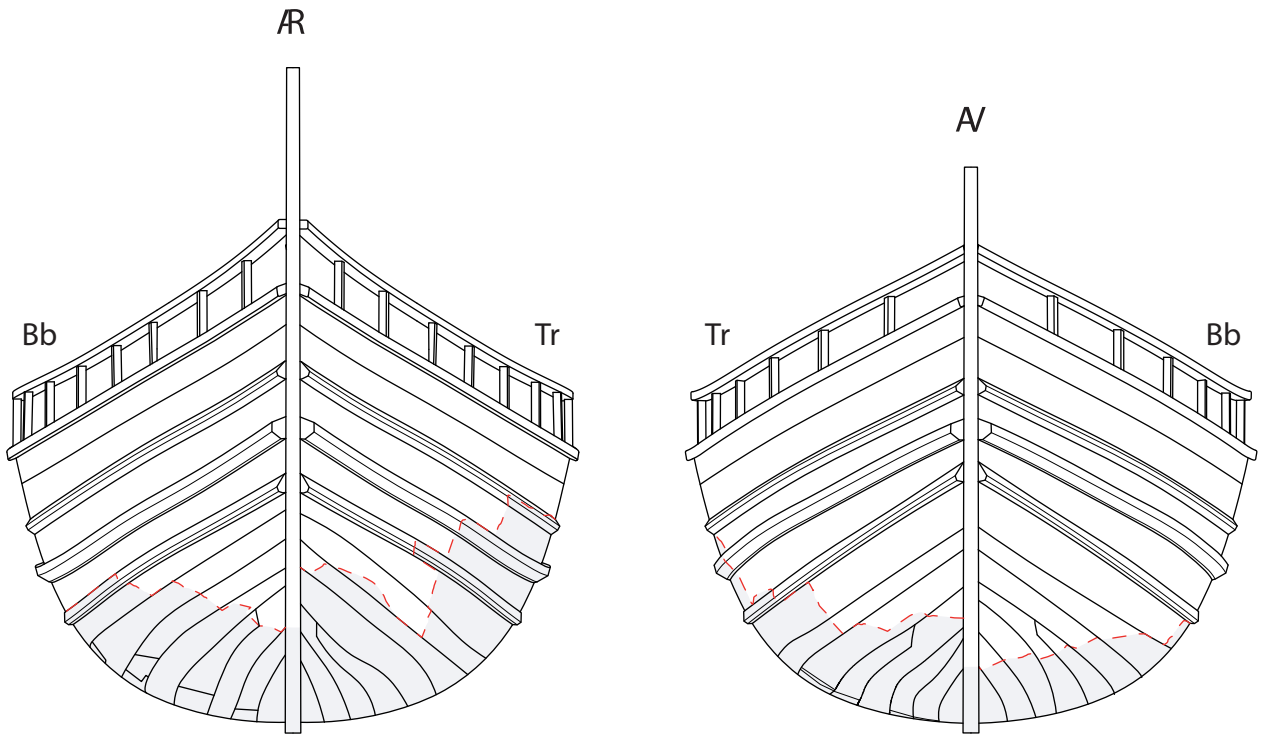
Fig. 165 : Comparaison des élévations longitudinales des deux hypothèses de restitution .

En revanche, la restitution du bordé nous a amenés à reprendre entièrement le plan tout d'abord établi. Pour ce faire, nous avons replacé dans les formes restituées l'ensemble des coupes transversales effectuées sur les vestiges, afin de positionner convenablement, au niveau de chaque couple, la largeur exacte des différentes virures du bordé. Une fois reliées entre elles, les coupes de chacune des virures donnent à voir un ensemble brut des coutures qui se révèle, en ce qui concerne le côté bâbord, assez peu torturé et ne nécessitant qu'un minimum de lissage **(Pl. XXXIX)**. Ce n'est toutefois pas le cas pour le côté tribord, puisque d'importantes différences de largeur d'une même virure génèrent dans l'ensemble des profils moins ajustés qui réclament un lissage plus important. Quoi qu'il en soit, il se révèle possible et raisonnable d'établir une élévation du bordé sur les deux bords qui soit non seulement cohérente avec les vestiges et avec la restitution, mais aussi suffisamment lissée afin de correspondre aux profils éventuels des virures d'origine. La comparaison des deux élévations obtenues par notre méthode, pour laquelle nous avons donc privilégié le minimum de lissage, avec celles dressées pour la première hypothèse de restitution par Michel Rival, donne à voir une importante différence dans la restitution des virures de bordé pour une même forme ainsi que pour un plan de restitution équivalent dans les parties basses **(Fig. 166)**.

D'autres remarques s'imposent quant à certaines différences au niveau des extrémités de virures s'achevant par des joints perdus ou en ligne brisée. Pour l'arrière, la seule variation est la disparition du bordage *V6bis* sur tribord, qui en réalité nous l'avons vu, est une partie de la virure six. Toujours sur tribord arrière, c'est bien la quatrième virure qui s'achève en joint perdu. L'espace jusqu'à l'étambot est alors complété par la troisième virure. Sur bâbord, ce type de joint n'est pas conservé. Nous avons donc fait le choix de restituer, par symétrie, un joint identique sur la quatrième virure bâbord. On note que contrairement à la première restitution, l'espace jusqu'à l'étambot est alors comblé par la troisième virure, et non la cinquième. Sur l'avant, la nouvelle restitution s'avère aussi bien différente de celle tout d'abord proposée. En effet, dans la première hypothèse, la cinquième virure sur tribord s'achevait en joint perdu. Or on note que l'on se situe à cet endroit dans une zone encore conservée de la carène et que l'on peut observer parfaitement sur la planimétrie des vestiges la présence d'un joint en ligne brisée sur la cinquième virure. L'espace jusqu'à l'étrave est alors complété par l'aboutissement de la quatrième virure, à l'image de ce que l'on a pu rencontrer vers l'arrière. Nous avons donc corrigé la restitution du bordé à cet endroit afin qu'il s'accorde avec la présence, sur les vestiges, du joint en ligne brisée. Toujours à l'avant, sur le côté bâbord cette fois-ci, aucune virure à joint perdu ou ligne brisée n'était restituée par M. Rival. Dans cette partie, les extrémités de virures n'ont pas été conservées, ce qui laisse



Profils de la première hypothèse de restitution (Dessin : M. Rival)



Profils de la nouvelle hypothèse de restitution (Dessin : P. Poveda)

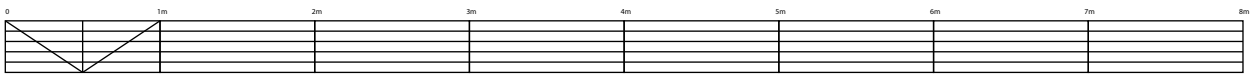


Fig. 166 : Comparaison des profils verticaux avant et arrière des deux hypothèses de restitution de *Jules-Verne 7*

ouvertes les différentes options de restitution. Nous avons estimé que la forme prolongée pour la quatrième virure pouvait amener à la restitution d'un joint en ligne brisée, ce qui par ailleurs correspondrait à la restitution d'un système comparable à ceux découverts sur l'arrière et sur le bordé tribord à l'avant. L'espace jusqu'à l'étrave est alors complété par l'aboutissement de la cinquième virure. On notera que ces choix restitutifs se basent sur la reproduction par symétrie, sur bâbord, du système observé à tribord. Si les vues en élévation permettent d'observer le résultat final de cette restitution du bordé **(Fig. 166)**, il nous semble cependant que le plan de bordé développé permet de plus facilement saisir la pertinence et la cohérence d'une restitution par symétrie **(Pl. XLI)**.

6.2.4. Le plan de bordé développé :

La réalisation du modèle tridimensionnel complet du bordé restitué permet de réaliser, toujours grâce à la même fonctionnalité de *Rhinocéros*©, un plan de bordé développé de cette version de restitution. Si on compare celui-ci avec le plan de bordé développé obtenu à partir du modèle des vestiges, on remarque une cohérence parfaite des virures du côté bâbord, qui paraissaient effectivement être les moins déformées initialement. Sur tribord, la restitution des troisième et quatrième virures laisse apparaître de légères différences dont il est malaisé de définir l'origine. On se retrouve en effet ici dans une partie de la coque qui a subi d'importantes déformations. Cependant, le degré de divergences entre les deux plans, ainsi que les localisations de celles-ci (concentrées notamment sur les extrémités), laissent ouverte la possibilité d'une approximation dans le travail de modélisation de l'un des deux modèles amenant à de telles différences **(Pl. XL et Pl. XLI)**. Nous ne sommes pas en mesure à ce jour de savoir si ces divergences sont de l'ordre de l'acceptable. Le recours à une maquette de vérification dans laquelle on porterait aussi particulièrement attention à l'ajustement des assemblages du bordé, nous paraît être une nécessité future afin de définitivement valider le plan de bordé et la restitution proposés ici. Enfin, notons que nous avons pu comparer ce nouveau plan de bordé développé avec celui produit pour la première hypothèse de restitution. Il n'est ainsi pas étonnant que le développé des virures 7 à 13 du flanc tribord se révèle entièrement différent de celui tiré du modèle des vestiges et du modèle de la nouvelle restitution, le déplacement du fragment de bordé amenant à reconsidérer de manière importante la courbure initiale de ces bordages. Cependant, on note que les troisième et quatrième virures, toujours sur tribord, correspondent mieux au plan extrait du modèle des

vestiges et que l'on n'observe pas les mêmes divergences que celle apparues dans le plan de bordé de la nouvelle restitution. En revanche, sur le flanc bâbord, on note quelques décalages au niveau des cinquième, sixième et septième virures.

6.3. Evaluation de l'hypothèse de restitution de l'épave *Jules-Verne 7* :

6.3.1. Devis de poids du navire en lège :

Sur les bases de notre modèle tridimensionnel de restitution, nous avons établi l'ensemble des cubages pour chacune des parties du navire ainsi que la répartition des différents centres de gravité. Le devis de poids final a été dressé à l'aide de l'identification des essences de bois, effectuée par F. Guibal (IMEP-CNRS), de toutes les pièces conservées de la charpente du navire. Comme pour les autres épaves abordées dans cette thèse, nous avons fait le choix d'attribuer à nos volumes une densité correspondant à celle des masses volumiques de ces bois, pour des taux de dessiccation de 15%, équivalents à un état « sec à l'air » du bois. Nous fournissons le détail de ce devis de poids en annexe, et un résumé dans le tableau suivant :

Tab. 41 : Résumé du devis de poids de la nouvelle restitution, en lège

Ensemble	**Volume** (m^3)	**X** (cm)	**Y** (cm)	**Z** (cm)	**Poids** (t.m)
Bordé	2,3	746,65	0	108,79	1,26
Membrure	0,36	714,05	0	98,58	0,19
Charp. axiale	0,2	688,84	0	102,9	0,23
Pont et charp. int.	2,34	709,69	0	113,7	1,47
Mâture	0,47	786,16	0	546,36	0,21
Total	**5,67**	727,28	0	130,93	**3,37**

Si nous pouvons évaluer le poids du navire en lège à environ 3,37 tonnes métriques, nous devons néanmoins relever que les différents éléments nécessaires à son armement (ancres, voiles, cordages, etc…) devaient augmenter de façon notable son déplacement à vide. On peut donc tabler de manière approchée sur un déplacement de 4 tonnes métriques au total en condition de lège. Nous avons cependant fait le choix de ne pas tenir compte de ces différentes masses dans nos estimations de stabilité, étant donné qu'il était particulièrement difficile d'évaluer leur positionnement et leur répartition. Quoi qu'il en soit, nous verrons par la suite que, dans cette configuration, le navire n'est de toute façon pas à même de se déplacer en toute sécurité et que l'adjonction d'un lest fixe, d'environ 2,25 tonnes métriques, est rendu

nécessaire par la faiblesse de la stabilité transversale du navire à vide. Le poids en lège du navire lesté s'approcherait dès lors des 5,6 t.m. C'est ce dernier chiffre que nous avons donc utilisé pour effectuer nos analyses hydrostatiques et de stabilité.

6.3.2. Espace disponible de chargement :

Quelle que soit l'hypothèse de restitution envisagée, il s'avère complexe de définir avec précision quel pouvait être l'espace de cale disponible du navire original. Dans le sens de la longueur, l'absence de tout vestige de vaigrage ne permet pas de définir précisément un espace exclusivement dédié à la cargaison[523]. En élévation, l'interrogation persiste puisque l'absence de pont nous permet d'envisager un empilement important pouvant éventuellement dépasser le niveau du livet. Par conséquent, nous avons fait le choix minimal de considérer un espace disponible pour le chargement circonscrit dans la longueur, aux deux zones pontées et en hauteur par le niveau général du livet. On obtient ainsi un volume de 29,53 m^3 qui se révèle particulièrement encombré par divers éléments. Epontilles, barrots transversaux, fourreau d'étambrai, carlingue et carlingots scindent en effet l'espace de la cale en de multiples endroits, ce qui peut paraître un désavantage du point de vue de l'optimisation de l'espace de chargement, mais qui peut aussi bien se concevoir comme une manière efficace de cloisonner les volumes et d'assurer un arrimage correct de la cargaison.

Avec un tel volume, le navire une fois complétement chargé d'une cargaison dotée d'un coefficient d'arrimage modéré (≈ 1,3 m^3/t) présente un port d'environ 22,15 t.m. Par ailleurs, dans l'optique de tenir compte d'un coefficient d'arrimage qui soit réaliste selon nos restitutions, nous avons voulu évaluer quelle pouvait être la capacité de notre navire en tenant compte d'un module amphorique contemporain et proche géographiquement de l'épave, considérant qu'il s'agit là d'un des types de cargaison parmi les plus fréquents pour un navire tel que *Jules-Verne 7* [524]. Pour ce faire, nous avons rempli notre volume de cale de deux types

[523] On peut même soulever l'hypothèse d'une absence de vaigrage si l'on tient compte de l'absence de toute trace d'un tel aménagement sur les diverses épaves de navires d'époque grecque archaïque (*Cala Sant Vincenç*, *Gela 1et 2, Bon Porté, Grand-Ribaud F, Jules-Verne 7 et 9*). Concernant l'épave *Grand-ribaud F*, les amphores de la première couche ont d'ailleurs clairement été identifiées comme ayant été insérées dans la maille de la membrure (Long, Gantès, Drap, Rival, 2001, p. 31-32).

[524] Si aucune cargaison n'a été retrouvée sur l'épave *Jules-Verne 7*, il n'en demeure pas moins que sa fonction devait très certainement l'amener à transporter régulièrement des amphores. L'épave *Grand-Ribaud F*, qui présente avec *Jules-Verne 7* de nombreuses similitudes architecturales (Long, Gantès, Drap, Rival, 2001, p. 38-41 ; Pomey, 2006, p.74-77), se trouve ainsi remplie d'une cargaison d'amphores étrusque du type Py 4 dont la datation peut être établie aux alentours du dernier quart du VIème s. av. J.-C. (Long, Gantès, Drap, 2000, p. 33-34). Si la présence de ce type d'amphores sur le territoire marseillais demeure limitée à l'époque archaïque, en comparaison avec différents sites languedociens (Sourisseau, 1997), nous estimons que celles-ci ont pu néanmoins venir occasionnellement venir remplir les cales de notre navire. De la même manière le transport d'amphores massaliètes, du type Bertucchi 1 et 2, est une hypothèse que l'on ne peut écarter compte-tenu de leur diffusion commerciale importante sur une large part du bassin méditerranéen occidental (Bats, 1990, p. 11).

d'amphores : d'une part avec des amphores massaliètes du type Bertucchi 1, dont la période de commercialisation peut être évaluée entre 550 av. et 475 av. J.-C. ; et d'autre part, avec des amphores étrusques du type Py 4, dont la période de commercialisation peut être évaluée entre 525 av. et 375 av. J.-C.[525]. Dans le cas des amphores massaliètes, le chargement s'élève au maximum à 15,85 tonnes métriques, réparti en trois couches pour un total de deux cents amphores, ce qui révèle un coefficient d'arrimage de 1,86 m^3/t. Dans le cas des amphores étrusques, le résultat est presque équivalent puisque le poids total de la cargaison est de 15 tonnes métriques, pour environ 230 amphores, réparties en trois couches. Le coefficient d'arrimage est alors un peu plus élevé : 1,96 m^3/t.

Dans l'analyse qui va suivre, de diverses conditions de chargement, nous ferons usage à chaque fois d'un coefficient d'arrimage de 1,86 m3/t afin de nous rapprocher au maximum des conditions propres à un chargement d'amphores massaliètes. De la même manière, la hauteur des centres de gravité de la cargaison qui seront pris en compte lors de l'analyse de la stabilité transversale correspondront à ceux d'un chargement d'amphores de ce même type.

6.3.3. Estimations du port en lourd :

Tout comme pour les épaves précédentes, la production d'un modèle tridimensionnel, qui précise et facilite la multiplication des calculs hydrostatiques, nous a permis de déterminer rapidement plusieurs conditions d'enfoncement, de chargement et d'assiette pour notre hypothèse. Cette analyse fine nous permet de dégager plusieurs conditions théoriques et potentielles de chargement.

6.3.3.1. Port en lourd théorique :

Nous avons appliqué ici la même méthode que précédemment en recherchant quels pouvaient être les chargements et les déplacements lourds coïncidant avec une limite de gîte donnée pour l'immersion du livet. Ainsi, le déplacement correspondant à une immersion du livet pour une gîte de 10°, que l'on a pris comme référence arbitraire pour les autres épaves étudiées dans cette thèse, est de 31 t.m, équivalent à un port en lourd de 25,4 t.m[526]. Ce calcul

[525] En ce qui concerne les modèles d'amphores utilisés pour la modélisation, nous nous sommes référés aux modèles repris dans Lattara n°6 : pour le modèle Bertucchi 1, A-MAS 1 (Lattara 6, 1993, p. 61 ; Bertucchi, 1990) ; pour le modèle étrusque Py 4, A-ETR 4 (Lattara 6, 1993, p. 29 ; Py, 1985 et Py, 1974).

[526] On tient compte ici de la présence d'un lest fixe d'une valeur de 2,25 t.m. Nous verrons que celui-ci semble indispensable tant pour une navigation lège que pour une navigation en charge.

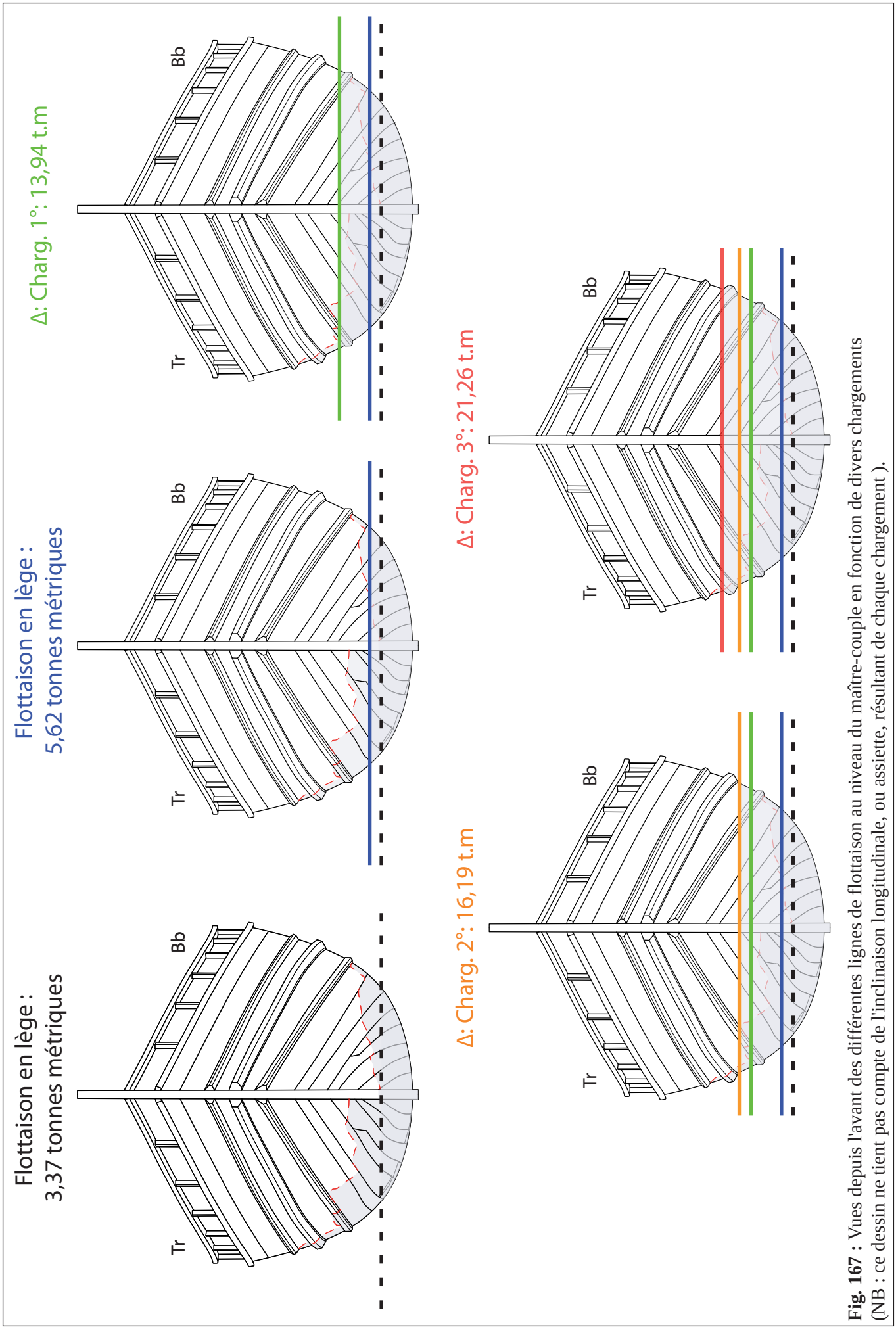


Fig. 167 : Vues depuis l'avant des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements (NB : ce dessin ne tient pas compte de l'inclinaison longitudinale, ou assiette, résultant de chaque chargement).

effectué pour l'immersion du livet à d'autres degrés de gîte donne les résultats suivant : le déplacement est de 36 t. m, pour un port en lourd de 30,4 t.m, pour une marge de 5° de gîte ; avec 15° de gîte, le déplacement chute à 26 t.m, pour un port en lourd de 20,4 t.m ; enfin avec 20° de gîte, le déplacement maximal autorisé n'est plus que de 21,5 t.m, ce qui correspond à un port en lourd de 16 t.m.

6.3.3.2. Ports en lourd potentiels :

Bien avant la production des analyses hydrostatiques, les formes restituées de la carène ainsi que la faible importance de la membrure au sein du devis de poids général du navire permettaient déjà *a priori* d'appréhender deux points particulièrement importants quant à la stabilité et aux capacités nautiques de notre embarcation : d'une part, les sections relativement arrondies de notre navire ne semblaient pas pouvoir lui prodiguer une stabilité de forme très importante[527] **(Fig. LXX-LXXI)**. A cela s'ajoutait que l'on pouvait aussi envisager une hauteur très importante pour le centre de gravité en lège du navire, ce qui ne lui confèrerait donc pas plus de stabilité transversale par la répartition de son poids[528]. Compte-tenu de ces premières indications, il nous est vite apparu comme nécessaire de vérifier par l'analyse la réelle nécessité de la présence d'un lest pour notre restitution, tant dans une situation de navigation en lège que chargé. Cinq configurations de navigation ont ainsi été testées **(Fig. 167 et Fig. 169)**.

- En lège sans lest : déplacement de 3,37 t.m (≈ 4 t.m une fois armé)

L'analyse de cette configuration ne laisse aucun doute possible sur le caractère tout à fait inadapté à la navigation d'une telle solution. Le navire se retrouve très peu enfoncé dans l'eau, le tirant d'eau n'est que de 39 cm, et un simple aperçu visuel permet de juger de l'instabilité de l'embarcation. Elle est confirmée par l'analyse : à la gîte, le centre de gravité, placé près de 1 m au-dessus du centre de carène, se déplace de telle manière que le bras de levier de redressement n'augmente que très faiblement initialement, pour atteindre un maximum de 0,3 m à 59° **(Fig. LXXII)**. Compte-tenu du faible poids de l'embarcation, le moment de redressement de l'embarcation est minimal et permet tout juste d'étaler, sous voile, un vent de huit nœuds seulement. Par ailleurs, malgré un important franc-bord initial

[527] Rappelons que la maîtresse section, aux alentours du couple M6, vient quasiment s'inscrire dans un cercle de 1,75 m de rayon.
[528] La hauteur du centre de gravité en lège a finalement été mesurée à 1,31 m au-dessus du point le plus bas de la quille.

de 1,39 m, les formes cylindriques de notre carène amène à une immersion du livet relativement rapide dès 45° de gîte[529]. Il nous paraît juste, au regard de ces résultats, de considérer cette configuration de déplacement comme totalement invraisemblable et donc de l'écarter des possibles conditions de navigation de notre restitution.

- En lège avec lest fixe : déplacement de 5,62 t.m **(Fig. 168)**

Dans cette configuration, le navire s'inscrit dans une flottaison qui semble plus adaptée à la navigation, le tirant d'eau étant alors de 52 cm. La présence d'un lest de 2,25 t.m placé dans les fonds, dans la maille des membrures, permet de rabaisser la hauteur du centre de gravité du navire de près de 44 cm. En conséquence, le bras de redressement augmente de manière importante (pour atteindre 0,64 m vers 58° de gîte) et le moment de redressement qui est alors généré permet au navire d'étaler convenablement un vent jusqu'à 14 nœuds **(Fig. LXXIII)**. Par ailleurs, la réduction sensible de la hauteur de franc-bord ne diminue pas outre mesure l'angle critique à la gîte, puisque l'angle d'envahissement n'est atteint que vers 42°. Sans nul doute, il s'agit là d'une configuration qui présente des limites d'utilisation, mais qui offre suffisamment de garanties du point de vue de la stabilité, pour poser l'éventualité de courtes navigations dans cette configuration. Dans cette perspective, on note que le rapport entre la voilure (59m²) et la surface mouillée (23,1 m²) s'établit à 2,55 ce qui donne une marge de manœuvre suffisante pour la réduction de la voilure en cas de coup de vent.

L'importance du lest est bien entendu primordiale dans l'état de stabilité du navire. La valeur que nous avons établie ici, 2,25 t.m, correspond selon nous à un optimum de lestage fixe : elle a été établie afin de permettre une navigation en lège pour des vents aux alentours de 15 nœuds tout en préservant, en condition de charge, une capacité de chargement toujours intéressante, et de ne pas réduire de manière drastique le port en lourd. L'augmentation de ce lest aurait certes pour conséquence d'améliorer la stabilité en lège, mais engendrerait un rapport entre chargement et lest moins optimal dans une situation en charge. A l'inverse, la diminution du lest fixe aurait pour conséquence de rendre critique toute navigation en lège. En conclusion, avec une quantité de lest moyenne de 2,25 t.m, le navire est juste à même de naviguer. Si sa fonction devait l'amener à naviguer souvent en lège, cela nécessiterait un lestage augmenté : il ne fait alors aucun doute que l'on aurait recours à un lest mobile de complément.

[529] Nous prenons ici l'angle d'immersion du livet comme angle d'envahissement effectif, en faisant alors abstraction des deux passavants placés latéralement de part et d'autre de la cale.

Après avoir comparé les situations en lège avec et sans lest, nous avons projeté d'analyser deux configurations de chargement présentant des port en lourd identiques mais avec des déplacements différents : la première configuration ne présentant que le poids du navire et celui de la cargaison, l'autre étant en revanche pourvue du lest fixe comme défini précédemment.

- Chargement 1° : sans lest fixe, déplacement de 13,94 t.m

Dans cette configuration le navire semble être quasiment rentré dans ses lignes et présente un tirant d'eau de 89 cm environ. Le port en lourd, 10,57 t.m, représente alors plus de 75% du déplacement total[530]. Compte-tenu d'un rehaussement du centre de gravité général, le bras de levier de redressement est donc un peu plus diminué que dans la configuration précédente. Il atteint son maximum de 0,32 m vers 51° **(Fig. LXXIV)**. Cependant l'augmentation du poids total du navire génère une augmentation sensible du moment de redressement. Toutefois, à cause de la réduction du franc-bord et de la valeur de l'angle critique d'envahissement à 30° de gîte, on ne remarque pas dans ces conditions une augmentation significative de la plage d'utilisation possible de notre navire puisque la limite de vent critique s'établit toujours aux alentours de 15 nœuds. Concernant le rapport entre la voilure et la surface mouillée, il s'établit désormais à 1,72 ce qui demeure encore satisfaisant si l'on considère une navigation dans les petits airs.

- Chargement 2° : avec lest fixe, déplacement de 16,2 t.m **(Fig. 168)**

Dans cette seconde configuration, le port en lourd est identique avec une cargaison pesée à 10,57 t.m. En revanche la prise en compte du lest fixe de 2,25 t.m, entraine une diminution du rapport entre le déplacement lourd et le port en lourd : il n'est plus que de 65% environ. On note par ailleurs une augmentation du tirant d'eau qui est désormais de 97 cm, la ligne de flottaison s'établissant au niveau inférieur de la deuxième préceinte. En ce qui concerne la stabilité, on observe une nette amélioration puisque le bras de levier de redressement augmente pour atteindre un maximum de 0,4 m à 53° **(Fig. LXXV)**. Cela, combiné à l'augmentation en poids du navire, génère une augmentation très importante du moment de redressement du navire. L'angle d'envahissement n'étant atteint que vers 26° de gîte, il semble que le navire dans ces conditions de chargement soit à même d'étaler un vent

[530] Ce port en lourd correspond à un chargement complet sur deux niveaux d'amphores massaliètes de type Bertucchi 1.

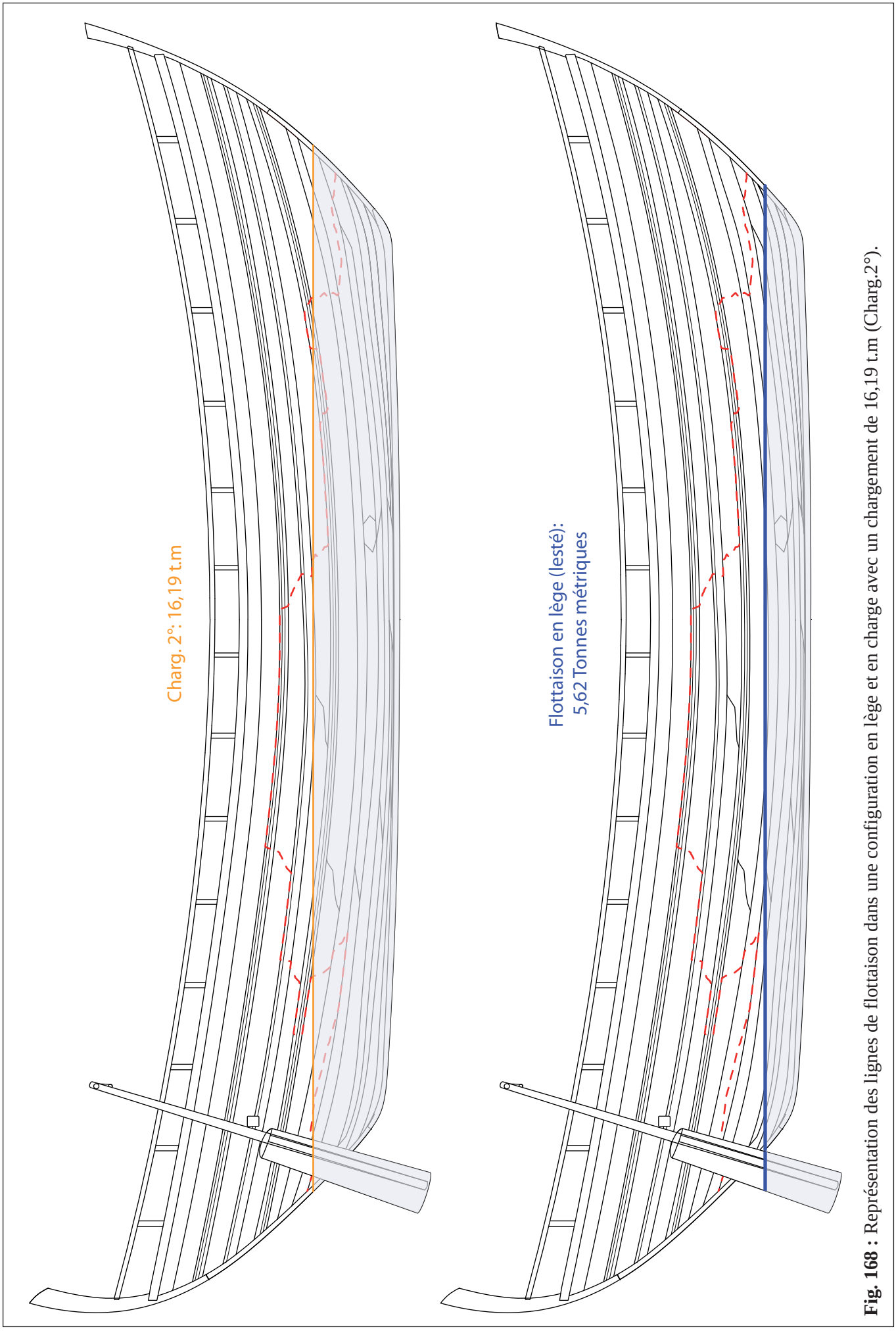


Fig. 168 : Représentation des lignes de flottaison dans une configuration en lège et en charge avec un chargement de 16,19 t.m (Charg.2°).

de l'ordre de 18 nœuds. Dans cette configuration, le navire nous semble atteindre le meilleur compromis entre chargement et capacités nautiques. L'hypothèse de restitution que nous avons formulée est alors à même d'entreprendre des traversées plus importantes puisque la marge de sécurité mesurée semble suffisante pour parer aux éventualités d'une navigation prolongée : le seuil de vent s'avère certes assez faible, mais il est compensé par l'important franc-bord et l'angle d'envahissement tardif. Cette constatation est toutefois à nuancer si l'on tient compte de la diminution du facteur de voilure (surface de voile/surface mouillée) qui se rapproche d'un seuil critique avec une valeur de 1,61.

- Chargement 3° : avec lest fixe, déplacement de 21,26 t.m

Dans cette configuration, le port en lourd augmente pour atteindre 15,64 t.m[531], soit près de 73,5% du déplacement total. La hauteur du centre de gravité augmente de telle manière que l'on observe une réduction de moitié de la valeur du bras de levier de redressement dont le maximum de 0,19 m est atteint à 40°. En considérant la diminution du franc-bord qui accompagne cette augmentation du déplacement, l'angle limite d'envahissement chute lui aussi pour n'atteindre que 20° de gîte **(Fig. LXXVI)**. En tenant compte de ces éléments, on se rend compte que l'augmentation du poids total du navire ne permet pas de générer un moment de redressement particulièrement important. Il permet tout juste au navire d'étaler un vent de 14 nœuds. De toute évidence, il s'agit là d'une condition de chargement dans lequel notre restitution se retrouve à nouveau limitée dans ses capacités nautiques. La diminution sensible de sa stabilité transversale ne semble pas être compensée par l'importance de l'angle d'envahissement. Par ailleurs, le facteur de voilure n'est désormais plus que de 1,37 ce qui nous amène à reconsidérer aussi les capacités nautiques de notre restitution dans le petit temps. On se retrouve certainement ici face aux limites de notre navire ainsi restitué et ainsi chargé.

[531] Ce port en lourd correspond à un chargement complet sur trois niveaux d'amphores massaliètes de type Bertucchi 1.

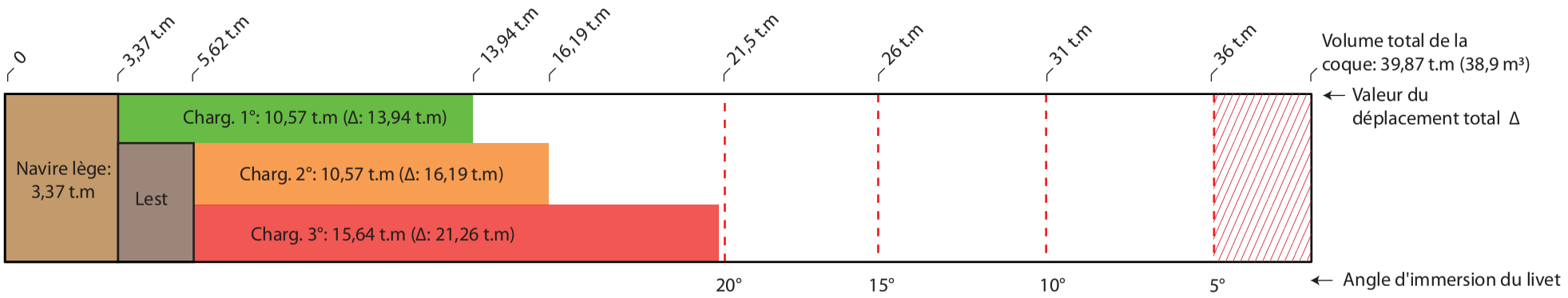


Fig. 169 bis : Diagramme représentant les différents déplacements ainsi que l'angle d'immersion du livet, en fonction de divers chargements.

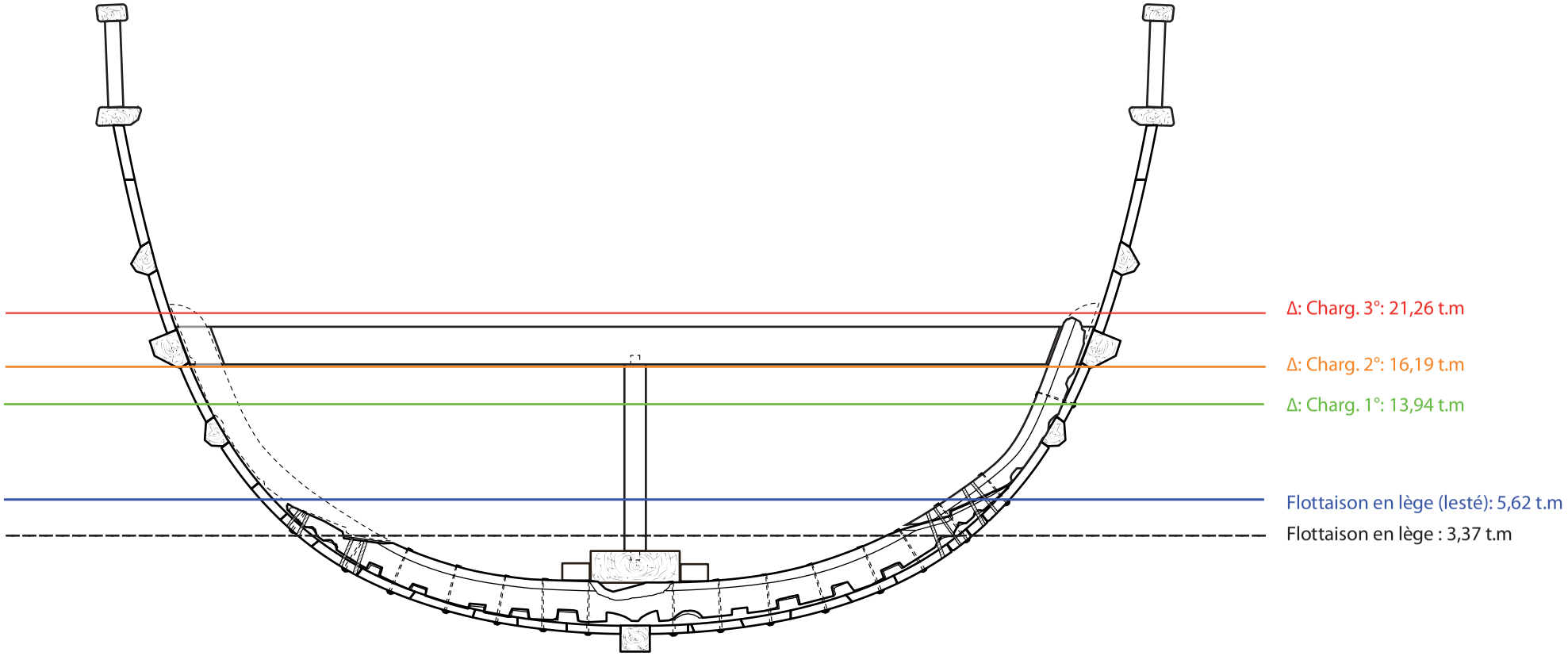


Fig. 169 : Représentation des différentes lignes de flottaison au niveau du maître-couple en fonction de divers chargements.

6.4. Interprétations et synthèse :

6.4.1. Une stabilité transversale limitée ?

On constate, après ces analyses, que la stabilité de notre hypothèse de restitution se révèle très faible, voire même critique si l'on considère un navire de charge destiné à réaliser des trajets sur de grandes distances et sur un temps long, comme cela avait pu être envisagé initialement. Avant d'engager une remise en question profonde de l'interprétation portant sur l'espace de navigation du navire *Jules-Verne 7*, il nous a paru nécessaire de porter notre interrogation sur les facteurs définissant la stabilité de notre restitution : formes de la carène, répartition des poids, taille de la voilure ; et de rappeler dans quelle mesure ceux-ci peuvent être reconsidérés.

En premier lieu, il ne fait aucun doute que la faible stabilité transversale de notre restitution provient essentiellement et avant tout d'une stabilité de formes qui est quasiment insignifiante. On observe ainsi que la section transversale au maître-couple s'inscrit pratiquement dans un cercle d'un rayon de 1,75 m. Cette donnée nous paraît acquise : la carène qui a été analysée et sa forme cylindrique découlent de la manière dont on a redressé les formes conservées de la charpente transversale. Elles ne nous semblent pas devoir être remises en cause, étant donné que le degré de liberté qui nous était laissé dans la remise en place des couples nous paraît extrêmement limité. De légères modifications sont néanmoins envisageables, mais elles n'auraient alors aucune influence majeure sur la stabilité de forme du navire[532].

La restitution de la voilure, qui a des conséquences importantes dans notre manière d'analyser la stabilité transversale, ne semble pas devoir non plus être remise en question. Les coefficients de voilure obtenus, en fonction des différentes surfaces mouillées mesurées, nous poussent à estimer que la restitution actuelle est un bon compromis. De plus, une diminution de 25% de la surface de voile (ce qui nous ferait passer d'une voile de 59 m² à 44 m²) n'aurait pour conséquence que d'augmenter de deux nœuds environ, la force de vent raisonnable pour naviguer et porter toute la toile. Si la restitution d'une voile plus petite nous paraît irréaliste, compte-tenu de l'importance des surfaces mouillées en charge, nous estimons cependant que

[532] Nous pensons même, au contraire, que les éventuelles modifications qui pourraient être apportées à l'actuelle hypothèse de restitution amèneraient à réduire encore un peu plus sa stabilité de forme. Il nous semble en effet que le haut de la muraille pourrait s'avérer plus rapidement vertical que dans la présente hypothèse et que la section de l'extrémité arrière (M1) pourrait être légèrement moins renflée. Deux détails qui auraient pour conséquences donc de réduire la stabilité transversale, notamment pour les plus grands angles de gîte en ce qui concerne la fermeture de la muraille.

les résultats améliorés avec une voilure réduite, peuvent éventuellement être considérés comme représentatifs d'une situation où la voilure aura été considérablement carguée, permettant la navigation dans du plus gros temps.

Le fait de présenter une stabilité de forme réduite, incite nécessairement à porter une attention particulière sur la manière dont on va positionner et répartir les poids au sein du navire. Tenter de donner au navire une stabilité de poids importante apparaît donc comme la solution la plus vraisemblable pour garantir la sécurité du navire à la mer. Dans le cadre de nos analyses, plusieurs facteurs reliés au devis des poids influent de façon importante sur le résultat final. Si l'estimation du poids du navire n'est pas à réévaluer, étant donné que son importance est minime lorsque le navire est chargé, il n'en va pas de même avec les restitutions de la cargaison et du lest. Nous avons délibérément fait le choix ici d'un type de chargement, les amphores, qui se présentent comme l'une des cargaisons éventuelles parmi les mieux connues, mais qui s'accompagnent aussi de nombreux désavantages du point de vue du transport maritime : coefficient d'arrimage relativement élevé qu'il faut combiner avec des centres de gravité eux aussi élevés. Il ne faut donc pas oublier qu'une analyse de stabilité, dans laquelle nous aurions projeté un navire chargé d'un pondéreux au coefficient d'arrimage plus faible, aurait eu pour résultat d'améliorer fortement la stabilité de notre navire. Dans le cas d'une cargaison, tel que le blé, au coefficient d'arrimage plus avantageux que celui des amphores, la stabilité s'en serait trouvée aussi améliorée[533]. Quoi qu'il en soit, il nous semble que le choix d'un coefficient d'arrimage plutôt contraignant permet de considérer la capacité « générale » du navire en écartant la possibilité, peu probable dans le cas de *Jules-Verne 7*, d'avoir un navire spécialisé dans le transport d'un seul type de cargaison dont les caractéristiques particulières d'arrimage vont commander un navire aux formes adaptées[534].

Concernant le lest, la valeur prise pour effectuer les analyses, de 2,25 tonnes, a été évaluée selon des critères de stabilité minimum en condition lège. On notera qu'un tel lest correspond cependant à des volumes relativement réduits par rapport au volume total disponible pour la cargaison de 29,53 m^3. Ainsi, si l'on tient compte des éventuels types de lestage, on trouve des volumes d'occupation par le lest de 1,67 m^3 pour du sable (si l'on tient compte d'un coefficient d'arrimage de 0,74 m^3/t) et de 1,33 m^3 pour des galets (pour un coefficient d'occupation de 0,59 m^3/t). Une augmentation importante de la quantité de lest fixe pourrait donc être la solution aux problèmes de stabilité. Cela en admettant que

[533] Voir à propos de l'analyse de la restitution de *Napoli A*, la note concernant l'analyse d'une cargaison d'amphores campaniennes du type Dressel 2-4 en comparaison avec un chargement dont le coefficient d'arrimage se rapproche de celui du blé.

[534] Par ailleurs, dans la façon dont nous analysons la stabilité transversale de ces navires de charge destinés à divers types de cargaison, il nous semble plus prudent de partir du postulat : « qui peut le plus, peut le moins ».

l'augmentation de la stabilité de poids soit suffisante pour rendre acceptable la diminution de la capacité de charge ainsi que celle du franc-bord, ce qui aura comme conséquence d'abaisser la valeur de l'angle d'envahissement et donc de la vitesse de vent pouvant être étalée par notre embarcation.

Nous avons, pour vérifier ce point, voulu analyser une nouvelle condition de chargement pour laquelle nous aurions quasiment doublé la quantité de lest fixe en amenant sa valeur à 4,25 t.m. La réduction du volume disponible de cale est alors d'environ 3 m^3, et le lest occupe un espace qui s'élève désormais légèrement au-dessus du niveau supérieur du massif d'emplanture. Il en résulte un rehaussement, en condition de charge, de l'ensemble de la cargaison et de son centre de gravité. L'analyse de stabilité tend alors à prouver qu'en navigation lège la stabilité de notre restitution avec ce deuxième lest est bien meilleure puisque le navire peut désormais étaler un vent de 18 nœuds, contre 14 nœuds précédemment, et que son angle d'envahissement n'a pas fortement diminué, passant de 42° à 39°. Cependant, en condition de charge, pour un port en lourd moyen de 10,5 t.m, on remarque que l'effet de ce nouveau lest n'est pas aussi bénéfique sur la stabilité. Certes, le moment de redressement est plus important, mais la diminution du franc-bord et de l'angle d'envahissement, qui passe de 26° à 24°, suffisent à limiter le navire. Ces capacités se rapprochant alors de la condition de chargement 2° analysée précédemment, pour laquelle nous avions la même quantité de cargaison mais un lest de seulement 2,25 t.m. Si le navire peut maintenant étaler un vent légèrement plus fort, de 19 nœuds, l'augmentation de la surface mouillée, qui passe à 39,1 m² pour un coefficient de voilure de 1,5, ne permet pas de privilégier cette restitution de lest par rapport à celle analysée précédemment.

6.4.2. Influence de la stabilité sur le programme et l'espace de navigation :

Les résultats que nous avons obtenus par la restitution de *Jules-Verne 7* ne sont pas sans rappeler ce que nous avons pu constater avec l'épave *Napoli A*. Ces deux restitutions, malgré des formes bien différentes, présentent le point commun d'avoir une section maîtresse très arrondie et un volume de coque globalement assez cylindrique. Ces deux points de morphologie ne permettent pas à ces deux navires de présenter des stabilités très importantes pouvant éventuellement leur garantir de bonnes qualités nautiques. Si les formes de *Napoli A* peuvent se justifier au regard de la fonction qui devait être celle du navire originel au sein du

Fiche technique : *Jules-Verne 7*

Dimensions générales :

- Longueur hors-tout..... **14,97 m**
- Longueur entre perpendiculaires ..... **14,30 m**
- Largeur interne au maître-couple..... **3,51 m**
- Largeur maximum au maître-couple..... **3,59 m**
- Creux au maître-couple..... **1,62 m**
- Hauteur bas de quille - pavois ..... **1,77 m**
- Poids du navire en lège..... **3,37 t.m**

Rapports de proportion remarquables :

- Longueur PP / largeur int..... **4,07**
- Largeur int. / Creux..... **2,17**
- Longueur HT / Creux..... **9,24**
- Largeur max. / Hauteur BQP..... **2,02**
- Longueur HT /Hauteur BQP..... **8,46**

Données sur le déplacement :

- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 20°..... **21,5 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 15°..... **26 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 10°..... **31 t.m**
- Déplacement pour une marge d'immersion du livet de 5°..... **36 t.m**

Dimensions remarquables dans le cas d'un déplacement de 31 t.m :
(correspondant à la configuration pour laquelle le livet est immergé à 10° de gîte)

Longueur à la flottaison..... **13,00 m**
Largeur à la flottaison au maître-couple..... **3,44 m**
Tirant d'eau maximum..... **1,48 m**
Port-en-lourd..... **~ 27 t.m**
Surface mouillée..... **53,68 m²**
Cb..... **0,455**
Cp..... **0,602**

complexe portuaire de la baie de Naples (et certainement aussi de certaines spécificités de la mer Tyrrhénienne), il paraît plus difficile d'appréhender la fonction et l'espace de navigation de *Jules-Verne 7* à travers ses formes.

Si l'on s'en tient à sa stabilité transversale, *Jules-Verne 7* présente assez de garanties pour naviguer dans un environnement favorable mais semble assez vite limité dès que les conditions dépassent la vingtaine de nœuds (équivalent force 5 Beaufort). Certes il s'agit là d'un niveau de vent déjà élevé et qui n'est pas négligeable. Cependant dans l'espace de navigation à proximité immédiate du lieu de découverte de l'épave, soit depuis l'extrémité occidentale du golfe du Lion jusqu'au golfe Ligure, ce type de conditions est pour le moins fréquent puisque les statistiques récentes de vent attribuent, pour la période d'été, des pourcentages entre 40% à 50% de journées pendant lesquelles le vent soufflera au-delà de 4 Beaufort[535]. Doit-on, dès lors, en conclure que la fonction de *Jules-Verne 7* devait l'amener à demeurer dans des schémas de navigation courts dans le temps afin de prévenir des coups de vents devant lesquels il se serait trouvé en difficulté ? Il est difficile d'en juger. Cependant, on notera que sa taille plutôt réduite nous amènerait, *a priori*, à considérer favorablement un commerce de cabotage associé à une navigation côtière, aux trajets courts et parsemée d'escales.

Cependant, cette assertion nous semble devoir être nuancée, voir totalement invalidée, par l'étude des évolutions morphologiques des carènes et de l'évolution simultanée des techniques d'assemblages, qui se repose sur un corpus d'épaves proches de *Jules-Verne 7*, relevant d'une même famille architecturale, datées des périodes archaïque et classique : *Giglio*, *Pabuç Burnu*, *Bon Porté 1*, *Cala Sant Vicenç*, *Jules-Verne 9*, *César 1*, *Grand Ribaud F*, *Gela 1* et *Gela 2*, *Ma'agan Mikhael*.

L'ensemble des données, rassemblées sur ces différentes épaves, a ainsi permis à P. Pomey de mettre en évidence différentes phases d'évolution de celles-ci, ce qui permet de bien mettre en lumière, au sein de ce groupe, l'évolution parallèle des techniques d'assemblage, des formes de structures et des formes de carènes[536] :

- On remarque ainsi que les épaves des navires les plus anciennes (*Giglio*, vers 580 av. J.-C. ; *Bon Porté 1*, entre 540 et 510 av. J.-C. ; *Cala Sant Vicenç*, dernier tiers du VIème s. av. J.-C. ; *Jules-Verne 9*, entre 525 et 510 av. J.-C. ; *Pabuç Burnu*, fin du VIème av. J.-C.) se révèlent entièrement assemblées au moyen de ligatures végétales, selon un système

[535] Statistiques de vent pour la zone de Marseille : http://fr.windfinder.com/windstats/windstatistic_marseille.htm# (consultée le 03/11/2011).
[536] Pomey, 1997, p. 195-203 ; Kahanov, Pomey, 2004, p. 6-28 ; Marlier, 2005, p. 631-638 ; Pomey, 2010, p. 15-26.

d'assemblage par ligatures longitudinales pour le montage de leur bordé et selon un système d'assemblage par ligatures externes pour la fixation de leur membrure au bordé. Du point de vue de la structure de la charpente axiale, on observe alors une petite quille, de section quadrangulaire avec des faces latérales planes. Cela est à associer, sur le plan transversal, à un assemblage horizontal du galbord contre les joues de la quille. Morphologiquement, ce groupe se distingue ainsi par des sections de carène très arrondies.

- Un second groupe, constitué de trois épaves seulement (*César 1*, entre 525 et 510 av. J.-C. ; *Gela 1*, vers 480 av. J.-C. ; groupe auquel est associée l'épave : *Jules-Verne 7*, datée entre 525 et 510 av. J.-C.), se caractérise par un système d'assemblage bien différent : on observe alors une combinaison pour le montage de leur bordé, en différents endroits selon les bateaux, d'un réseau d'assemblage par tenons et mortaises et d'un système d'assemblage par ligatures longitudinales. On observe donc une mutation, du point de vue des techniques d'assemblage, qui ne s'accompagne pour autant pas d'une modification de la manière dont le galbord est rapporté à la charpente axiale : on note une absence de retour de galbord qui s'associe avec des sections très arrondies qui se rapprochent de ce que l'on a pu distinguer dans le premier groupe.

- Enfin, les épaves plus récentes (*Gela 2*, entre 450 et 425 av. J.-C. ; *Ma'agan Mikhael,* vers 400 av. J.-C.) présentent un système d'assemblage mixte semblable à celui du second groupe[537]. Cependant, du point de vue de la morphologie des carènes, on note que ces deux navires présentent des fonds bien plus pincés avec un important retour de galbord. En conséquence les sections transversales s'avèrent bien moins arrondies que précédemment.

On note que la forme des sections de la carène est totalement indépendante de la taille éventuelle du navire d'origine (l'épave de *Cala Sant Vincenc*, dont les sections sont arrondies, peut être rattachée à celle d'un grand navire de plus de 20 m[538], tandis que le navire de *Ma'Agan Mikhael,* qui présente un retour de galbord marqué et des sections plus élargies, est quant à lui une unité semblable par la taille à *Jules-Verne 7*, longue de 14,40 m[539]) et qu'elle doit plutôt être mise en relation avec l'évolution des systèmes et des techniques

[537] Le manque de données connues sur l'épave *Grand Ribaud F* (entre 515 et 470 av. J.-C.) ne nous permet pas de classer celle-ci avec certitude au sein de l'un de ces trois groupes. Cependant le fragment de varangue qui a été prélevé et étudié par M. Rival semble devoir désigner un navire dont la section serait pourvue d'un retour de galbord. Pour autant, ce fragment ayant été découvert à l'une des extrémités du gisement, il pourrait s'agir non pas d'un retour de galbord mais du pincement normal des formes. Il pourrait donc s'agir d'une unité à rapprocher soit du deuxième soit du troisième groupe.
[538] Voir l'analyse sur les dimensions et la restitution du tonnage proposé par P. Pomey dans la monographie du CASC consacré à cette épave (Nieto, Santos, 2009, p. 60-64).
[539] Ben Zeev, Kahanov, Tresman, Artzy, 2009, p. 50, fig. 53.

d'assemblage[540]. Contrairement donc à notre première assertion, les dimensions, la morphologie ainsi que les proportions de notre nouvelle restitution de l'épave *Jules-Verne 7* ne nous conduisent donc pas à l'identifier automatiquement comme celle d'un petit caboteur destiné à des courtes traversées. La faible stabilité transversale de notre restitution, qui doit être reliée intrinsèquement à la manière dont le navire est conçu, avec des sections très arrondies, paraît donc en partie indépendante du programme de navigation et de sa fonction.

Pour Patrice Pomey, ce changement des techniques d'assemblage permet un renforcement du bordé permettant, d'une part, d'accroître de manière conséquente les dimensions des navires et leur tonnage mais aussi d'élargir les possibilités quant à la forme des carènes avec la possibilité d'adopter une carène à la section transversale plus trapue, avec des fonds pincés à retour de galbord[541]. S'il nous est impossible d'établir un lien direct entre ces modifications et la recherche spécifique d'une meilleure stabilité transversale, on pourra néanmoins remarquer que la transformation qui s'opère au niveau des assemblages génère de manière simultanée l'apparition de formes de carènes légèrement plus larges, ce qui contribue à la formation de carènes plus stables et proportionnellement plus équilibrées[542]. Par ailleurs on notera que cette nouvelle disposition des carènes amène aussi au développement important des plans antidérive, par la présence du retour de galbord associé à une quille proéminente, ce qui aurait eu pour influence d'améliorer les performances dans les allures de travers et de prés, pour lesquelles la stabilité transversale du navire est la plus sollicitée.

6.4.3. Conclusion et remarques sur les qualités nautiques du navire :

Au-delà de la stabilité, la géométrie de la carène ainsi que la répartition des centres caractéristiques de notre navire nous permettent d'avancer quelques présupposés sur la marche du navire.

Concernant la marche aux allures portantes, le décalage vers l'avant du centre de voilure et son écart avec le centre de dérive amène en théorie de bonne performances. Par ailleurs, le fait que la carène se révèle fine doit permettre d'atteindre, toujours au portant, des

[540] Pomey, 1997, p. 195-203 ; Kahanov, Pomey, 2004, p. 6-28 ; Pomey, 2009, p. 357-361 ; Pomey, 2010, p. 15-26 ; Pomey, 2011, p. 39-55.
[541] *Ibid.*
[542] Il nous semble plus prudent cependant de considérer que le passage des assemblages par ligatures à l'assemblage par tenons et mortaises a eu pour principale conséquence morphologique le développement de carènes présentant un retour de galbord (Pomey, 2009, p. 361 ; Pomey, 2011, p. 39-55). L'élargissement des sections transversales pouvant alors être considéré soit comme une simple conséquence heureuse de cette première modification, soit comme le résultat d'une recherche simultanée.

vitesses appréciables. Cependant, le décalage léger du centre de carène ainsi que du maître-bau sur l'avant vient nuancer cette affirmation.

Concernant les allures de près, tout indique que les performances de notre navire dans ces allures devaient être tout au plus médiocres : le placement en avant du centre de voilure par rapport au centre de carène devait amener le navire à se révéler un peu mou, pour autant qu'il ait été amené à marcher sous cette allure, tandis que le plan de dérive, réduit à son maximum, devait entrainer une forte tendance à la dérive sous le vent aux allures de travers.



Conclusion

Au terme de cette étude, sans revenir en détail sur chacun des cas développés dans notre corpus qui ont déjà fait l'objet de conclusions particulières, nous ne pouvons que dresser un constat ambivalent.

Certes, les problématiques de départ ont bien fait l'objet d'une attention particulière et nombre de résultats nous paraissent répondre positivement aux objectifs initiaux, cependant, de nombreux points révèlent que nos méthodes de restitution aussi bien que nos méthodes d'analyse ne représentent qu'un « état de l'art » momentané dont on ne peut se satisfaire pleinement. Plus que la production d'une méthode globale et aboutie de restitution et d'analyse, ce qui n'était pas notre intention première, il nous semble que notre étude a plutôt permis d'ouvrir des perspectives de recherche sur lesquelles il conviendra de revenir en y apportant les modifications et les améliorations nécessaires. Un premier bilan détaillé, permet de se figurer de quelle manière nous pourrions procéder à de telles révisions.

Avant toute chose, nous souhaitons rappeler quelles étaient les deux problématiques initiales de notre travail :

- Il s'agissait tout d'abord d'évaluer comment la généralisation d'un nouvel outil, les logiciels de C.A.O, associée à la multiplication des relevés informatisés pouvait amener à repenser techniquement le processus de restitution tel qu'il était pratiqué jusqu'à très récemment. Notre volonté était alors de définir dans quelle mesure cet outil pouvait engendrer une amélioration des techniques de restitution.

- Dans un deuxième temps, nous avons aussi cherché à percevoir dans quelle mesure les restitutions ainsi produites, ainsi que l'usage de l'informatique, pouvaient nous permettre de produire de l'information supplémentaire sur les qualités nautiques et la capacité commerciale des navires étudiés. Nous espérions alors pouvoir définir des méthodes d'analyse ciblées, qui puissent nous renseigner dans les grandes lignes à la fois sur l'intégration du navire dans un contexte commercial plus large et aussi sur la capacité de celui-ci à fréquenter un espace de navigation donné dans les conditions imposées par son programme d'utilisation.

Concernant le premier aspect, il apparaît que l'outil informatique présente de très nombreux avantages dans le cadre de la restitution d'une épave : intégration plus importante des données originales, gain de précision, multiplication des hypothèses, modifications facilitées, visualisation rapide des différents niveaux de restitution, création d'un support de

diffusion et de divulgation pratique, *etc*… Autant d'éléments positifs qui en font désormais un outil extrêmement utile dont il paraît difficile de faire l'économie en archéologie navale. A cela, s'ajoute le fait que l'on a pu constater l'adaptation de cette technologie à divers objets d'étude de nature assez variées. Notre corpus d'épave, se révélant relativement vaste du point de vue de la chronologie et de la morphologie, nous permet d'être affirmatifs sur ce point.

Toutefois, si le recours à l'informatique se révèle de plus en plus essentiel, il n'en demeure pas moins que cette technologie ne se révèle pas forcément être un outil exhaustif pour la restitution en archéologie navale[543]. Les limites techniques de cet outil[544], nous ont, en effet, convaincus de l'importance de considérer celui-ci comme un simple complément, tout à fait nécessaire, des techniques déjà utilisées. Un exemple nous paraît tout à fait emblématique de cette évidente complémentarité : lors des phases de vérification des plans de formes de restitution, phase parmi les plus importantes dans le processus de validation de l'hypothèse de restitution, nous avons pu percevoir des différences entre les plans de bordé développé issus pour l'un de la maquette de vérification et pour l'autre du modèle virtuel de restitution. Si nous sommes aujourd'hui dans l'impossibilité de percevoir l'origine de ces divergences, on peut cependant souligner le fait que des pistes d'amélioration apparaissent déjà nettement. Un aller-retour plus systématique entre la maquette de vérification et le modèle virtuel permettrait, dans les premiers stades de la restitution, de prendre en compte un bien plus grand nombre de données de replacement ce qui aurait comme conséquence de fournir une base plus solidement étayée au redressement et à la restitution. De manière pratique, il pourrait s'agir d'extraire du modèle virtuel des vestiges un plan développé des virures conservées, sur lequel apparaitraient les marques du système d'assemblage, qui serait par la suite imprimé, dans l'optique d'intégrer un maximum de données à la maquette de vérification des formes.

Cas symptomatique de la complémentarité de ces techniques puisqu'alors, l'outil informatique et le modèle virtuel auraient pour vocation d'enrichir la maquette physique. Inversement, on peut aussi envisager les maquettes comme des références privilégiées lorsqu'il s'agit de vérifier, de manière pratique, la faisabilité d'un choix restitutif issu de la reconstitution virtuelle. Le lissage, le façonnage, la mise en place ainsi que le cintrage d'un bordage en bois demeure ainsi une tâche nettement moins complexe à réaliser à travers un logiciel de C.A.O. que sur une maquette de bois. Les propriétés de ce matériau, ses modes de

[543] On se doit aussi de souligner le fait que la modélisation informatique demeure une technologie assez peu accessible pour les nouveaux utilisateurs. Si l'apprentissage peut-être rapide lors de formations appropriées, il n'en demeure pas moins que son maniement exige des connaissances pratiques de l'outil qui peuvent paraître obscurs à première vue. Il apparaît impossible que cette aptitude soit développée par chaque archéologue naval, nous estimons cependant que celle-ci doit pouvoir se retrouver au sein d'une équipe interdisciplinaire amenée à travailler sur des vestiges de navires.
[544] Voir le chapitre sur les facteurs négatifs et d'imprécision des modèles virtuels.

débitage, l'usage de certains types d'outils, soit toutes les contraintes qui se rapportent au savoir-faire du charpentier de marine, sont trop effacées de la reconstruction virtuelle et l'on ne saurait s'en satisfaire. Cultiver la complémentarité de ces outils en repensant la chronologie du processus de restitution, depuis la documentation sur le terrain jusqu'à la publication et la diffusion, nous paraît ainsi être l'objectif principal à atteindre dans l'avenir si l'on vise une amélioration des hypothèses de restitution.

A propos des résultats obtenus par les analyses hydrostatiques et de stabilité de nos restitutions, cœur de notre seconde problématique principale, il nous semble que le bilan est là encore à mitiger.

Nous avions comme intention de nous intéresser à des données fondamentales, à même d'intéresser directement toute recherche en histoire maritime et économique, dont la production puisse se révéler facilement mesurable sur la restitution et qui soit surtout intelligible et critiquable pour les non-spécialistes en architecture navale. Il était donc exclu de produire une suite d'équations et de feuilles de calcul qui n'auraient eu pour conséquence que de condamner notre travail à l'exclusion et au renoncement de la part des chercheurs non spécialistes face à trop de complexité. Parallèlement à cela, certaines caractéristiques de la restitution, facilement mesurables avec l'appui de l'informatique, pouvaient nous amener à produire directement des données utiles et utilisables par la communauté scientifique. Ainsi, rétrospectivement, il nous semble que l'analyse systématique de plusieurs configurations de chargement et de déplacement a permis de dépasser et d'enrichir la seule définition théorique du port en lourd en évoquant les chargements possibles du navire restitué. Déjà, à ce stade, on peut percevoir les implications que peut avoir l'évaluation des ordres de grandeur du tonnage potentiel d'un navire sur l'analyse des flux commerciaux. De la même manière, la mise en parallèle de la capacité de charge, des coefficients d'arrimage des cargaisons avec la stabilité transversale des navires nous semble s'inscrire parfaitement dans la continuité d'études archéologiques récentes qui tendent à développer ces problématiques[545].

En revanche, la définition dans les grandes lignes des espaces de navigation potentiels et des programmes d'utilisation s'est révélée une tâche plus complexe qu'il conviendra de réévaluer à l'aune de nouvelles données, qui pourront être tirées de simulations numériques plus poussées ou de programmes expérimentaux, que nous n'avons pu réaliser lors de cette thèse. La méthode que nous nous sommes proposés de mettre en œuvre permet, certes, de cerner objectivement certaines caractéristiques nautiques des carènes restituées, cependant il

[545] Pomey, 2009, p. 60-64 ; Pomey, 2011, p. 39-55 ; Arnaud, 2011, p. 147-160.

ne s'agit que d'une estimation globale qui ne permet certainement pas de saisir dans le détail et avec certitude l'usage des navires originels. Il s'agit là encore d'un domaine où les résultats issus de la simulation et de l'évaluation demeurent dans le domaine du « très hypothétique ». Le degré de précision atteint par nos restitutions ainsi que par nos analyses est très certainement la cause principale de ces incertitudes. Nous touchons là aux limites de notre méthode qui ne peut être simultanément simple et complète. Le recours, nous l'avons évoqué, à des simulations plus complexes, numériques ou en bassin de carène, pourrait permettre d'affiner nos perceptions et par là d'évaluer la valeur des estimations que nous avons fournies ici, sur des bases beaucoup plus modestes.

Le second risque évident à ce stade est aussi de considérer les résultats ainsi obtenus par le prisme de notre vision moderniste et déterministe. Nous avons d'ailleurs, avec *Jules-verne 7,* le parfait exemple d'un navire dont les formes restituées ne permettent pas d'envisager convenablement, à partir des analyses hydrostatiques et de stabilité, son véritable espace de navigation. Sans les connaissances archéologiques rassemblées sur différentes épaves relevant d'une même tradition architecturale, il ne nous aurait pas été possible de concevoir que la section très ronde de ce navire n'empêchait pas pour autant les navires issus de cette tradition, et présentant de telles carènes, d'effectuer des trajets importants malgré leur déficit de stabilité.

On perçoit à quel point les analyses hydrostatiques et de stabilité ne se substituent donc en rien au travail d'analyse archéologique et avec quelle précaution il faut juger de la valeur des résultats obtenus. Comme l'a souligné à maintes reprises Ole Crumlin-Pedersen, ce type d'analyse présente une légitimité indéniable dans le contexte particulier de l'analyse ponctuelle d'une propriété physique donnée. Il serait en revanche réducteur et trompeur de se limiter à ces seules données dans le contexte plus large de la restitution et de l'étude d'un navire[546]. L'analyse de *Jules-Verne 7* en est encore une fois la démonstration la plus éclatante.

Enfin, pour clore cette thèse, il nous paraît approprié d'évoquer l'étape qui poursuit et développe naturellement le travail effectué lors de la restitution : l'expérimentation.

A travers notre étude, nous avons avancé des éléments de réflexion sur les qualités nautiques de navires restitués. On pourrait penser que la restitution empiète dès lors sur l'expérimentation. Nous ne concevons cependant pas notre travail comme le substitut d'un programme d'archéologie expérimentale, dont les apports sont autrement plus importants qualitativement et quantitativement que nos études préliminaires. On peut cependant les

[546] Crumlin-Pedersen, 1995, p. 304.

considérer comme des points de repères préliminaires pour la production et l'évaluation des hypothèses avant la mise en route du programme expérimental à proprement dit. Dans ce dernier cas, il s'agit donc encore une fois de bien juger de la complémentarité de l'outil et des techniques que nous avons employés avec ceux utilisés jusqu'alors en archéologie navale.

Bibliographie

Abréviations :

AJA: American Journal of Archaeology
BiAMA : Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine
BAR : British Archaeological Reports
CAG: Carte Archéologique de la Gaule
CAS : Cahiers d'Archéologie Subaquatique
CBA : Council for British Archaeology
CRAI : Comptes Rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres
DAF : Documents d'Archéologie Française
IJNA : International Journal Nautical Archaeology
JAS: Journal of Archaeological Science
MEFR : Mélanges de l'École Française de Rome
MM : Mariner's Mirror
NG : National Geographic
TROPIS : International Symposium on Ship Construction in Antiquity

Bibliographie générale :

AAMM (Association des Amis du Musée de la Marine)
2000, *Barque catalane de Collioure – 1893*, 22 p, 15 p.

ALLARD P.
1997, *Caractéristiques nautiques et performances des navires antiques : l'apport de l'architecture navale associée aux données archéologiques*, Mémoire de l'EHESS, 135 p. (non publié).

ALLEVATO E. *et al.*

2010, Pollen-wood analysis at the Neapolis harbour site (1st-3rd century AD, southern Italy) and its archaeobotanical implications, *JAS*, 37, p. 2365-2375.

ARNAUD P.

2005, *Les routes de la Méditerranée antique*, 248 p.

2011, Sailing 90° from the wind: norm or exception? , dans *Maritime technology in the ancient economy: ship-design and navigation*, Harris W. V., Iara K. (ed), p. 147-160.

ARNOLD B.

1974, La barque gallo-romaine de la Baie de Bevaix (Lac de Neuchâtel, Suisse), *CAS*, III, p.133-150.

1992a, Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel. Tome 1, *Archéologie neuchâteloise*, 12, 104 p.

1992b, Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel, Tome 2, *Archéologie neuchâteloise*, 13, 128 p.

1999, Altaripa – archéologie expérimentale et architecture navale gallo-romaine, *Archéologie neuchâteloise*, 25, 184 p.

BALLARD D.

2001, Deep Black Sea, *NG,* May 2001, p. 52-69.

BASCH L.

1987, *Le musée imaginaire de la marine antique,* 525 p.

BASS G., VAN DOORNINCK F.H

1982, *Yassi Ada. A Seventh-Century Byzantine Shipwreck*, 368 p.

BATS M.

1990, En guise d'ouverture : quelques pistes de recherche, dans *Les amphores de Marseille grecque. Chronologie et diffusion, actes de la table ronde de Lattes (11 mars 1989)* Bats M. (ed), p. 9-12, [Études Massaliètes ; 2].

BECATTI, G.

1961, Mosaici e pavimenti marmorei, *Scavi di Ostia*, IV, 409 p.

BELTRAME C.

2002, *Vita di bordo in età romana*, 147 p.

2007, Preliminary Analysis of the Hull of the Roman Ship from Grado, Gorizia, Italy, *IJNA*, 36.1, p. 138–147.

BELTRAME C. (ed.)

2003, *Boats, Ships and Shipyards. Proceedings of the Ninth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Venice 2000*, *(ISBSA 9)*, 400 p.

BELTRAME C., GADDI D., PARIZZI S.

2011, A Presumed Hydraulic Apparatus for the Transport of Live Fish, Found on the Roman Wreck at Grado, Italy, *IJNA*, 40.2, p. 274-282.

BENETT C.M., HUMPHREYS S.C.

1974, The Jerusalem Ship, *IJNA*, 3, p. 307-310.

BENNETT J. (ed.)

2009, *Sailing into the past, Learning from replica ships*, 192 p.

BEN ZEEV A., KAHANOV Y., TRESMAN J., ARTZY M.

2004, *The Ma'Agan Mikhael ship Volume III, A reconstruction of the hull*, 66 p.

BERTI F. (dir.)

1990, *Fortuna Maris. La Nave Romana di Comacchio*, 311 p.

BERTUCCHI G.

1990, Les amphores massaliètes à Marseille: les différentes productions, Les amphores de Marseille grecque, *Chronologie et diffusion, actes de la table ronde de Lattes (11 mars 1989)* Bats M. (ed), p. 15-20, [Études Massaliètes ; 2].

BILL J.

2007, *Wellcome on board! The Sea Stallion from Glendalough. A longship recreated*, 68 p.

BISCHOFF V.

2003, The Reconstruction of the Ladby Ship - Using a Working Spline Model and Computer, dans *Boats, Ships and Shipyards*, (ISBSA 9), Beltrame C. (ed.), p.71-79.

2012, The oseberg ship, dans *Between Continents*, Günsenin N. (ed.), p. 237-242.

BLUE L., HOCKER F., ENGLERT A. (ed.)

2006, *Connected by the sea: proceedings of the tenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde 2003*, *(ISBSA 10),*315 p.

BOCKIUS R. (ed.)

2006, *Die spätrömischen Schiffswracks aus Mainz : schiffsarchäologisch-technikgeschichtliche Untersuchung spätantiker Schiffsfunde vom nördlichen Oberrhein*, 314 p., 80 pl.

2009, *« Between the Seas »: Transfer and Exchange in Nautical Technology, Proceedings of the 11th International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Mainz 2006, (ISBSA 11)*, 499 p.

BOETTO G.

2005, Le navi romane di Napoli, dans D. Giampaola et alii, La scoperta del porto di Neapolis : dalla ricostruzione topografica allo scavo e al recupero dei relitti, *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 2, p. 63-76.

2006, Les navires de Fiumicino (Italie) : architecture, matériaux, types et fonctions. Contribution à l'étude du système portuaire de Rome à l'époque impériale, Thèse de doctorat, 2 vol., (non publiée).

2009, New archaeological evidences of the Horeia-type vessels: the Roman *Napoli C* shipwreck from Naples (Italy) and the boats of Toulon (France) compared, dans *Between the seas. Tranfer and Exchange in Nautical Technology, (ISBSA 11)*, R. Bockius (ed.), p. 289-296.

BOETTO G., CARSANA V., GIAMPAOLA D.

2004, Il mare torna a bagnare Neapolis. Parte II : dalla scoperta del porto al recupero dei relitti, *L'Archeologo Subacqueo*, X, 3, p. 15-19.

2009, Il porto di Neapolis e i suoi relitti, dans *Arqueologia Nàutica Mediterrània*, Nieto X., Cau M. A. (ed.), p. 457-470, [Monografies del CASC ; 8].

2010, I relitti di Napoli e il loro contesto portuale, dans *Archeologia, Storia e Etnografia Navale, Atti del I convegno nazionale, Cesenatico 2008*, Medas S., D'Agostino M., Caniato G. (ed.), p. 115-122.

BOETTO G., POMEY P., TCHERNIA A. (ed.)

2011, *Batellerie gallo-romaine : pratiques régionales et influences maritimes méditerranéennes*, 191 p., [BiAMA ; 9]

BONDIOLI M., BURLET R., ZYSBERG A.

1995, Oar mechanics and Oar power in medieval and latter Galleys, dans *The age of galleys*, Gardiner R. (ed.), p. 172-205.

BONIFAY M.

2004, *Etudes sur la céramique romaine tardive d'Afrique*, 525 p., [BAR International Series ; 1301]

BONINO M.

1963, The Roman Transom Stern, *MM*, 49.4, p. 302-303.

1985, Sewn boats in Italy : sutiles naves and barche cucite, dans *Sewn Plank Boats*, McGrail S., Kentley E. (ed.), p. 87-104.

2003, *Un sogno ellenistico: le navi di Nemi*, 174 p.

2006, Il gabbiano. Una barca a remi di età augustea, dans *Alkedo: Navi e commerci della Pisa romana*, Camilli A., De Laurenzi A., Setari E. (ed.), p. 21-24.

BONNEFOUX P.-M.-J.

1834, *Dictionnaire abrégé de marine*, 339 p.

BONNEFOUX P.-M.-J., PÂRIS F.-E.

1999, *Dictionnaire de Marine à Voiles*, 2 vol.

BOUDRIOT J.

1987a, *Le Requin*, 152 p., 22 pl.

1987b, John *Paul Jones and the Bonhomme Richard*, 65 p., 26 pl.

BRANDT H., HOCHKIRCH K.

1995, The sailing properties of the Hanse cog in comparison with other cargo sail ships, *Ship Technology Research,* 42.1, p. 3–20.

BROSHI M.

1977, The Jerusalem Ship reconsidered, *IJNA*, 6, p. 349-352.

BRUN J.-P.

1999, Le Var, *CAG*, 83/2, 984 p.

BRUN J.-P., FICHES J.-L. (ed.)

2007, *Energie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité, Vers - Pont du Gard, 20-22 septembre 2006*, 259 p.

BRUNEAU P.

1984, Les mosaïstes antiques avaient-ils des cahiers de modèles ?, *Revue archéologique*, 2, p. 241-272.

BRUNI S.

2000, Il porto urbano di *Pisae* e i relitti del complesso ferroviario di « Pisa-San Rossore », dans *Le navi antiche di Pisa. Ad un anno dall'inizio delle ricerch*, Bruni S. (dir .), p. 21-79.

2003, *Il porto urbano di Pisa antica. La fase etrusca, il contesto e il relitto ellenistico,* 221 p.

CADORET B., DUVIARD D., GUILLET J., KERISIT

1987, *Ar Vag*, tome 2, 440 p.

CADORET B., DUVIARD D., GUILLET J., KERISIT H., VIVIER F.

1985, *Ar Vag*, tome 3, 414 p.

CADORET B., MAHO C., CADORET M.

2009, *Le grand livre des voiles et des gréements*, 223 p.

CAMILLI A.

2002, *Cantiere delle navi di Pisa. La nave C "Giuditta" dallo scavo al laboratorio* (sans pagination).

CAMILLI A., DE LAURENZI A., SETARI E. (dir.)

2006, *Alkedo: Navi e commerci della Pisa romana*, 106 p.

CARCANI P.

1757, *Delle antichità di Ercolano esposte con qualche spiegazione,* 10 vol.

CARLINI M.

1935, Le gouvernail dans l'antiquité, *Bulletin de l'association technique maritime et aéronautique*, 39, p. 445-480.

CARLSON D. N.

2002, Roman Fishing Boats and the transom bow, dans *Tropis VI*, Tzalas H. (ed.), p. 211-218.

CARRE M. B.

1993, L'épave à dolia de Ladispoli (Étrurie méridionale). Étude des vestiges de la coque, p. 9-29, [Archaeonautica ; 11].

2007, Les pompes de cale et l'évacuation de l'eau de sentine sur les navires antiques, dans *Energie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité, Vers - Pont du Gard, 20-22 septembre 2006*, Brun J.-P., Fiches J.-L. (éd), p. 51-66.

CARRE M. B., JEZEGOU M. P.

1984, Pompes à chapelet sur des navires de l'Antiquité et du début du Moyen-Age, p. 115-143, [Archaeonautica ; 4].

CARSANA V. *et al.*

2009, Evoluzione del paesaggio costiero tra Parthenope e Neapolis : una sintesi geoarcheologica per l'area dell'antico porto, dans *Géoarchéologie de la péninsule italienne : mélanges offerts au professeur Aldo Cinque = La ricerca geoarcheologica in Italia : in onore di Aldo Cinque ; Geoarchaeology of Italy : a tribute to Aldo Cinque*, *Méditerranée*, Amato V., Marriner N., Morhange Ch., Romano P., Russo-Ermolli E. (ed.), p. 14-22.

CASSON L.

1964, The Roman Blunt Prow, *MM*, 50.3, p. 176.

1965, Harbour and river boats of ancient Rome, *Journal of Roman Studies*, 55, p. 31-39.

1971, *Ship and Seamanship in the Ancient World*, (réédition de 1995), 592 p.

CASSON L., STEFFY J. R.

1991, *The Athlit Ram*, 91 p.

CASTRO P.

2005, *The Pepper Wreck*, 304 p.

CHARLIN G., GASSEND J.M., LEQUÉMENT R.

1978, L'épave antique de Cavalière (Le Lavandou, Var), p. 9-93, [Archaeonautica ; 2].

CHEVALIER Y., SANTAMARIA C.

1970, Note technique sur la couverture photographique réalisée sur l'épave antique du Bas-Empire au cap Dramont, *Forma Maris Antiqui*, VII, p. 1-8.

1972, L'épave de l'anse Gerbal à Port-Vendres, dans *Hommage à Fernand Benoit*, *Revue d'études Ligures,* numéro spécial, p. 7-32.

CHRISTENSEN A. E. (ed.)

1996, *The Earliest Ships, Conway's History of Ships*, 143 p.

CLARK P. (ed.)

1994a*, The Dover Bronze Age boat*, 340 p.

1994b*,The Dover Bronze Age boat in context: society and water transport in prehistoric Europe*, 152 p.

COATES J. F.

1991, The 1990 Sea Trials of the Reconstructed Greek Trireme *Olympias*, *IJNA*, 20.1, p. 70-71.

1994, Power and speed of oared ships, dans *Crossroads in Ancient Shipbuilding*, Westerdhal C. (ed.), (ISBSA 6), p. 249-255.

COATES J. F., MCGRAIL S. *et al.*

1995, Experimental Boat and Ship Archaeology: Principles and Methods, *IJNA*, 24.4, p. 293-301.

COATES J. F., MORRISSON J. S.

1987, Authenticity in the replica Athenian trieres, *Antiquity*, 61, p. 87-90.

COATES J. F., PLATIS S. K., SHAW J. T.

1990*, The Trireme Trials 1988. Report on the Anglo-Hellenic Sea Trials of Olympias*, 100 p.

CRUMLIN-PEDERSEN O.

1995, Experimental Archaeology and Ships-Bridging the Arts and the Sciences, *IJNA*, 24.4, p. 303–306.

1996, Problems of Reconstruction and the Estimation of Performance, dans *The Earliest Ships, Conway's History of Ships*, Christensen A. E. (ed.), p. 110-19.

1998, The next round, *Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde, Denmark*, 11, p. 3.

1999, Experimental Ship Archaeology in Denmark, dans *Experiment and Design. Archaeological Studies in Honour of John Coles,* Harding A. F. (ed.), p. 139-147.

2006, The Dover Boat - a Reconstruction Case-Study, *IJNA*, 35.1, p. 58-71.

2008, Experimental archaeology as part of the research process – the Skuldelev case, dans *Historical boat and ship replicas*, Springmann M.-J., Wernicke H. (ed.), p. 150-153.

CRUMLIN-PEDERSEN O., DAMGARD-SORENSEN T., RAVN M.

2012, Un langskip Viking du temps du duc Guillaume de Normandie, *Archéothéma*, 18, p. 46-53.

CRUMLIN-PEDERSEN O., MCGRAIL S.

2006, Some Principles for the Reconstruction of Ancient Boat Structures, *IJNA*, 35.1, p. 53-57.

CRUMLIN-PEDERSEN O., VINNER M. (ed.)

1986, *Sailing into the Past, Proceedings of the International Seminar on Replicas of Ancient and Medieval Vessels, Roskilde 1984*, 237 p.

DAMIANIDIS K.

1989, Vernacular boats and boatbuilding in Greece, Thèse de doctorat, 2 vol., (non publiée).

1998, Ελληνική παραδοσιακή ναυπηγική, 254 p.

DANGRÉAUX B.

1994, Presqu'île de Giens, *Tour Fondue*, *Bilan Scientifique DRASM 1993,* p. 44-45.

1997, Presqu'île de Giens, *Tour Fondue*, *Bilan Scientifique DRASSM 1996*, p. 89-90.

DELACROIX G.

1997, *La diligente, Tartane du roi, 1738-1761*, 91 p., 21 pl.

DELGADO J. P.

1997, *Encyclopaedia of underwater and maritime archaeology*, 493 p.

DELL'AMICO P.

1999, La Nave, dans *Operazione Iulia Felix. Dal mare al museo. Lo scavo, il recupero e la musealizzazione della nave romana rinvenuta al largo di Grado*, 1999, p. 63-84.

DERVIN H.

1990, *Traité de construction des bateaux en bois : du kayak à la goélette* , 352 p.

DE WEERD M.

1994, Rib Insertion in Phases: The Type Zwammerdam Shell-First Building Procedure 500 BC (?) -AD 1500, dans *Crossroads in Ancient Shipbuilding*, Westerdahl C. (ed), (ISBSA 6), p. 43-44.

1998, Moulding methods in Roman period bouts in the North of Europe, p. 63-68, [Archaeonautica ; 14].

D'ORIANO R., RICCARDI E.

2003, Olbia. Relitti di storia, *Archeaologia Viva*, 102, p. 16-31.

DUHAMEL DU MONCEAU H. L.

1758, *Éléments de l'architecture navale*, 485 p.

DUVAL P.-M.

1949, La forme des navires romains d'après la mosaïque d'Althiburus, *MEFR.*, LXI, p. 119-149.

FENWICK V. H.

1993, The replication debate, *IJNA*, 22.3, p.197.

FERRANDI E.

1980, Archeologia in cantiere: una ipotesi di studio, *Sesto Continente*, 7, p. 80-85.

FOERSTER L.

1979, News: Spain. Los Ullastres, *IJNA*, 8.2, p. 172-174.

FOUCHER L.

1956, Les galères de Thémetra, *Les cahiers de Tunisie*, XV, 3, p. 271-277.

1957, Navires et barques figurés sur des mosaïques découverts à Sousse et aux environs, *Institut National d'Archéologie et Arts Musée Alaoui, Notes et documents*, XV, 43 p.

FRAGA T.

2004, A proposed model for the reconstruction of shipwrecks. Case study: a late seventeenth century Portuguese frigate, *Revista Portuguesa de Arqueologia*, vol.7, p. 585-605.

FRANCES R.

1976, *Statique du navire*, 223 p.

FRESCHI A.

1991, Note tecniche sul relitto greco arcaico di Gela, dans *IV rassegna di archeologia subacquea, Giardini Naxos, ottobre 1989*, p. 201-210.

FROST H.

1995, Where did the Carthaginians see clinkers?, dans *Shipshape : essays for Ole Crumlin-Pedersen, on the occasion of his 60th anniversary, February 24th 1995*, Olsen O., Madsen J.-S., Rieck F. (ed.), p. 283-288.

1998, Simulated clinkers in the 3rd century BC Mediterranean, p. 161-163, [Archaeonautica ; 14].

GARCIA D., MEEKS D. (ed.)

1997, *Techniques et économie antiques et médiévales. Le temps de l'innovation, colloque d'Aix-en-Provence, mai 1996*, 240 p.

GARDINER R. (ed.)

2000, *The age of Galleys*, 256 p.

GARROCHE P.

1960, *Arrimage, manutention et transport des marchandises à bord des navires de commerce*, 209 p.

GASSEND J. M.

1998, L'apport des découvertes des vestiges du navire des *Laurons 2* à la restitution d'une épave antique, dans *Méditerranée antique, Pêche, navigation, commerce, 120e congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Aix-en-Provence, 1995*, Rieth E. (ed.), p. 197-201.

GASSEND J. M. (dir.)

1982, *Le navire antique du Lacydon*, 149 p.

GASSEND J. M., LIOU B.

1990, L'épave Saint-Gervais 3 à Fos-sur-Mer (milieu du IIe siècle ap. J.-C), p. 157-264, [Archaeonautica ; 10].

GASSEND J. M., LIOU B., XIMENES S.

1984, L'épave 2 de l'anse des Laurons (Martigues, Bouches-du-Rhône), p. 76-105, [Archaeonautica ; 4].

GIAMPAOLA D., CARSANA V.

2007, La fascia costiera di Napoli : dallo scavo al museo della città, dans *Comunicare la memoria del Mediterraneo, Atti del Convegno Internazionale,Pisa 2004*, Gravina F. (ed.), p. 205-215.

GIANFROTTA P. A. et POMEY P.

1981, *Archeologia Subaquea, storia, tecniche, scoperte e relitti*, 376 p.

GIFFORD E., GIFFORD J.

1996, The sailing performance of Anglo-Saxon ships as derived from the building and trials of half-scale models of the Sutton Hoo and Graveney Ship Finds, *MM*, 82.2, p. 131–133.

GILMER T. C.

1979, The capability of the single square sail rig. A technical assessment, dans *The Archaeology of Medieval ships and Harbours in Northern Europe*, McGrail S. (ed.), p. 167–181.

GRAS J. A.

1856, *Recueils de mémoires relatifs à la Marine Marchande*, 511 p.

GUILLEUX LA ROERIE L.

1938, *Histoire du gouvernail - Son origine et son évolution*, p. 564-583.

GÜNSENIN N. (ed.)

2012, *Between Continents. Proceedings of the Twelfth Symposium on Boat and Ship Archaeology, Istanbul 2009, (ISBSA 12)*, 342 p.

HARDING A. F. (ed.)

1999, *Experiment and Design. Archaeological Studies in Honour of John Coles*, 198 p.

HARRIS W. V., IARA K. (ed.)

2012, *Maritime technology in the ancient economy: ship-design and navigation*, 264 p.

HERMARY A., HESNARD A., TREZIGNY H.

1999*, Marseille grecque. La cité phocéenne (600-49 av. J.C.)*, 181 p.

HERVIEUX R.

1985, *Statique du navire*, 394 p.

HESNARD A.

1993, Place Jules-Verne, dans *Le Temps des découvertes. Marseille, de Prôtis à la reine Jeanne*, Catalogue d'exposition, p. 55-59.

1999, Le port, dans *Parcours de villes*, Hesnard A., Moliner M., Conche F., Bouiron M. (dir.), p. 17-76.

HESNARD A., MOLINER M., CONCHE F., BOUIRON M. (dir.)

1999, *Parcours de villes. Marseille : 10 ans d'Archéologie, 2600 ans d'Histoire*, Catalogue d'exposition, p. 17-76.

HESNARD A., PASQUALINI M.

1993, Marseille. Place Jules-Verne, *Bilan Scientifique DRAC Provence – Alpes – Côte d'Azur*, p. 110-112.

HESNARD A., TREZIGNY H.

1995, Marseille antique : l'Histoire d'un grand port, *Terres Marines*, 10, p. 20-23.

HÖCKMANN O.

1985, *Antike Seefahrt*, 195 p.

1992, Spätrömische Schiffsfunde in Mainz, *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 12, p.231-250.

JAL A.

1970, *Nouveau glossaire nautique d'Augustin Jal,* (Révision de l'édition publiée en 1848), 52 p.

JENSEN K.

1999, *Documentation and Analysis of Ancient Ships*, Thèse de Doctorat, 2 vol. (non publiée).

JEZEGOU M. P.

1983, *L'épave 2 de l'anse Saint-Gervais à Fos-sur-mer*, Thèse de Doctorat, 3 vol. (non publiée).

JEZEGOU M. P., DESCAMPS C.

1998, Les vestiges du système de gouvernail découverts sur l'épave de La Mirande (Port-Vendres V), dans *Méditerranée antique Pêche, navigation, commerce, 120e congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Aix-en-Provence 1995*, Rieth E. (ed.), p. 189-196.

JOHANSEN R.

2009, The viking ships of Skuldelev, dans *Sailing into the past, Learning from replica ships*, Bennett J. (ed.), p. 54-69.

JONCHERAY J.-P.

1975, L'épave E du cap Dramont : sigillées claire D et amphores rescapées du pillage, *CAS*, IV, p. 141-146.

1976, L'épave grecque ou étrusque de Bon-Porté, *CAS*, V, p. 5-36.

KAHANOV Y.,

2003, The hull, dans *The Ma'Agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400 Year-Old Merchantman. Final Report, Vol. I*, Black E. (dir.), p. 53-129.

2004, The sewing of the Ship, dans *The Ma'Agan Mikhael Ship : the Recovery of a 2400-year-Old Merchantman : Final Report, Vol.II,* Tresman J. (dir.), p. 3-79.

KAHANOV Y., POMEY P.

2004, The Greek Sewn Shipbuilding Tradition and the *Ma'agan Mikhael* Ship : a comparison with Mediterranean parallels from the sixth to the fourth centuries BC, *MM*, 90, 1, p. 6-28.

KATZEV M. L.

1989, *Kyrenia II* : building a replica of an ancient Greek merchantman, dans *Tropis I*, Tzalas H.(ed.), p. 163-175.

1990, An analysis of experimental voyages of Kyrenia II, dans *Tropis II*, Tzalas H.(ed.), p. 245-256.

KATZEV S. W., KATZEV M. L.

1986, Kyrenia II. Research on an ancient shipwreck comes full circle in a full-scale replication, *INA Newsletter,* 13. 3, p. 1-11.

KATZEV S. W., KATZEV M. L., TZALAS H.

1987, *Kyrenia II, an ancient ship sails again*, 15 p.

KRANTZ J.

1852, *Éléments de la théorie du navire*, 288 p.

LIOU B.

1974, L'épave romaine de l'anse Gerbal (Port-Vendres), *CRAI*, 118.3, p. 414-433.

LO CASCIO E. (ed.)

2006, *Atti del convegno Innovazione tecnica e progresso economico nel mondo romano, Atti Incontri capresi, Capri 2003,* 325 p.

LONG L.

2009, Les épaves et les équipements de navire, dans *César, le Rhône pour mémoire*, L. Long, P. Picard (ed.), p. 232-239.

LONG L., DRAP P., GANTÈS L.-F.

2000, *L'épave Grand Ribaud F*. Rapport Scientifique année 2000, archives DRASSM (non publié).

LONG L., DRAP P., GANTÈS L.-F., RIVAL M.

2001, *L'épave Grand Ribaud F*. Rapport Scientifique année 2001, archives DRASSM (non publié).

LONG L., PICARD P. (ed.)

2009, *César, le Rhône pour mémoire*, catalogue d'exposition, 396 p.

LONG L., RIVAL M.

2007, Note sur deux gouvernails d'époque archaïque provenant des épaves *Grand Ribaud F* et *Pointe Lequin 1A*, *CAS*, XVI, p. 97-115.

LONG L., SOURISSEAU J.-CH.

2002, Épave *Grand Ribaud F*, Giens, dans *Les Étrusques en mer. Épaves d'Antibes à Marseille*, Long L., Pomey P., Sourisseau J.-Ch. (dir.), p. 55-62**.**

LONG L., SOURISSEAU J.-CH., POMEY P. (dir.)

2002, *Les Étrusques en mer. Épaves d'Antibes à Marseille*, catalogue d'exposition, 139 p.

LO SARDO E. (ed.)

2005, *Eureka ! il genio degli antichi*, 277 p.

MAIURI A.

1958, Navalia pompeiana, *Rendiconti Accademia Archeologia Lettere e Belle Arti*, XXXIII, p. 15-18.

MARLIER S.

2005, *Systèmes et techniques d'assemblage par ligatures dans la construction navale antique Méditerranéenne*, Thèse de doctorat, 734 p. (non publiée).

MARSDEN, P.

1972, Ships of the Roman period and after in Britain, dans *A History of Seafaring based on Underwater Archaeology*, Bass G. F. (ed.), p. 114–32.

1974, The County Hall Ship, London, *IJNA,* 3.1, p. 55–65.

1994, *Ships of the Port of London: First to eleventh centuries AD*, p. 109–129.

McGRAIL S.

1978, *Logboats of England and Wales with comparative material from European and other countries*, 2 vol, [BAR ; series 51].

1984, Maritime archaeology present and future, dans *Aspects of maritime archaeology and ethnography*, McGrail S. (ed.), p. 11-40.

1986, Experimental Boat Archaeology – some Methodological Considerations, dans *Sailing into the Past,* Crumlin-Pedersen O. et Vinner M. (ed.), p. 8-17.

1990, The Theoretical Performance of a Hypothetical Reconstruction of the Clapton Logboat, *IJNA*, 19.2, p. 129–33.

1992, Replicas, reconstructions and floating hypotheses, *IJNA*, 21.4, p. 353-355.

1994, Brigg "raft": a flat-bottomed boat, *IJNA*, 23.4, p.283-288.

2001, *Boats of the World*, 504 p.

2004, North-west European seagoing boats before AD 400, dans *The Dover Bronze Age boat in context: society and water transport in prehistoric Europe*, Clark P. (ed.), p. 51-66

2006, Experimental boat archaeology: Has it a future?, dans *Connected by the sea,*(ISBSA 10), Blue L., Hocker F., Englert A. (ed.), p. 8-17.

2009, Experimental archaeology: Replicas and Reconstructions, dans *Sailing into the past, Learning from replica ships*, Bennett J. (ed.), p. 16-23.

McGRAIL S. (ed.)

1979, *The Archaeology of Medieval ships and Harbours in Northern Europe*, 260 p.

1984, *Aspects of maritime archaeology and ethnography*, 226 p.

McGRAIL S., KENTLEY E. (ed.)

1985, *Sewn Plank Boats: Archaeological and Ethnographic Papers based on those presented to a Conference at Greenwich in November 1984,* BAR Series 276, 399 p.

MEDAS S.

1999, Il relitto tardo-romano del Parco di Teodorico a Ravenna. Nota preliminare. *Archeologia delle Acque*, 2, p. 135-138.

2001, Il relitto tardo-romano del Parco di Teodorico, Ravenna : dallo scavo al recupero. Considerazioni preliminari sull'architettura navale: giacitura e stato di conservazione del relitto, *Navis*, 2, p. 105-119.

2003, The Late-Roman "Parco di Teodorico" Wreck, Ravenna, Italy: Preliminary Remarks on the Hull and the Shipbuilding, dans *Boats, Ships and Shipyard*, (ISBSA 9), Beltrame C. (ed.), p. 42-48.

MENNA M.

2007, *Misure di correnti superficiali nel Golfo di Napoli eseguite con radar costiero*, Thèse de doctorat, 198 p., (non publiée).

MORINEAU P.

1750*, Mémoire sur la Construction des Vaisseaux - Des vaigres obliques.*

MORRISSON J. S., COATES J. F.

1996, *Greek and Roman Oared Warship 399-30 B.C.*, 420 p.

MORRISSON J. S., COATES J. F., RANKOV N. B.

2000*, The Athenian trireme, The history and reconstruction of an ancient Greek warship*, 348 p.

MOTT L. V.

1997, *The development of the rudder: a technological tale,* 218 p.

MUCKELROY K.

1978, *Maritime Archaeology*, 284 p.

NANTET E.

2010, *Phortia. Le tonnage des navires de commerce en Méditerranée dans l'Antiquité (VIIIe siècle av. J.-C. - VIIe siècle apr. J.-C)*, Thèse de Doctorat, 2 vol. (non publiée).

NAYLING N.

1998, *Magor Pill Medieval Wreck*, 173 p., [CBA research report ; 115].

NAYLING N., MCGRAIL S.

2004, *Barland's farm Romano-Celtic Boat*, 327 p. , [CBA research report ; 138].

NEGREL J.-C.

1973, Une épave du Bas-Empire dans la rade de Marseille, *Archeologia*, 55, p. 59-65.

NEGREL J.-C. CLERC J.-P.

1973, Premiers résultats de la campagne de fouille 1971 sur l'épave B de la pointe de La Luque, *CAS*, II, p. 61-72.

NIELSEN S.

2006, Experimental archaeology at the Viking Ship Museum in Roskilde, dans *Connected by the sea,* (ISBSA 10), Blue L., Hocker F., Englert A. (ed.), p. 16-20.

NIETO F. J., FOERSTER F.

1980, El pecio romano del Cap del Vol (Campañas de 1978 y 1979), *Cypsela*, III, p. 163-177.

NIETO X., SANTOS M. (dir.)

2009, *El vaixell grec arcaic de Cala Sant Vincenç*, 469 p., [Monografies del CASC ; 7].

OLSEN O., MADSEN J.-S., RIECK F. (ed.)

***1995**, Shipshape: essays for Ole Crumlin-Pedersen, on the occasion of his 60th anniversary, February 24th 1995*, 334 p.

PALMER C.

2009a, Reflections on the Balance of Traditional Sailing Vessels, *IJNA*, 38.1, p. 90–96.

2009b, Windward Sailing Capabilities of Ancient Vessels, *IJNA*, 38.2, p. 314–30.

PANELLA C., FANO M.

1977, Le Anfore con anse bifide conservate a Pompei, contributo ad una loro classificazione", dans *Méthodes classiques et méthodes formelles dans l'étude des amphores. Atti del colloquio di Roma, 27-29 Maggio 1974*, p. 133-177.

PANVINI R. (dir.)

2001, *La nave greca arcaica di Gela*, 165 p.

PÂRIS F.-E.

1999, *Souvenirs de marine conservés*, Tome I et II, 316 p.

PEKARY I.

1999, Repertorium der Hellenistischen und Römischen Schiffsdarstellungen, *Boreas*, 8, 448 p.

PFERDEHIRT B.

1995, *Das Museum für antike Schiffahrt. Ein Forschungsbereich des römisch germanischen Zentralmuseums*, 1, 72 p.

POMEY P.

1974, *Étude iconographique des* "*naves onerariae*" *d'Ostie*, Thèse de doctorat, 314 p. (non publiée).

1978a, La coque, dans *L'épave romaine de la Madrague de Giens (Var),* Tchernia A., Pomey P., Hesnard. A. (dir.)*, Supplément à Gallia*, 34, p. 75-107.

1978b, Les navires de commerce romains, *Les Dossiers de l'Archéologie,* 29, p. 20-29.

1982, Le navire romain de la Madrague de Giens, *CRAI,* p. 133-154.

1984, Le rôle et l'intérêt des maquettes dans les études d'archéologie navale antique, *Revue de la fondation océanographique Ricard*, 7, p. 75-79.

1988, Principes et méthodes de construction en architecture navale antique, dans *Navires et commerce de la Méditerranée antique : hommage à Jean Rougé*, Cahiers d'Histoire, XXXIII, 3-4, p. 397- 412.

1995, Les épaves grecques et romaines de la place Jules-Verne à Marseille, *CRAI*, p. 459-484.

1996, Dendrochronologie des épaves antiques de Méditerranée, *Bilan Scientifique DRASSM 1995*, p. 56-57.

1997, Un exemple d'évolution des techniques de construction navale antique: de l'assemblage par ligatures à l'assemblage par tenons et mortaises, dans *Techniques et économie antiques et médiévales. Le temps de l'innovation,* Garcia D., Meeks D. (dir.), p. 195-203.

1998, Conception et réalisation des navires de l'Antiquité méditerranéenne, dans *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux,* Rieth E. (dir.), p. 49-72.

1999a, Les épaves grecques archaïques de la place Jules-Verne, dans *Parcours de villes*, Hesnard *H.,* Moliner M., Conche F., Bouiron M. (dir.), p. 35.

1999b, Le port archaïque et ses deux épaves, dans *Marseille grecque. La cité phocéenne (600-49 av. J.C.)*, Hermary A., Hesnard A., Trezigny H.(dir.), p. 47-49.

1999c, Les épaves grecques du VIe s. av. J.-C. de la place Jules-Verne à Marseille, p. 147-154, [Archaeonautica ; 14].

2001, Les épaves grecques archaïques du VIe siècle av. J.-C. de Marseille : épaves *Jules-Verne 7* et *9* et *César 1*, dans *Tropis VI*, Tzalas H. (ed.), p. 425-437.

2002a, Une nouvelle technique d'assemblage antique : l'assemblage de la membrure par ligatures et chevilles, dans *Tropis VII*, Tzalas H. (ed.), p. 597-604.

2002b, Remarque sur la faiblesse des quilles des navires antiques à retour de galbord, dans *Vivre, produire et échanger : reflets méditerranéens*. *Mélanges offerts à Bernard Liou,* Rivet L., Sciallano M. (dir.), p. 11-19, [Mergoil, Archéologie et Histoire Romaine *;* 8].

2002c, Épaves Jules-Verne 9 et Jules-Verne 7, dans *Les Étrusques en mer*, Long L., Pomey P., Sourisseau J.- Ch. (dir.), p. 121-123.

2003, Reconstruction of Marseilles VIth century BC Greek ships, dans *Boats, Ships and Shipyards*, (ISBSA 9), Beltrame C. (ed.), p. 57-65.

2006, New light on the false clinkers in ancient Mediterranean shipbuilding , dans *Connected by the sea*, (ISBSA 10), Blue L., Hocker F., Englert A. (ed.), p. 74-77.

2004, La structure du navire de la Madrague de Giens et le type hellénistique, *Ligures, Rivista di Archeologia, Storia, Arte e Cultura Ligure*, 2, p. 370-373.

2009, Dimensions et tonnage, dans *El vaixell grec arcaic de Cala Sant Vincenç*, Nieto, X., Santos, M. (dir.), p. 60-64.

2010, De l'assemblage par ligatures à l'assemblage par tenons et mortaises. Introduction, dans *Transferts technologiques en architecture navale méditerranéenne de l'Antiquité aux temps modernes: identité technique et identité culturelle. Actes de la Table Ronde Internationale d'Istanbul, 19–21 mai 2007, Varia Anatolica XXX*, Pomey P. (ed.), p. 15–26.

2011, Les conséquences de l'évolution des techniques de construction navale sur l'économie maritime antique : quelques exemples, dans *Maritime technology in the ancient economy : ship-design and navigation*, Harris W. V., Iara K. (ed), p. 39-55.

POMEY P. (ed.)

2010, *Transferts technologiques en architecture navale méditerranéenne de l'Antiquité aux temps modernes: identité technique et identité culturelle. Actes de la Table Ronde Internationale d'Istanbul, 19–21 mai 2007, Varia Anatolica XXX*, 173 p.

POMEY P. (dir.), GIANFROTTA P. A., NIETO X., TCHERNIA A.

1997, *La Navigation dans l'Antiquité*, 206 p.

POMEY P., HESNARD A.

1993a, Les épaves romaines et grecques, dans *Le Temps des découvertes. Marseille, de Prôtis à la reine Jeanne*, p. 59-62.

1993b, Marseille. Place Jules-Verne. V – Les épaves romaines et grecques, *Bilan Scientifique DRAC Provence – Alpes – Côte d'Azur*, p. 112-115.

POMEY P., KAHANOV Y., RIETH E.

2012, Transition from Shell to Skeleton in Ancient Mediterranean Ship-Construction: analysis, problems, and future research, *IJNA*, 41.2, p. 235-314.

POMEY P., LONG L., L'HOUR M., BERNARD H., RICHEZ F.

1988, Recherches sous-marines, *Gallia Informations. Préhistoire et Histoire. 1987-1988*, p. 1-78.

POMEY P., RIETH E.

2005, *L'archéologie navale*, 215 p.

POMEY P., TCHERNIA A.

1978, Le tonnage maximum des navires de commerce romains, p. 233-251, [Archaeonautica *;* 2].

2005, Archimede e la Syrakosia, dans *Eureka! Il genio degli antichi*, Lo Sardo E. (ed.), p. 228-232.

2006, Les inventions entre l'anonymat et l'exploit : le pressoir à vis et la "Syracusia ", dans *Atti del convegno Innovazione tecnica e progresso economico nel mondo romano, Atti Incontri capresi, Capri 2003,* Lo Cascio E. (ed.), p. 81-99.

POVEDA P.

2008, Une hypothèse de restitution du navire *Dramont E*, (V° siècle ap. J.-C.), dans *Cultures, Economies, Sociétés et Environnement du début de la Préhistoire au Moyen-Age : travaux en cours, Actes de la troisième table ronde des jeunes chercheurs en archéologie de la MMSH*, Boutet A., Defrasne C., Lachenal T. (dir.), (Consultable en ligne à l'adresse suivante : http://trjca.mmsh.univ-aix.fr/poveda.htm ; dernière visite le 05/11/12).

2012, A hypothetical restitution of the *Dramont E* Shipwreck, dans *Between Continents*, (ISBSA 12), Günsenin N. (ed.), p. 331-336.

PRESLES D., PAULET D.

2005, *Architecture navale : connaissance et pratique*, 487 p.

PY M.

1974, Les amphores étrusques de Vaunage et de Villevieille, Gard, *MEFR*, 86, p. 141-254.

1985, Les amphores étrusques de Gaule méridionale, *Il commercio etrusco arcaico, Consiglio Nazionale delle Ricerche*, p. 73-94, [Quaderni del Centro di studio per l'archeologia etrusco-italica ; 5].

PY M. (dir.)

1993, Dictionnaire des céramiques antiques (VIIème s. av. n.è. - VIIème s. de n.è.) en Méditerranée nord-occidentale (Provence, Languedoc, Ampurdan), *Lattara*, 6, 624 p.

RANKOV N. B.

2009, The trireme, dans *Sailing into the past, Learning from replica ships*, Bennett J. (ed.), p. 34-51.

RICCARDI E.

2002, A ship's mast discovered during excavation of the Roman port at Olbia, Sardinia, *IJNA*, 31.2, p. 268-269.

RIETH E. (ed.)

1998, *Méditerranée antique Pêche, navigation, commerce, 120e congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Aix-en-Provence, 1995, 121e congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Nice, 1996,* 209 p.

***1998**, Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux, 251 p.*

RIETH E., CARRIERRE-DESBOIS C., SERNA V.

2001, L'épave de Port Berteau II (Charente-Maritime) : un caboteur fluvio-maritime du haut Moyen Âge et son contexte nautique, 155 p., [DAF *;* 86].

RIETH E., GAUCHER J. L.

2010a, Archéologie navale et modélisme de recherche : l'exemple de l'épave du milieu du XVe siècle du caboteur EP1-Canche (Pas-de-Calais), *ArchéoThéma*, 6, p. 36-39.

2010b, Archéologie nautique et modélisme de recherche : L'épave de la première partie du XVe siècle de Beutin, Canche (Pas de Calais), *CAS,* XVIII, p. 171-204.

RIETH E., LONTCHO F.

2007, *Les dernières goélettes : les pinisis d'Indonésie*, 119 p.

RIETH E., TEXIER P.

2009, Architecture navale et topographie : l'épave médiévale EP1-Canche (Beutin, Pas-de-Calais), *Archeologia*, 463, p. 40-47.

RIETH E. POMEY P.

2001, La Trirème Antique de Napoléon III : un essai d'archéologie navale expérimentale sous le Second Empire, *Bulletin de la Société Historique de Compiègne, 2001*, p. 239-266.

RIVAL M.

1991, *La charpenterie navale romaine. Matériaux, méthodes, moyens*, 333 p.

RIVET L., SCIALLANO M. (ed.)

2002, *Vivre, produire et échanger : reflets méditerranéens. Mélanges offerts à Bernard Liou*, 578 p., [Mergoil *Archéologie et Histoire Romaine* ; 8].

ROBERTS O.

1992, Brigg “raft” re-assessed as a round bildge Bronze Age boat, *IJNA*, 21.3, p. 245-258.

1995, An explanation of ancient windward sailing—some other considerations, *IJNA*, 24.4, p. 307–315.

ROMAN R.

1988, Étude architecturale et comparative de six navires de commerce antique, Mémoire de DEA, (non publié).

1997, *Étude architecturale comparative de sept navires de commerce greco-romains et byzantins*, Thèse de Doctorat, 259 p, (non publiée).

ROUGE J.

1966, *Recherches sur l’organisation maritime sous l’Empire romain*, 540 p.

1975, *La marine dans l’antiquité*, 215 p.

SANTAMARIA C.

1983, Note sur la partie inférieure du mât du navire antique du *Dramont E*, *Annales du Sud-Est Varois*, VIII, p. 57.

1984, Le pied de mât de l'épave « E » du cap Dramont (Saint-Raphaël, Var), p.107-114, [Archaeonautica ; 4].

1995, L'épave Dramont "E" à Saint - Raphaël (Ve siècle ap. J.C.), 198 p., [Archaeonautica ; 13].

SANTOS T., FONSECA N., CASTRO P.

2005, Study of the Intact Stability of a Portuguese *Nau* from the Early XVII Century, dans *Proceedings of the IMAM 2005 Conference: Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources,* Fonseca N. (ed.), p. 841-849.

2006, Stability Characteristics of an Early XVII Century Portuguese *Nau*, dans *Proceedings of the 9th International conference on stability of Ships and Ocean vehicle*, Neves M. (ed.), p. 69-80.

2007, Naval architecture Applied to the Reconstruction of an early Early XVII Century Portuguese Nau, *Marine Technology*, 44.4, p. 254-267.

SPRINGMANN M.-J., WERNICKE H. (ed.)

2008, *Historical boat and ship replicas*, 183 p.

SAUNDERS H.

1957, *Hydrodynamics in ship design*, 980 p.

SEWELL T.

1999, *Grain Carriage by Sea*, 399 p.

SHAW J. T.

1996, Appendix B, Oar Mechanics – Length, gearing, handle force and efficiency, dans *Greek and Roman Oared Warship 399-30 B.C.,* Morrisson J. S., Coates J. F., p. 333-340.

2000, Oar mechanics and oar power in ancient galleys, dans *The age of galleys*, Gardiner R. (ed.), p. 163-171.

SOURISSEAU J.-C.

1999, Recherches sur les amphores de Provence et de la basse vallée du Rhône aux époques archaïque et classique (fin VII-début V s. av. J.-C.), Thèse de doctorat, 2 vol., (non publiée).

STEFFY J. R.

1982a, Reconstructing the Hull, dans *Yassi Ada Volume 1. A Seventh-Century Byzantine Shipwreck*, Bass G. F., van Doorninck Jr. F. H., p. 65–86.

1982b, The reconstruction of the 11th century Serçe Limanı vessel: A preliminary report, *IJNA*, 11.1, p. 13–34.

1985a, The Kyrenia Ship. An Interim Report on its Hull Construction*, AJA*, 89, p. 71-101.

1985b, The Herculaneum boat: preliminary notes on hull details, *AJA*, 89, p. 519-521.

1990, Problems and progress in dating ancient vessels by their construction features, dans *Tropis II*, Tzalas H.(ed.), p. 315-320.

1994, *Wooden Ship Building and the Interpretation of Shipwrecks*, 314 p.

2004, Construction and Analysis of the Vessel, dans *Serçe Limanı An Eleventh-Century Shipwreck Vol. 1, The Ship and Its Anchorage, Crew and Passengers*, Bass G. F., Matthews S. D., Steffy J. R., van Doorninck Jr. F. H., p. 153–69.

STOPFORD M.

2009, *Maritime Economics*, (3ème edition), 816 p.

STUART P. BOGAERS J. E.

1971, *Deae Nehalenniae, gids bij de tentoonstelling*, Louwe Kooijmans L. P. (ed.), 87 p.

TCHERNIA A.

1969, Informations archéologiques : recherches sous-marines, *Gallia*, XXVII, p. 465-499.

2003, Le ravitaillement de Rome : les réponses aux contraintes de la géographie, dans *Nourrir les cités de Méditerranée. Antiquité – Temps modernes*, Marin B., Virlouvet C. (dir.), p. 45-60.

TCHERNIA A., POMEY P., HESNARD. A.

1978, *L'épave romaine de la Madrague de Giens (Var), Supplément à Gallia, 34*, 122 p.

THIEBAUT C., COUMONT M. P., AVERBOUH A.

2010, L'approche taphonomique, une nécessité en archéologie, *PALEO* (supplément n°3), p. 13-20.

TILLEY A.

1994, Sailing to Windward in the Ancient Mediterranean, *IJNA*, 23.4, p. 309–313.

TOBY A. S.

1974, Another look at the Copenhagen sarcophagus, *IJNA*, 3, p. 205–211.

UCELLI U.

1950, *Le navi di Nemi*, 474 p.

VAN DOORNINCK F.H.

1982, The hull remains, dans *Yassi Ada. A Seventh-Century Byzantine Shipwreck* Bass G., van Doorninck F.H., p. 32-64.

VIAL DU CLAIRBOIS H.-S.

1805, *Traité élémentaire de la construction des bâtiments de mer. Tome 2*, 487 p.

VON HOLK A.

2006, A roman barge with an artefactual inventory from De Meern (The Netherlands), dans *Connected by the sea,* (ISBSA 10), Blue L., Hocker F. et Englert A. (ed.), p. 295-299.

2011, Recent research on roman shipfinds from the Netherlands, dans *Batellerie gallo-romaine : pratiques régionales et influences maritimes méditerranéennes,* Boetto G., Pomey P., Tchernia A. (ed.), p. 33-43.

WARD C., COUSER P., VOSMER T.

2008, Building Hatshepsut's Punt Ship: Science and Ship Reconstruction, dans *Historical boat and ship replicas: conference proceedings on the scientific perspectives and the limits of boat and ship replicas*, Springmann M. J., Wernicke H. (ed.), p. 122-128.

WEERD M.D. DE

1988a, *Schepen voor Zwammerdam*, Thèse de doctorat, 305 p. (non publiée).

WESTERDAHL C.

1993, The Trireme—an Experimental Form?, *IJNA*, 22.3, p. 205–6.

WESTERDAHL C. (ed.)

1994, Crossroads in Ancient Shipbuilding. Proceedings of the Sixth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Roskilde 1991, (ISBSA 6), 290 p., [Oxbow Monographs ; 40].

WHITEWRIGHT J.

2007, Roman Rigging Material from the Red Sea Port of Myos Hormos, *IJNA*, 36.2, p. 282–292.

2009, The Mediterranean Lateen Sail in Late Antiquity, *IJNA*, 38.1, p. 97–104.

2011, The Potential Performance of Ancient Mediterranean Sailing Rigs, *IJNA*, 40.2, p. 2-17.

WICHA S.

2001, *La Baie de l'Amitié. Ier s. ap. J.-C. Cap d'Agde, Hérault (34)*, Rapport de fouille programmée, archives DRASSM, (non publié).

WRIGHT E. V.

1990, *Ferriby Boats: Seacraft of the bronze Age*, 206 p.

WYLDE SWINY H., KATZEV M. L.

1973, The Kyrenia shipwreck: A fourth-century B.C. Greek merchant ship, dans *Marine Archaeology, Proceedings of the Twenty-third Symposium of the Colston Research Society, avril 1971*, Blackman D.T. (ed.), p. 339-355.

XIMENES S., MOERMAN M.

1987, Les épaves I, III et IV du port romain de l'anse des Laurons (commune de Martigues, Bouches du Rhône), *CAS*, VI, p. 171-182.

1994, La fouille de l'épave de la calanque de l'âne, *CAS*, XII, p. 95-111.

YACOUB M.

1995, *Splendeurs des mosaïques de Tunisie*, 421 p.

ZEVI F.

2001, Le invenzioni di Archimede e le grandi navi, dans *Lezioni per Fabio Faccenna : conferenze di archeologia subacquea (I e II ciclo),* Giacobelli M. (dir.), p. 95-114.

Textes Officiels:

- NF EN ISO 12217-2, Août 2002, 61 p.

Résumé

La présente thèse se construit sur deux problématiques principales : la première porte sur l'amélioration des techniques d'étude liées à la restitution des navires antiques, conséquence d'un renouvellement des outils de travail, nottement par l'usage intensif de l'informatique, la seconde est liée à la production d'informations supplémentaires sur les qualités nautiques et la capacité commerciale des navires restitués, à travers l'apport des analyses physiques tirées des modèles virtuels.

Ce programme est ici appliqué à quatre épaves : une épave grecque archaïque du VIème s. av. J.-C., *Jules-Verne 7*, deux épaves romaines du Ier s. ap. J.-C., *Napoli A* et *Napoli C* et enfin une épave plus tardive, du Vème s. ap. J.-C., *Dramont E*. Pour chaque épave restituée, l'étude se décompose en deux parties distinctes mais étroitement interdépendantes : une ou plusieurs hypothèses de restitution sont tout d'abord définies sur la base rigoureuse des vestiges conservés et de différents éléments de comparaison (iconographiques, ethnologiques, sources littéraires). Par la suite, c'est une analyse simple de certaines caractéristiques physiques de la restitution qui est entreprise en s'intéressant à ses divers enfoncements, à la répartition des poids et des volumes ou encore à sa stabilité transversale. L'intérêt particulier porté aux caractéristiques des carènes restituées permet ensuite, d'ébaucher dans les grandes lignes le programme ainsi que l'espace de navigation des navires originaux. Il s'agit grâce à cette approche spécifique de s'intéresser au navire antique en tant que système fonctionnel, mais aussi et surtout en tant qu'outil principal et vecteur du commerce maritime.

Mots-clé : archéologie ; antiquité ; Méditerranée ; archéologie navale ; restitution ; architecture navale ; commerce maritime ; méthodologie ; maquette ; 3D

Abstract

This thesis is built around two main subjects: the first pertains to the question of improving the technics of study related to the reconstitution of ancient ships following a renewal of in tools utilized for the task. The second subject is linked to the production of additional information on the nautical qualities and the sailing capabilities of the hypothetical reconstituted ships based on the analysis of virtual models. We applied this program to four wrecks: a Greek wreck from the archaic period dated to the VIth c. B.C., *Jules-Verne 7*, two Roman wrecks from the Ist c. A.D., *Napoli A* and *Napoli C*, and finally to a late roman period wreck from the Vth c. A.D., *Dramont E*. For each wreck, the study is divided into two separate sections that are closely related and interdependent. First, we sought to define one or more valid hypotheses based rigorously on the remains preserved and on various elements of comparison (iconographic and ethnographic parallels, literary sources). Thereafter, we planned a simple analysis of some physical characteristics of the reconstituted ship focusing on its various draughts, displacements and transversal stability according to different distributions of weights and volumes. This focus on the characteristics of the hypotheses of reconstitution allows us, to some extent, to outline in broad terms the utilization programs and the navigational areas of the original ships. We intend in this way to focus on the ship as a functional system, but also and especially as the main vector of ancient maritime trade in the Mediterranean.

Key-words : archaeology ; antiquity ; Mediterranean ; naval archaeology ; reconstitution ; naval architecture ; maritime commerce; methodology ; model ; 3D

THÈSE

Pour obtenir le grade de:

Docteur d'Aix-Marseille Université

Formation doctorale : « Espaces, Cultures et Sociétés »

Volume II

Annexes et planches

Présentée et soutenue publiquement

par :

Pierre POVEDA

le: 14/12/2012 à Aix-en-Provence

Le navire antique
comme instrument du commerce maritime :

restitutions 3D, tonnage, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : *Napoli A*, *Napoli C*, *Dramont E* et *Jules-Verne 7*.

Sous la direction de :

M. Patrice POMEY

Composition du Jury:

M. **Pascal ARNAUD**, *Professeur des Universités, Univ. Lyon II, Lyon* (rapporteur)
M. **Béat ARNOLD**, *Archéologue Cantonal, Laténium, Neufchâtel*
Mme. **Giulia BOETTO**, *Chargée de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Philippe JOCKEY**, *Professeur des Universités, AMU, Aix-en-Provence*
M. **Patrice POMEY**, *Directeur de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Éric RIETH**, *Directeur de Recherche au CNRS, Paris* (rapporteur)

Laboratoire d'accueil : Centre Camille Jullian
UMR 7299 CNRS - Aix-Marseille Université
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix-en-Provence

THÈSE

Pour obtenir le grade de:

Docteur d'Aix-Marseille Université

Formation doctorale : « Espaces, Cultures et Sociétés »

Présentée et soutenue publiquement

par :

Pierre POVEDA

le: 14/12/2012 à Aix-en-Provence

Le navire antique
comme instrument du commerce maritime :

restitutions 3D, tonnage, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves : *Napoli A, Napoli C, Dramont E* et *Jules-Verne 7.*

Sous la direction de :

M. Patrice POMEY

Composition du Jury:

M. **Pascal ARNAUD**, *Professeur des Universités, Univ. Lyon II, Lyon* (rapporteur)
M. **Béat ARNOLD**, *Archéologue Cantonal, Laténium, Neufchâtel*
Mme. **Giulia BOETTO**, *Chargée de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Philippe JOCKEY**, *Professeur des Universités, AMU, Aix-en-Provence*
M. **Patrice POMEY**, *Directeur de Recherche au CNRS, Aix-en-Provence*
M. **Éric RIETH**, *Directeur de Recherche au CNRS, Paris* (rapporteur)

Laboratoire d'accueil : Centre Camille Jullian
UMR 7299 CNRS - Aix-Marseille Université
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix-en-Provence

Table des matières

Table des matières 2
Index des figures 3
Index des Planches 6
Annexe I : Documents iconographies de comparaison *Napoli A* 8
Annexe II : Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité de *Napoli A* 18
Annexe III : Planches *Napoli A* 30
Annexe IV : Documents iconographies de comparaison *Napoli C* 43
Annexe V : Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité de *Napoli C* 52
Annexe VI : Planches *Napoli C* 71
Annexe VII : Documents iconographies de comparaison *Dramont E* 87
Annexe VIII : Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité de *Dramont E* 89
Annexe IX : Planches *Dramont E* 101
Annexe X : Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité *Jules-Verne 7* 110
Annexe XI : Planches *Jules-Verne 7* 123
Annexe XII : Guide de lecture des illustrations et des modèles 3D 130

Index des figures

- *Napoli A*

n° de figure	Titre	n° de page
Fig. I	Navire de la villa de Sirmione, Italie du nord, Ier s. av. J.-C.	**p. 9**
Fig. II	Navire de *Lesbianus*, Pompéi, Ier s. ap. J.-C.	**p. 9**
Fig. III	Graffito du navire *Europa*, Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.	**p. 10**
Fig. IV	Navire du monument funéraire de *Naevolia Tyché*, Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.	**p. 10**
Fig. V	Stèle de *P. Clodius Quirinalis*, Trieste, Ier s. ap. J.-C.	**p. 11**
Fig. VI	Mosaïque du Palazzo Diotallevi, Rimini, entre 117 et 138 ap. J.-C.	**p. 11**
Fig. VII	Détail du navire de gauche de la mosaïque de Rimini.	**p. 11**
Fig. VIII	Bas-relief du sarcophage de Sidon, Beyrouth, IIème s. ap. J.-C.	**p. 12**
Fig. IX	*Statio* n°10 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C.	**p. 12**
Fig. X	*Statio* n°18 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C.	**p. 13**
Fig. XI	*Statio* n°46 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C.	**p. 13**
Fig. XII	*Statio* n°54 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C.	**p. 13**
Fig. XIII	tèle de *Kornoutos*, Izmit, IIème- IIIème s. ap. J.-C.	**p. 14**
Fig. XIV	Bas-relief votif du *Portus Augusti*, Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.	**p. 14**
Fig. XV	Sarcophage du capitaine *Eudemos*, Olympus, IIème - IVème s. ap. J.-C.	**p. 15**
Fig. XVI	Stèle de *Kalleinikos*, Sinope, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 15**
Fig. XVII	Relevé de la stèle de *Kalleinikos*, Sinope, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 15**
Fig. XVIII	Sarcophage des catacombes de *Praetextatus*, Rome, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 16**
Fig. XIX	Bas-relief du bastion Saint-Côsme, Narbonne, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 16**
Fig. XX	Plaque de sarcophage représentant un transport de lions en cage, conservée à la villa Médicis, Rome, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 16**
Fig. XXI	Sarcophage de Sinope, Sinope, IVème s. ap. J.-C.	**p. 17**
Fig. XXII	Peinture du cycle de Jonas, *Cimitero Anonimo di Via Anapo*, Rome, IIIème–IVème s. ap. J.-C.	**p. 17**
Fig. XXIII	Courbes hydrostatiques de l'hypothèse de restitution finale de *Napoli A.*	**p. 22**
Fig. XXIV	Courbe des aires et répartition des poids de *Napoli A* pour la configuration de chargement 2° (Δ= 21,06 t.m).	**p. 23**
Fig. XXV	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement en lège du navire.	**p. 24**
Fig. XXVI	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 16,13 t.m du navire.	**p. 25**
Fig. XXVII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 21,06 t.m du navire.	**p. 26**
Fig. XXVIII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 23,45 t.m du navire.	**p. 27**
Fig. XXIX	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 27,45 t.m du navire.	**p. 28**
Fig. XXX	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 32,65 t.m du navire.	**p. 29**

- *Napoli C*

n° de figure	Titre	n° de page
Fig. XXXI	Fresque de la Casa del Sacerdote Amandus, Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 44**
Fig. XXXII	Pygmées conduisant un bateau, musée de Naples, Ier s. av J.-C.	**p. 44**
Fig. XXXIII	Fresque du cabinet secret (A), Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 45**
Fig. XXXIV	Fresque du cabinet secret (B), Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 45**
Fig. XXXV	Fresque du cabinet secret (C), Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 45**
Fig. XXXVI	Fresque de la casa del Fabro, Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 46**
Fig. XXXVII	Fresque de la Regio V, 2,10, Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 46**
Fig. XXXVIII	Fresque de la Regio IX, 5, 14-16, Pompéi, Ier s. av J.-C.	**p. 46**
Fig. XXXIX	Détail de la mosaïque du Palazzo Diotallevi, Rimini, entre 117 et 138 ap. J.-C.	**p. 47**
Fig. XL	Relief de la tombe n°78 de l'Isola Sacra, IIème s. av J.-C.	**p. 47**
Fig. XLI	Mosaïque du frigidarium des thermes d'Althiburus: milieu IIème ap. J.-C.	**p. 48**
Fig. XLII	Détail du sarcophage de la Ny-Carlsberg Glyptothek, Ostie, IIème – IIIème s. ap. J.-C.	**p. 48**
Fig. XLIII	Détail d'une mosaïque de Sousse, Sousse, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 48**
Fig. XLIV	Mosaïque du frigidarium des thermes de Thémétra, navire T5, Thémétra IIIème s. ap. J.-C.	**p. 49**
Fig. XLV	Mosaïque du frigidarium des thermes de Thémétra, navire T4, Thémétra IIIème s. ap. J.-C.	**p. 49**
Fig. XLVI	Mosaïque du dieu Océan, Utique, IIIème s. ap. J.-C.	**p. 50**
Fig. XLVII	Mosaïque du *frigidarium* de la villa del Casale, Piazza Armerina, fin IIIème s. ap. J.-C.	**p. 50**
Fig. XLVIII	Mosaïque du port, Corinthe, IVème s. ap. J.-C.	**p. 50**
Fig. XLIX	Mosaïque de Jonas dans la basilique d'Aquilée, Aquilée, IVème s. ap. J.-C.	**p. 51**
Fig. L	Mosaïque de la villa d'Uadi-ez-Zgàia , Lybie, non datée.	**p. 51**
Fig. LI	Courbes hydrostatiques de la première hypothèse de restitution de *Napoli C.*	**p. 56**
Fig. LII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement en lège de *Napoli C.*	**p. 57**
Fig. LIII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 15 t.m de *Napoli C.*	**p. 58**
Fig. LIV	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 20 t.m de *Napoli C.*	**p. 59**
Fig. LV	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 25 t.m de *Napoli C.*	**p. 60**
Fig. LVI	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 27,71 t.m de *Napoli C.*	**p. 61**
Fig. LVII	Courbes hydrostatiques de la deuxième hypothèse de restitution de *Napoli C.*	**p. 65**
Fig. LVIII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour la deuxième hypothèse de *Napoli C* dans les conditions d'un déplacement en lège.	**p. 66**
Fig. LIX	Comparaison des moments redressant et inclinant pour la deuxième hypothèse de *Napoli C* dans les conditions d'un déplacement en lège avec un équipage de dix rameurs.	**p. 67**
Fig. LX	Comparaison des moments redressant et inclinant pour la deuxième hypothèse de *Napoli C* dans les conditions d'un déplacement de 14,5 t.m.	**p. 68**
Fig. LXI	Résistance à l'avancement de la seconde hypothèse de restitution de *Napoli C*, en condition lège avec son équipage à bord.	**p. 69**
Fig. LXII	Résistance à l'avancement de la seconde hypothèse de restitution de *Napoli C*, chargée selon la configuration n°1.	**p. 70**

- *Dramont E*

n° de figure	Titre	n° de page
Fig. LXIII	Bas-relief votif des *Quinquennales* des *Fabri Navales* d'Ostie, Rome, IIème - IIIème s. ap. J.-C.	**p. 88**
Fig. LXIV	Courbes hydrostatiques de l'hypothèse de restitution de *Dramont E*.	**p. 96**
Fig. LXV	Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Dramont E* en fonction du chargement.	**p. 97**
Fig. LXVI	Comparaison des différents moments redressant et inclinant de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Dramont E* en fonction du chargement.	**p. 98**
Fig. LXVII	Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°2 de l'épave D*ramont E* en fonction du chargement.	**p. 99**
Fig. LXVIII	Comparaison des différents moments inclinant et redressant de l'hypothèse de restitution n°2 de *Dramont E* en fonction du chargement.	**p. 100**

- *Jules-Verne 7*

n° de figure	Titre	n° de page
Fig. LXIX	Courbes hydrostatiques de la nouvelle hypothèse de restitution de *Jules-Verne 7*	**p. 115**
Fig. LXX	Comparaison des différents bras de levier de redressement de la nouvelle hypothèse de restitution de l'épave *Jules-Verne 7* en fonction du type de chargement.	**p. 116**
Fig. LXXI	Comparaison des moments redressant, pour différentes configurations de chargement de la nouvelle hypothèse de restitution de *Jules-Verne 7*.	**p. 117**
Fig. LXXII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 3,37 t.m du navire (Lège).	**p. 118**
Fig. LXXIII	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 5,62 t.m du navire (Lège-Lesté).	**p. 119**
Fig. LXXIV	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 13,94 t.m du navire (Charg.1°).	**p. 120**
Fig. LXXV	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 16,19 t.m du navire (Charg.2°).	**p. 121**
Fig. LXXVI	Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 21,26 t.m du navire (Charg.3°).	**p. 122**

Index des Planches

- *Napoli A*

n° de Planche	Titre	n° de page
Pl. I	Planimétrie de l'épave *Napoli A* avant le démontage des structures internes (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).	**p. 31**
Pl. II	Planimétrie de l'épave *Napoli A* une fois le vaigrage démonté (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).	**p. 32**
Pl. III	Planimétrie de l'épave *Napoli A* une fois les membrures et le vaigrage démonté (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).	**p. 33**
Pl. IV	Coupes et élévations longitudinales de l'épave *Napoli A* (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto)	**p. 34**
Pl. V	Vue de la remise en place des coupes transversale des vestiges sur les coupe du plan de formes de restitution (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).	**p. 35**
Pl. VI	Plan de formes de restitution de l'épave *Napoli A* (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; CCJ-CNRS).	**p. 36**
Pl. VII	Aperçu de l'importance des vestiges sur le longitudinal du plan de formes.	**p. 37**
Pl. VIII	Plan de coque et de pont.	**p. 38**
Pl. IX	Plan de restitution des éléments internes.	**p. 39**
Pl. X	Plan de voilure et répartition des centres caractéristiques.	**p. 40**
Pl. XI	Plan développé du bordé bâbord réalisé à partir du modèle virtuel de restitution.	**p. 41**
Pl. XII	Plan développé du bordé réalisé à partir de la maquette de vérification des formes, "maquette carton" (Réalisation: G. Boetto, R. Roman, P. Poveda; Dessin: G. Boetto, CCJ-CNRS).	**p. 42**

- *Napoli C*

n° de Planche	Titre	n° de page
Pl. XIII	Planimétrie de *Napoli C* présentant la charpente axiale et le bordé (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).	**p. 72**
Pl. XIV	Planimétrie de *Napoli C* présentant l'ensemble de la charpente transversale (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).	**p. 73**
Pl. XV	Planimétrie de *Napoli C* présentant l'ensemble des structures internes (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).	**p. 74**
Pl. XVI	Coupes et élévations longitudinales de l'épave *Napoli C* (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).	**p. 75**
Pl. XVII	Vue de la remise en place des coupes transversales des vestiges "bruts" sur les coupes du plan de formes de restitution (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).	**p. 76**
Pl. XVIII	Plan de formes final de la première hypothèse de restitution (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; CCJ-CNRS).	**p. 77**
Pl. XIX	Vestiges du flanc bâbord remis en forme et placé sur le longitudinal du plan de formes.	**p. 78**
Pl. XX	Plan de coque et de pont de la première hypothèse de restitution.	**p. 79**
Pl. XXI	Plan de structure de la première hypothèse de restitution.	**p. 80**

Pl. XXII	Plan de voilure et répartition des centres caractéristiques pour un déplacement de 20 t.m (port-en-lourd de 13,2 t.m).	**p. 81**
Pl. XXIII	Plan de bordé développé de l'épave *Napoli C* (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; Dessin: G. Boetto; CCJ-CNRS).	**p. 82**
Pl. XXIV	Plan de formes final de la deuxième hypothèse de restitution (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; CCJ-CNRS).	**p. 83**
Pl. XXV	Vestiges du flanc bâbord remis en forme et replacés sur le longitudinal du plan de formes.	**p. 84**
Pl. XXVI	Plan de coque et de pont de la deuxième hypothèse de restitution.	**p. 85**
Pl. XXVII	Plan de structure de la deuxième hypothèse de restitution.	**p. 86**

- *Dramont E*

n° de Planche	Titre	n° de page
Pl. XXVIII	Plan de formes de la deuxième hypothèse de restitution de l'épave *Dramont E*.	**p. 102**
Pl. XXIX	Plan de formes de la première hypothèse de restitution de l'épave *Dramont E*.	**p. 103**
Pl. XXX	Plan développé des virures du bordé tribord de *Dramont E*.	**p. 104**
Pl. XXXI	Plan de coque de la deuxième hypothèse de restitution.	**p. 105**
Pl. XXXII	Vue des vestiges remis en place au sein du plan de formes de la deuxième hypothèse de restitution.	**p. 105**
Pl. XXXIII	Coupes transversale et longitudinale de la deuxième hypothèse de restitution.	**p. 106**
Pl. XXXIV	Schéma de répartition du premier niveau d'amphores de la cargaison dans la deuxième hypothèse de restitution du navire.	**p. 107**
Pl. XXXV	Schéma de répartition des deux niveaux d'amphores de la cargaison dans la deuxième hypothèse de restitution du navire.	**p. 108**
Pl. XXXVI	Schéma de répartition des deux niveaux d'amphores de la cargaison et de la cargaison de céramiques sigillées dans la deuxième hypothèse de restitution du navire.	**p. 109**

- *Jules-Verne 7*

n° de Planche	Titre	n° de page
Pl. XXXVII	Nouveau plan de formes de restitution.	**p. 124**
Pl. XXXVIII	Coupe longitudinale sur l'axe de quille et coupes transversales au niveau du maître-couple (M6) et des couples M7 et M9, de la nouvelle hypothèse de restitution.	**p. 125**
Pl. XXXIX	Elévations longitudinale et verticales de la nouvelle hypothèse de restitution.	**p. 126**
Pl. XL	Plan développé des virures du bordé, tiré du modèle des vestiges de *Jules-Verne 7*.	**p. 127**
Pl. XLI	Plan développé des virures du bordé de la nouvelle hypothèse de restitution de *Jules-Verne 7*.	**p. 128**
Pl. XLII	Vestiges du flanc tribord remis en place au sein du nouveau plan de formes de restitution.	**p. 129**

Annexes I: Documents iconographiques de comparaison *Napoli A*



Fig. I : Navire de la villa de Sirmione, Italie du nord, Ier s. av. J.-C.
(Casson, 1971, fig. n°138 ; Pomey, 1997, p.32; Pekary, 1999, p.301, I-S 7).



Fig. II : Navire de *Lesbianus*, Pompéi, Ier s. ap. J.-C.
(Maiuri 1958, 15-18 ; Pekary, 1999, p.229, I-P 79b).

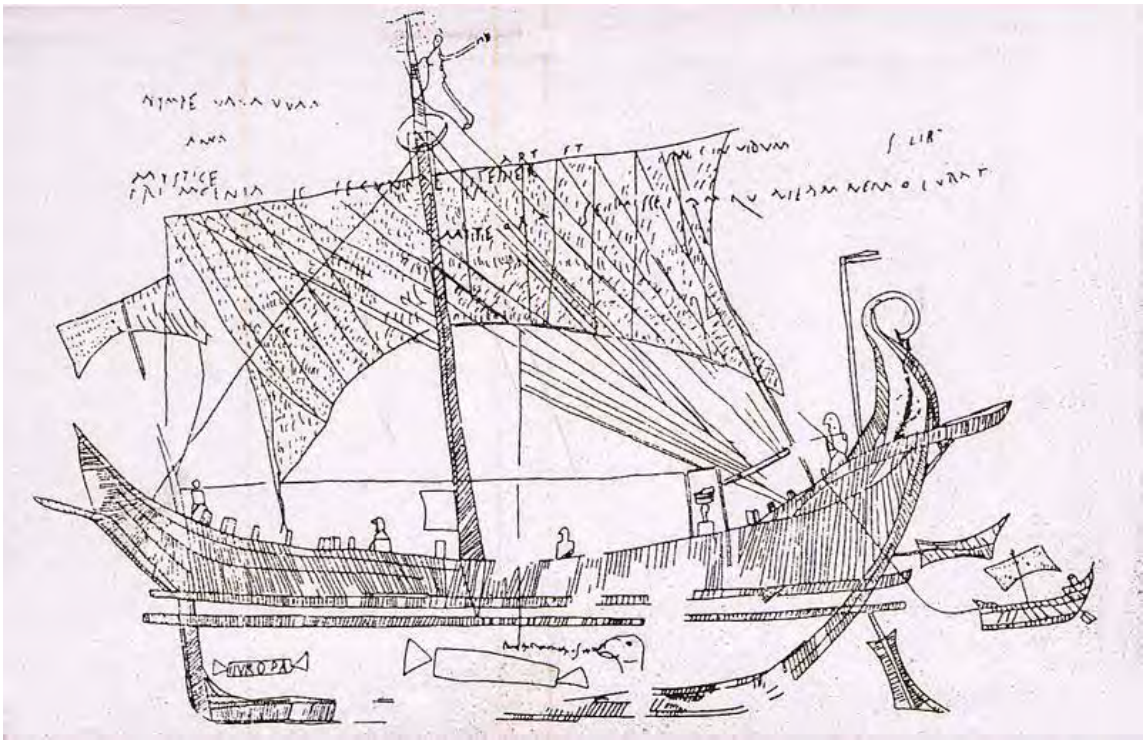


Fig. III : Graffito du navire *Europa*, Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.
(Maiuri, 1958, 18-22, fig. 2; Pomey, 1997, p.83 ; Pekary, 1999, p.222, I-P 64).

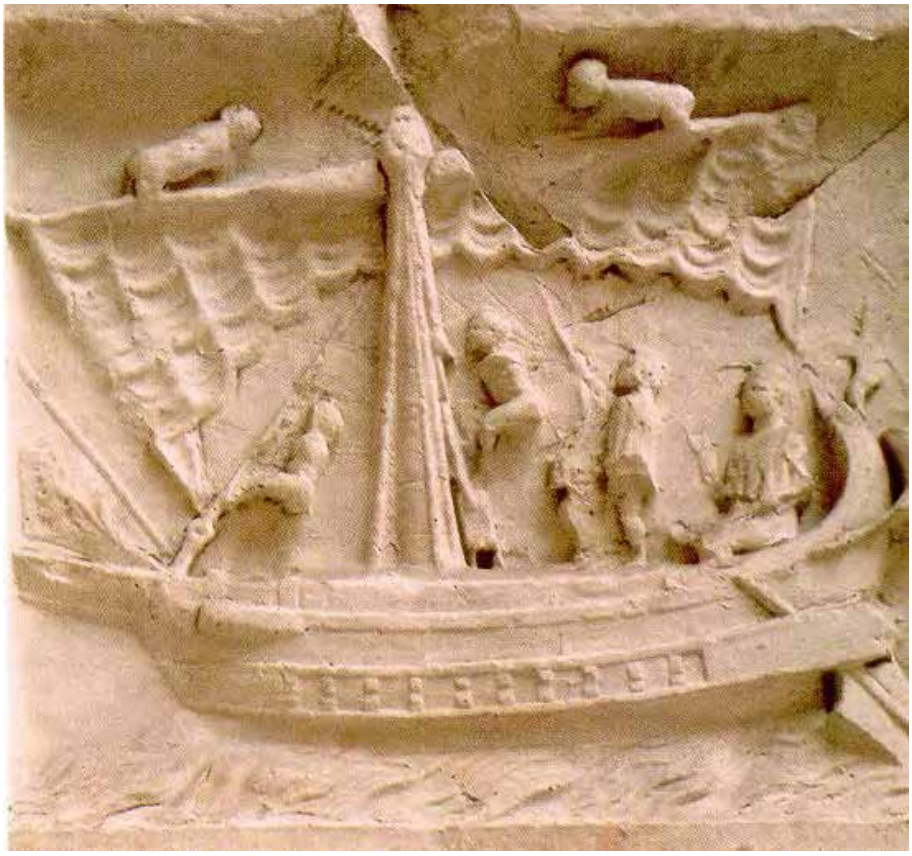


Fig. IV : Navire du monument funéraire de *Naevolia Tyché*, Pompéi, milieu Ier ap. J.-C.
(Pomey, 1997, p.40 ; Pekary, 1999, p.222, I-P 64).



Fig. V : Stèle de *P. Clodius Quirinalis*, Trieste, Ier s. ap. J.-C.
(Basch, 1987, fig.1045).



Fig. VI : Mosaïque du Palazzo Diotallevi, Rimini, entre 117 et 138 ap. J.-C.
(Pekary, 1999, p.234, I-R 3 ; Gentili, 1979, p.54-55, fig.10).



Fig. VII : Détail du navire de gauche de la mosaïque de Rimini.

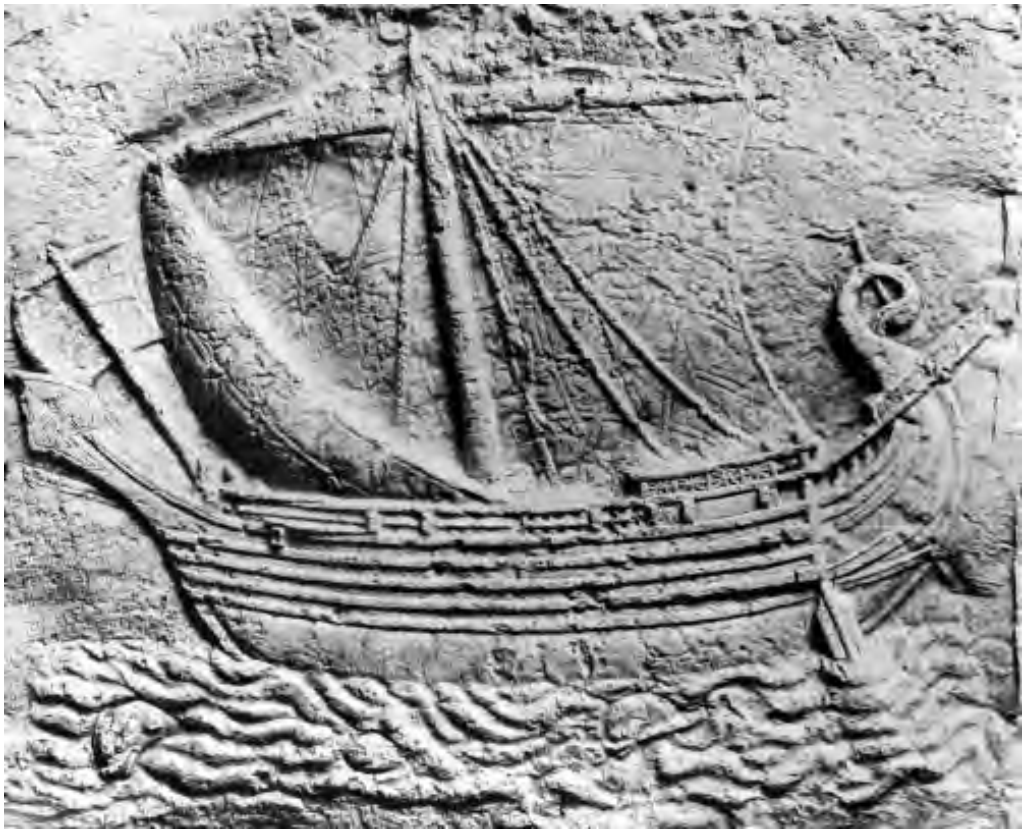


Fig. VIII : Bas-relief du sarcophage de Sidon, Beyrouth, IIème s. ap. J.-C. (Pomey, 1997, p.12).

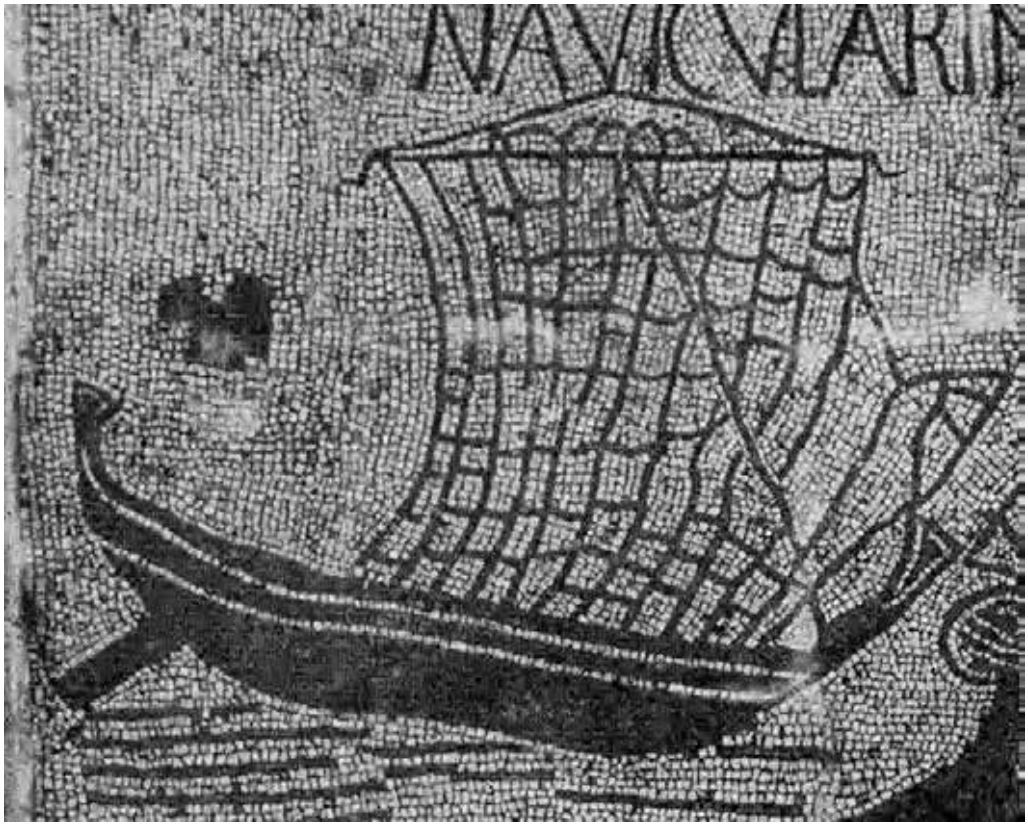


Fig. IX : *Statio* n°10 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C. (Pekary, 1999, p.187, I-O 4 ; Becatti, 1961, n°92, Tav.178).

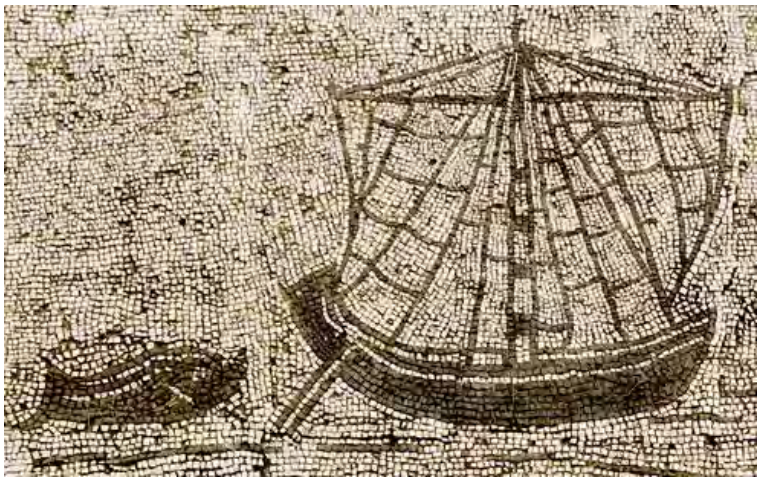


Fig. X : *Statio* n°18 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C. (Pekary, 1999, p.189, I-O 6 ; Becatti, 1961, n°99, tav.177; Basch, 1987, p.468, n°1049).



Fig. XI : *Statio* n°46 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C. (Pekary, 1999, p.189, I-O 13 ; Becatti, 1961, n°120, tav.179).



Fig. XII : *Statio* n°54 de la place des Corporations, Ostie, vers 190-200 ap. J.-C. (*Navis II*, database).



Fig. XIII : Stèle de *Kornoutos*, Izmit, IIème- IIIème s. ap. J.-C.
(Pekary, 1999, p.373, TR-3).

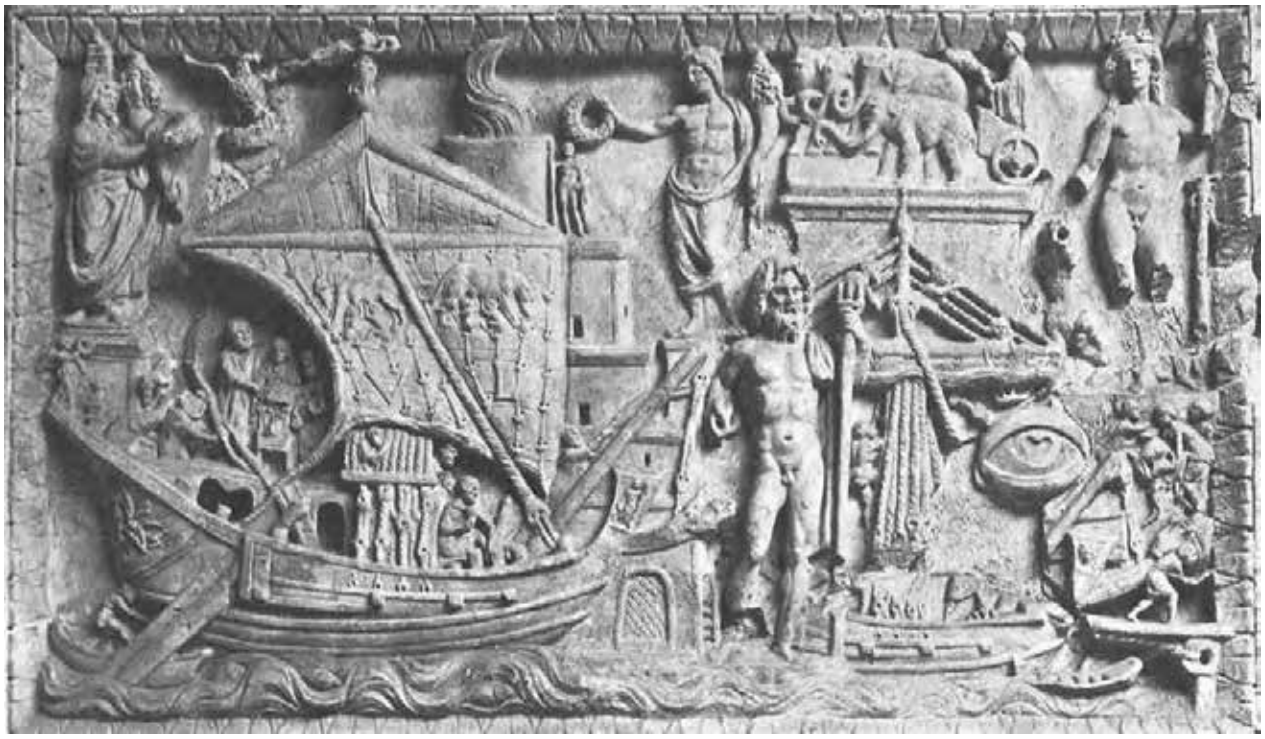


Fig. XIV : Bas-relief votif du *Portus Augusti*, Ostie, fin IIème – d. IIIème s. ap. J.-C.
(Casson, 1971, fig. n°144 et n°146; Basch, 1987, p. 463, fig.1038 à fig.1044 ;
Pomey, 1997, p.82; Pekary, 1999, p.290, Rom-M56).



Fig. XV : Sarcophage du capitaine *Eudemos*, Olympus, : IIème - IVème s. ap. J.-C.
(Pekary, Tr32, p.380-381).



Fig. XVI : Stèle de *Kalleinikos*, Sinope, IIIème s. ap. J.-C.
(Casson, 1971, n°143; Pekary, 1999, p.377, TR-16; Basch, 1987, p.481, n°1088).

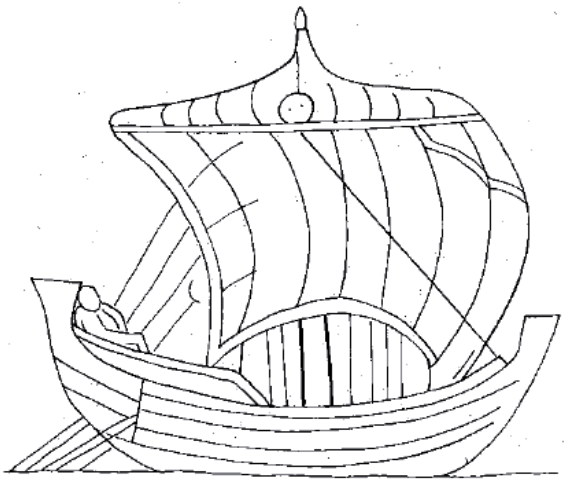


Fig. XVII : Relevé de la stèle de *Kalleinikos*, Sinope, IIIème s. ap. J.-C.
(Casson, 1971, n°143; Pekary, 1999, p.377, TR-16; Basch, 1987, p.481, n°1088).



Fig. XVIII : Sarcophage des catacombes de *Praetextatus*, Rome, IIIème s. ap. J.-C.
(Casson, 1971, n°148 ; Pekary, 1999, p.249, Rom-Ci 21).



Fig. XIX : Bas-relief du bastion Saint-Côsme, Narbonne, IIIème s. ap. J.-C.
(Esperandieu, 1907, p.422, n°687; Pomey, 1997, p.17; Pekary, 1999, p.79, F-36).

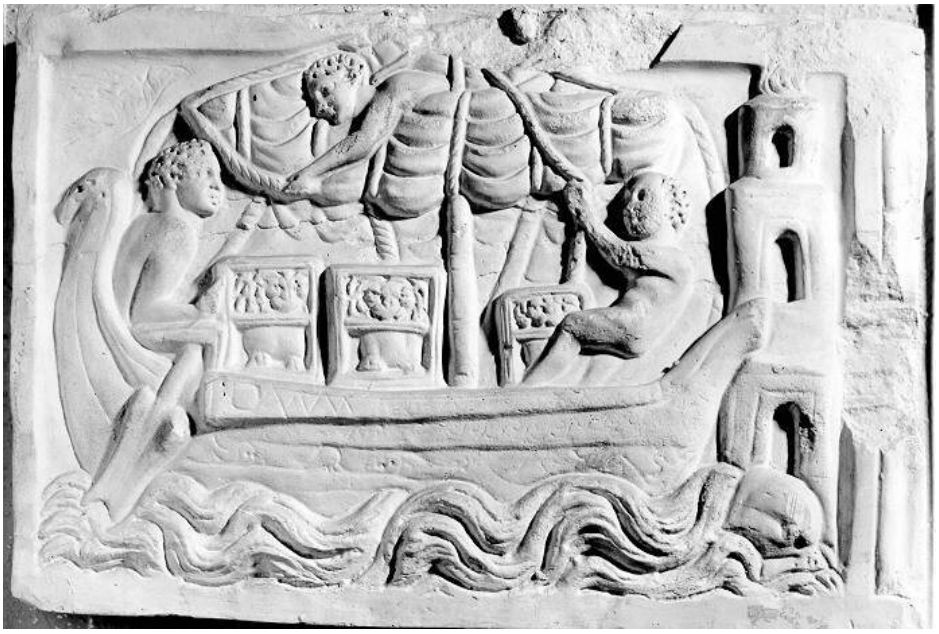


Fig. XX : Plaque de sarcophage représentant un transport de lions en cage, conservée à la villa Médicis, Rome, IIIème s. ap. J.-C.
(Pomey, 1997, p.121 ; Pekary, 1999, p. 298, Rom-V9).



Fig. XXI : Sarcophage de Sinope, Sinope, IVème s. ap. J.-C.
(Ballard, 2001, p.52-69).

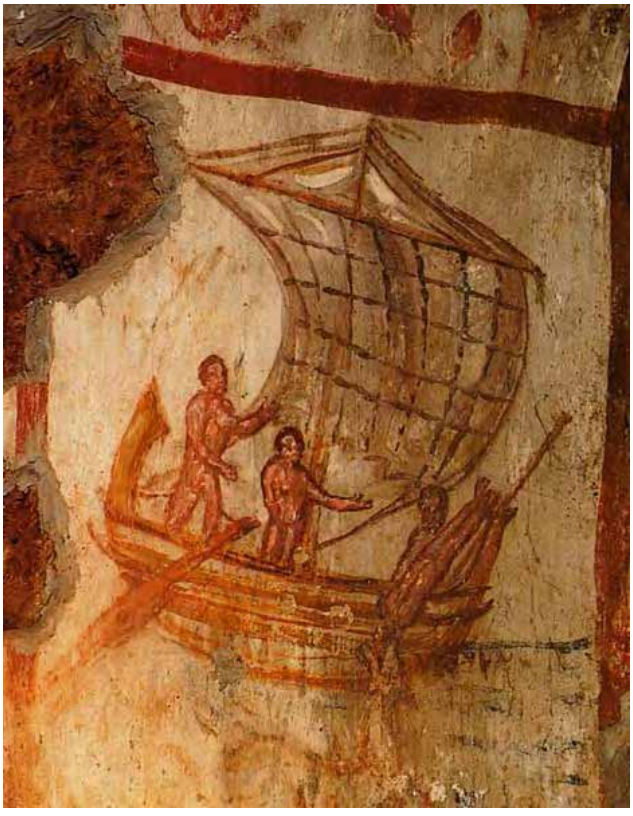
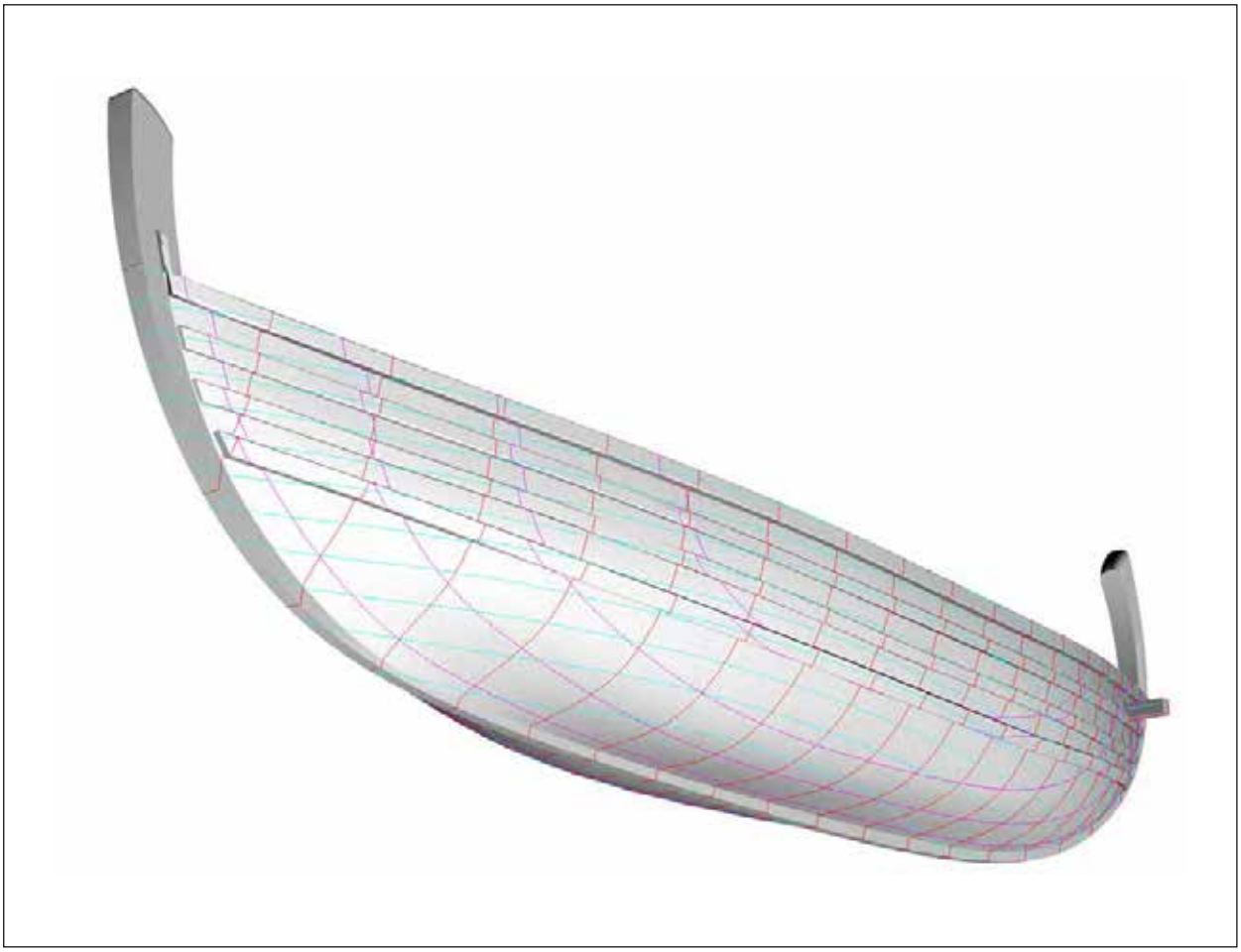


Fig. XXII : Peinture du cycle de Jonas, *Cimitero Anonimo di Via Anapo*, Rome, IIIème–IVème s. ap. J.-C.
(Pekary, 1999, p.246, Rom-Ci 12; Josi, 1928, 208-9, fig.30; Deckers, 1991).

Annexes II: Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité *Napoli A*



Devis de poids: *Napoli A*

Membrure n°	Volume (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Densité	Poids (T.M)
0	0,0338	0,00	128,34	158,88	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0245
1	0,0279	0,00	168,08	151,68	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0203
2	0,0245	0,00	196,71	139,94	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0179
3	0,0260	0,00	217,68	137,10	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0189
4	0,0246	0,00	242,90	125,47	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0179
5	0,0389	0,00	261,52	119,83	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0282
6	0,0381	-14,77	284,28	102,57	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0277
7	0,0298	1,10	309,88	118,51	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0217
8	0,0413	-1,67	329,85	95,85	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0300
9	0,0383	-7,67	353,26	103,89	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0278
10	0,0363	-1,89	375,53	95,53	Frêne *(Fraxinus excelsior)*	0,72	0,0263
11	0,0367	1,46	400,17	92,79	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0267
12	0,0329	2,40	424,56	87,20	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0239
13	0,0488	-5,13	446,60	90,61	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0354
14	0,0361	-8,75	465,19	87,28	Orme *(Ulmus)* et Noyer	0,71	0,0259
15	0,0413	-1,81	483,73	84,36	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0300
16	0,0377	-0,06	505,12	82,97	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0274
17	0,0547	2,42	527,87	77,17	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0396
18	0,0596	-1,25	549,33	76,12	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0431
19	0,0376	-7,93	574,11	74,59	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0273
20	0,0454	-2,68	595,39	74,18	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0329
21	0,0490	-0,60	615,56	71,63	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0355
22	0,0377	-8,36	639,01	72,50	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0274
23	0,0454	-2,51	658,92	70,34	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0329
24	0,0367	10,60	680,81	72,81	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0267
25	0,0381	15,93	706,55	67,67	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0277
26	0,0472	6,83	727,00	65,99	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0342
27	0,0451	-0,70	747,65	66,74	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0327
28	0,0534	1,01	769,67	65,38	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0387
29	0,0413	1,32	791,89	64,93	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0300
30	0,0350	3,50	812,45	63,17	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0254
31	0,0460	4,78	836,02	62,57	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0334
32	0,0481	0,10	858,08	63,87	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0349
33	0,0454	7,99	878,76	60,21	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0329
34	0,0473	10,61	901,67	75,83	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0343
35	0,0473	-1,66	923,45	61,93	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0343
36	0,0418	-5,48	944,41	62,07	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0303
37	0,0434	-0,29	963,83	65,41	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0315
38	0,0379	-0,29	985,39	68,83	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0275
39	0,0310	-10,29	1006,50	70,76	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0226
40	0,0331	2,59	1029,31	74,81	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0241
41	0,0228	-10,83	1051,82	82,69	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0166
42	0,0319	0,19	1068,89	78,06	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0232
43	0,0345	14,16	1091,59	84,61	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0251
44	0,0326	1,14	1113,64	76,77	Chêne quaducifolié	0,8	0,0263
45	0,0256	-0,23	1132,70	91,80	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0187
46	0,0233	1,32	1155,20	93,28	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0170
47	0,0215	10,87	1177,45	91,13	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0157
48	0,0268	0,18	1197,10	98,20	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0195
49	0,0226	9,97	1213,79	11,43	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0165
50	0,0258	-1,20	1239,93	114,19	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0188
51	0,0151	1,55	1274,08	136,57	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0111
52	0,0177	0,00	1314,60	151,99	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,0130
Total	1,9406						**1,4118**
	CG Membrure:	**0,27**	**700,04**	**83,78**			

Devis de poids: *Napoli A*

	Volume (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Densité	Poids (T.M)
Serre-bauquière	0,1510	0,00	724,24	179,75	N. Id (Simili préceintes)	0,54	0,082
Quille	0,1177	0,00	726,85	11,14	Chêne vert (*Querc. Ilex*)	1,1	0,129
Etambot	0,2035	0,00	77,56	237,88	Orme (*Ulmus*)	0,7	0,142
Etrave	0,1692	0,00	1350,54	184,58	Noyer *(Juglans regia)*	0,72	0,122
Vaigrage Fixe	0,3318	-4,59	729,56	54,70	Mélange (Maj. Picea)	0,5	0,166
Vaigres mobiles	0,1671	0,20	742,92	39,60	Mélange (Maj.Sapin)	0,51	0,085
Bordé	2,6288	0,00	713,42	80,73	Mélange (Maj. Picea)	0,5	1,314
Préceintes	1,2871	0,00	698,08	141,33	Mélange (Maj. Pinus)	0,54	0,695
Total	5,0562						**2,736**
CG :		**-0,27**	**707,64**	**105,73**			
Pont	**Volume (m^3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Densité**	**Poids (T.M)**
Hiloires/épontilles	0,2147	0,57	720,54	151,21	N. Id (Simili membrure)	0,72	0,155
Barrots	0,2576	-0,13	730,51	184,39	N. Id (Simili membrure)	0,72	0,185
Bordé de pont	0,7010	0,04	715,37	193,46	N. Id (Simili bordé)	0,5	0,351
Jambettes	0,1849	-1,82	644,86	208,77	N. Id (Simili membrure)	0,72	0,133
Pompe de cale	0,1670	0,10	448,79	145,25	N. Id	0,65	0,109
Cabillots	0,0321	0,84	916,80	116,50	N. Id (Simili membrure)	0,72	0,023
Surbaux	0,1195	0,05	709,46	195,04	N. Id (Simili membrure)	0,72	0,086
Pavois	0,8570	0,00	641,71	220,41	N. Id (Simili bordé)	0,5	0,429
Total	2,5339						**1,470**
CG Pont:		**-0,09**	**673,10**	**192,44**			
Mature	**Volume (m^3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Densité**	**Poids (T.M)**
Mât	0,4412	0,71	943,98	590,72	N. Id	0,5	0,221
Vergue	0,2324	-0,91	1001,42	973,55	N. Id	0,5	0,116
Accastillage	0,1310	0,30	644,53	423,95	N. Id	0,65	0,085
Massif emplanture	0,1243	-0,57	761,68	28,89	Chêne quaducifolié	0,8	0,099
Total	0,9289						**0,521**
CG Mature:		**0,16**	**896,20**	**647,89**			
	Volume (m^3)	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Densité**	**Poids (T.M)**
Pelle de gouverne	0,1626	0,00	188,18	125,88	N. Id	0,72	0,117
Barrot	0,0592	0,00	227,61	181,97	N. Id (Simili membrure)	0,72	0,043
Total	0,2218						**0,160**
CG Gouvernail:		**0,00**	**198,70**	**140,84**			
Lest et Chargement	**Volume (m^3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Chargement**	**Densité**	**Poids (T.M)**
Lest de tuff	0,8190	0,00	575,94	50,63	Tuf volcanique	1,52	**1,245**
Chargement 1°	11,6980	0,00	770,72	82,79	Blé	0,73	**8,584**
Chargement 2-4	27,1335	0,00	710,41	103,60	Dressel 2-4 Campaniennes	Variable	**9,190**
Chargement 2°	18,4280	0,00	763,93	100,43	Blé	0,73	**13,523**
Chargement 3°	21,6867	0,00	761,66	108,86	Blé	0,73	**15,914**
Chargement 4°	27,1335	0,00	710,31	112,72	Blé	0,73	**19,912**
Chargement 5°	27,1335	0,00	710,31	112,72	divers	0,93	**25,200**

Devis de poids: *Napoli A*

	Lège	Lesté	Chargé 1°	Chargé 2-4	Chargé 2°	Chargé 3°	Chargé 4°	Chargé 5°
Déplacement (T)	6,299	7,543	16,127	16,537	21,066	23,458	27,455	32,650
Port en lourd (T)	0	0	8,584	9,190	13,523	15,9144	19,9115	25,2
Volume de chargement (m^3)	0	0	11,698	27,13347	18,42802	21,68673	27,13347	27,13347
Surface mouillée (m^2)	25,34	25,78	38,02	39	44,17	47,09	51,92	58,49
Rapport Sv/M	2,96	2,91	1,97	1,92	1,70	1,59	1,44	1,28
	Lège	**Lesté**	**Chargé 1°**	**Chargé 2-4**	**Chargé 2°**	**Chargé 3°**	**Chargé 4°**	**Chargé 5°**
x	-0,08	-0,06	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01
y	698,67	699,42	737,37	705,42	740,83	741,65	707,32	709,83
z	158,02	140,30	109,69	120,34	114,71	118,97	120,30	119,41

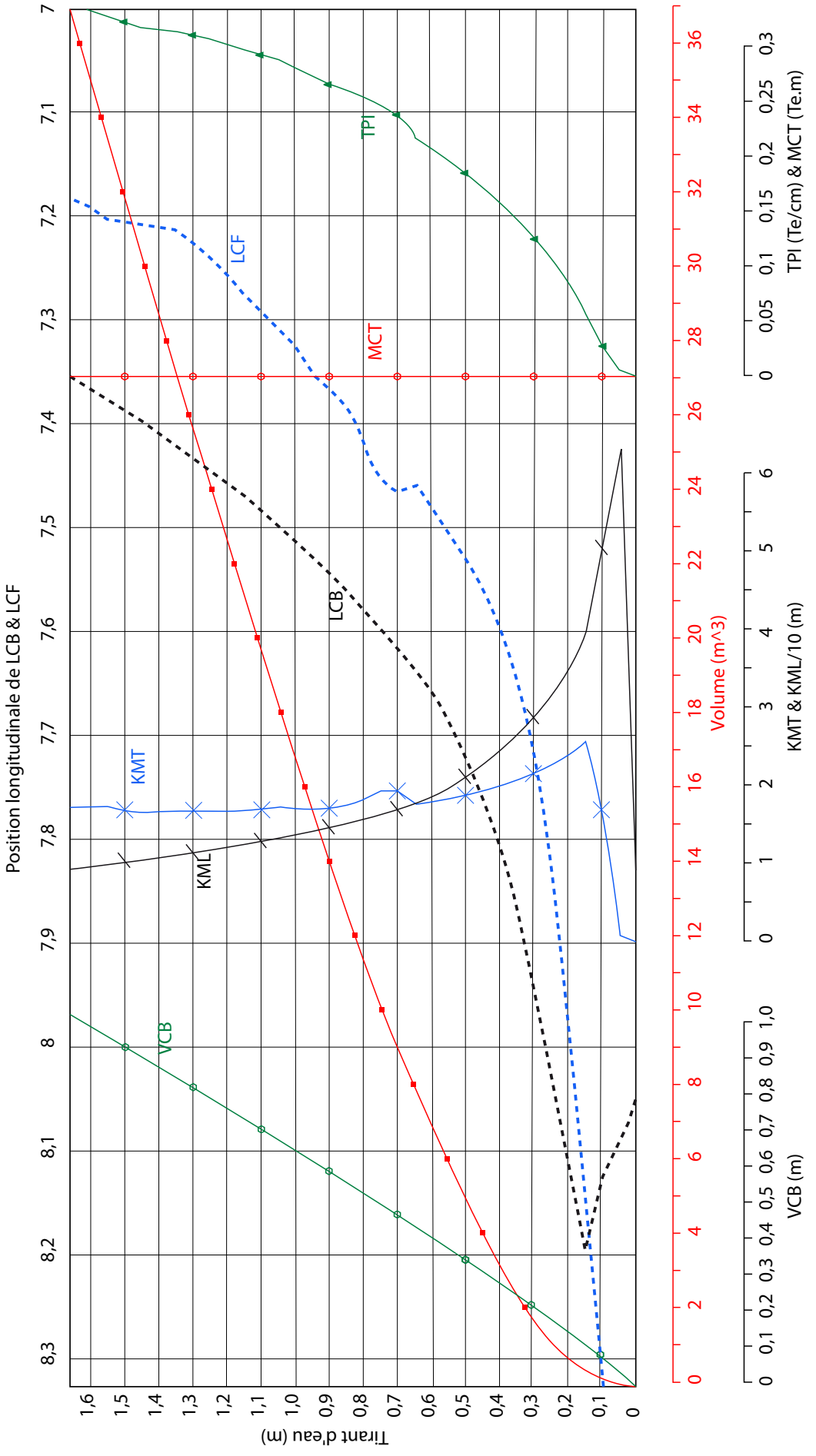


Fig. XXIII : Courbes hydrostatiques de l'hypothèse de restitution finale de *Napoli A*

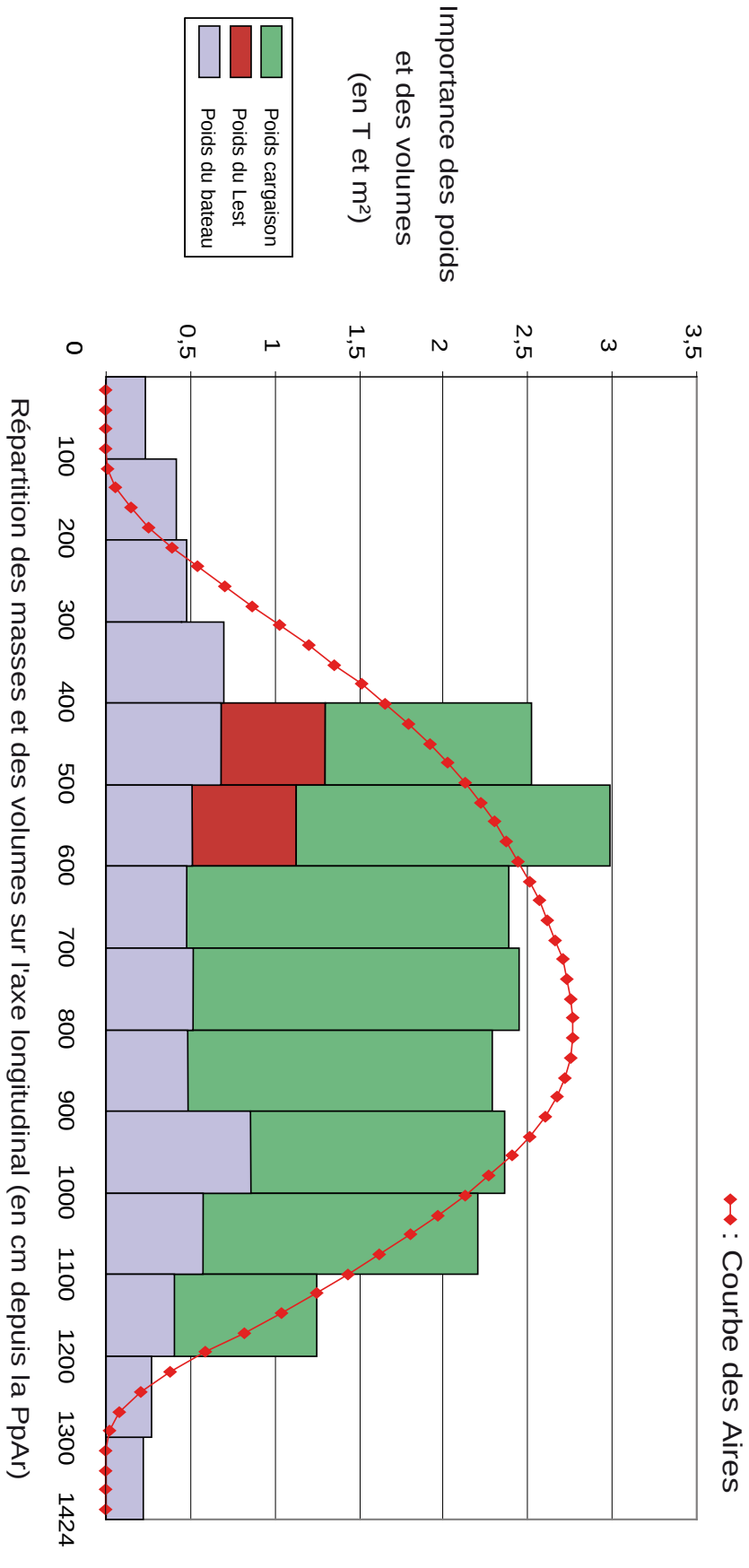


Fig. XXIV : Courbe des aires et répartition des poids de *Napoli A* pour la configuration de chargement 2° (Δ= 21,06 t.m).

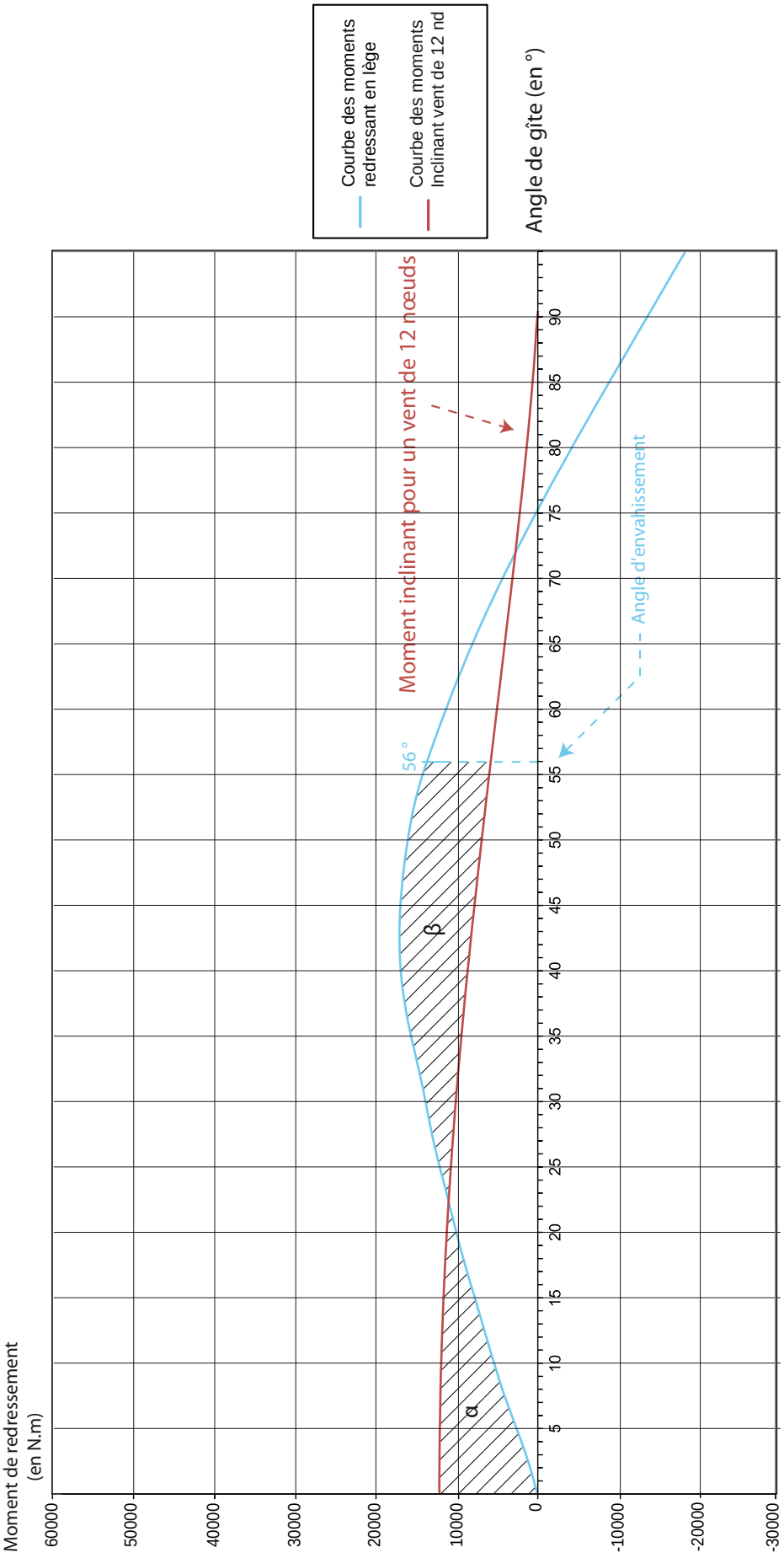


Fig. XXV : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement en lège du navire.

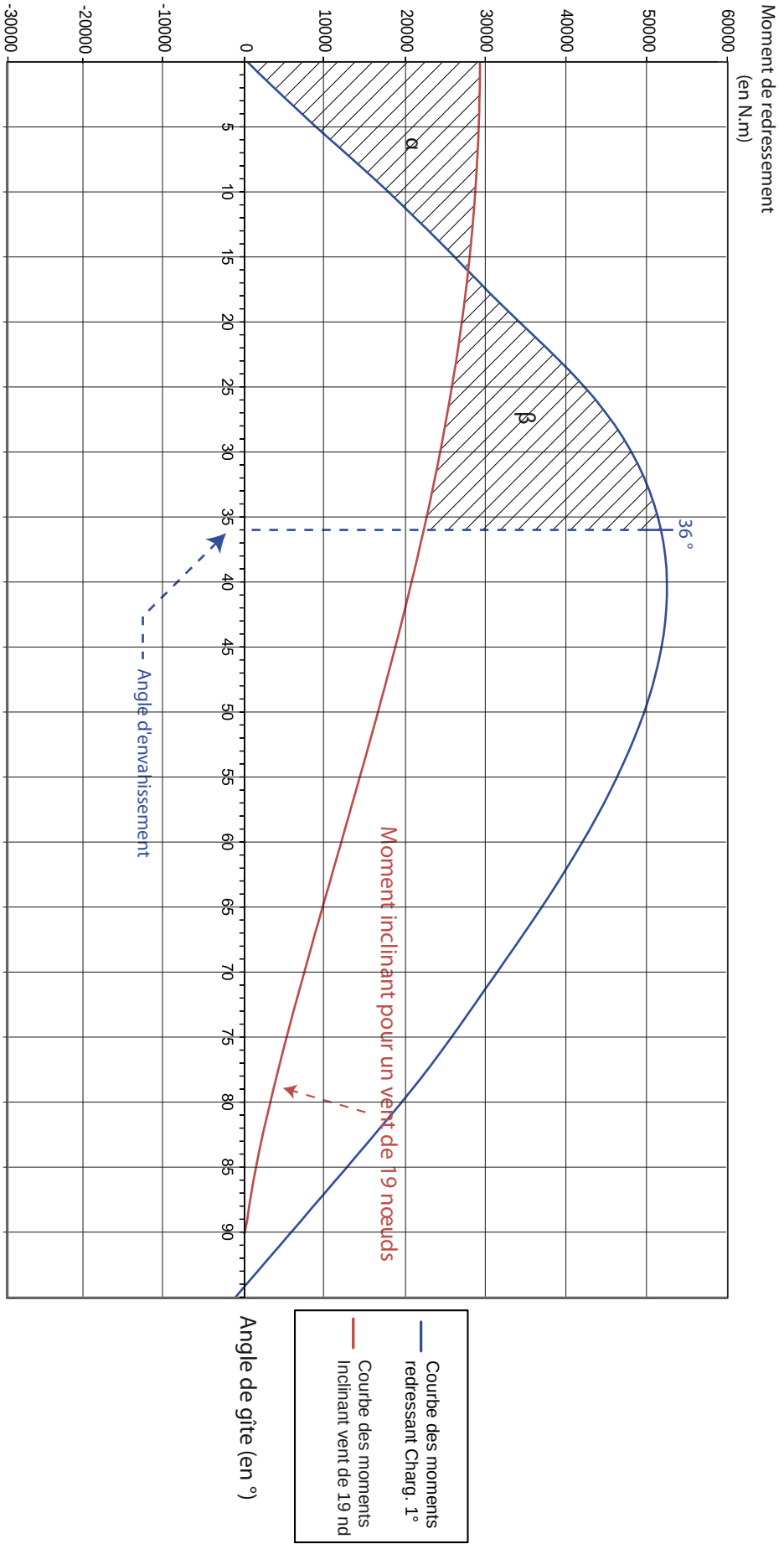


Fig. XXVI : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 16,13 t.m du navire.

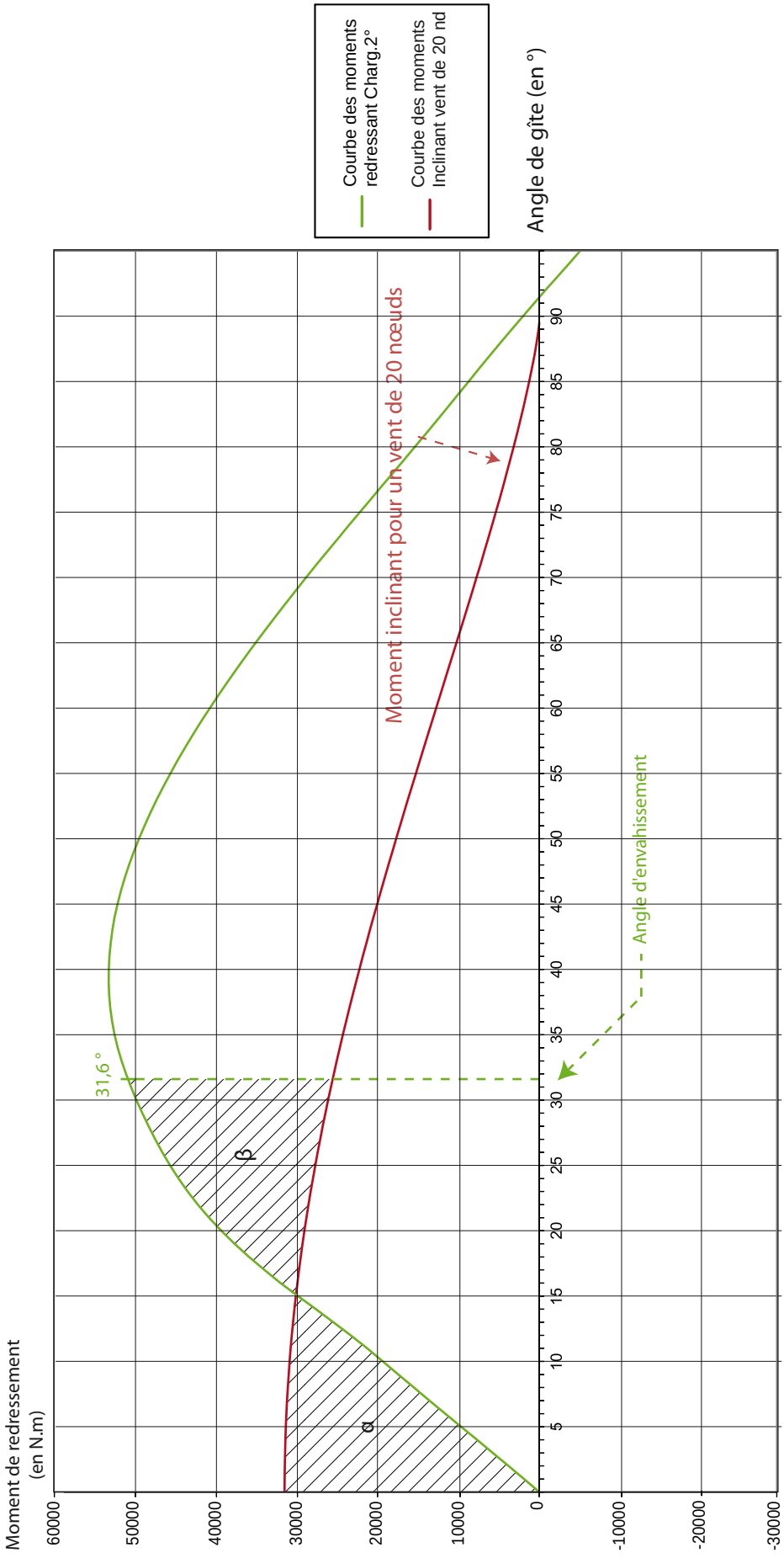


Fig. XXVII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 21,06 t.m du navire.

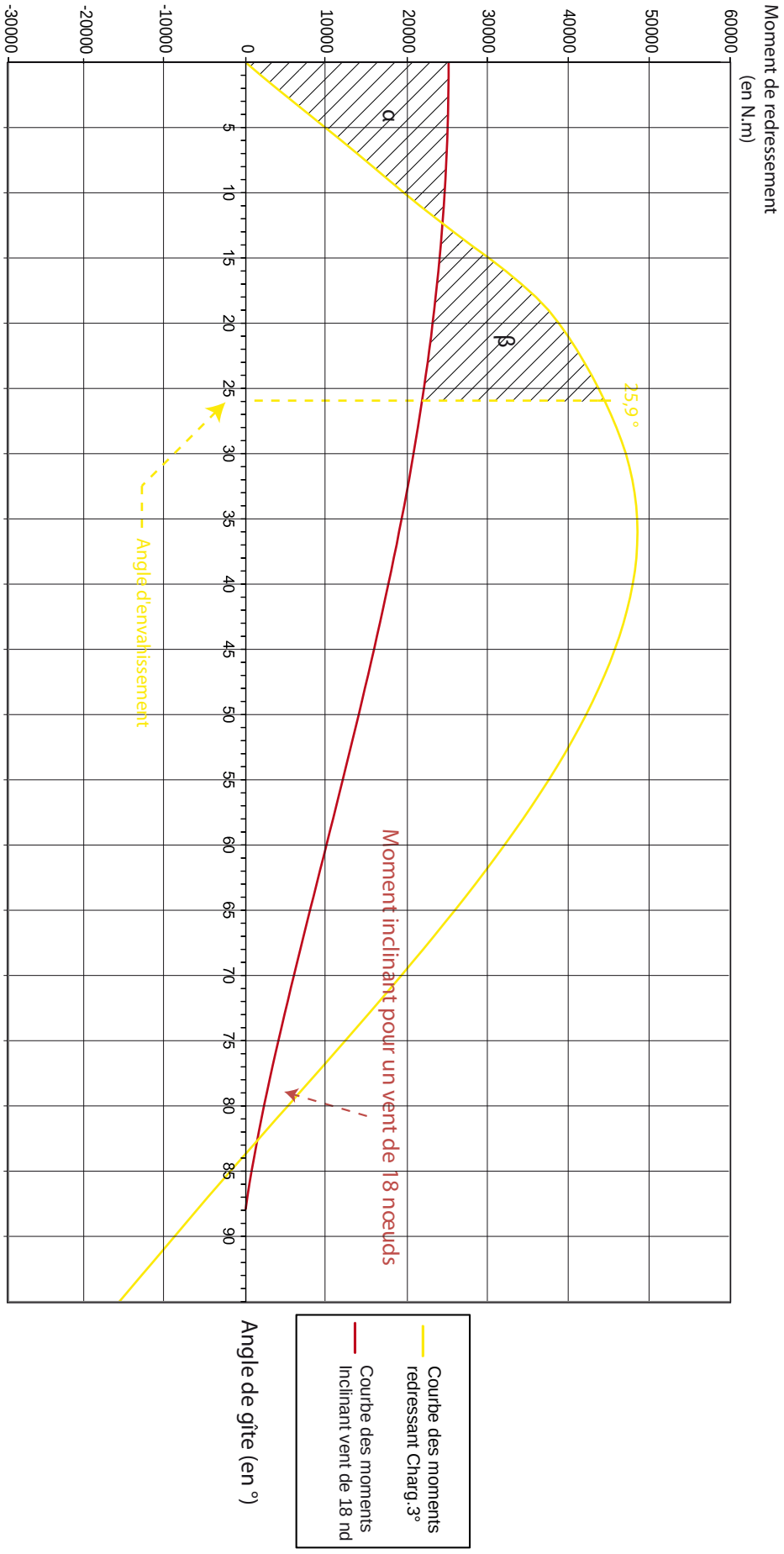


Fig. XXVIII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 23,45 t.m du navire.

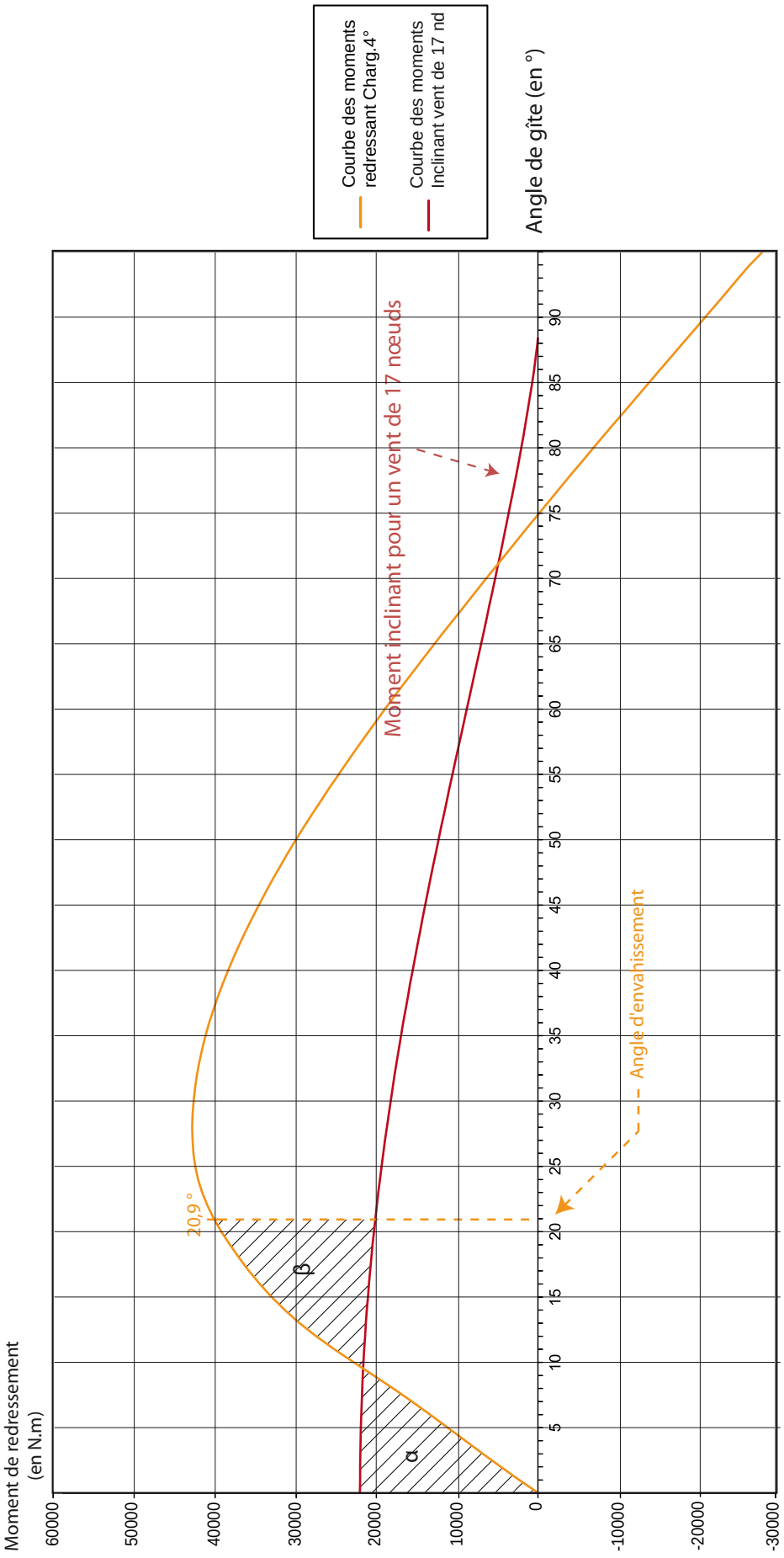


Fig. XXIX : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 27,45 t.m du navire.

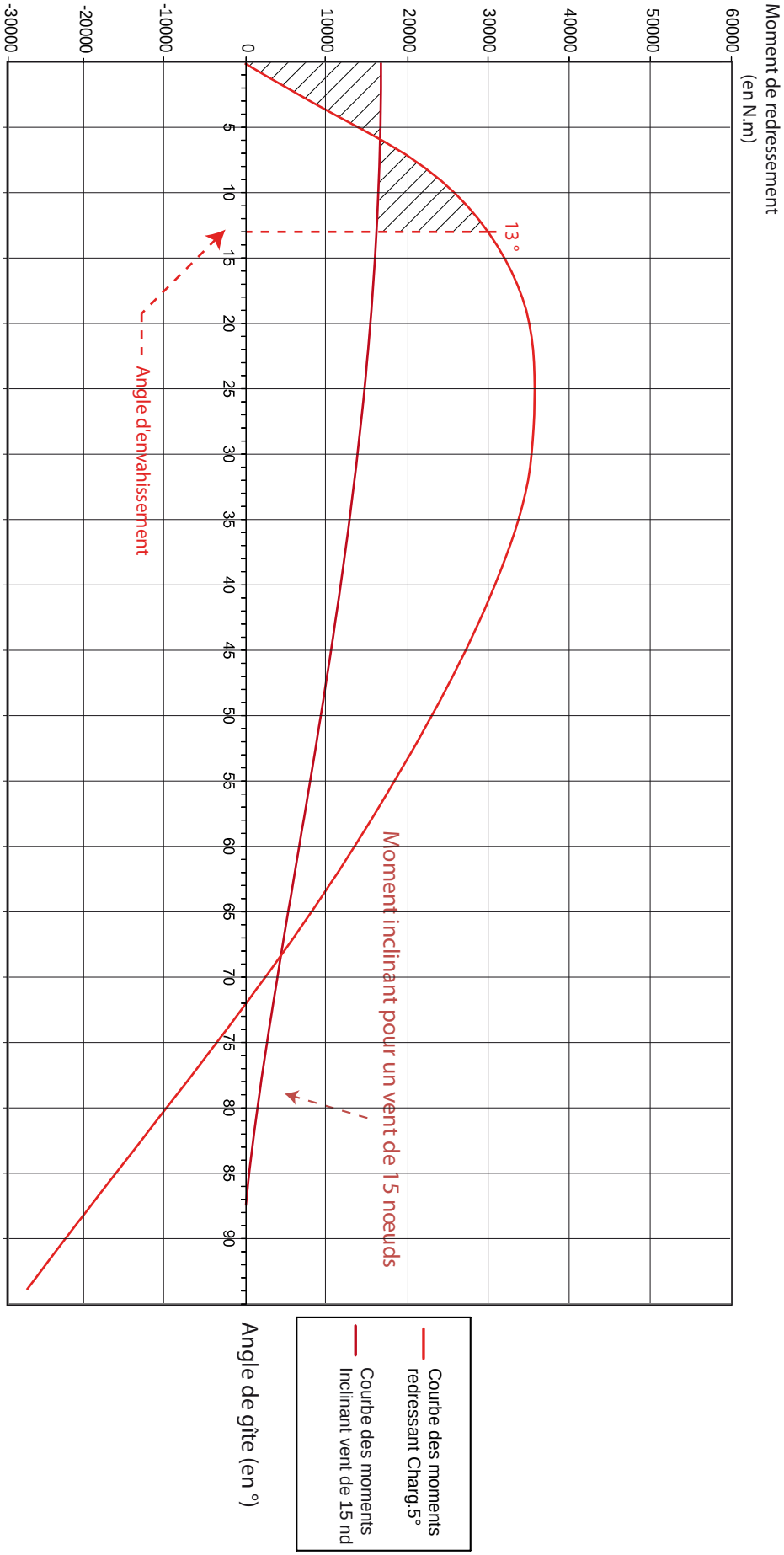
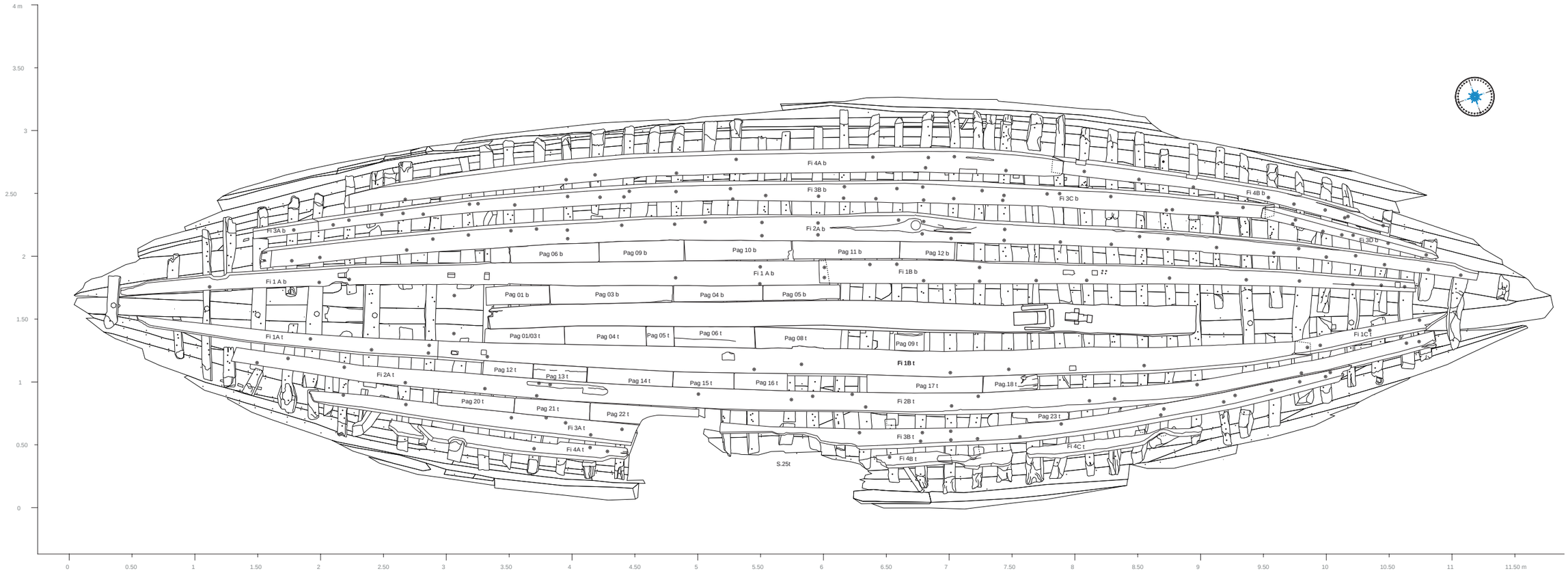
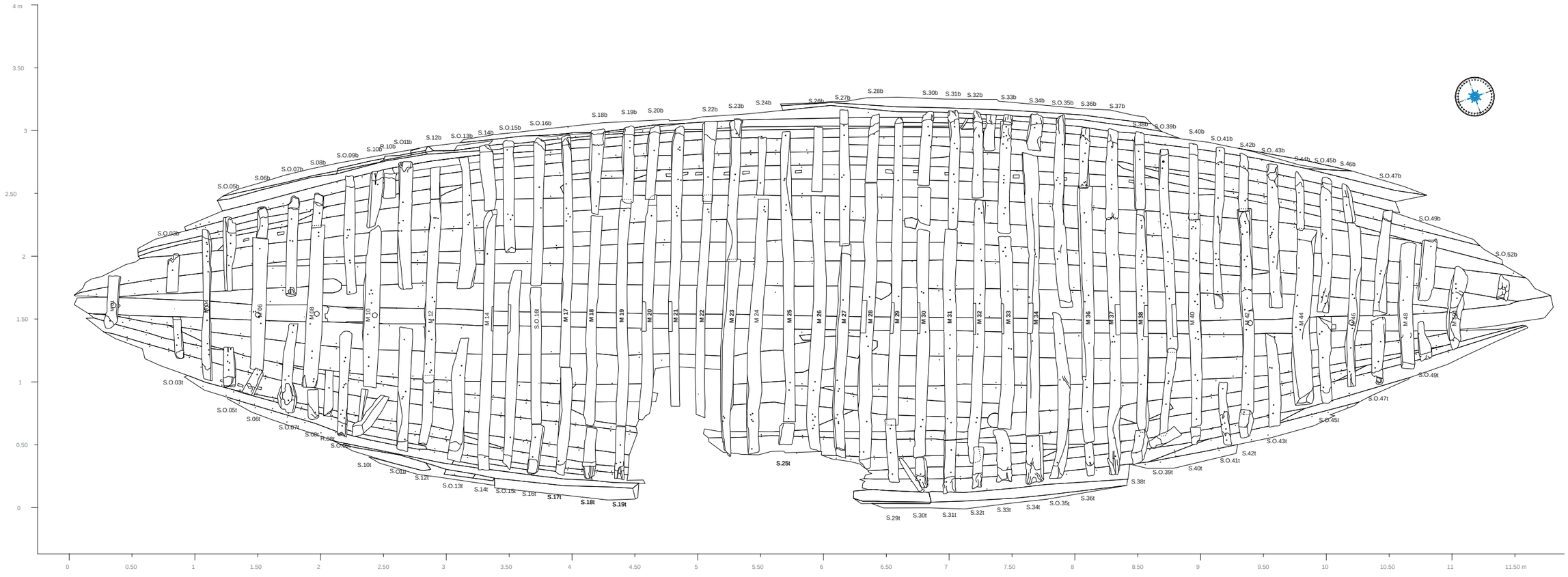


Fig. XXX : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 32,65 t.m du navire.

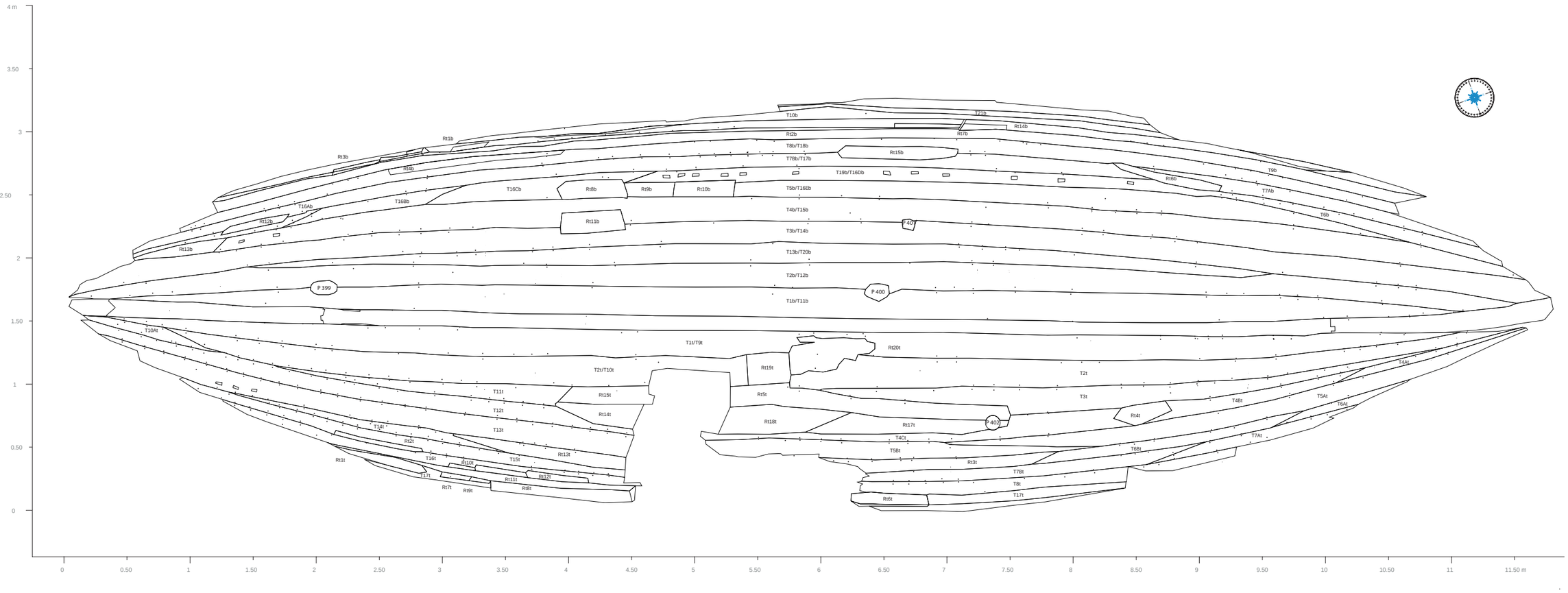
Annexes III: Planches *Napoli A*



Pl. I : Planimétrie de l'épave *Napoli A* avant le démontage des structures internes (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).

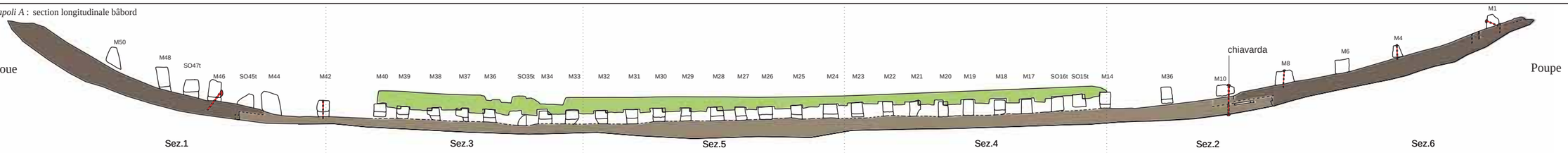


Pl. II : Planimétrie de l'épave *Napoli A* une fois le vaigrage démonté (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).

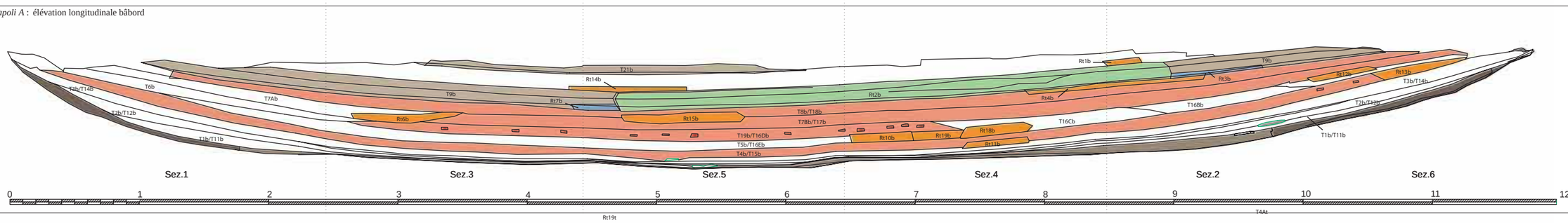


Pl. III : Planimétrie de l'épave *Napoli A* une fois les membrures et le vaigrage démonté (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).

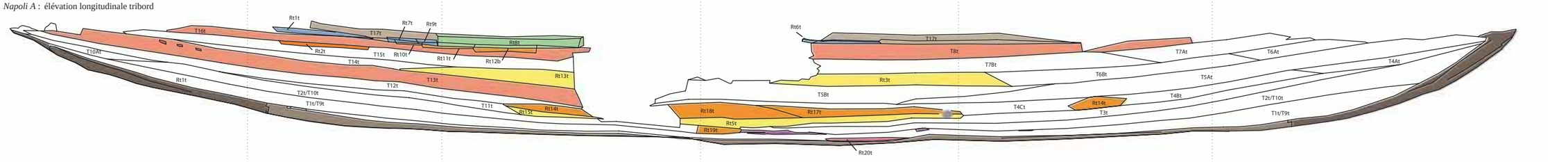
Napoli A : section longitudinale bâbord



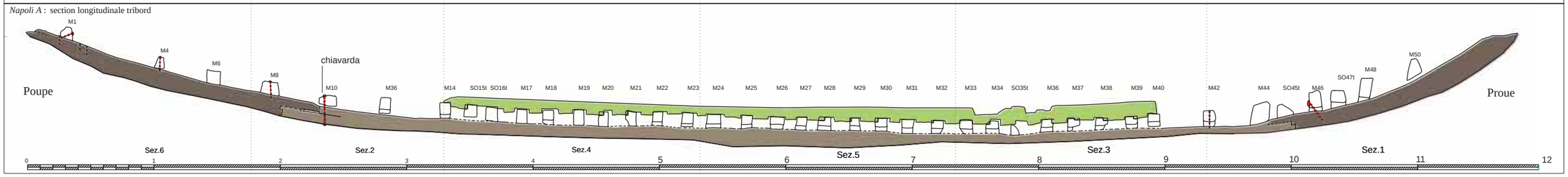
Napoli A : élévation longitudinale bâbord



Napoli A : élévation longitudinale tribord



Napoli A : section longitudinale tribord



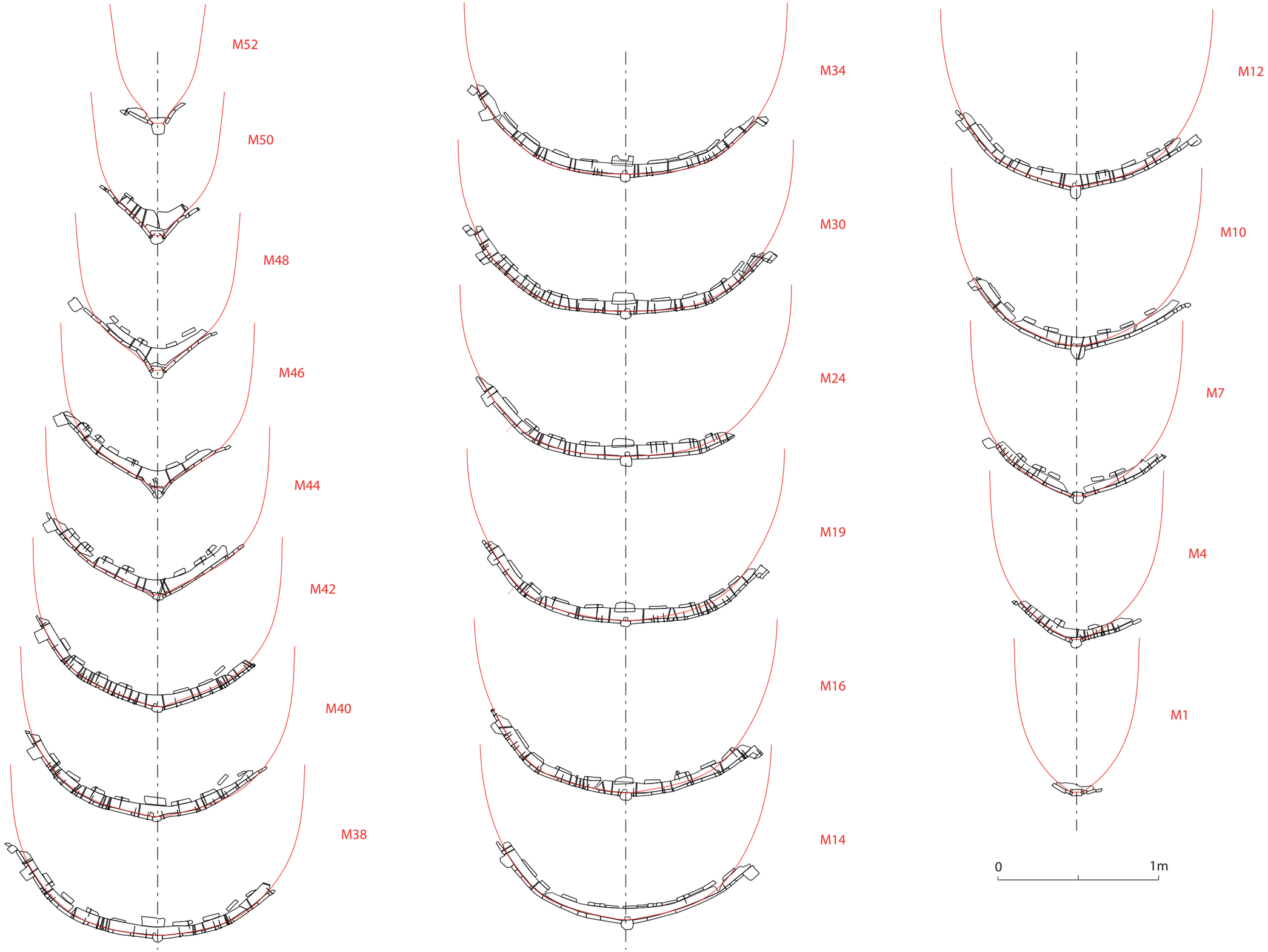
Légende:

- brion
- quille
- massif d'emplanture
- clous/broches

Réparations du bordé :

- bordé cloué
- bordés liés à tenons et mortaises
- bordés avec tenons de réparation
- tenons de réparation

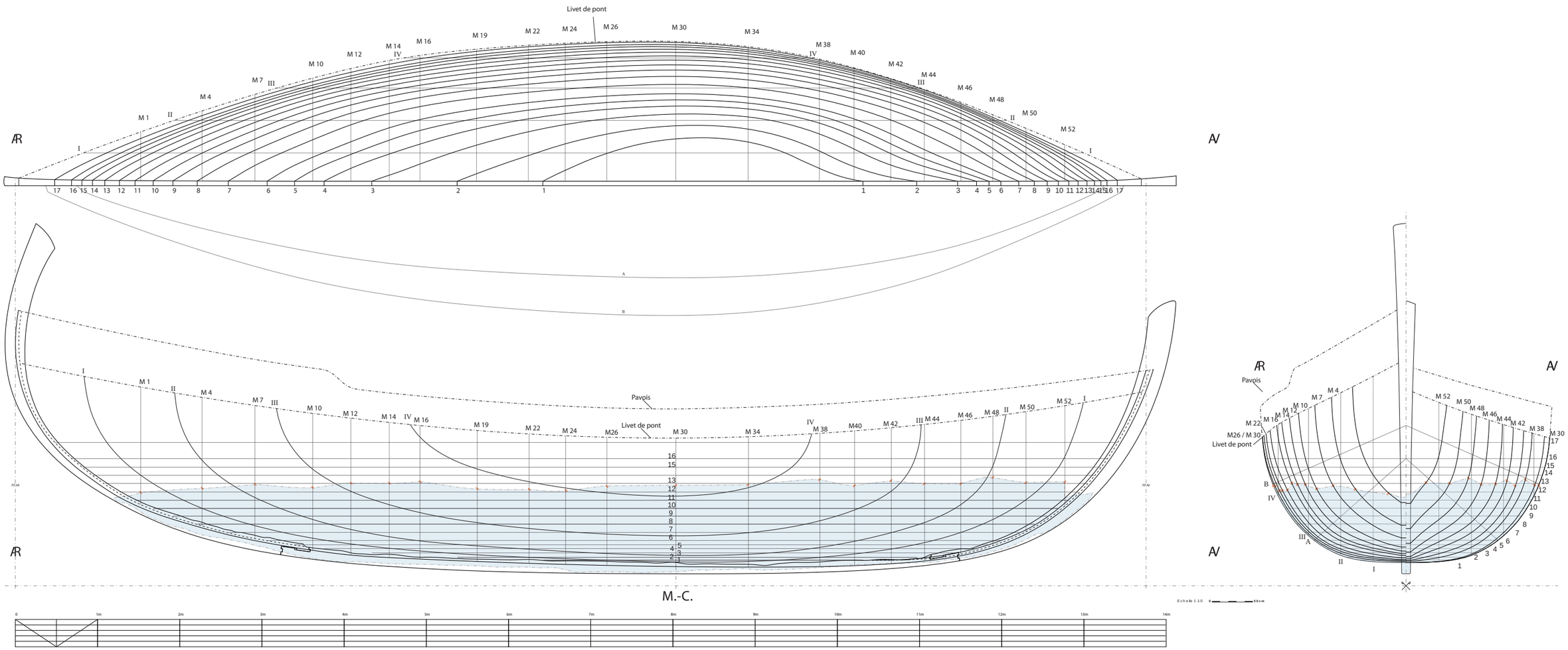
Pl. IV : Coupes et élévations longitudinales de l'épave *Napoli A* (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto)



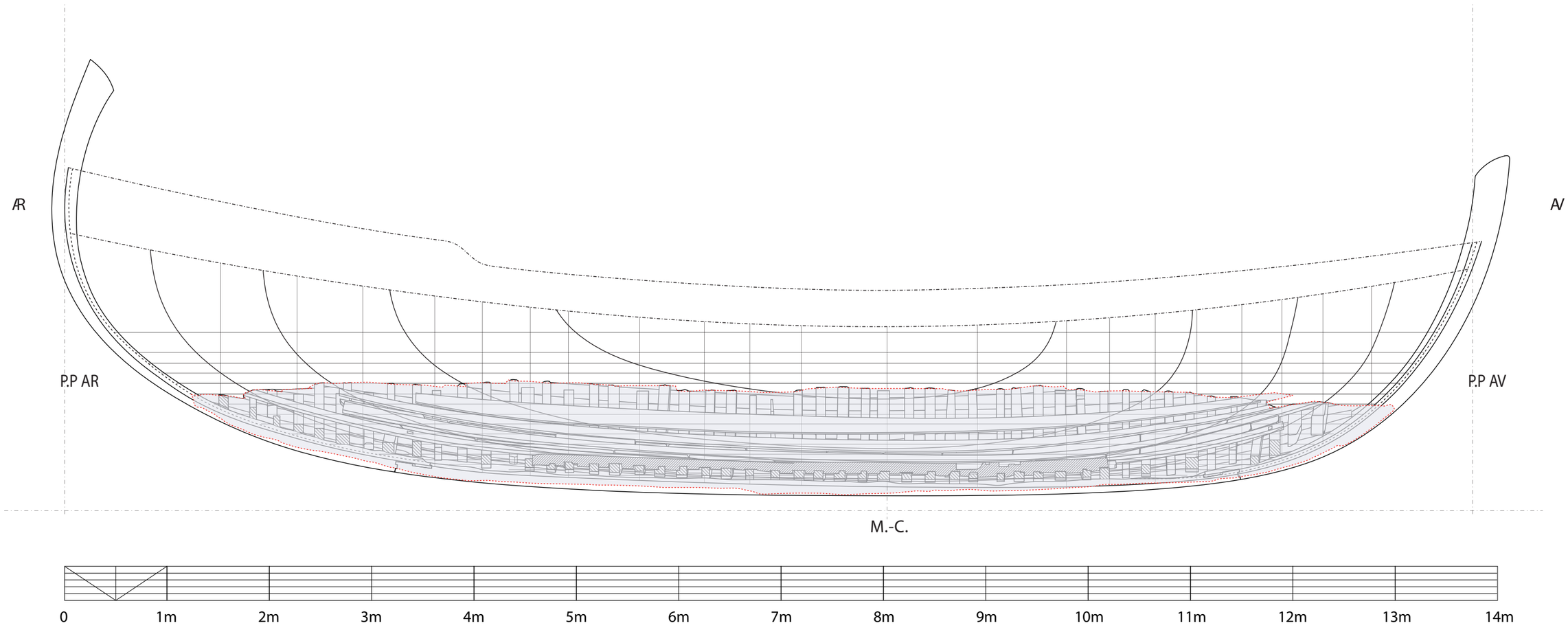
Pl. V : Vue de la remise en place des coupes transversale des vestiges sur les coupe du plan de formes de restitution (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).

Napoli A

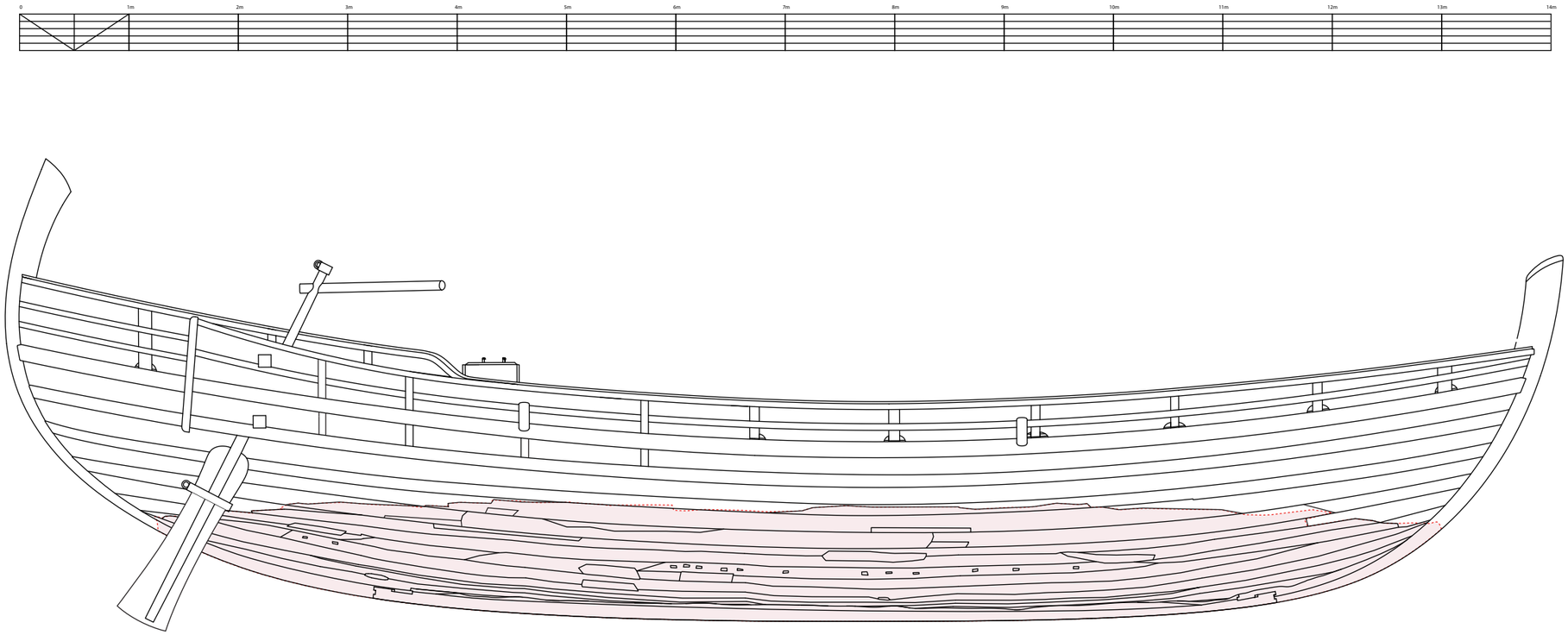
Plan des formes général	Réstitution : P. POVEDA et R. ROMAN
Echelle : 1/10	D.A.O : P. POVEDA
Version n° 2 Dessin du : 19/10/2011	: Vestiges archéologiques conservés

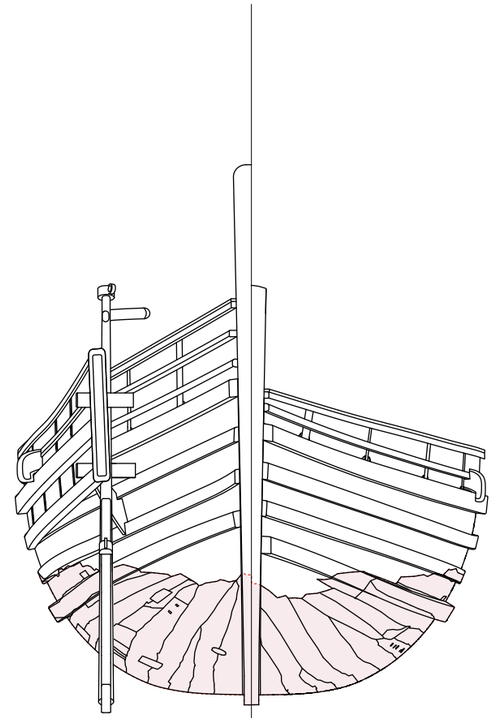


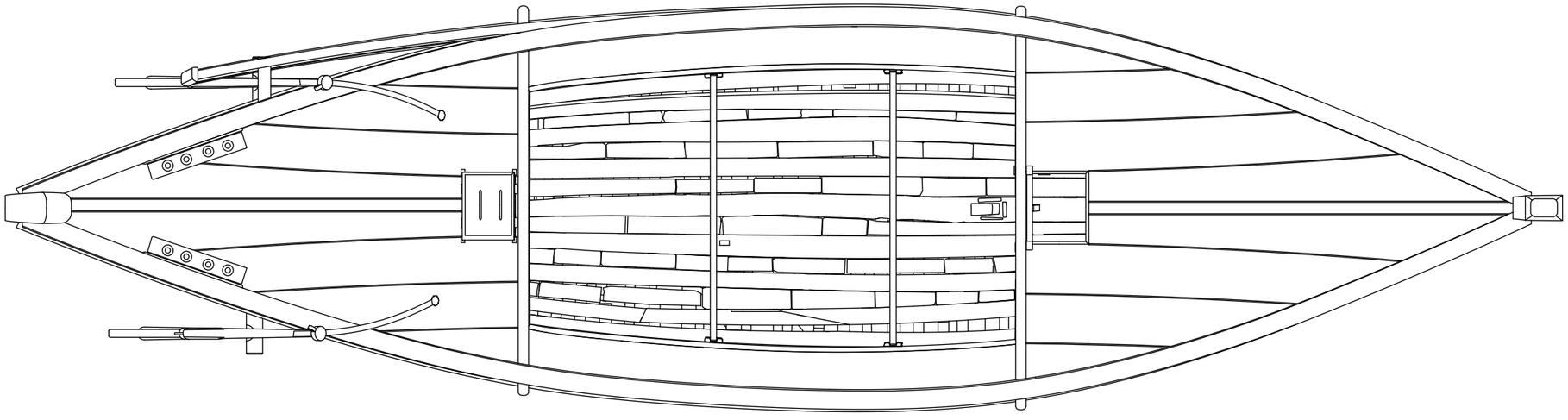
Pl. VI : Plan de formes de restitution de l'épave *Napoli A* (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; CCJ-CNRS)..



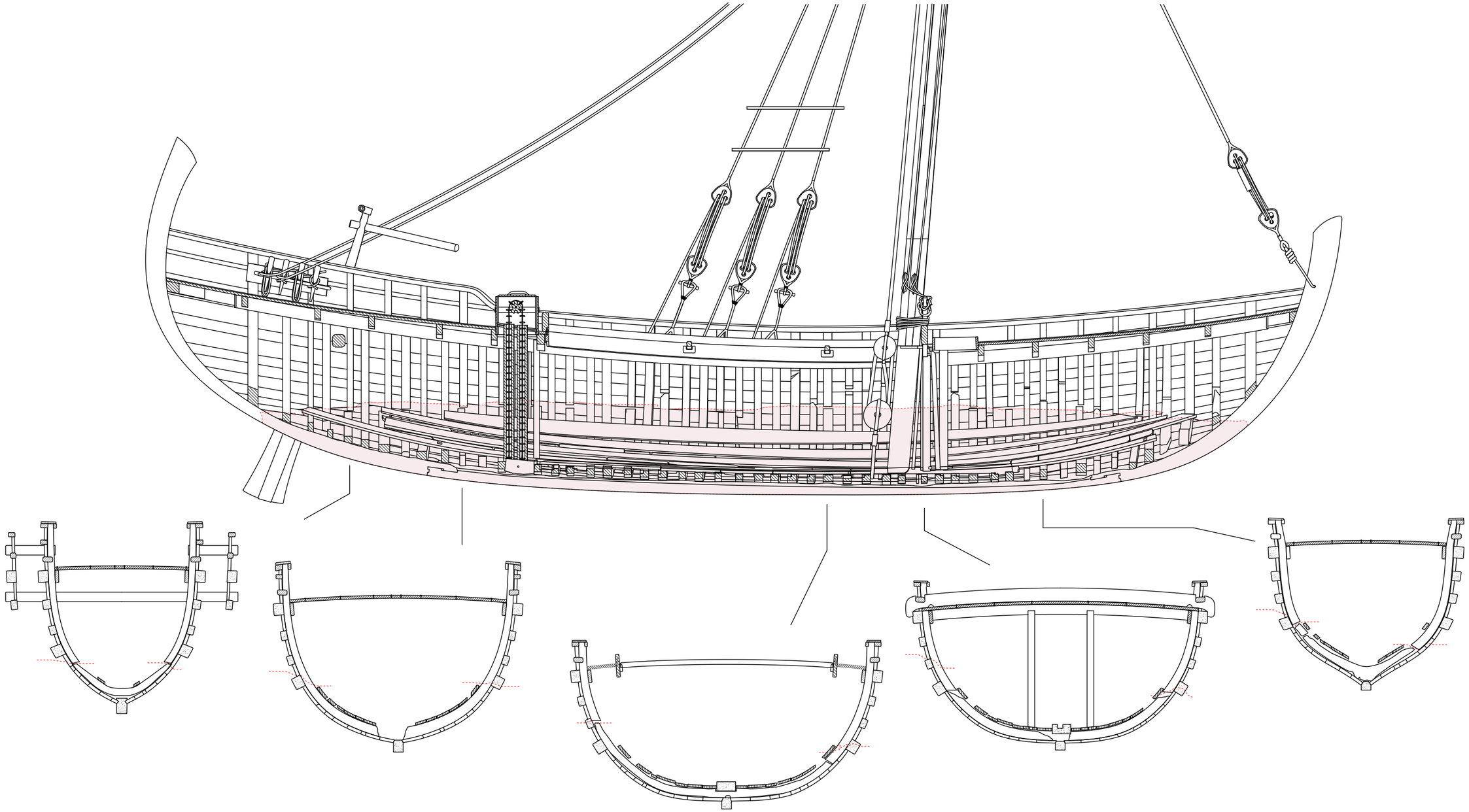
Pl. VII : Aperçu de l'importance des vestiges sur le longitudinal du plan de formes.



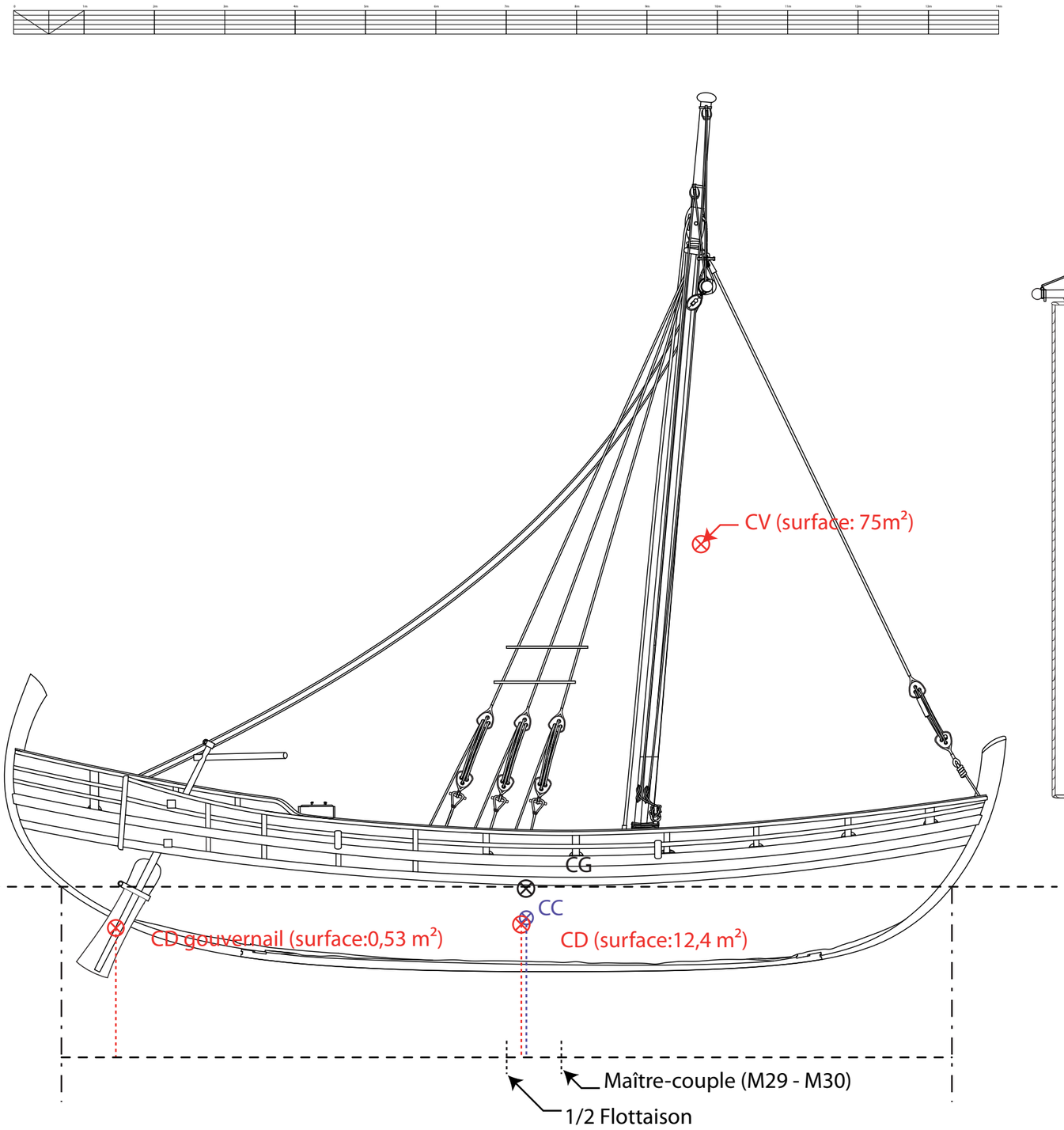


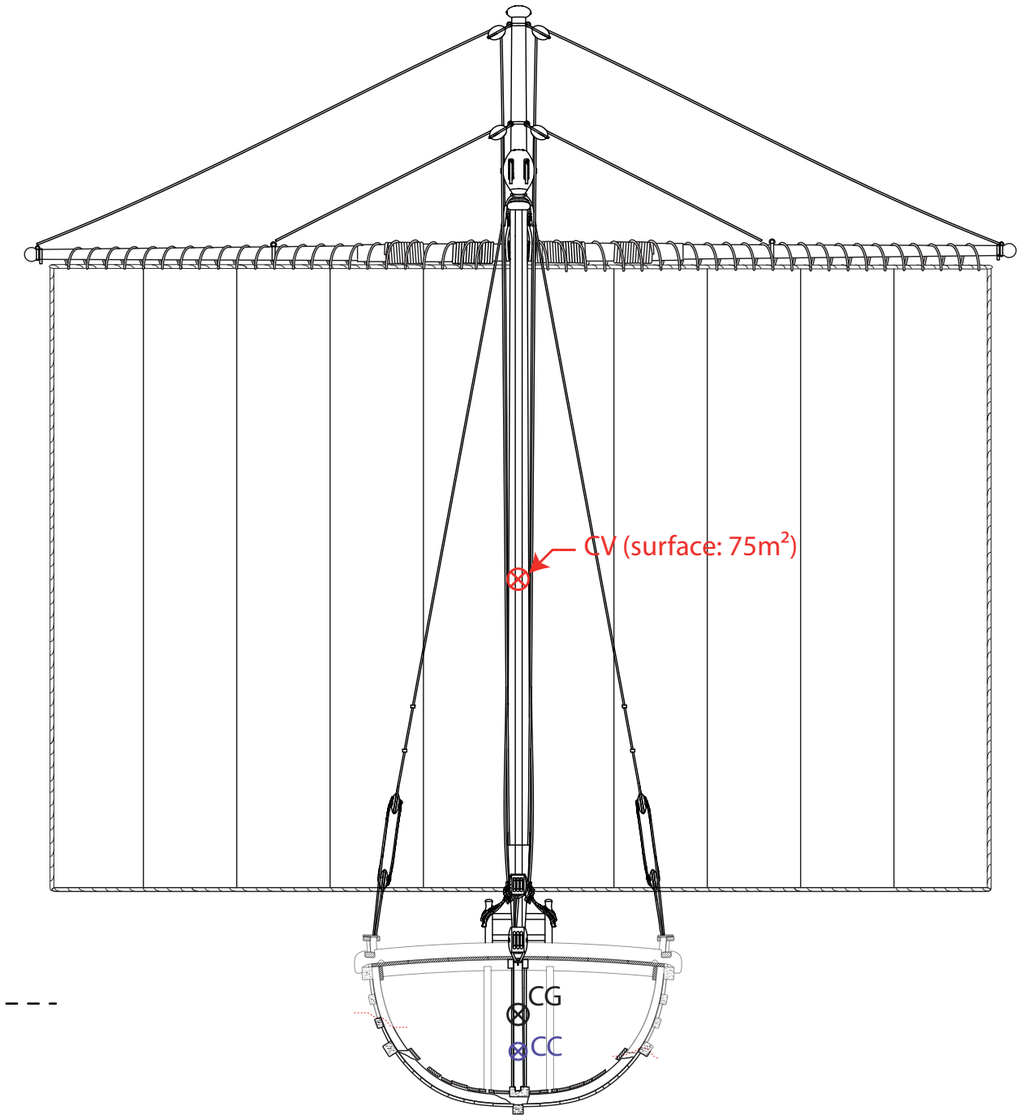


Pl. VIII : Plan de coque et de pont.

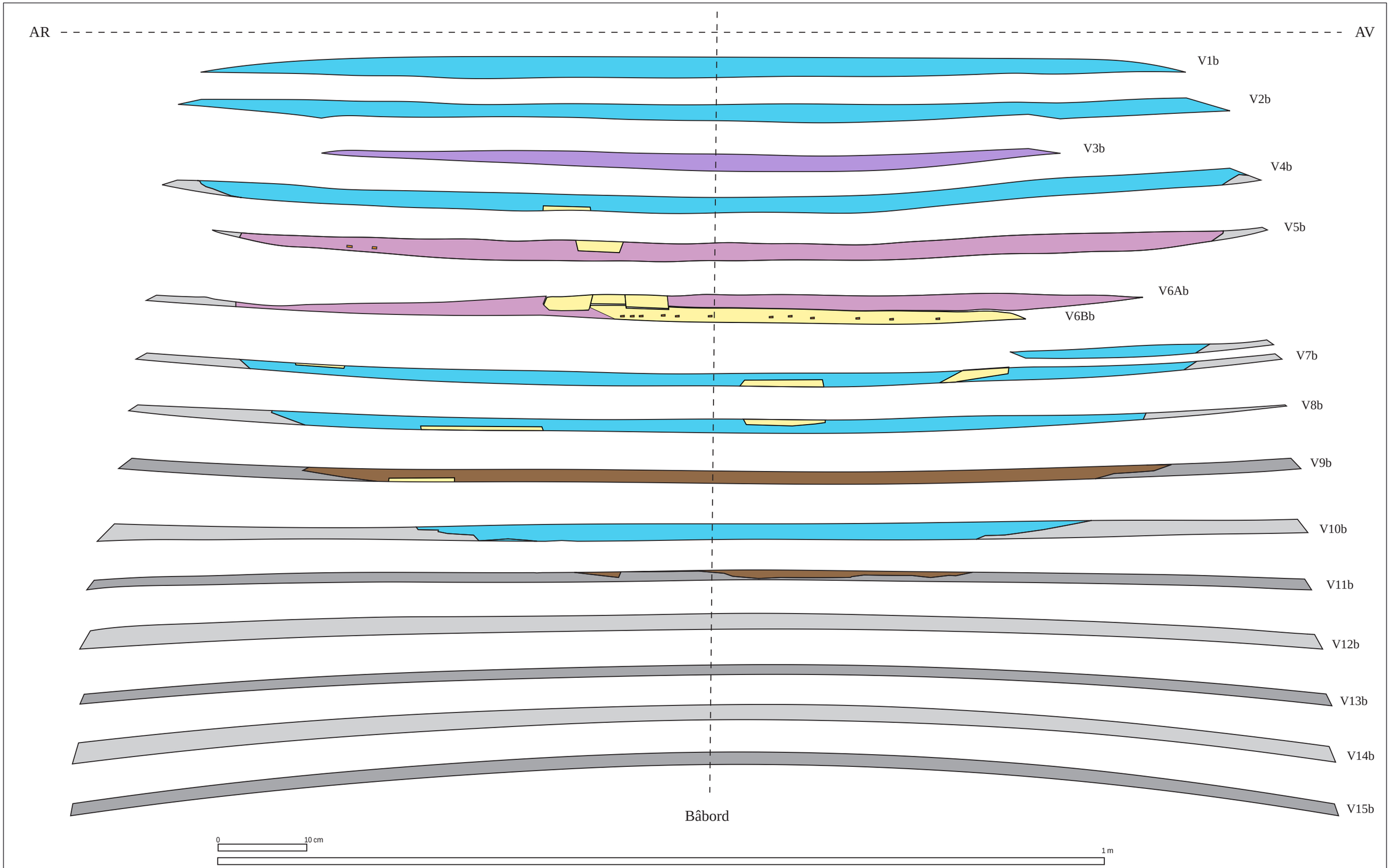


Pl. IX : Plan de restitution des éléments internes.

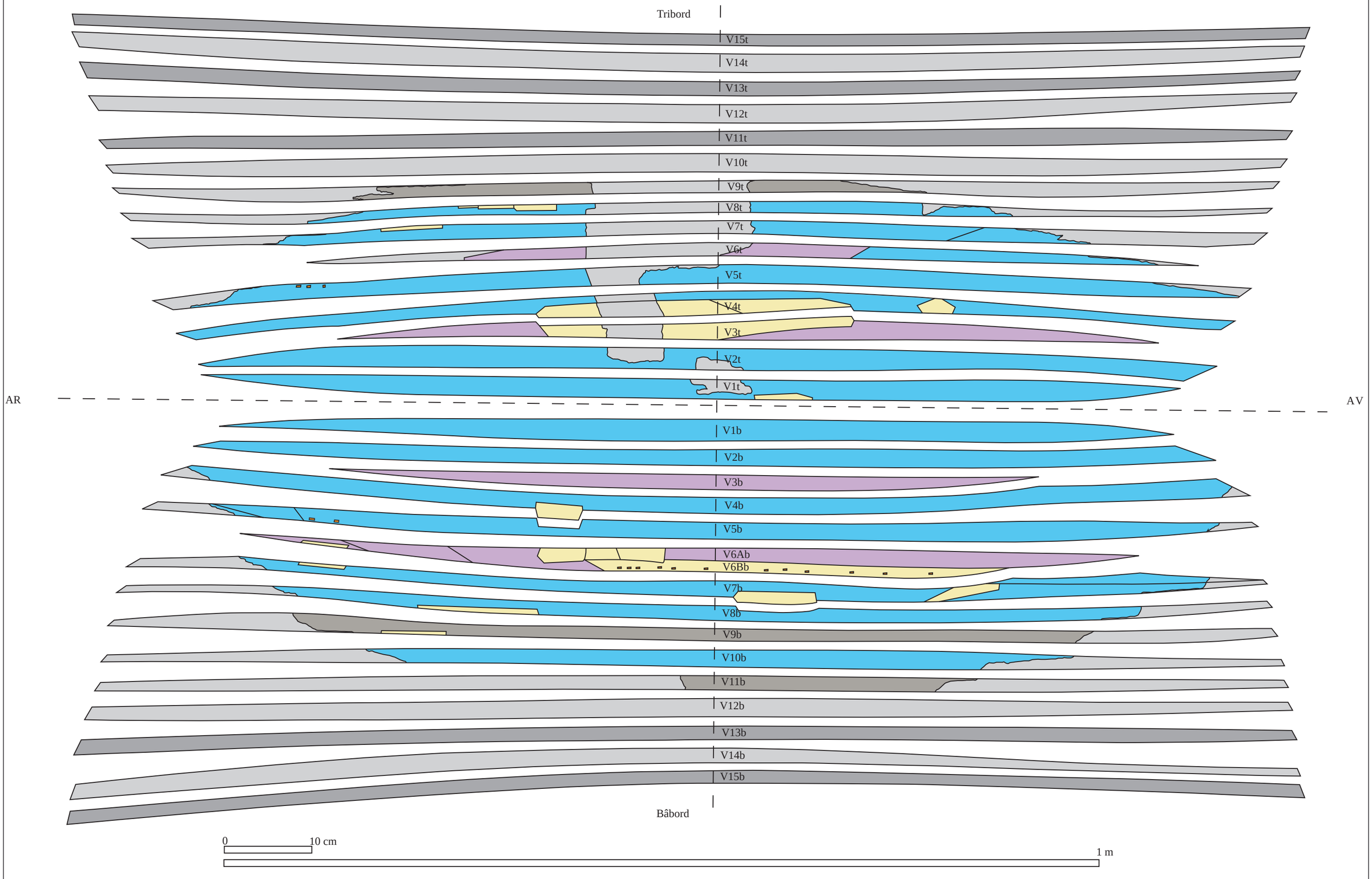




Pl. X : Plan de voilure et répartition des centres caractéristiques.



Pl. XI : Plan dévellopé du bordé bâbord réalisé à partir du modèle virtuel de restitution.



Pl. XII : Plan dévellopé du bordé réalisé à partir de la maquette de vérification des formes, "maquette carton" (Réalisation: G. Boetto, R. Roman, P. Poveda; Dessin: G. Boetto, CCJ-CNRS).

Annexes IV: Documents iconographiques de comparaison *Napoli C*





Vue de détail

Fig. XXXI : Fresque de la Casa del Sacerdote Amandus, Pompéi, Ier s. av J.-C. (Basch, 1987, n°1065, p.473, Pekary, 1999, I-P 20, p.210).



Fig. XXXII : Pygmées conduisant un bateau, musée de Naples, Ier s. av J.-C. (Carcani, 1957, vol.5, pl.67; Pekary, 1999, I-N 21, p.176)



Fig. XXXIII : Fresque du cabinet secret (A), Pompéi, Ier s. av J.-C.
(Pekary, 1999, I-N 39, p.180).



Fig. XXXIV : Fresque du cabinet secret (B), Pompéi, Ier s. av J.-C.
(Pekary, 1999, I-N 40, p.180).



Fig. XXXV : Fresque du cabinet secret (C), Pompéi, Ier s. av J.-C.
(Pekary, 1999, I-N 43, p.182).



Fig. XXXVI : Fresque de la casa del Fabro, Pompéi, Ier s. av J.-C.
(Pekary, 1999, I-P 27, p.213).





Fig. XXXVII : Fresque de la Regio V, 2,10, Pompéi, Ier s. av J.-C.
(Pekary, 1999, I-P 39, p.216).

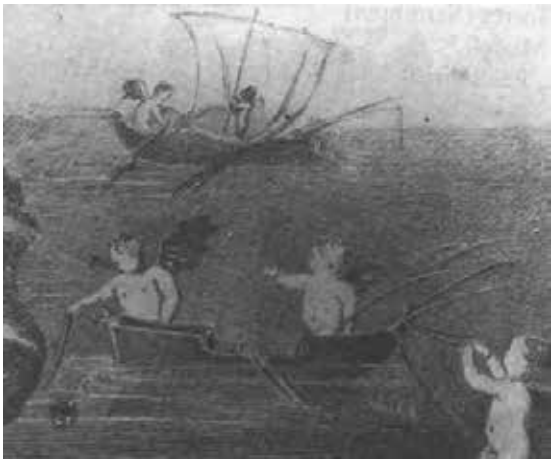


Fig. XXXVIII : Fresque de la Regio IX, 5, 14-16, Pompéi, Ier s. av J.-C.
(Pekary, 1999, I-P 91, p.230).
.



Fig. XXXIX : Détail de la mosaïque du Palazzo Diotallevi, Rimini, entre 117 et 138 ap. J.-C. (Pekary, 1999, p.234, I-R 3 ; Gentili, 1979, p.54-55, fig.10).



Fig. XL : Relief de la tombe tombe n°78 de l'Isola Sacra, IIème s. av J.-C. (Pekary, 1999, I-O 30, p.196; Casson, 1965; Höckmann, 1985, Fig.130).

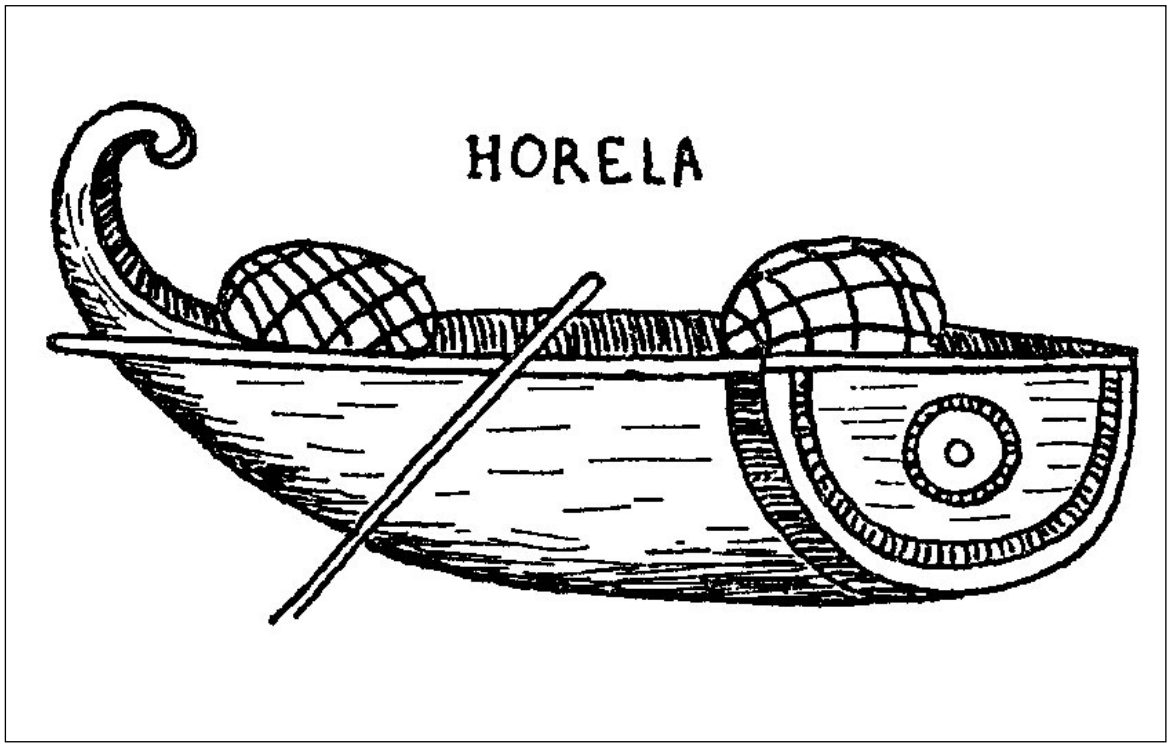


Fig. XLI : Mosaïque du frigidarium des thermes d'Althiburus: milieu IIème ap. J.-C. (Duval, 1949, Fig.19, p.140, Pekary, 1999, TN-48, p.362).



Fig. XLII : Détail du sarcophage de la Ny-Carlsberg Glyptothek, Ostie, IIème – IIIème s. ap. J.-C. (Toby, 1974, 205-211).



Fig. XLIII : Détail d'une mosaïque de Sousse, Sousse, IIIème s. ap. J.-C. (Pekary, 1999,TN-50, p.364 ; Basch, 1987, n°1066, p.473).

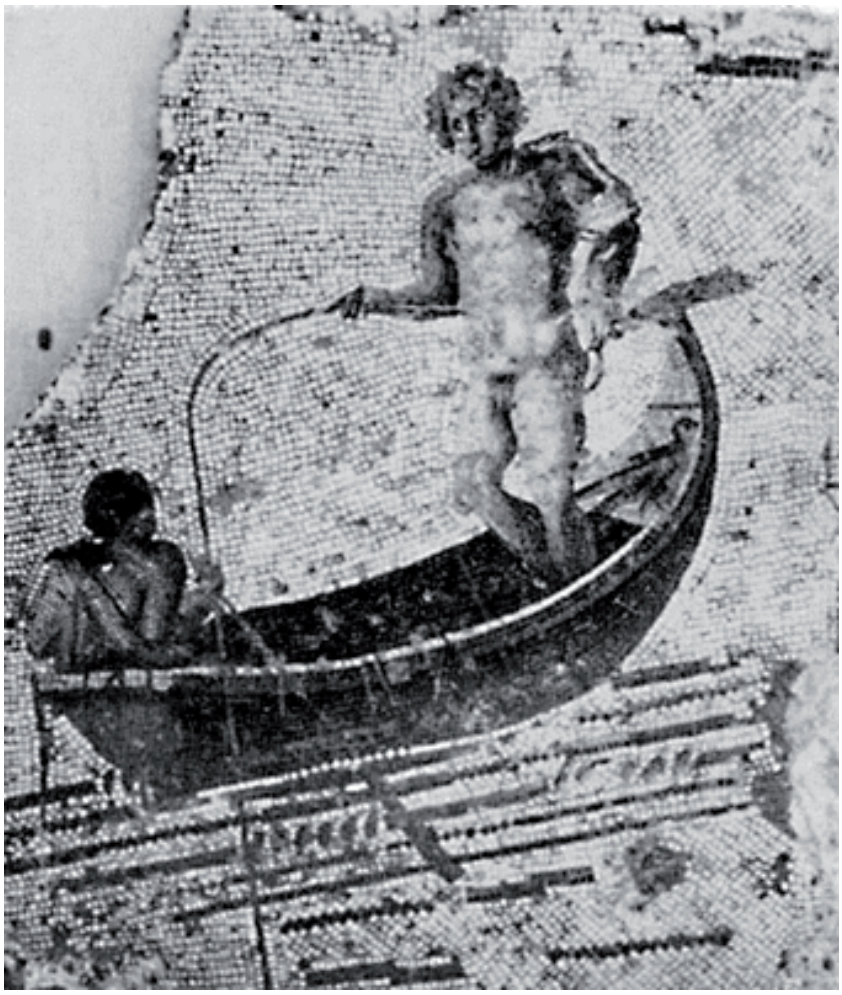


Fig. XLIV : Mosaïque du frigidarium des thermes de Thémétra, navire T5, Thémétra IIIème s. ap. J.-C.
(Foucher, 1957, p.38, fig.35 T.5).

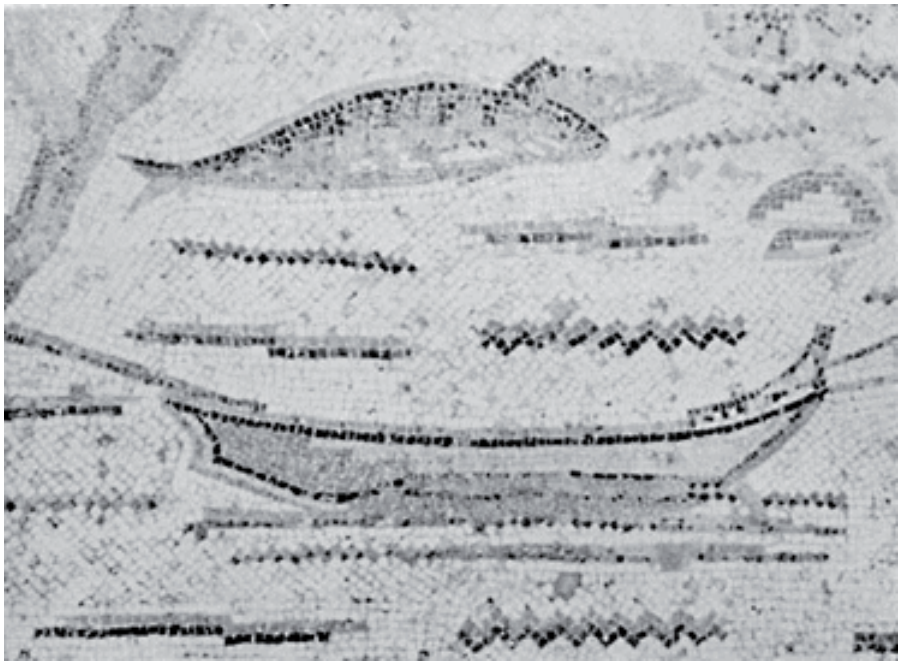


Fig. XLV : Mosaïque du frigidarium des thermes de Thémétra, navire T4, Thémétra IIIème s. ap. J.-C.
(Foucher, 1957, p.38, fig.34 T.4).



Fig. XLVI : Mosaïque du dieu Océan , Utique, IIIème s. ap. J.-C.
(Pirghi et al., 1957, vol.10, p.738).

.



Fig. XLVII : Mosaïque du *frigidarium* de la villa del Casale, Piazza Armerina,
fin IIIème s. ap. J.-C.
(Pekary, 1999, I-P 10 c, p.206).



Fig. XLIII : Mosaïque du port, Corinthe,
IVème s. ap. J.-C.
(Pekary, 1999, GR-55 a, p.122).



Fig. XLIX : Mosaïque de Jonas dans la basilique d'Aquilée, Aquilée, IVème s. ap. J.-C. (Pekary, 1999, I-A 3e, p.150).

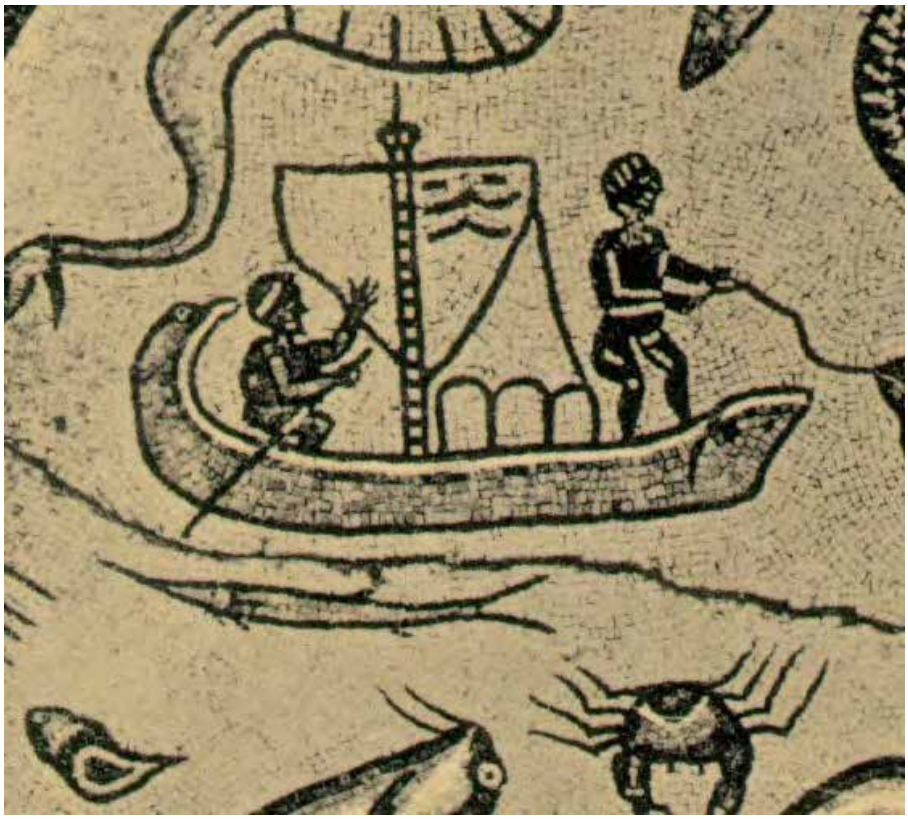
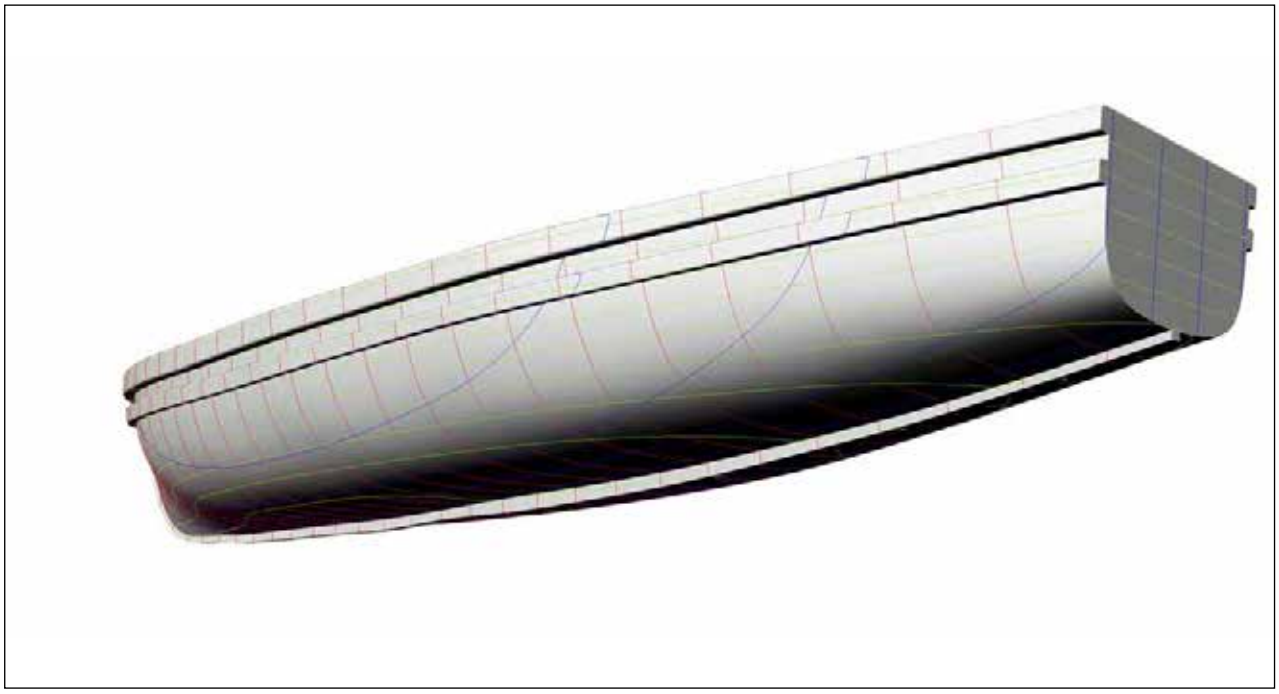


Fig. L : Mosaïque de la villa d'Uadi-ez-Zgàia , Lybie, non datée, (Pekary, 1999, Libya – 21, p.318).

Annexes V: Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité *Napoli C*



Devis de poids: *Napoli C* V.1

Estimation du: 23/02/2012

Membrure N°	Volume (M3)	Vol Corrigé	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total z
Tableau	0,1942	0,194235849	-0,02	1363,74	102,2	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,155388679	-0,00311	211,9098	15,88072
1	0,0233	0,023335849	-15,77	1330,91	91,49	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,018668679	-0,29441	24,84633	1,707997
2	0,0297	0,029735849	-2,23	1298,13	85,35	(*Querc. Spe. + Jugl. Regia*)	0,8	0,023788679	-0,05305	30,8808	2,030364
3	0,0277	0,027735849	0	1274,75	78,06	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,022188679	0	28,28502	1,732048
4	0,0386	0,038635849	7,54	1249,32	77,43	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,030908679	0,23305	38,61483	2,393259
5	0,0342	0,034235849	-2,38	1227,53	77,64	(*Querc. Spe. + Querc. Ilex*)	0,8	0,027388679	-0,06519	33,62043	2,126457
6	0,0284	0,028435849	2,21	1195,53	77,25	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,022748679	0,05027	27,19673	1,757335
7	0,0392	0,039235849	7,33	1179,77	71,41	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,031388679	0,23008	37,03142	2,241466
8	0,0526	0,052635849	-1,05	1146,26	74,38	(*Querc. Spe. + Populus Sp.*)	0,8	0,042108679	-0,04421	48,26749	3,132044
9	0,0452	0,045235849	-3,29	1132,03	79,41	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,036188679	-0,11906	40,96667	2,873743
10	0,0583	0,058335849	-3,42	1108,61	63,15	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,046668679	-0,15961	51,73736	2,947127
11	0,0461	0,046135849	-4,15	1084,61	57,69	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,036908679	-0,15317	40,03152	2,129262
12	0,0462	0,046235849	-13,17	1062,51	61,96	(*Querc. Spe. + Jugl. Regia*)	0,8	0,036988679	-0,48714	39,30084	2,291819
13	0,0548	0,054835849	0	1041,08	62,58	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,043868679	0	45,6708	2,745302
14	0,0388	0,038835849	8,86	1019,66	56,37	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,031068679	0,27527	31,67949	1,751341
15	0,0444	0,044435849	-0,66	990,24	56,46	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,035548679	-0,02346	35,20172	2,007078
16	0,0469	0,046935849	10,22	975,68	56,01	(*Querc. Spe. + Populus Sp.*)	0,8	0,037548679	0,38375	36,6355	2,103102
17	0,059	0,059035849	2,7	943,01	63,08	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,047228679	0,12752	44,53712	2,979185
18	0,0744	0,074435849	-3,19	920,64	57,72	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,059548679	-0,18996	54,8229	3,43715
19	0,0579	0,057935849	-11,62	895,18	57,12	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,046348679	-0,53857	41,49041	2,647437
20	0,0561	0,056135849	6,74	873,55	54,57	(*Querc. Spe. + Jugl. Regia*)	0,8	0,044908679	0,30268	39,22998	2,450667
21	0,0706	0,070635849	2,96	850,84	59,98	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,056508679	0,16727	48,07984	3,389391
22	0,0597	0,059735849	-5,39	828,69	54,37	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,047788679	-0,25758	39,602	2,59827
23	0,0682	0,068235849	-1,85	797,7	57,48	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,054588679	-0,10099	43,54539	3,137757
24	0,0575	0,057535849	3,79	773,11	50,53	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,046028679	0,17445	35,58523	2,325829
25	0,0611	0,061135849	-0,9	748,62	62,95	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,048908679	-0,04402	36,61402	3,078801
26	0,0523	0,052335849	-21,79	727,81	52,31	(*Querc. Spe. + Pinus Nigra*)	0,8	0,041868679	-0,91232	30,47244	2,190151
27	0,0722	0,072235849	-16,18	703,96	59,23	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,057788679	-0,93502	40,68092	3,422823
28	0,0475	0,047535849	-7,9	678,82	51,34	(*Querc. Sp. + Pi. Nigra + Populus*)	0,8	0,038028679	-0,30043	25,81463	1,952392
29	0,0674	0,067435849	4,74	653,55	55,77	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,053948679	0,25572	35,25816	3,008718
30	0,0553	0,055335849	-12,63	632,4	59,86	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,044268679	-0,55911	27,99551	2,649923
31	0,0645	0,064535849	13,63	607,89	57,68	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,051628679	0,7037	31,38456	2,977942
32	0,0539	0,053935849	-2,02	584,39	55,68	(*Querc. Spe. + Pinus Nigra*)	0,8	0,043148679	-0,08716	25,21566	2,402518
33	0,0529	0,052935849	-1,96	560,4	61,42	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,042348679	-0,083	23,7322	2,601056
34	0,0494	0,049435849	-10,84	536,56	56,47	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,039548679	-0,42871	21,22024	2,233314
35	0,0597	0,059735849	14,24	520,03	62,21	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,047788679	0,68051	24,85155	2,972934
36	0,0382	0,038235849	-3,9	489,24	56,05	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,030588679	-0,1193	14,96521	1,714495
37	0,0481	0,048135849	4,36	462,17	67,81	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,038508679	0,1679	17,79756	2,611274
38	0,0746	0,074635849	2,28	437,07	65,41	(*Querc. Spe. + Ostrya Carpi.*)	0,8	0,059708679	0,13614	26,09687	3,905545
39	0,0678	0,067835849	7,31	416,59	69,61	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,054268679	0,3967	22,60779	3,777643
40	0,0503	0,050335849	-1,14	400,98	66,28	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,040268679	-0,04591	16,14693	2,669008
41	0,0424	0,042435849	9,12	371,9	72,89	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,033948679	0,30961	12,62551	2,474519
42	0,0479	0,047935849	1,3	349,69	67,4	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,038348679	0,04985	13,41015	2,584701
43	0,0302	0,030235849	-12,71	309,6	84,49	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,024188679	-0,30744	7,488815	2,043702
44	0,0485	0,048535849	-7,42	309,24	75,91	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,038828679	-0,28811	12,00738	2,947485
45	0,0387	0,038735849	-12,78	285,06	84,35	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,030988679	-0,39604	8,833633	2,613895
46	0,063	0,063035849	-3,76	263,3	82,82	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,050428679	-0,18961	13,27787	4,176503
47	0,0397	0,039735849	0,16	237,88	103,39	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,031788679	0,00509	7,561891	3,286632
48	0,0359	0,035935849	4,32	211,7	91,64	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,028748679	0,12419	6,086095	2,634529
49	0,0435	0,043535849	0,71	184,03	84,36	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,034828679	0,02473	6,409522	2,938147
50	0,0616	0,061635849	-0,12	158,5	100,17	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,049308679	-0,00592	7,815426	4,93925
51	0,0452	0,045235849	0,81	127,6	109,39	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,032569811	0,02638	4,155908	3,562812
52	0,0454	0,045435849	0,38	96,83	108,16	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,036348679	0,01381	3,519643	3,931473
Total	2,8092	2,811099997						**2,24526**	-2,35292	1672,816	157,1183
CG Membrure:			**-1,05**	**745**	**69,978**						

Devis de poids: *Napoli C* V.1

Estimation du: 23/02/2012

Charpente long.	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Quille	0,1771	0	690,57	15,71	Pin maritime (*Pi. Pinas.*)	0,47	0,083237	0	57,481	1,30765327
Etambot	0,1752	0	46,55	192,5	N. Id (Simili Quille)	0,47	0,082344	0	3,83311	15,85122
Longerons	0,0351	-3,05	1303,16	81,64	Chêne quaduc (*Querc. Spe.*)	0,8	0,02808	-0,0856	36,5927	2,2924512
Vaigrage Fixe	0,4269	0	783,16	49,68	(*Quer. Sp.* + mix *Pinus*)	0,65	0,277485	0	217,315	13,7854548
Vaigres mobiles	0,3664	-1,01	755,39	48,62	N. Id (Simili Nap. A)	0,51	0,186864	-0,1887	141,155	9,08532768
Bordé	2,2454	-0,06	704,75	62,41	Mélange (Maj. *Pinus*)	0,51	1,145154	-0,0687	807,047	71,4690611
Préceintes	0,6852	0	644,22	135,76	N. Id (Simili Nap. A)	0,54	0,370008	0	238,367	50,2322861
	4,1113									
CG Ch. Long.:		**-0,16**	**691**	**75,5**			**2,173172**	-0,3431	1501,79	164,023454

Pont	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Hiloires/épontilles	0,295	0,01	769,43	152,36	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,236	0,00236	181,585	35,95696
Barrots	0,3364	-0,44	755,44	148,65	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,26912	-0,1184	203,304	40,004688
Bordé de pont	0,7518	-0,13	732,67	160,06	N. Id (Simili bordé)	0,51	0,383418	-0,0498	280,919	61,3698851
Jambettes	0,482	-0,21	742,57	176,54	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,3856	-0,081	286,335	68,073824
Pompe de cale	0,1057	9	365,37	114,43	N. Id	0,65	0,068705	0,61835	25,1027	7,86191315
Cabillots	0,0118	-6,52	88,74	199,37	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,00944	-0,0615	0,83771	1,8820528
Pavois	0,571	-0,48	679,68	186,36	N. Id (Simili bordé)	0,51	0,29121	-0,1398	197,93	54,2698956
	2,5537									
CG Pont:		**0,1**	**716**	**164**			**1,643493**	0,17014	1176,01	269,419219

Mature	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Etambrai	0,0638	0,6	888,29	106,35	N. Id	0,5	0,0319	0,01914	28,3365	3,392565
Mât	0,4412	0,71	933,33	591,167	N. Id	0,5	0,2206	0,15663	205,893	130,41144
Vergue	0,2323	-0,91	1004,19	982,49	N. Id	0,5	0,11615	-0,1057	116,637	114,116214
Accastillage	0,1412	0,25	786,38	523,12	N. Id	0,65	0,09178	0,02295	72,174	48,0119536
Massif emplanture	0,1731	0,71	742,83	39,58	N. Id (Simili Nap. A)	0,8	0,13848	0,09832	102,867	5,4810384
	1,0516									
CG Mature:		**0,3**	**878**	**526**			**0,56701**	0,1722	497,57	298,020646

Divers	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total
Pelle de gouverne	0,162	0,44	219,04	71,47	N. Id	0,72	0,11664	0,05132	25,5488	8,3362608
Barrot	0,0711	0	259,13	128,21	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,05688	0	14,7393	7,2925848
	0,2331									
CG Gouvernail:		**0,3**	**232**	**90,1**			**0,17352**	0,05132	40,2881	15,6288456

Lest et Chargement	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)			Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total
1°	11,234	0	638	68,24			8,2	0	5231,6	559,568
2°	18	0	664	80,76			13,209	0	8770,78	1066,75884
3°	24,8	0	676	92,19			18,199	0	12302,5	1677,76581
4°	28,505	0	680	98,03			20,91	0	14218,8	2049,8073
Amphores 2/4 camp.	28,505	0	645	95,16			11,956	0	7711,62	1137,73296

Devis de poids: *Napoli C* V.1

Estimation du: 23/02/2012

	Lège	1°	2°	3°	4°	Dressel 2/4
Déplacement (T)	6,802	15,002	20,011	25,001	27,712	18,758
Volume total de bois (m3)	10,76	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79
Surface mouillée (m²)	32,89	42,47	47,23	51,81	54,45	45,00
Rapport Sv/M	2,45	1,90	1,71	1,56	1,48	1,79

	CG lège	CG1°	CG2°	CG3°	CG4°	CG 2/4
x	-0,338	-0,153	-0,115	-0,092	-0,083	-0,123
y	718,634	674,561	682,572	687,600	689,483	671,702
z	132,924	97,569	98,492	103,273	106,595	108,855

Configuration de Cargaison	1°	2°	3°	4°
Volume de chargement (m3)	11,234	18	24,8	28,505
Poids de blé réel transporté en sac (T)	7,642 - 8,845	12,244 - 14,173	16,870 - 19,527	19,391 - 22,444
Moyenne du Port en Lourd (T.M)	**8,2**	**13,209**	**18,199**	**20,91**
Volume réel de blé transporté (m3)	10,332	16,64	22,93	26,346
Moyenne en Modii (≈ 8.73 Litres)	1183	1906	2626	3018
Densité de la cargaison	0,73	0,73	0,73	0,73

	Dressel 2/4
Vol (m3)	28,505
Nb d'amphores	**280**
Port en Lourd	**11,956**

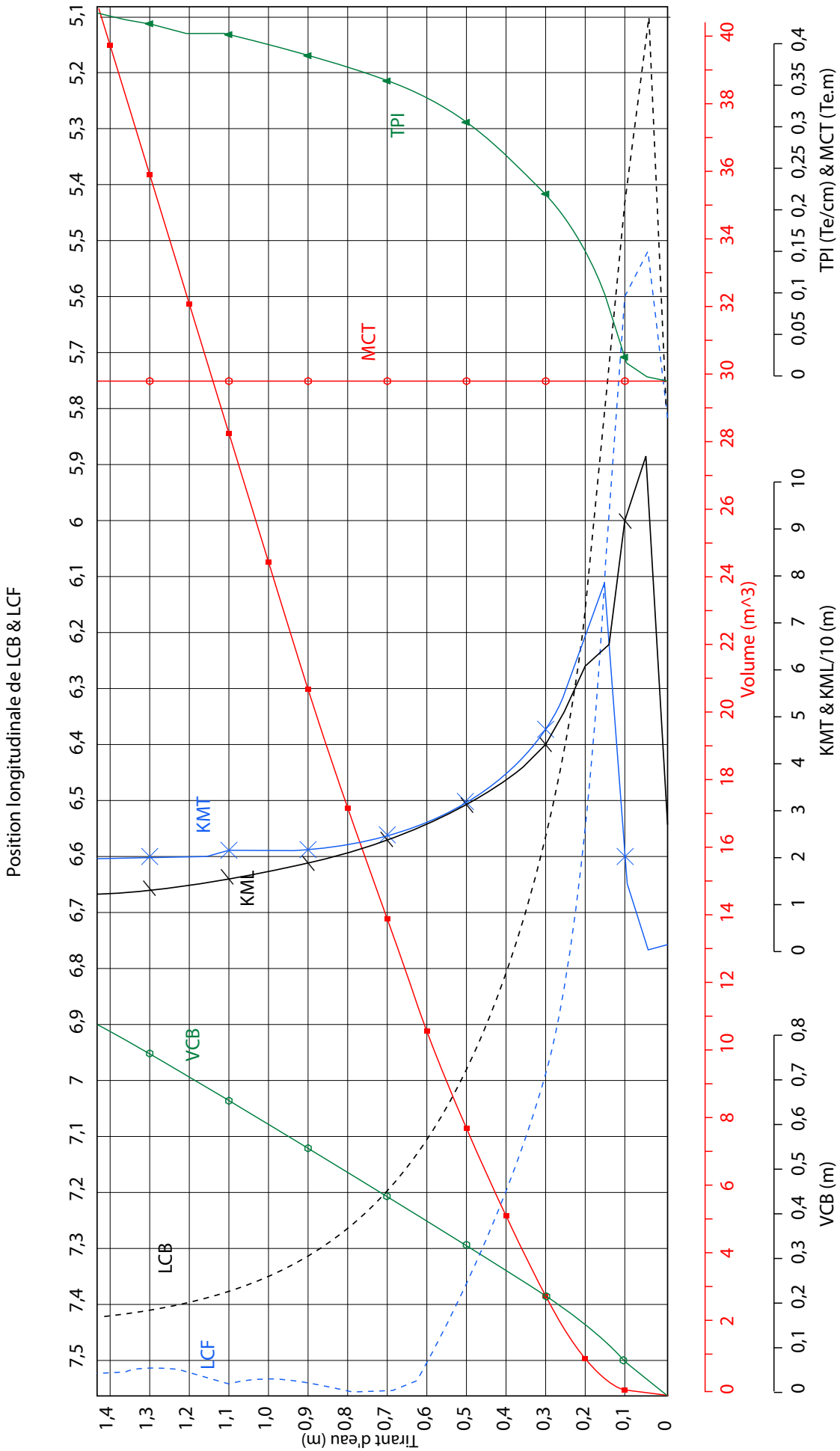


Fig. LI : Courbes hydrostatiques de la première hypothèse de restitution de *Napoli C*

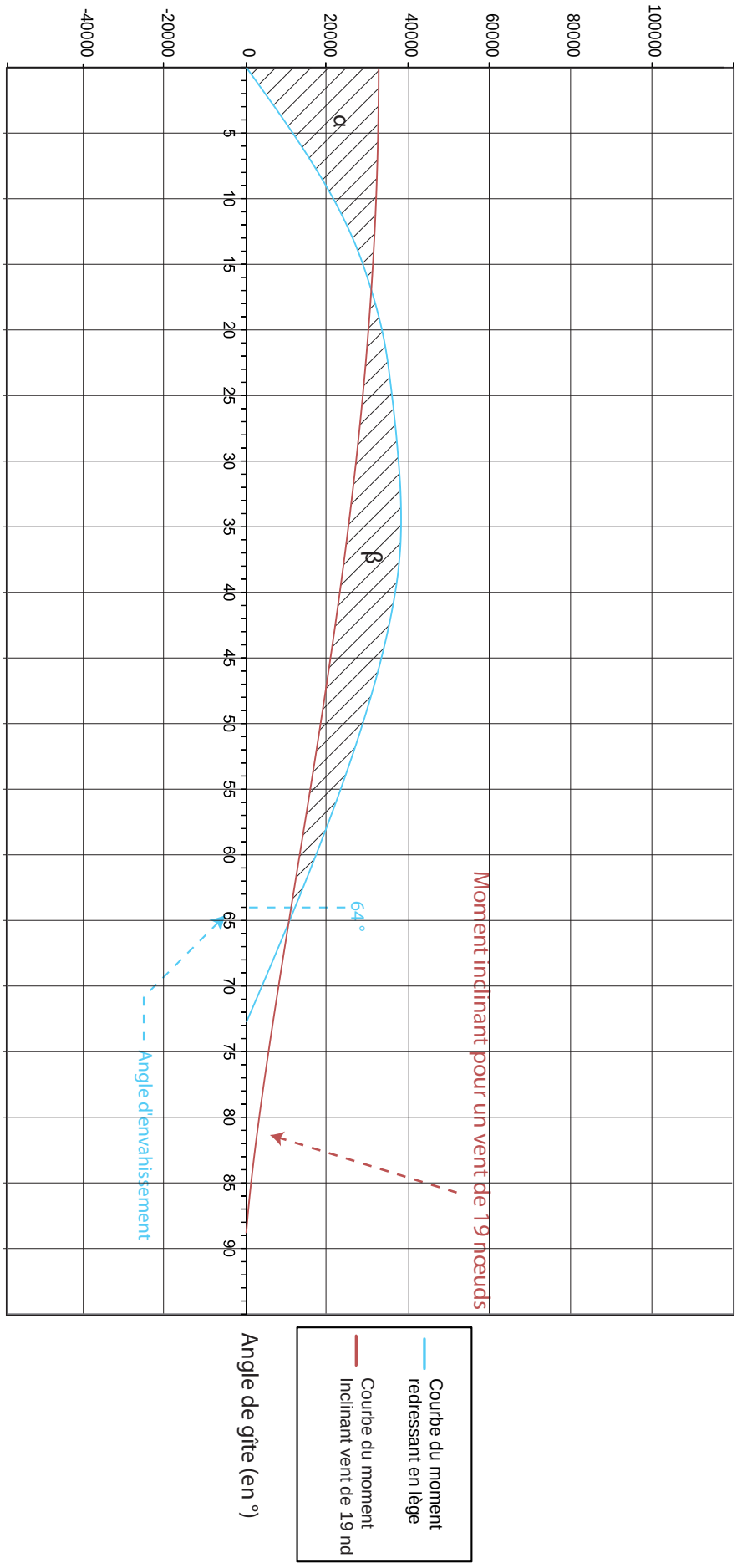


Fig. LII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement en lège de *Napoli C*.

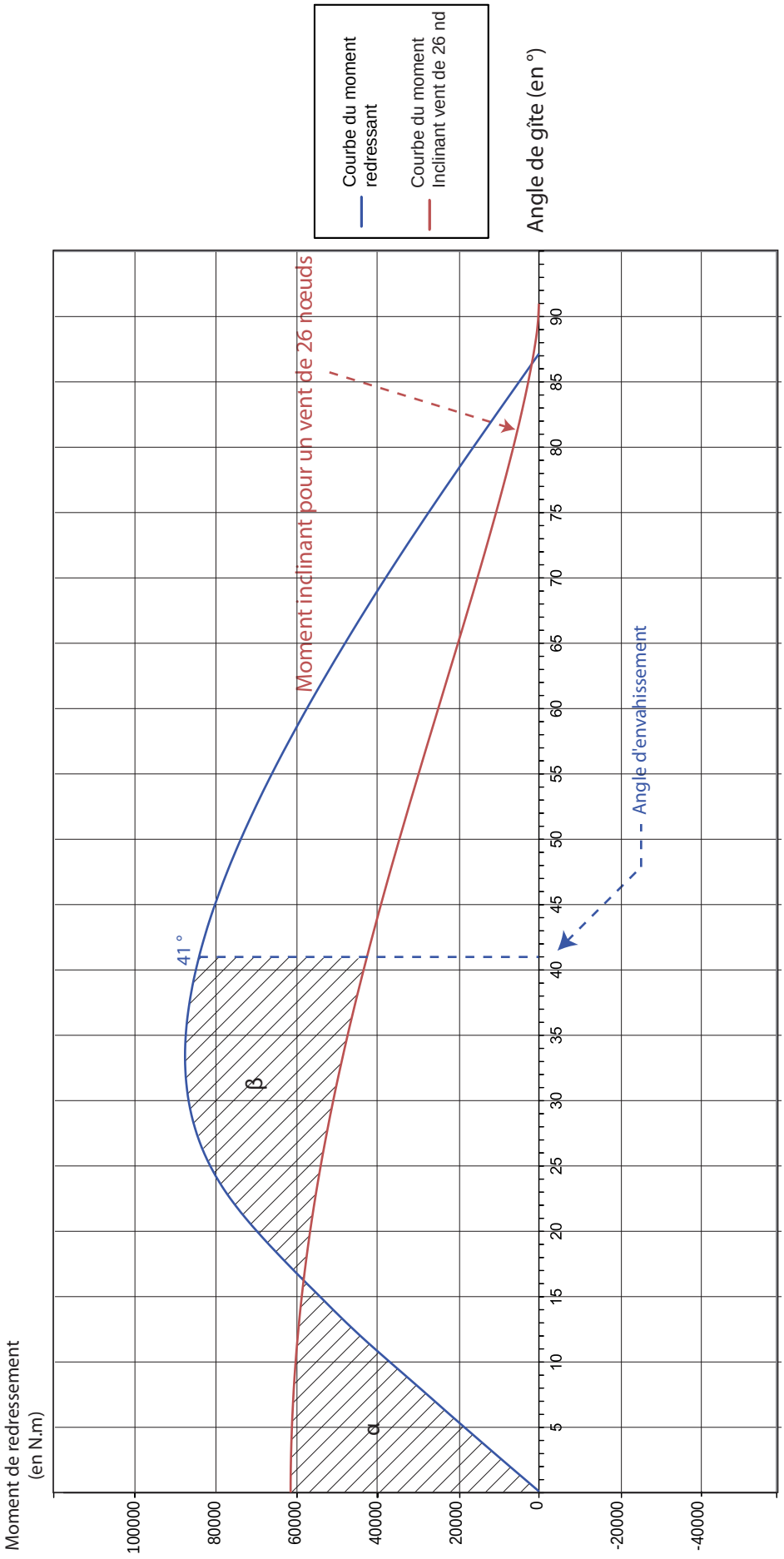


Fig. LIII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 15 t.m de *Napoli C.*

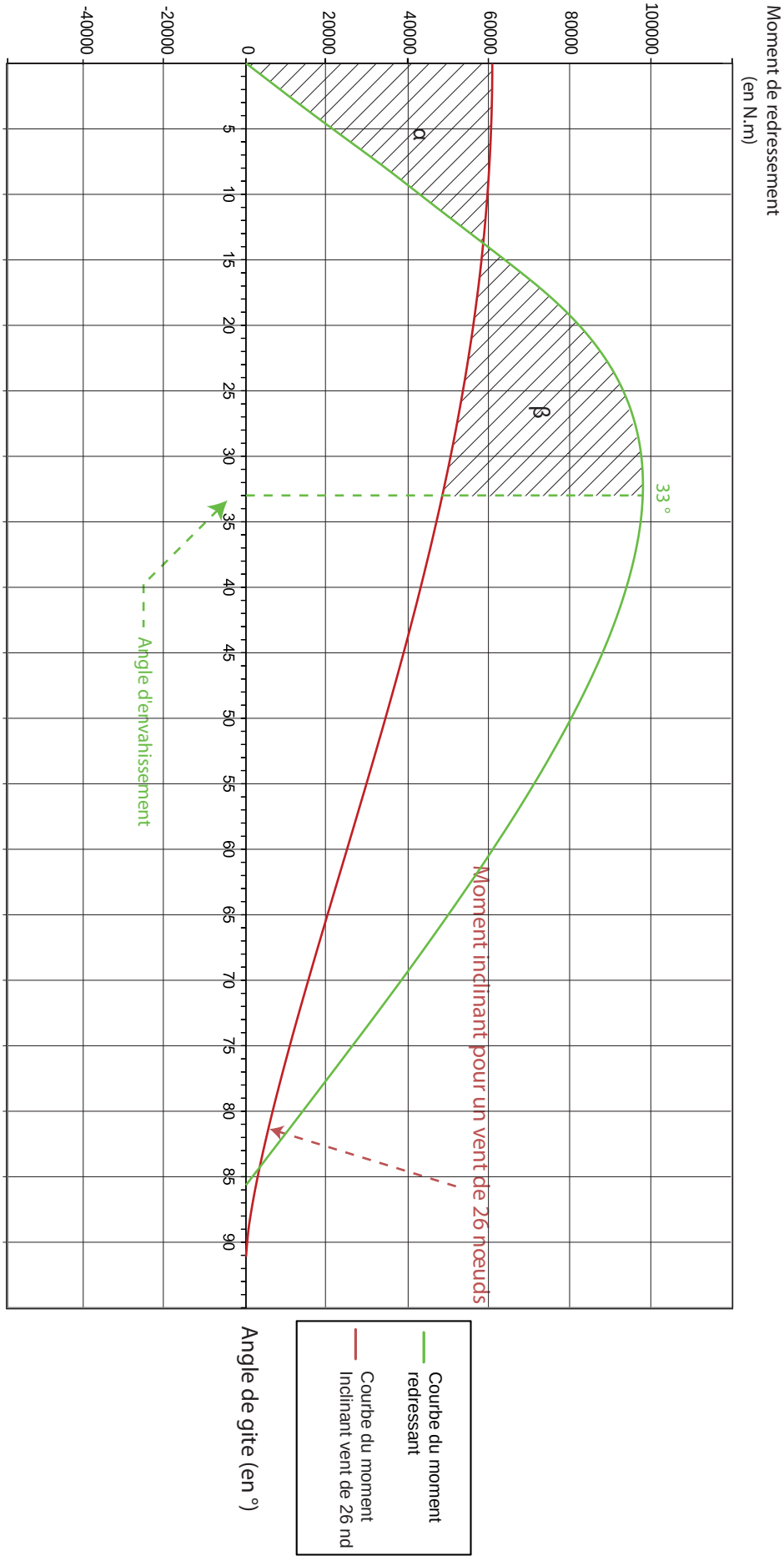


Fig. LIV : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 20 t.m de *Napoli C.*

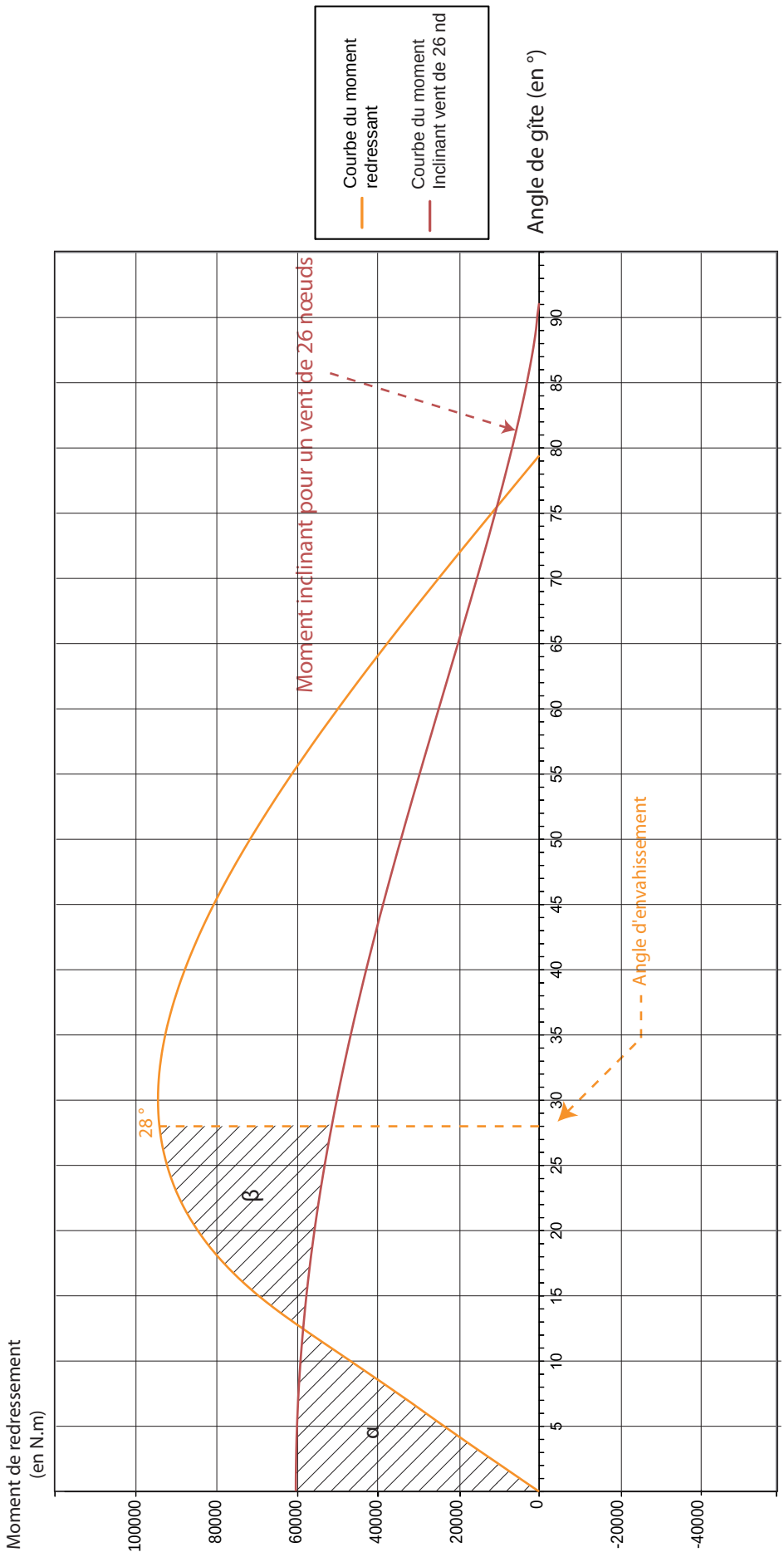


Fig. LV : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 25 t.m de *Napoli C.*

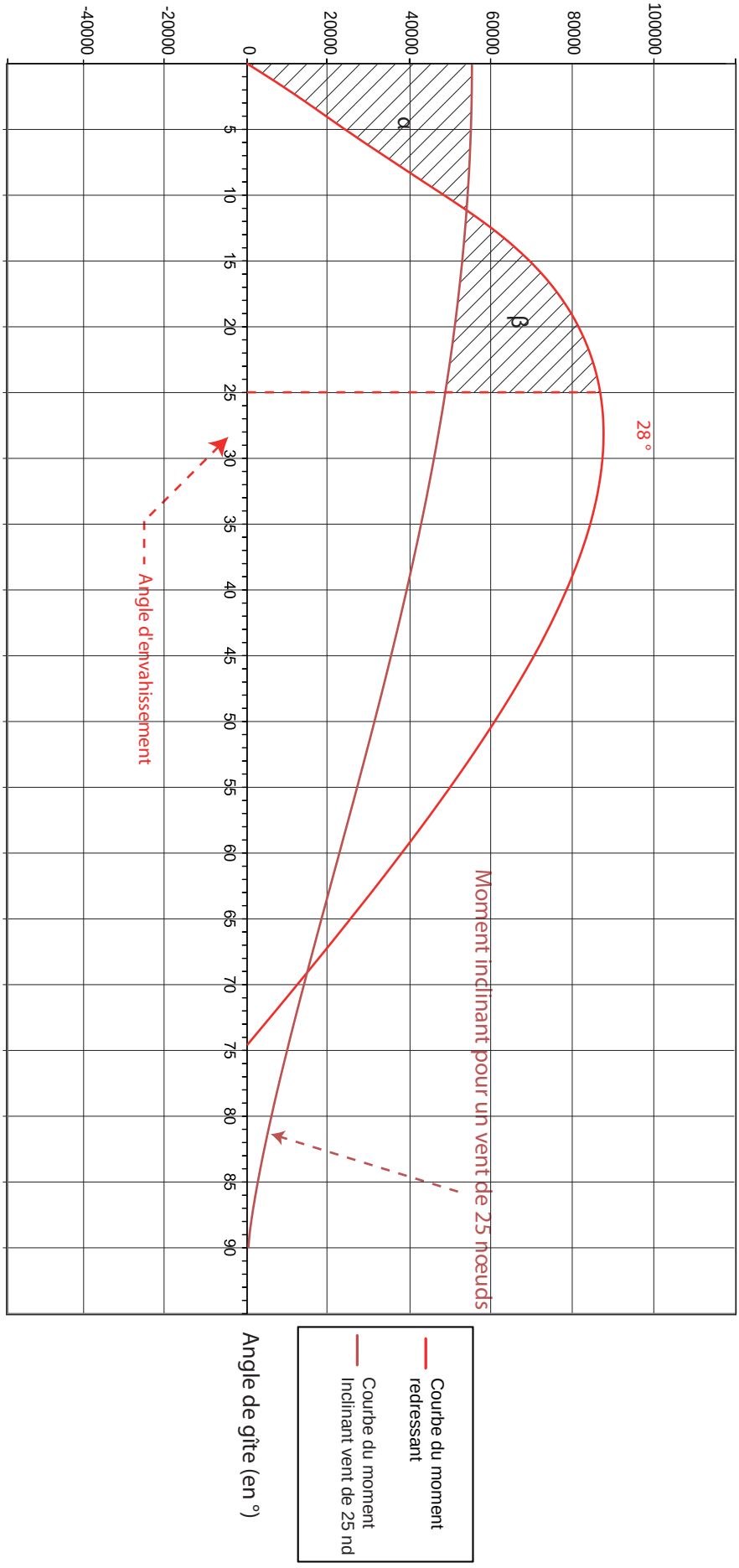


Fig. LVI : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 27,71 t.m de *Napoli C.*

Devis de poids: *Napoli C* V.2

Estimation du: 20/02/2012

Membrure N°	Volume (M3)	Vol Corrigé	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total z
Tableau	0,1559	0,155935849	-0,03	1361,57	93,22	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,124748679	-0,00374	169,8541	11,62907
1	0,0194	0,019435849	-14,34	1330,45	82	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,015548679	-0,22297	20,68674	1,274992
2	0,0256	0,025635849	-1,99	1298,51	77,12	(*Querc. Spe. + Jugl. Regia*)	0,8	0,020508679	-0,04081	26,63073	1,581629
3	0,0255	0,025535849	0	1274,66	73,12	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,020428679	0	26,03962	1,493745
4	0,0339	0,033935849	7,62	1249,15	69,54	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,027148679	0,20687	33,91277	1,887919
5	0,0296	0,029635849	-1,42	1226,88	68,71	(*Querc. Spe. + Querc. Ilex*)	0,8	0,023708679	-0,03367	29,0877	1,629023
6	0,0235	0,023535849	-1,6	1197,15	66,53	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,018828679	-0,03013	22,54075	1,252672
7	0,0354	0,035435849	5,78	1179,72	65,33	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,028348679	0,16386	33,4435	1,852019
8	0,0447	0,044735849	0,66	1145	64,13	(*Querc. Spe. + Populus Sp.*)	0,8	0,035788679	0,02362	40,97804	2,295128
9	0,0363	0,036335849	-8,41	1132,27	67,11	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,029068679	-0,24447	32,91359	1,950799
10	0,0522	0,052235849	-2,08	1108,84	55,41	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,041788679	-0,08692	46,33696	2,315511
11	0,04319	0,043225849	-5,37	1084,48	53	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,034580679	-0,1857	37,50205	1,832776
12	0,0408	0,040835849	-12,28	1062,08	53,06	(*Querc. Spe. + Jugl. Regia*)	0,8	0,032668679	-0,40117	34,69675	1,7334
13	0,04784	0,047875849	0,02	1041,07	52,89	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,038300679	0,00077	39,87369	2,025723
14	0,0354	0,035435849	4,28	1016,07	49,53	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,028348679	0,12133	28,80424	1,40411
15	0,0406	0,040635849	-0,53	990,28	50	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,032508679	-0,01723	32,19269	1,625434
16	0,0411	0,041135849	3,67	971,75	46,52	(*Querc. Spe. + Populus Sp.*)	0,8	0,032908679	0,12077	31,97901	1,530912
17	0,0459	0,045935849	-13,29	943,01	49,76	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,036748679	-0,48839	34,65437	1,828614
18	0,0649	0,064935849	-3,01	920,65	47,6	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,051948679	-0,15637	47,82655	2,472757
19	0,0503	0,050335849	-8,52	895,32	46,66	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,040268679	-0,34309	36,05335	1,878937
20	0,0489	0,048935849	-1,67	873,57	46,36	(*Querc. Spe. + Jugl. Regia*)	0,8	0,039148679	-0,06538	34,19911	1,814933
21	0,0556	0,055635849	-5,61	850,56	46,03	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,044508679	-0,24969	37,8573	2,048735
22	0,0524	0,052435849	-5,95	828,87	43,97	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,041948679	-0,24959	34,77	1,844483
23	0,057	0,057035849	-5,35	797,67	45,31	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,045628679	-0,24411	36,39663	2,067435
24	0,0516	0,051635849	-0,56	773,1	42,77	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,041308679	-0,02313	31,93574	1,766772
25	0,047	0,047035849	-13,5	748,61	47,73	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,037628679	-0,50799	28,16921	1,796017
26	0,0469	0,046935849	-14,95	727,8	43,55	(*Querc. Spe. + Pinus Nigra*)	0,8	0,037548679	-0,56135	27,32793	1,635245
27	0,0571	0,057135849	-18,7	703,67	44,51	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,045708679	-0,85475	32,16383	2,034493
28	0,0433	0,043335849	-8,38	678,98	44,2	(*Querc. Sp. + Pi. Nigra + Populus*)	0,8	0,034668679	-0,29052	23,53934	1,532356
29	0,0564	0,056435849	1,09	653,89	43,23	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,045148679	0,04921	29,52227	1,951777
30	0,04581	0,045845849	-5,97	632,26	45,8	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,036676679	-0,21896	23,1892	1,679792
31	0,0552	0,055235849	15,8	608,09	45,51	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,044188679	0,69818	26,87069	2,011027
32	0,0487	0,048735849	0,19	584,26	47,97	(*Querc. Spe. + Pinus Nigra*)	0,8	0,038988679	0,00741	22,77953	1,870287
33	0,0431	0,043135849	-6,5	560,5	47,36	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,034508679	-0,22431	19,34211	1,634331
34	0,0442	0,044235849	-5,68	536,88	47,15	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,035388679	-0,20101	18,99947	1,668576
35	0,0501	0,050135849	9,39	520,03	49,42	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,040108679	0,37662	20,85772	1,982171
36	0,0341	0,034135849	0,59	489,17	47,33	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,027308679	0,01611	13,35859	1,29252
37	0,0409	0,040935849	5,49	462,06	54,77	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,032748679	0,17979	15,13185	1,793645
38	0,061	0,061035849	-6,15	436,37	50,83	(*Querc. Spe. + Ostrya Carpi.*)	0,8	0,048828679	-0,3003	21,30737	2,481962
39	0,0578	0,057835849	5,45	416,78	56,5	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,046268679	0,25216	19,28386	2,61418
40	0,0441	0,044135849	-1,47	400,65	55,01	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,035308679	-0,0519	14,14642	1,94233
41	0,0355	0,035535849	18,51	373,52	64,89	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,028428679	0,52621	10,61868	1,844737
42	0,0423	0,042335849	0,6	349,65	56,33	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,033868679	0,02032	11,84218	1,907823
43	0,0248	0,024835849	-11,42	315,33	70,06	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,019868679	-0,2269	6,265191	1,392
44	0,042	0,042035849	-5,82	309,06	63,76	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,033628679	-0,19572	10,39328	2,144165
45	0,0347	0,034735849	-10,56	285,16	76,56	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,027788679	-0,29345	7,92422	2,127501
46	0,0545	0,054535849	-2,92	263,23	70,71	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,043628679	-0,1274	11,48438	3,084984
47	0,0321	0,032135849	1,84	238,13	89,5	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,025708679	0,0473	6,122008	2,300927
48	0,0309	0,030935849	3,77	211,56	79,66	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,024748679	0,0933	5,235831	1,97148
49	0,0405	0,040535849	0,77	184,02	78,33	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,032428679	0,02497	5,967526	2,540138
50	0,052	0,052035849	-0,06	156,59	87,02	Chêne quaducifolié (*Querc. Spe.*)	0,8	0,041628679	-0,0025	6,518635	3,622528
51	0,0371	0,037135849	0,86	127,48	93,97	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,026737811	0,02299	3,408536	2,512552
52	0,039	0,039035849	0,33	96,79	96,43	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,031228679	0,01031	3,022624	3,011382
	2,39864	2,400539997						**1,91746**	**-4,18**	**1426**	**113,4**
CG Membrure:			**-2,181**	**743,7**	**59,15**						
Mesuré dans rhino			**-2,17**	**742,6**	**59,21**						

Devis de poids: *Napoli C* V.2

Estimation du: 20/02/2012

Charpente long.	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Quille	0,1771	0	690,57	15,71	Pin maritime (*Pi. Pinas.*)	0,47	0,083237	0	57,48098	1,307653
Etambot	0,1113	0	45,18	137,28	N. Id (Simili Quille)	0,47	0,052311	0	2,363411	7,181254
Longerons	0,0344	-3	1301,95	80,62	Chêne quaduc (*Querc. Spe.*)	0,8	0,02752	-0,08256	35,82966	2,218662
Vaigrage Fixe	0,4257	0	777,61	49,45	(*Quer. Sp.* + mix *Pinus*)	0,65	0,276705	0	215,1686	13,68306
Vaigres mobiles	0,3664	-1,01	755,39	48,62	N. Id (Simili Nap. A)	0,51	0,186864	-0,18873	141,1552	9,085328
Bordé	1,952	-0,05	708,26	50,7	Mélange (Maj. *Pinus*)	0,51	0,99552	-0,04978	705,087	50,47286
Préceintes	0,3457	0	685,75	119,55	N. Id (Simili Nap. A)	0,54	0,186678	0	128,0144	22,31735
Serres et lisses	0,391	0	660,42	121,24	N. Id (simili vaigrge)	0,65	0,25415	0	167,8457	30,81315
	3,8036									
CG Ch. Long.:		**-0,16**	**704**	**66,4**			**2,062985**	-0,32107	1452,945	137,0793

Pont	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Epontilles/ Tollets	0,0204	0,15	793,92	93,26	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,01632	0,002448	12,95677	1,522003
Barrots/Bancs	0,287	-1,21	723,88	108,45	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,2296	-0,27782	166,2028	24,90012
Bordé de pont	0,341	0,01	713,85	122,87	N. Id (Simili bordé)	0,51	0,17391	0,001739	124,1457	21,36832
Jambettes	0,0431	0,24	587,65	133,91	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,03448	0,008275	20,26217	4,617217
Rames	0,132	0	788,15	114,97	N. Id	0,65	0,0858	0	67,62327	9,864426
Pavois	0,411	0	627,84	161,58	N. Id (Simili bordé)	0,51	0,20961	0	131,6015	33,86878
	1,2345									
CG Pont:		**-0,35**	**697**	**128**			**0,74972**	**-0,27**	**523**	**96,1**

Mature	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Etambrai	0,0638	0,6	888,29	106,35	N. Id	0,5	0,0319	0,01914	28,33645	3,392565
Mât	0,4412	0,71	934,33	601,72	N. Id	0,5	0,2206	0,156626	206,1132	132,7394
Vergue	0,2323	-0,91	1004,19	982,49	N. Id	0,5	0,11615	-0,1057	116,6367	114,1162
Accastillage	0,1412	0,25	786,38	523,12	N. Id	0,65	0,09178	0,022945	72,17396	48,01195
Massif emplanture	0,1731	0,71	742,83	39,58	N. Id (Simili Nap. A)	0,8	0,13848	0,098321	102,8671	5,481038
	1,0516									
CG Mature:		**0,3**	**878**	**530**			**0,56701**	0,172195	497,7909	300,3486

Divers	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total
Pelle de gouverne	0,103	0	214,04	73,97	N. Id	0,65	0,06695	0	14,32998	4,952292
Barrot	0,0599	0	248,35	115,94	N. Id (Simili membrure)	0,8	0,04792	0	11,90093	5,555845
	0,1629						**0,11487**	0	26,23091	10,50814
CG Gouvernail:		**0**	**228**	**91,5**						

Lest et Chargement	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)		Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total
Chargment								0	0	0
Rameurs (x10)	/	0	778,61	128,68		/	0,7	0	545,027	90,076
Divers	11,61	0	663,12	74,06		0,73	8,4753	0	5620,141	627,6807

Devis de poids: *Napoli C* V.2

Estimation du: 20/02/2012

	Lège	Equipage	Charg1°
Déplacement (T)	5,41204613	6,11204613	14,587
Volume total de bois (m3)	8,653139997	8,653139997	8,653139997
Surface mouillée (m²)	30,62	31,88	42,26
Rapport Sv/M	2,63	2,53	1,91

	CG lège	CG équipage	CG1°
x	-0,849164032	-0,751911032	-0,315
y	725,3666069	731,4644626	691,756
z	121,4874023	122,3111556	94,277

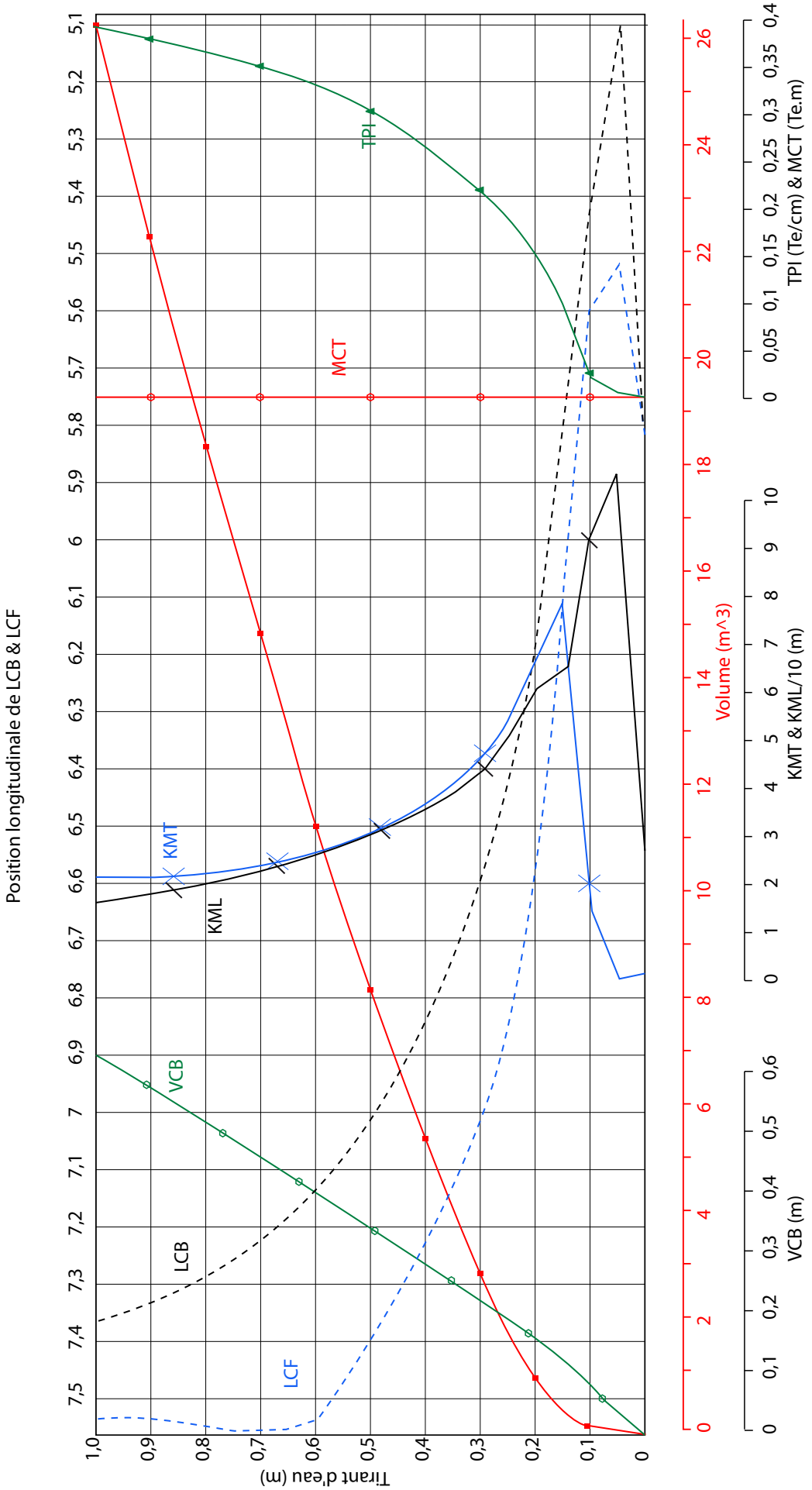


Fig. LVII : Courbes hydrostatiques de la deuxième hypothèse de restitution de *Napoli C*

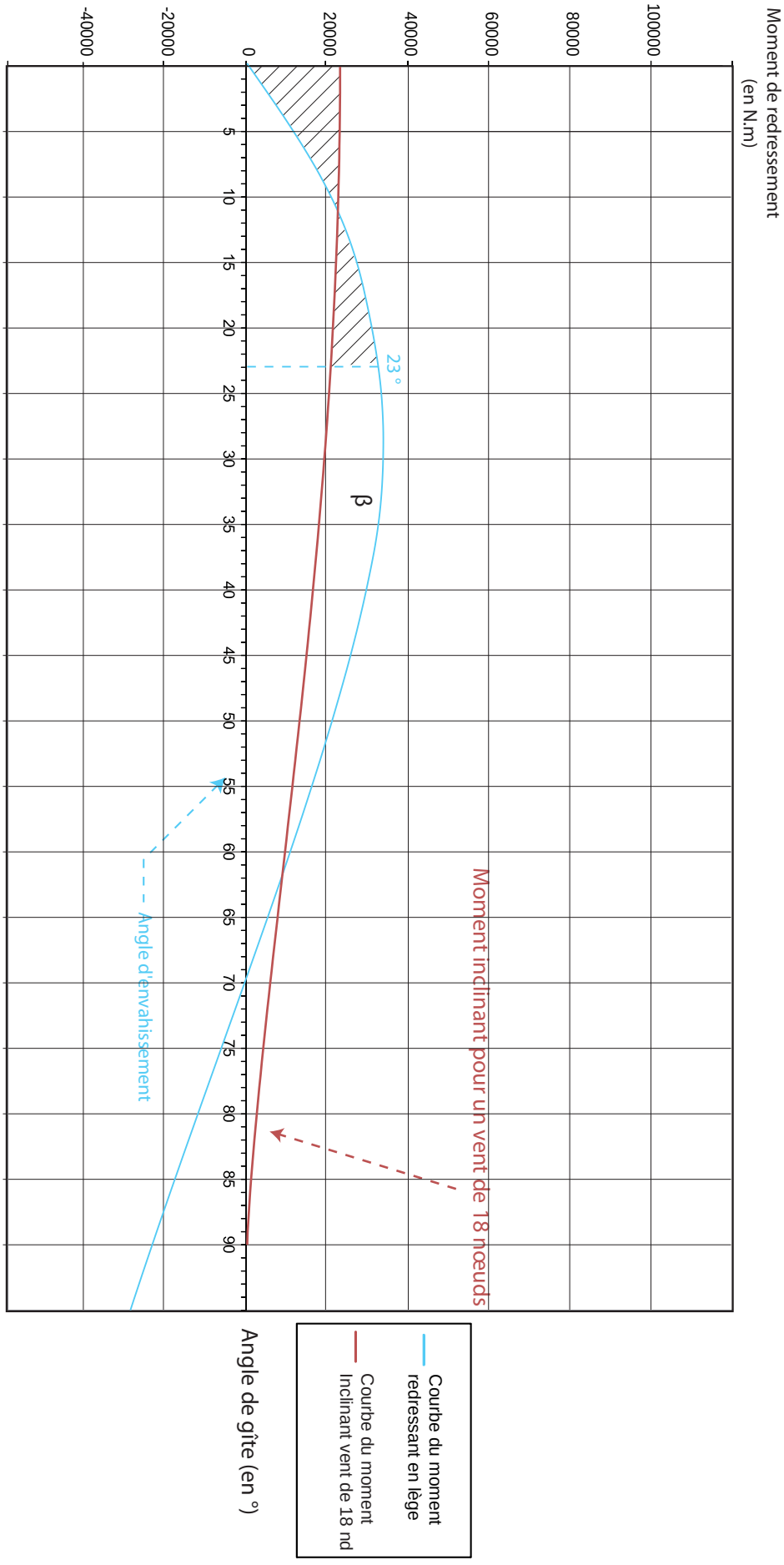


Fig. LVIII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour la deuxième hypothèse de *Napoli C* dans les conditions d'un déplacement en lège.

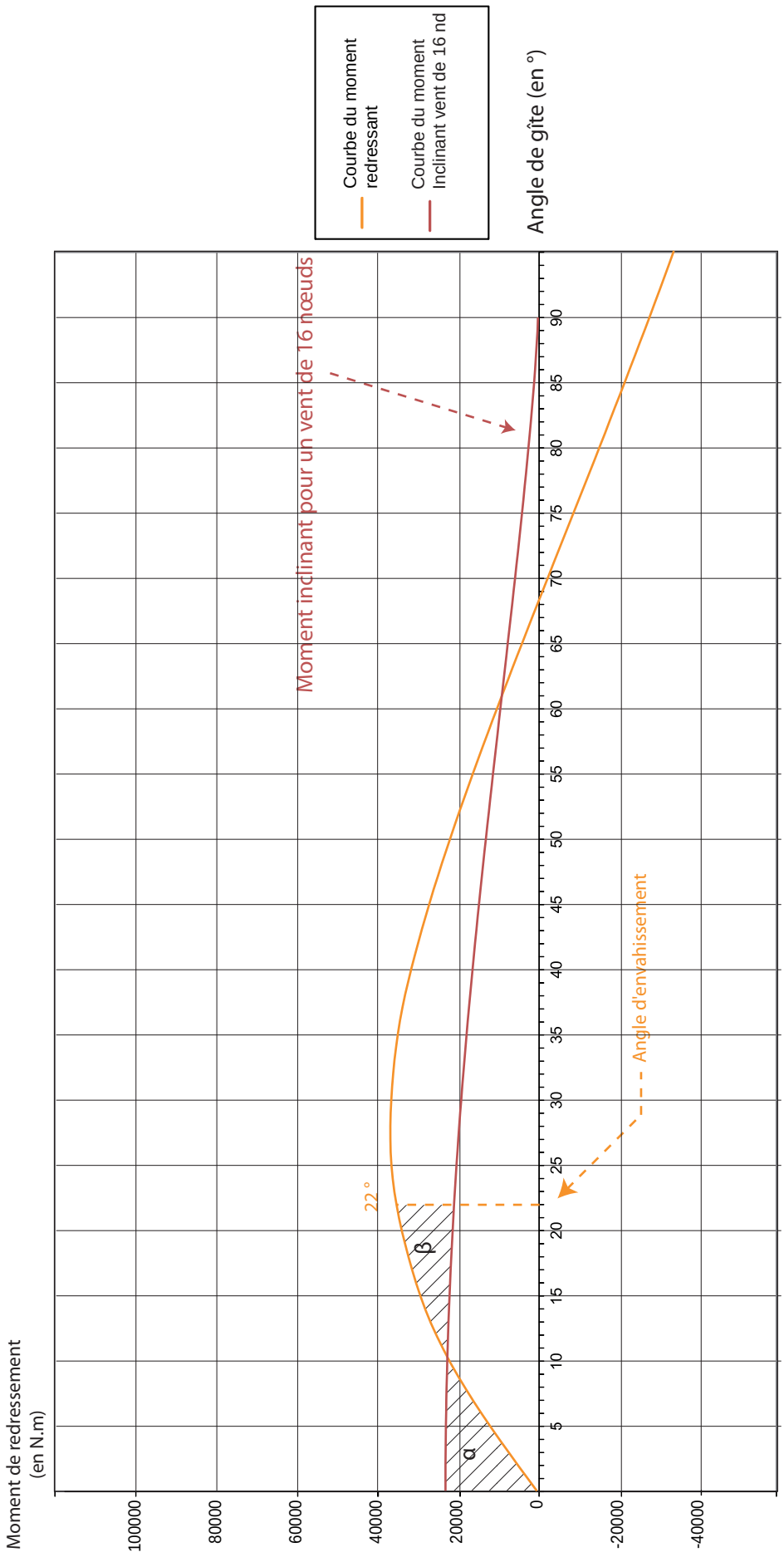


Fig. LIX : Comparaison des moments redressant et inclinant pour la deuxième hypothèse de *Napoli C* dans les conditions d'un déplacement en lège avec un équipage de dix rameurs.

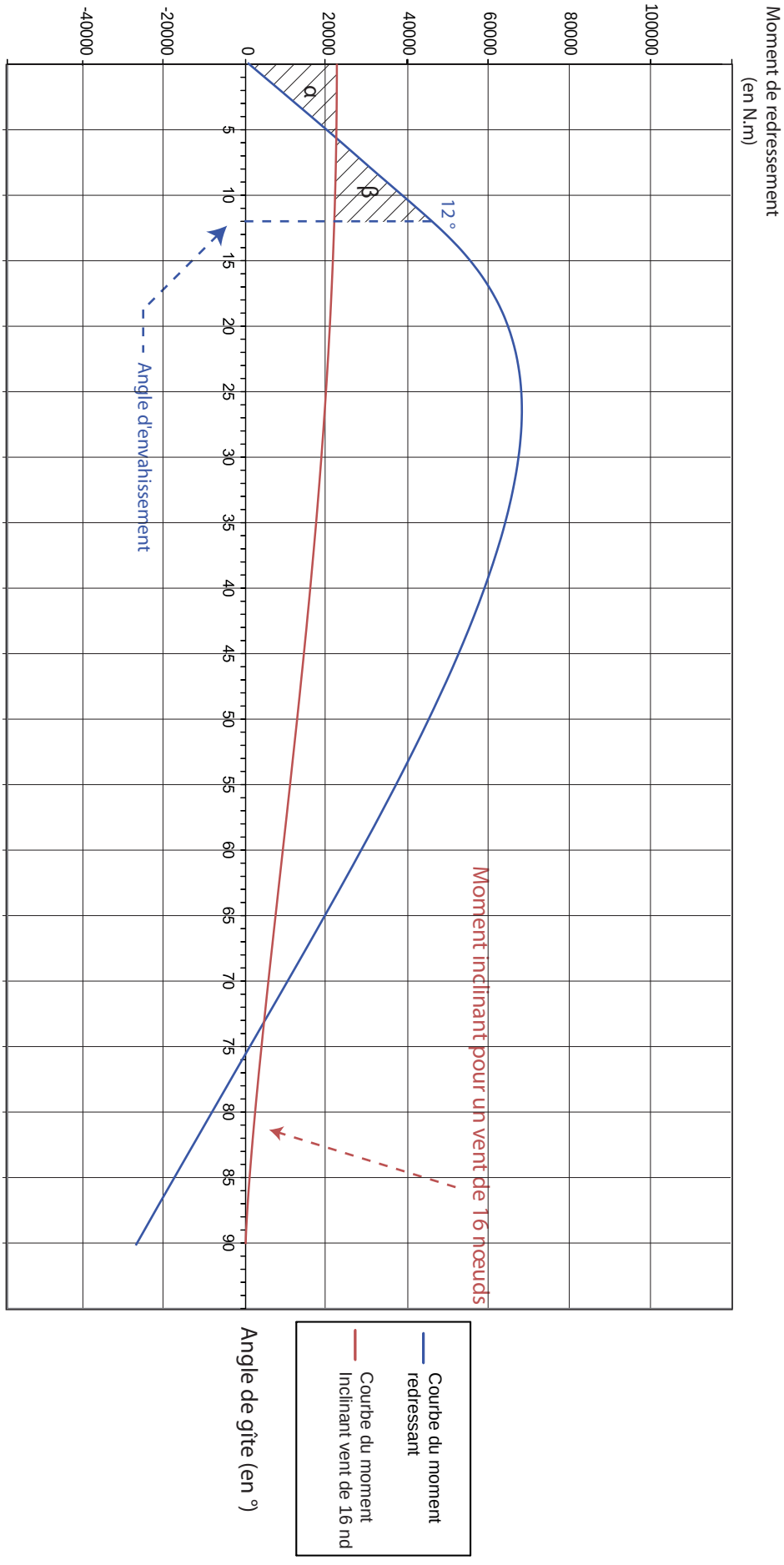


Fig. LX : Comparaison des moments redressant et inclinant pour la deuxième hypothèse de *Napoli C* dans les conditions d'un déplacement de 14,5 t.m.

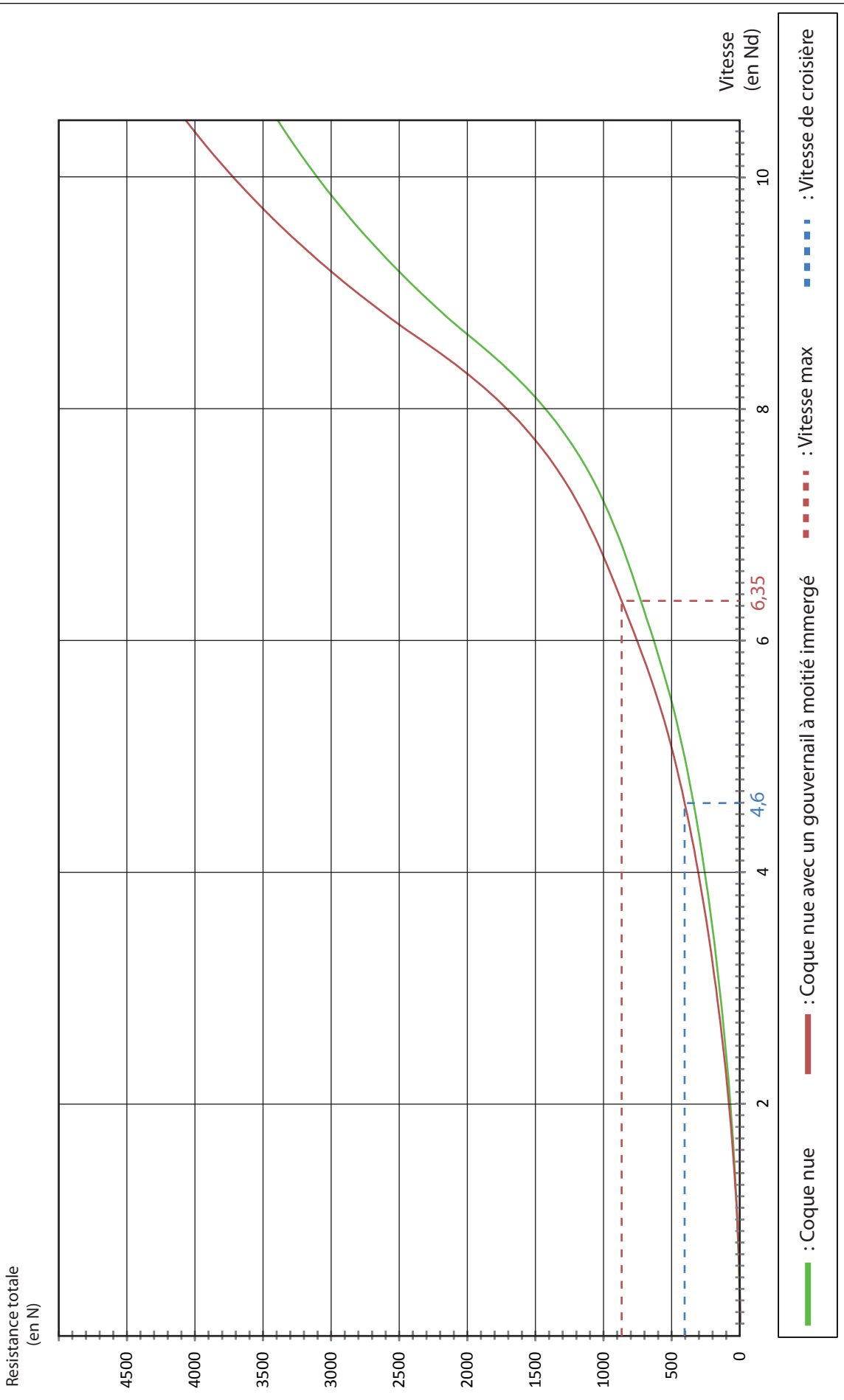


Fig. LXI : Resistance à l'avancement de la seconde hypothèse de restitution de *Napoli C*, en condition lège avec son équipage à bord.

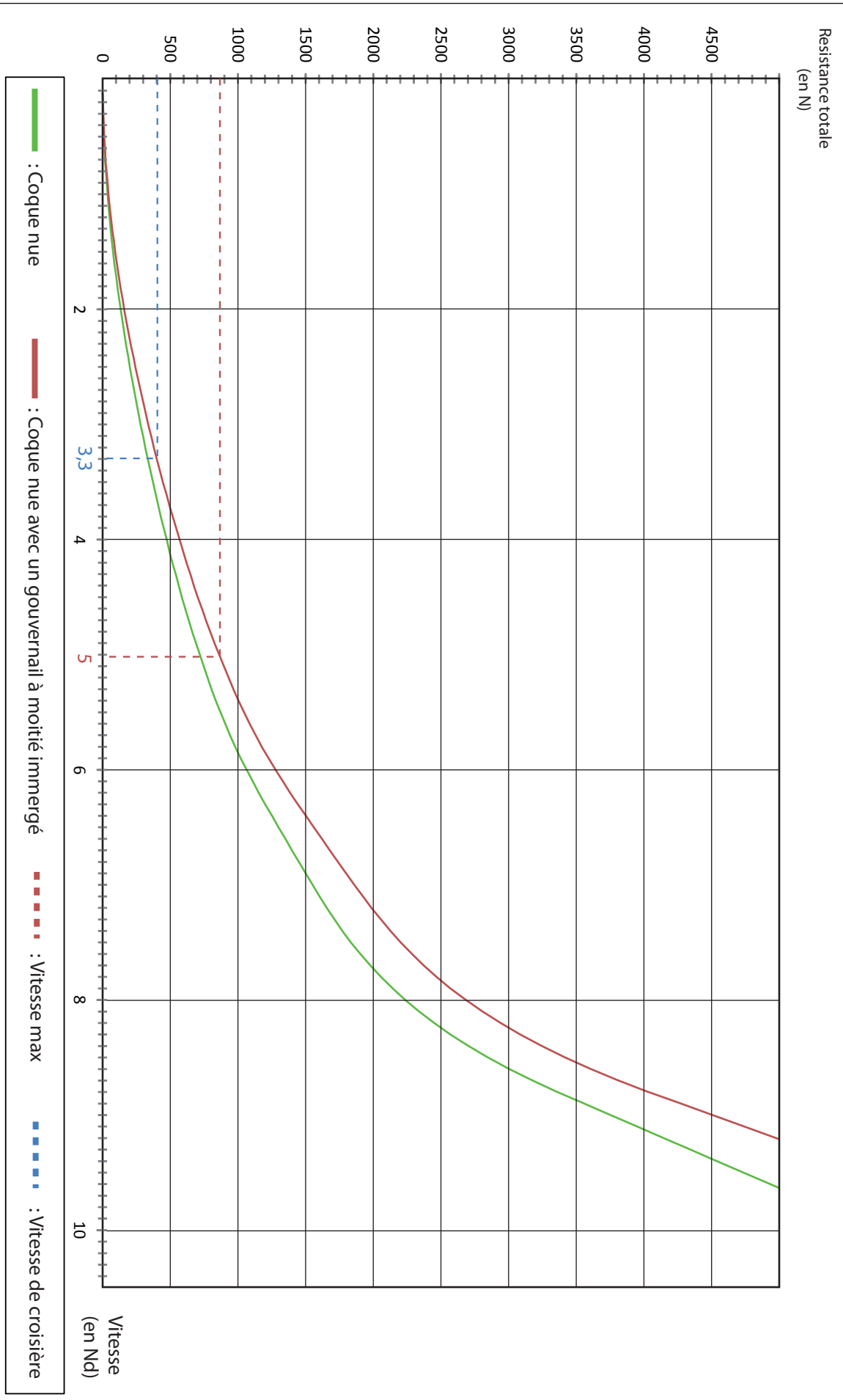
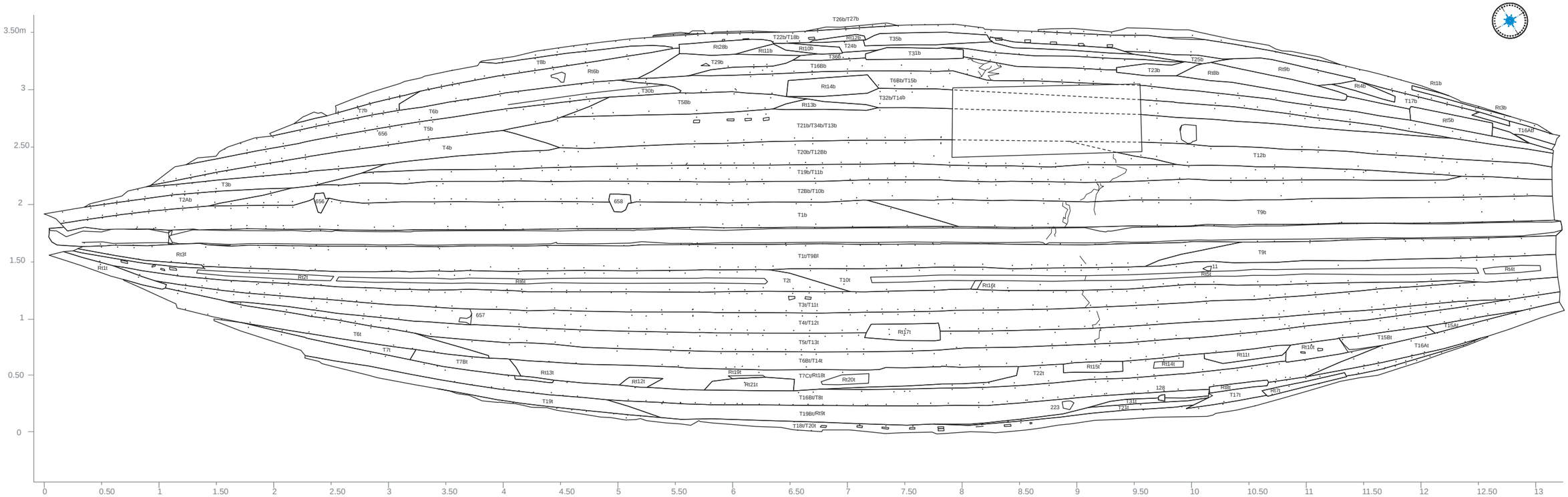


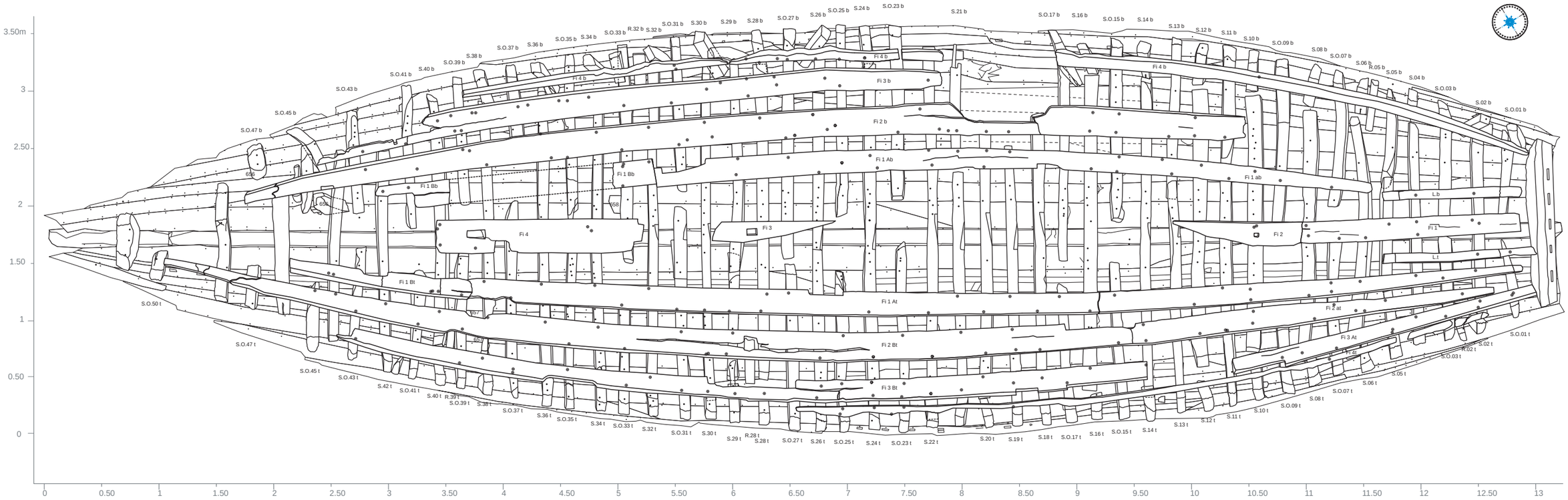
Fig. LXII : Resistance à l'avancement de la seconde hypothèse de restitution de *Napoli C*, chargée selon la configuration n°1.

Annexes VI: Planches *Napoli C*



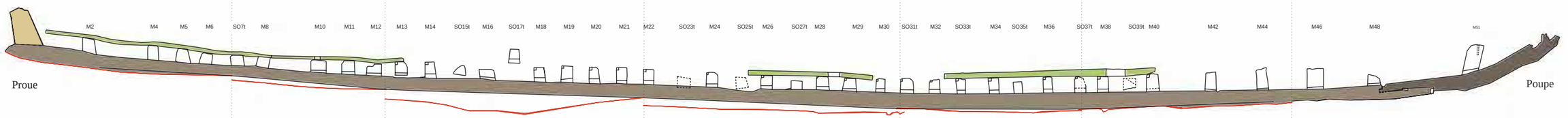
Pl. XIII : Planimétrie de *Napoli C* présentant la charpente axiale et le bordé (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).

Pl. XIV : Planimétrie de *Napoli C* présentant l'ensemble de la charpente transversale (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).

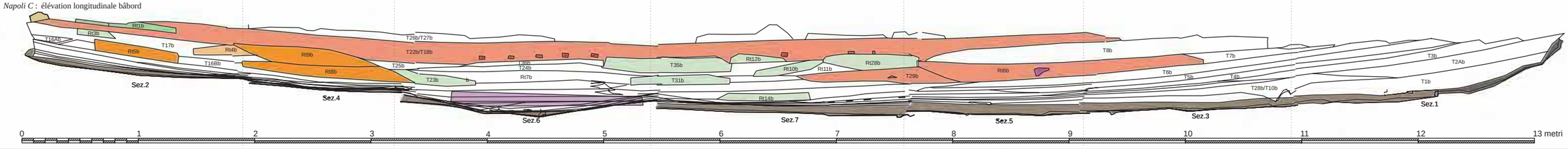


Pl. XV : Planimétrie de *Napoli C* présentant l'ensemble des structures internes (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).

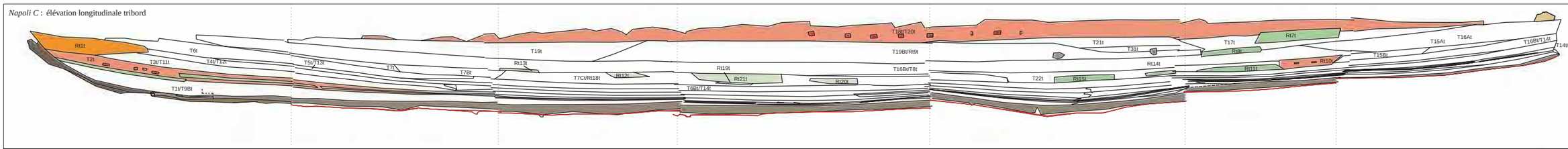
Napoli C : section longitudinale bâbord



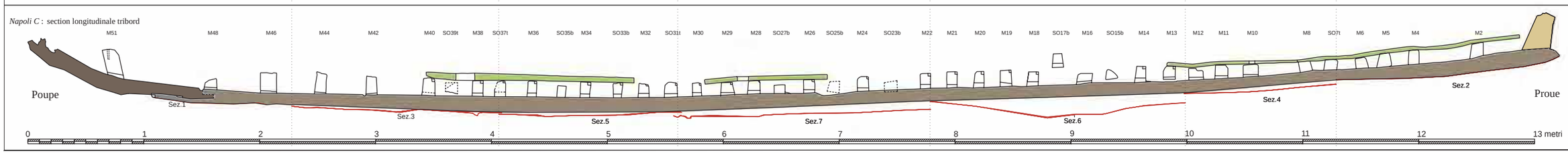
Napoli C : élévation longitudinale bâbord



Napoli C : élévation longitudinale tribord



Napoli C : section longitudinale tribord



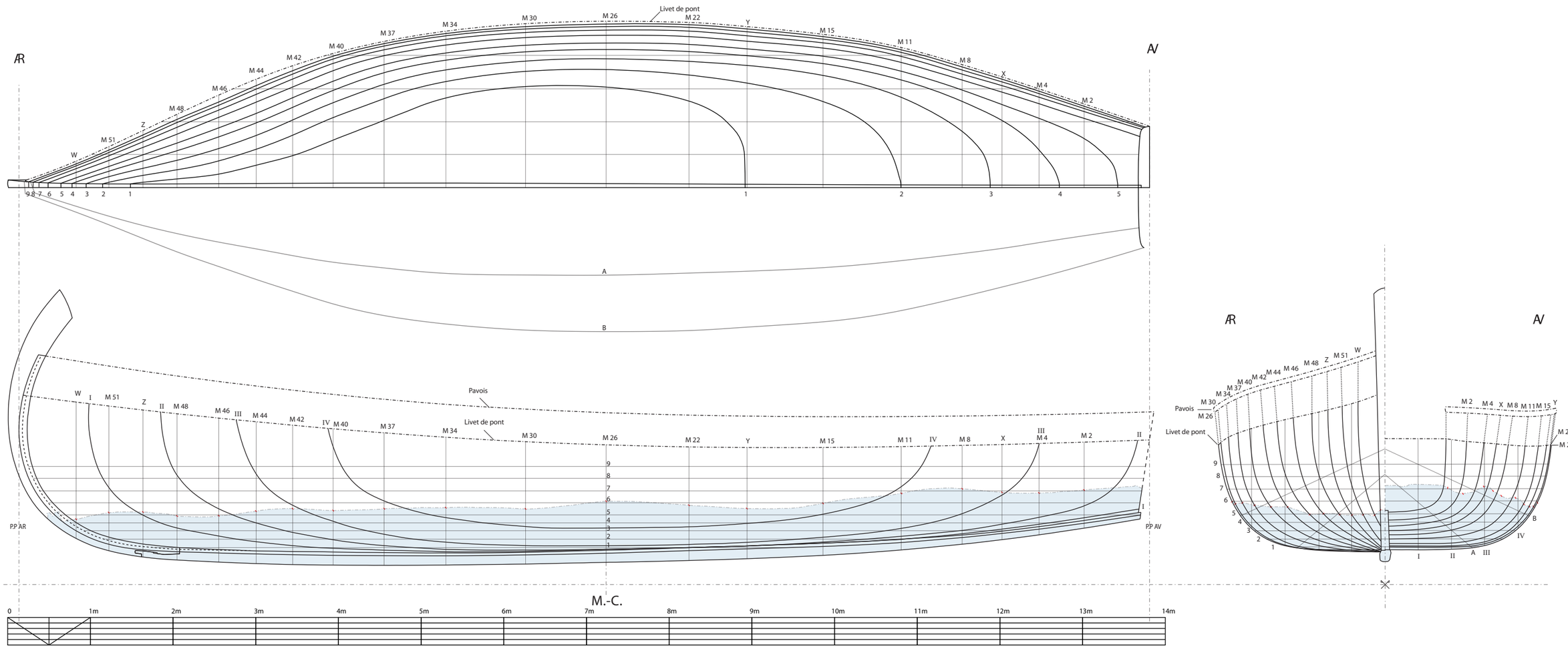
Légende :

- Quille
- Profil déformé de la quille
- brion
- Tableau avant
- Vaigres centrales
- Tasseaux de réparation
- Tasseaux de réparation ?
- Bordage cloué
- Bordage cloué ?
- Bordage avec tenons de réparation
- Tenons de réparation

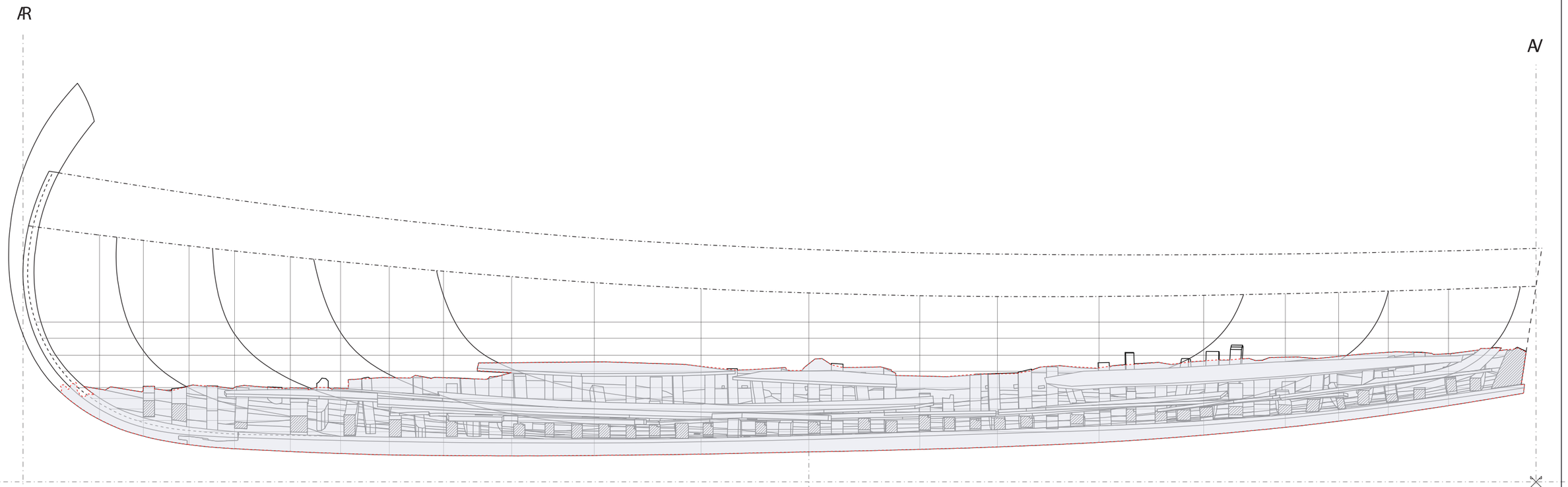
Pl. XVI : Coupes et élévations longitudinales de l'épave *Napoli C* (Crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto).

Pl. XVII : Vue de la remise en place des coupes transversales des vestiges "bruts" sur les coupes du plan de formes de restitution (crédits: Surintendance pour l'archéologie de la province de Naples et Caserte; Dessin: G. Boetto; DAO: P. Poveda).

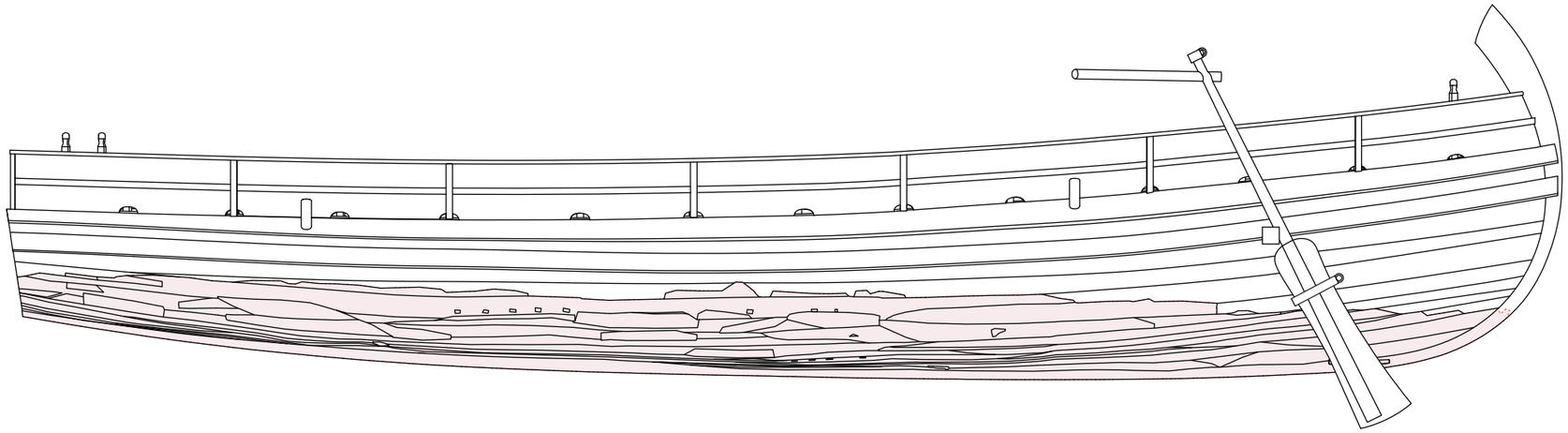
Napoli C	
Plan des formes général	Réstitution : P. POVEDA et R. ROMAN
	D.A.O : P. POVEDA
Version n° 3 Dessin du : 19/10/2011	:Vestiges archéologiques conservés

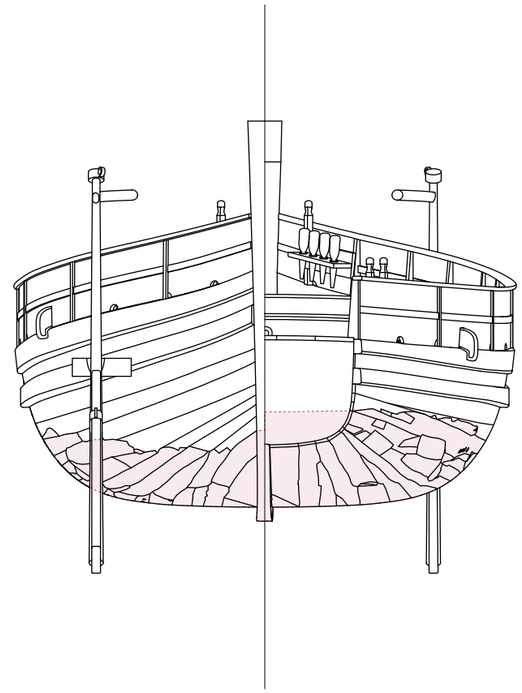


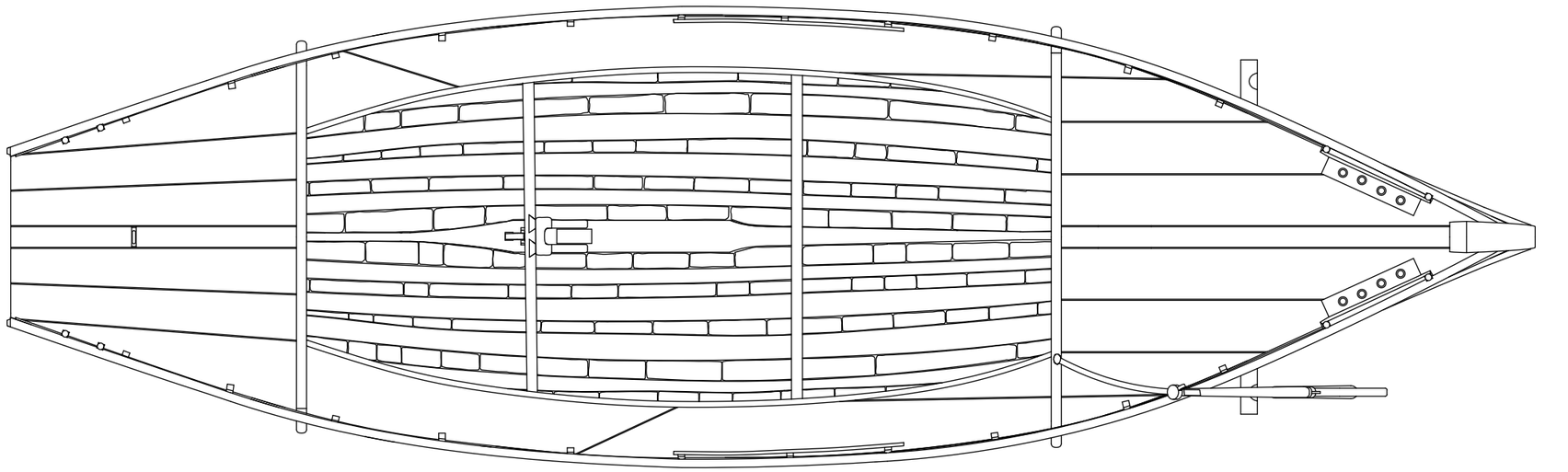
Pl. XVIII : Plan de formes final de la première hypothèse de restitution (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; CCJ-CNRS).

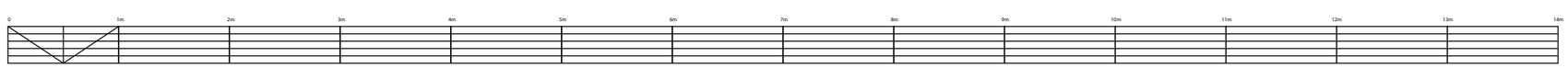


Pl. XIX : Vestiges du flanc bâbord remis en forme et placé sur le longitudinal du plan de formes.

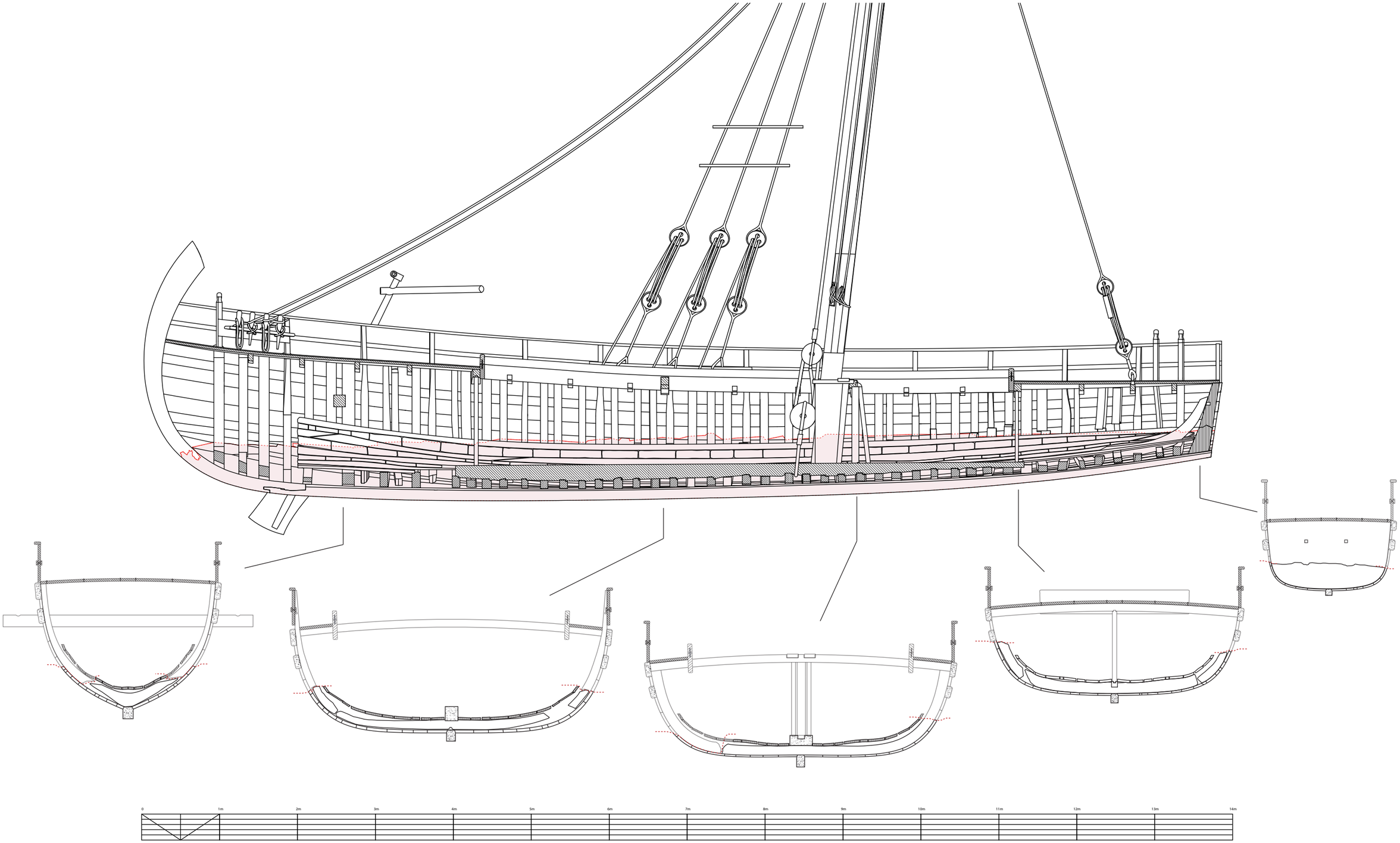




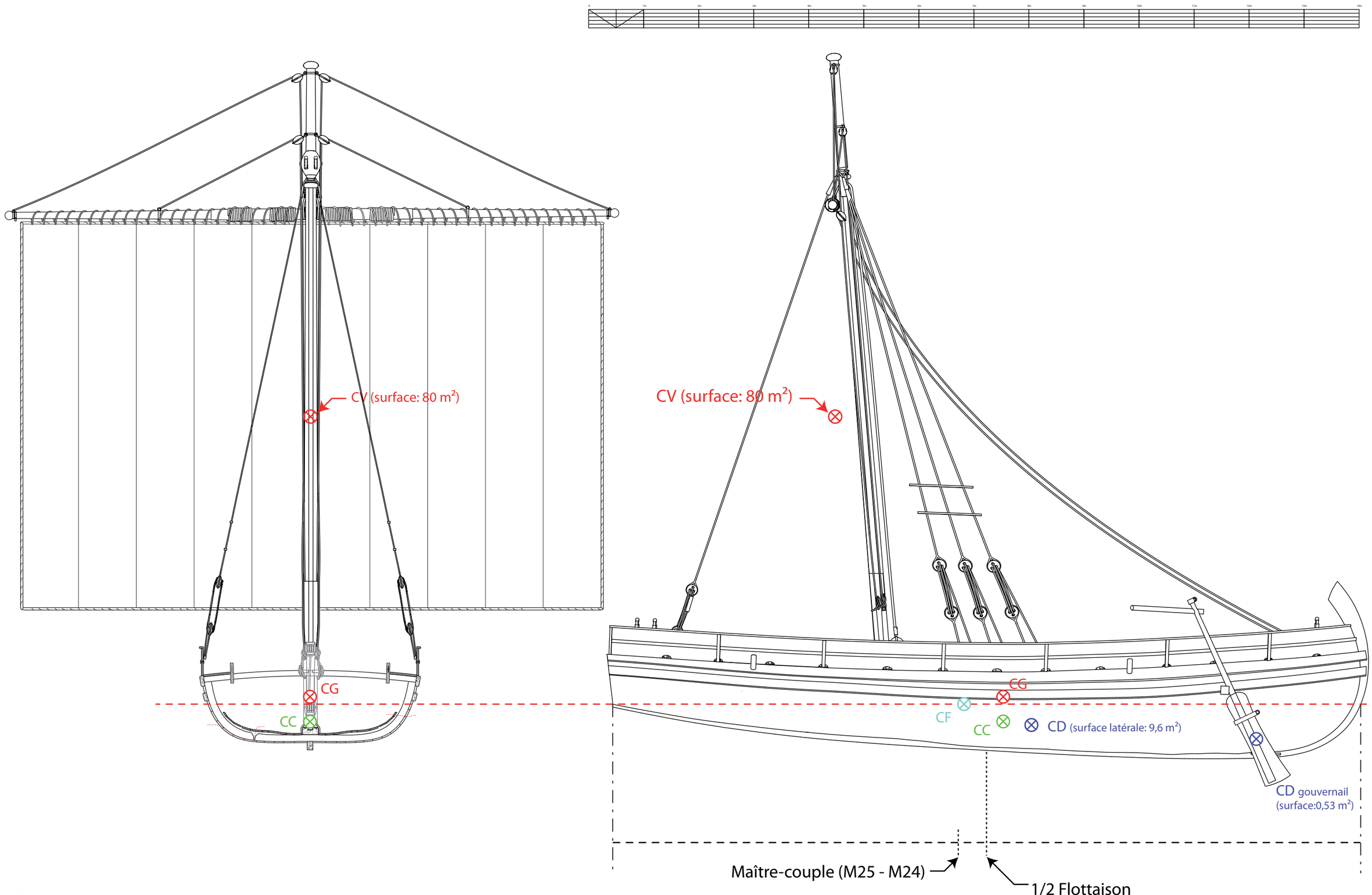




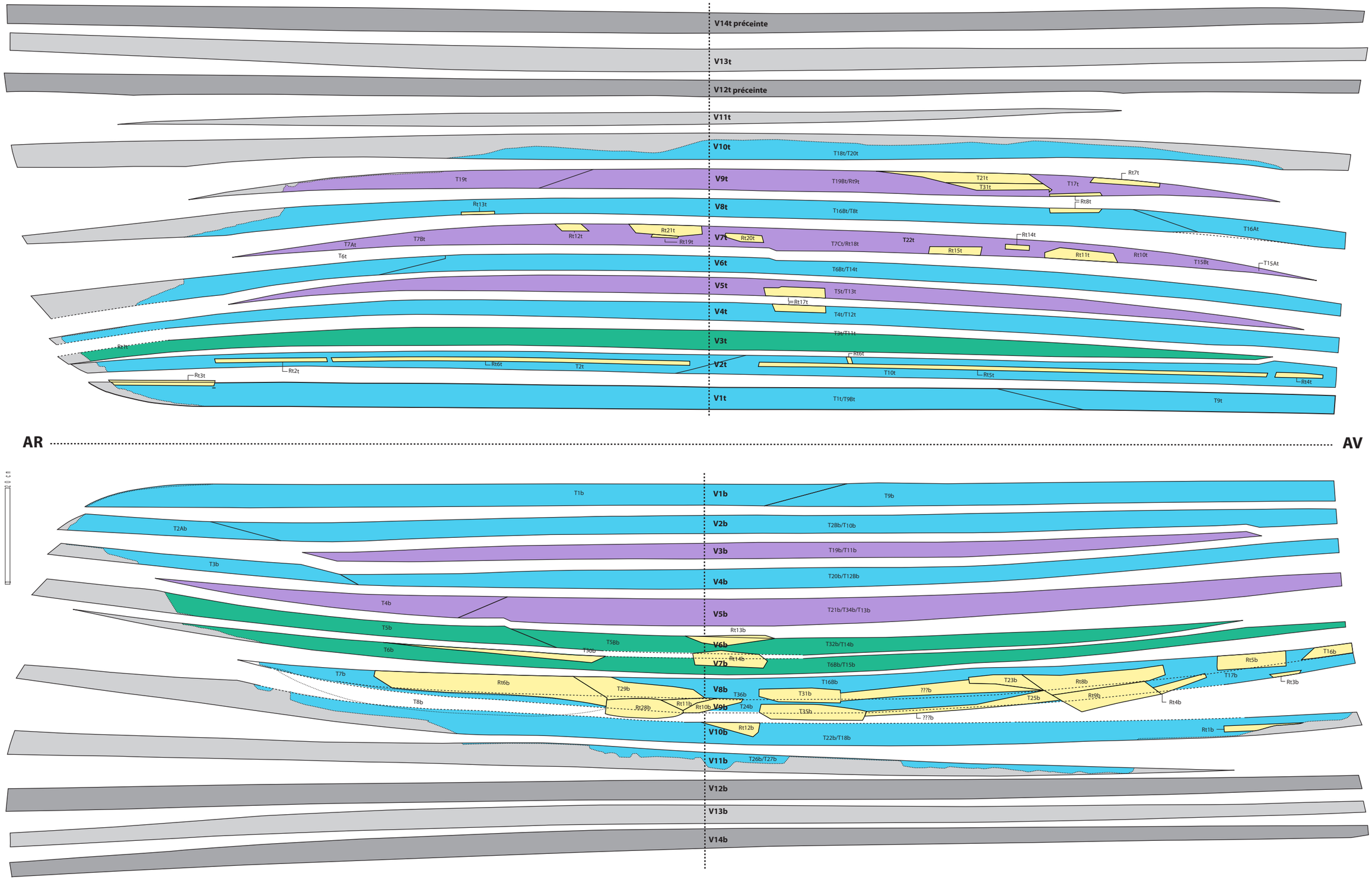
Pl. XX : Plan de coque et de pont de la première hypothèse de restitution.



Pl. XXI : Plan de structure de la première hypothèse de restitution.

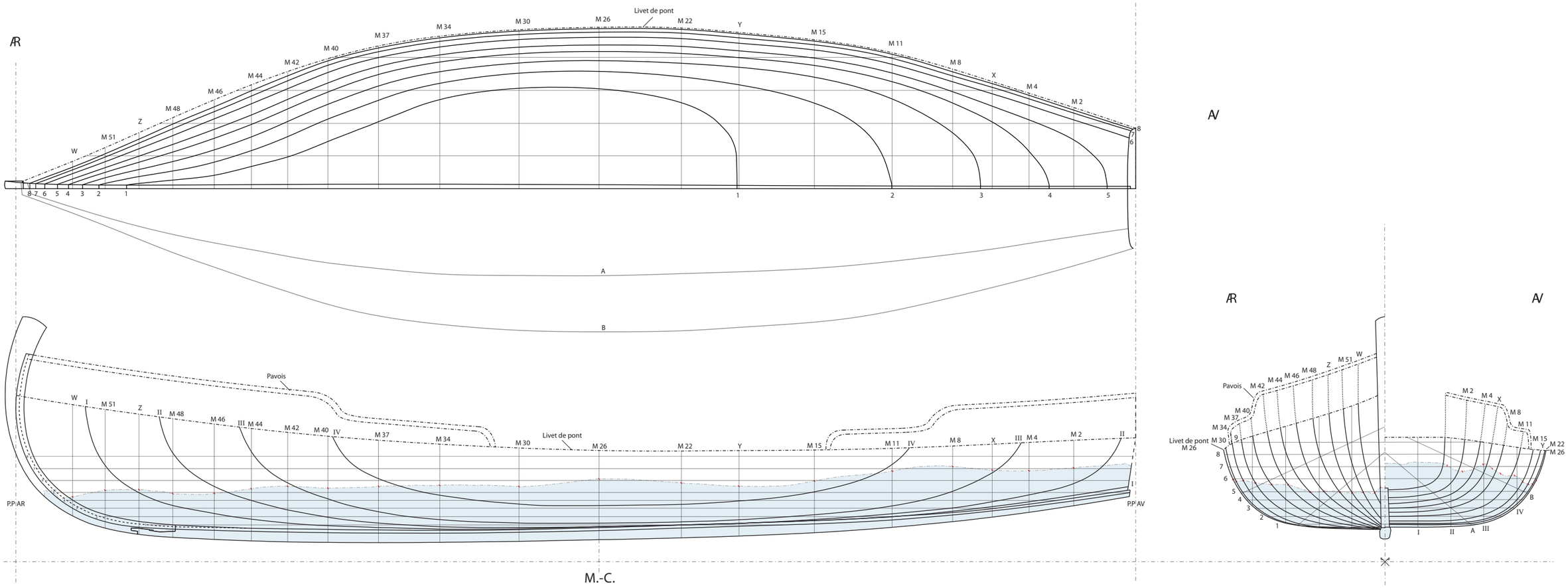


Pl. XXII : Plan de voilure et répartition des centres caractéristiques pour un déplacement de 20 t.m (port-en-lourd de 13,2 t.m).

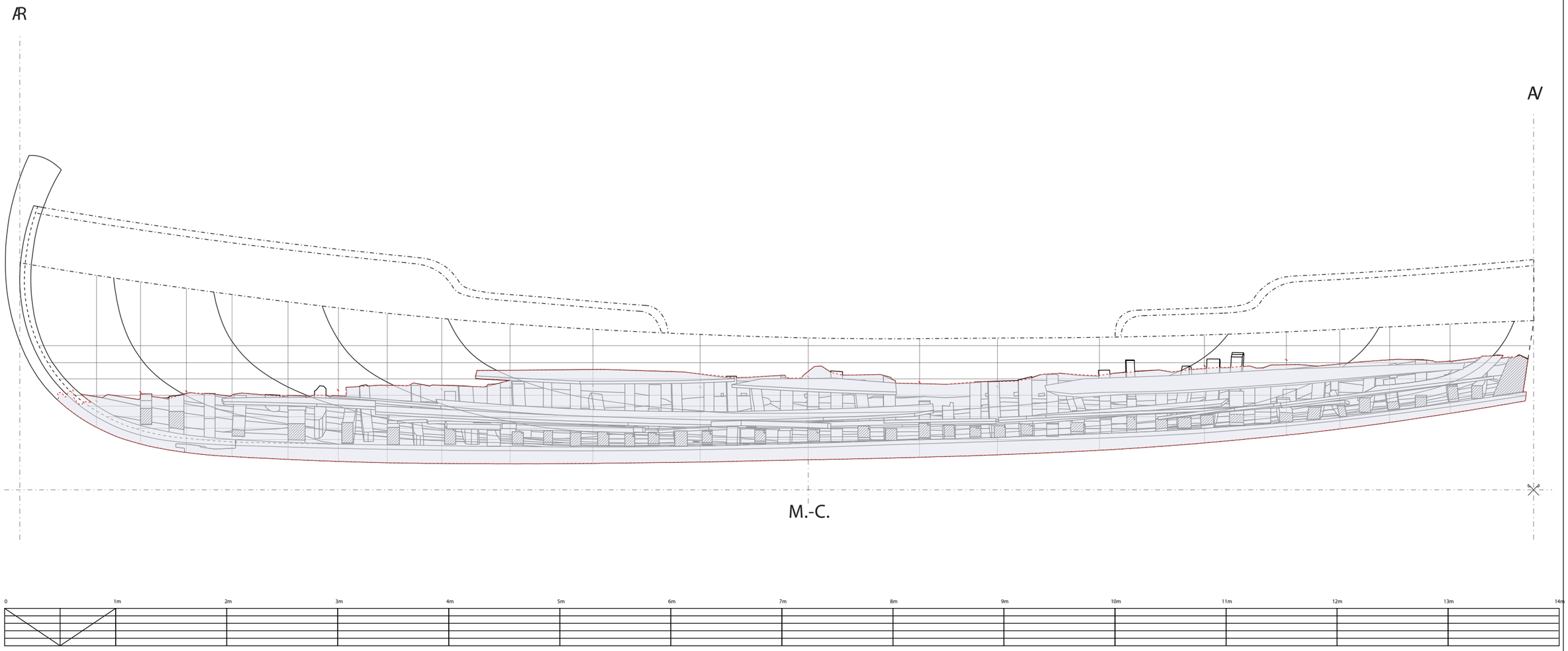


Pl. XXIII : Plan de bordé développé de l'épave *Napoli C* (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; Déssin: G. Boetto; CCJ-CNRS).

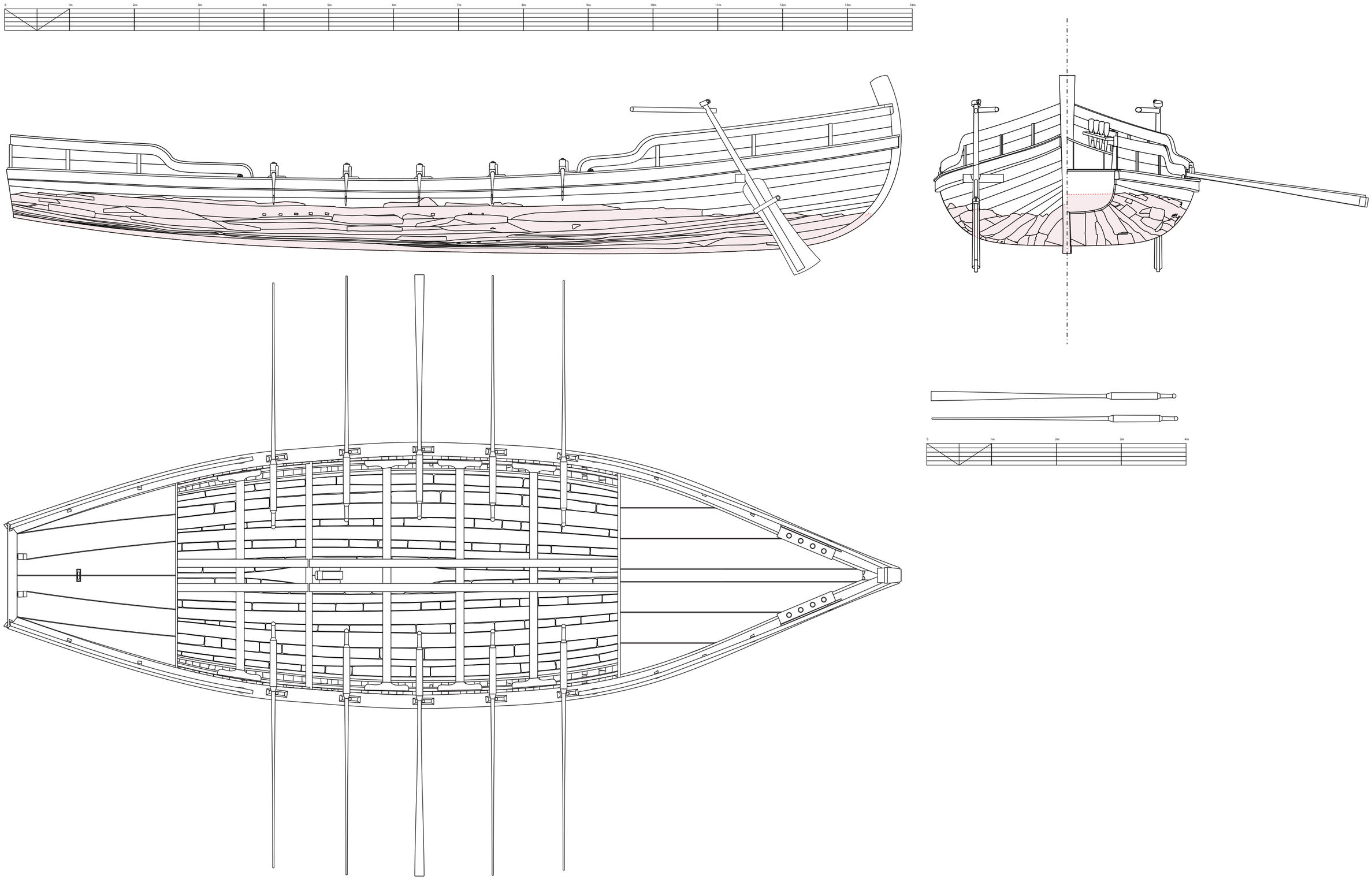
Napoli C	
Plan des formes général	Réstitution : P. POVEDA et R. ROMAN
	D.A.O : P. POVEDA
Version n° 4 Dessin du : 19/10/2011	:Vestiges archéologiques conservés



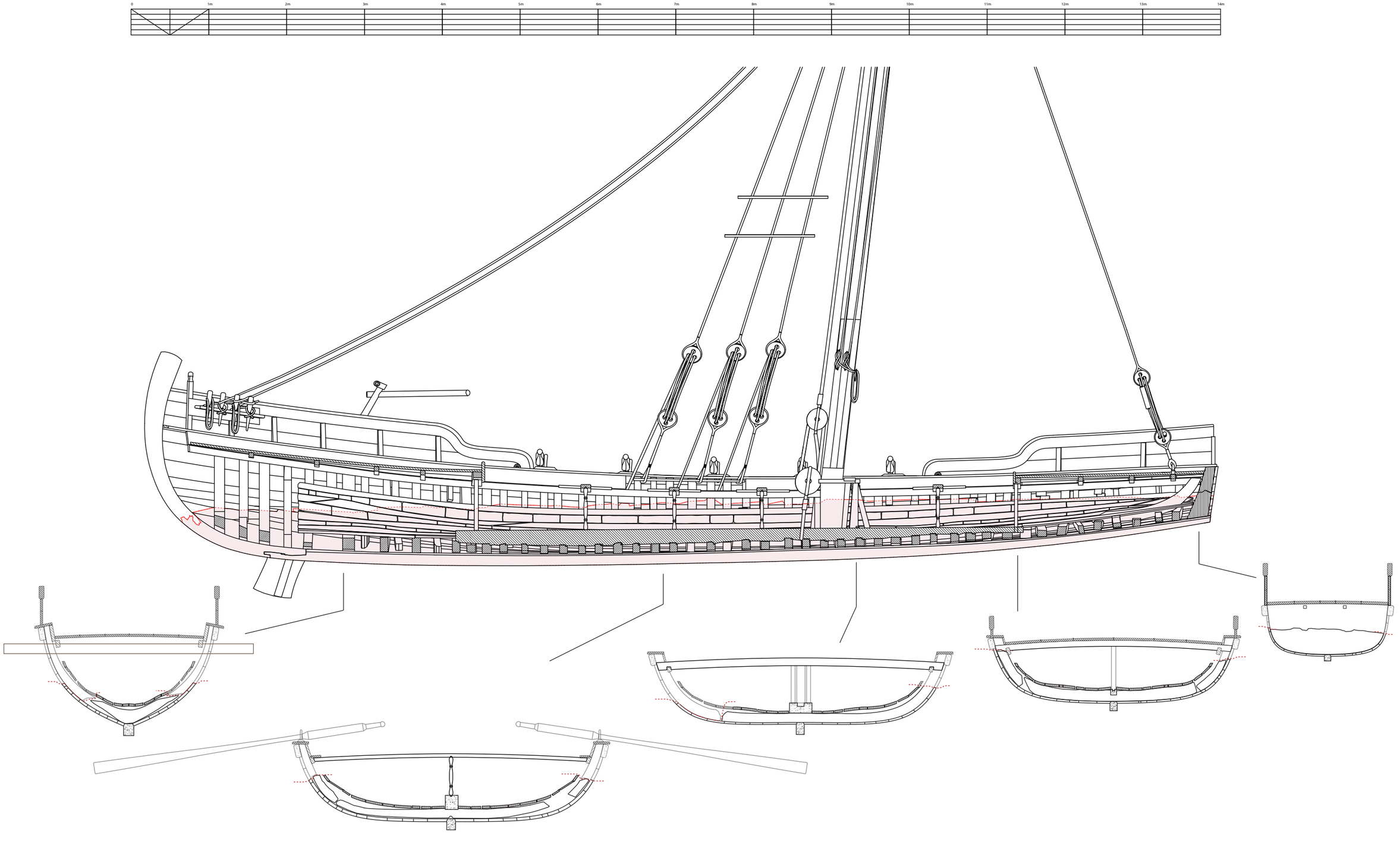
Pl. XXIV : Plan de formes final de la deuxième hypothèse de restitution (Réalisation: G. Boetto, P. Poveda, R. Roman; CCJ-CNRS).



Pl. XXV : Vestiges du flanc bâbord remis en forme et replacés sur le longitudinal du plan de formes.



Pl. XXVI : Plan de coque et de pont de la deuxième hypothèse de restitution.



Pl. XXVII : Plan de structure de la deuxième hypothèse de restitution.

Annexes VII: Documents iconographiques de comparaison *Dramont E*

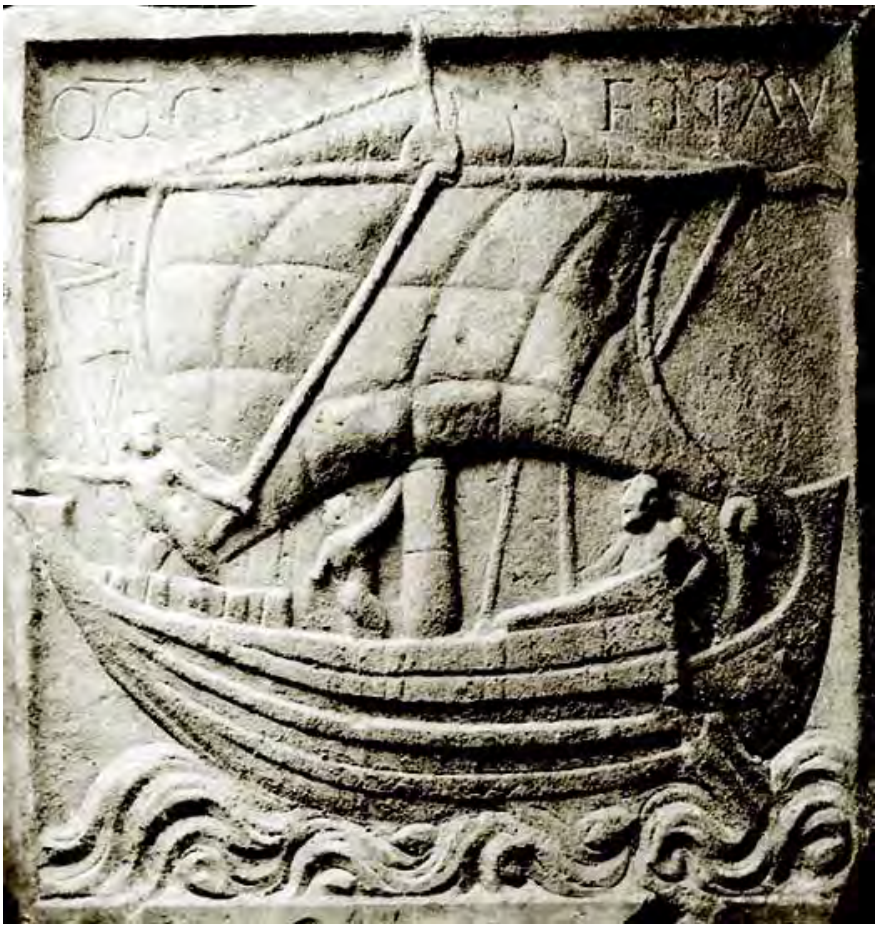


Fig. LXIII : Bas-relief votif des *Quinquennales* des *Fabri Navales* d'Ostie, Rome, IIème - IIIème s. ap. J.-C.
(Pomey 1997, p. 118)

Annexes VIII: Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité *Dramont E*



Devis de poids: *Dramont E* V.1

Estimation du: 01/05/2012

Membre N°	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total z
A	0,0495	0	79,08	208,23	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,03564	0	2,818411	7,421317
B	0,0558	0	107,59	189,68	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,040176	0	4,322536	7,620584
C	0,0593	0	133,39	176,82	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,042696	0	5,695219	7,549507
D	0,0615	0	159,88	166,25	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,04428	0	7,079486	7,36155
1	0,0623	0	186,74	188,61	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,044856	0	8,376409	8,46029
2	0,0672	0	210,03	159,85	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,048384	0	10,16209	7,734182
3	0,0989	0	234,35	122,85	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,04945	0	11,58861	6,074933
4	0,0741	0	266,17	131,17	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,053352	0	14,2007	6,998182
5	0,1099	0	292,54	115,63	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,079128	0	23,14811	9,149571
6	0,0927	0	321,19	114,31	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,066744	0	21,43751	7,629507
7	0,1213	0	345,11	109,05	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,087336	0	30,14053	9,523991
8	0,0762	0	368,45	109	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,054864	0	20,21464	5,980176
9	0,1022	0	390,72	104,41	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,073584	0	28,75074	7,682905
10	0,1119	0	420,8	96,107	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,080568	0	33,90301	7,743149
11	0,144	0	443,52	92,46	Pin Pignon (*Pinus Pinaster*)	0,5	0,072	0	31,93344	6,65712
12	0,106	0	472,85	95,26	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,07632	0	36,08791	7,270243
13	0,1017	0	501,39	78,45	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,073224	0	36,71378	5,744423
14	0,101	0	538,08	80,99	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,07272	0	39,12918	5,889593
15	0,129	0	562,99	81,31	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,09288	0	52,29051	7,552073
16	0,1231	0	587,76	80,36	Pin Pignon (*Pinus Pinaster*)	0,5	0,06155	0	36,17663	4,946158
17	0,1293	0	619,26	77,43	Frêne (*Fraxinus sp.*)	0,72	0,093096	0	57,65063	7,208423
18	0,1241	0	640,57	76,08	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,089352	0	57,23621	6,7979
19	0,1181	0	663,09	74,35	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,050783	0	33,6737	3,775716
20	0,0948	0	692,67	80,03	Noyer (Jugl. Regia)	0,72	0,068256	0	47,27888	5,462528
21	0,1345	0	716,62	73,31	Frêne (*Fraxinus sp.*)	0,72	0,09684	0	69,39748	7,09934
22	0,0997	0	751,1	79,45	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,071784	0	53,91696	5,703239
23	0,1122	0	773,32	86,47	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,080784	0	62,47188	6,985392
24	0,1287	0	801,21	87,42	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,092664	0	74,24332	8,100687
25	0,1329	0	829,45	95,38	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,095688	0	79,36841	9,126721
26	0,0996	0	852,24	100,2	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,071712	0	61,11583	7,185542
27	0,1213	0	876,58	107,7	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,087336	0	76,55699	9,406087
28	0,0981	0	897,85	105,99	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,070632	0	63,41694	7,486286
29	0,1133	0	932,41	108,4	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,081576	0	76,06228	8,842838
30	0,0843	0	955,18	119,11	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,060696	0	57,97561	7,229501
31	0,094	0	981,07	118,54	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,06768	0	66,39882	8,022787
32	0,0616	0	1010,78	137,67	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,026488	0	26,77354	3,646603
33	0,0899	0	1042,66	132,02	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,038657	0	40,30611	5,103497
34	0,0774	0	1065,43	141,59	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,055728	0	59,37428	7,890528
35	0,0661	0	1096,11	164,17	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,047592	0	52,16607	7,813179
E	0,053	0	1124,75	163,06	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,03816	0	42,92046	6,22237
F	0,0515	0	1151,24	170,37	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,03708	0	42,68798	6,31732
G	0,0495	0	1177,06	178,06	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,03564	0	41,95042	6,346058
H	0,0471	0	1203,55	186,8	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,033912	0	40,81479	6,334762
I	0,0434	0	1232,07	197,64	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,031248	0	38,49972	6,175855
J	0,039	0	1257,87	209,29	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,02808	0	35,32099	5,876863
K	0,0331	0	1284,35	223,52	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,023832	0	30,60863	5,326929
Total	4,1441	**0**	**652,2**	**113,44**			**2,82505**	0	1842,356	320,4764

Devis de poids: *Dramont E* V.1

Estimation du: 01/05/2012

Elements axiaux	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Quille	0,495	0	607,34	18,19	Pin Pignon (*Pinus Pinaster*)	0,5	0,2475	0	150,317	4,502025
Etrave	0,469	0	1236,55	157,57	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,2345	0	289,971	36,950165
Etambot	0,331	0	73,93	187,77	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,1655	0	12,2354	31,075935
CG	1,295	**0**	**699**	**112**			**0,6475**	0	452,523	72,528125
Bordé	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Δ**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
Bordé	3,112	0	616,51	109,617	Melange (*Pinus Pinea/Halepensis*)	0,5	1,556	0	959,29	170,564052
Préceintes	1,5969	0	619,41	196,21	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,79845	0	494,568	156,663875
CG	4,7089	**0**	**617**	**139**			**2,35445**	0	1453,86	327,227927
Charp. Int.	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Δ**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
Longerons	0,0946	0	706,69	64,78	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,0473	0	33,4264	3,064094
Massif d'emplanture	0,1721	0	712,64	73,72	Mélèze (*Larix Decidua*)	0,6	0,10326	0	73,5872	7,6123272
Vaigrage	1,3036	0	660,46	110,04	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,560548	0	370,22	61,6827019
CG	1,5703	**0**	**671**	**102**			**0,711108**	0	477,233	72,3591231
Estimations Pont	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Δ**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
CG	environ 3,5	**0**	**655**	**240**	/	/	**1,92**	0	1257,6	460,8
Mature	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	**Δ**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
Mât	0,506	0	793,39	716,25	Sapin (*Abies Alba*)	0,46	0,23276	0	184,669	166,71435
Vergue	0,215	0	817,57	1153,54	Non Id. (simili Mât*Abies Alba*)	0,46	0,0989	0	80,8577	114,085106
CG	0,721	**0**	**801**	**847**			**0,33166**	0	265,527	280,799456
Premier étage	**Volume (l)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Poids à vide (Kg)**	**Poids (Kg**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
KeayXXXV Gd	87	0	544,58	159,08	20,9	107,9	5,5029	0	2996,77	875,40
KeayXXXV Pt	60	0	716,33	149,76	19	79	13,509	0	9676,90	2023,11
Spatheia Pt	5	0	586,73	151,06	5	10	1,2	0	704,08	181,27
SpatheiaGd/ Keay XXV	10,5	0	566,13	157,52	10	20,5	1,0455	0	591,89	164,69
Sigillées	/	0	660	155	/	/	1	0	660,00	155,00
CG Cargaison		**0**	**657**	**153**			**22,2574**	0	########	3399,47
	Poids (Kg)	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**			**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Ancres	34,6	**0**	**793**	**258**	/	/	0,2422	0	192,077	62,47549

Devis de poids: *Dramont E* V.1

Estimation du: 01/05/2012

	Lège non mâté	Lège Mâté	Chargé 1°
Déplacement (T)	8,46	9,03	31,29
Volume total de bois (m3)	15,22	15,94	15,94
Surface mouillée (m^2)			
Rapport Sv/M			
	CG lège	CG mâté	CG Ch.1°
Total x	0,00	0,00	0,00
Total y	5483,57	5941,17	20570,81
Total z	1253,39	1596,67	4996,13
	CG lège	**CG mâté**	**Chargé 1°**
x	0,00	0,00	0,00
y	648,32	657,79	657,44
z	148,19	176,78	159,68

Devis de poids: *Dramont E* V.2

Estimation du: 01/05/2012

Membre N°	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total z
A	0,0575	0	79,08	220,74	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,0414	0	3,273912	9,138636
B	0,0638	0	107,59	202,3	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,045936	0	4,942254	9,292853
C	0,0674	0	133,39	189,61	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,048528	0	6,47315	9,201394
D	0,0697	0	159,88	179,3	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,050184	0	8,023418	8,997991
1	0,0724	0	186,74	188,61	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,052128	0	9,734383	9,831862
2	0,0768	0	210,03	172,89	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,055296	0	11,61382	9,560125
3	0,1082	0	234,35	134,47	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,0541	0	12,67834	7,274827
4	0,0831	0	266,17	144,31	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,059832	0	15,92548	8,634356
5	0,1071	0	292,54	131,62	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,077112	0	22,55834	10,14948
6	0,1024	0	320,46	126,39	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,073728	0	23,62687	9,318482
7	0,1304	0	344,73	117,93	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,093888	0	32,36601	11,07221
8	0,0851	0	367,75	121,92	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,061272	0	22,53278	7,470282
9	0,1133	0	390,72	116,46	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,081576	0	31,87337	9,500341
10	0,1286	0	420,8	105,29	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,092592	0	38,96271	9,749012
11	0,1543	0	443,52	100,99	Pin Pignon (*Pinus Pinaster*)	0,5	0,07715	0	34,21757	7,791379
12	0,1176	0	471,68	107,25	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,084672	0	39,93809	9,081072
13	0,1129	0	501,39	91,74	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,081288	0	40,75699	7,457361
14	0,1115	0	538,08	92,22	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,08028	0	43,19706	7,403422
15	0,1431	0	563,18	93,41	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,103032	0	58,02556	9,624219
16	0,1379	0	587,76	92,75	Pin Pignon (*Pinus Pinaster*)	0,5	0,06895	0	40,52605	6,395113
17	0,1428	0	619,26	89,11	Frêne (*Fraxinus sp.*)	0,72	0,102816	0	63,66984	9,161934
18	0,1364	0	640,57	86,89	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,098208	0	62,9091	8,533293
19	0,1279	0	663,09	84,01	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,054997	0	36,46796	4,620298
20	0,1061	0	692,67	92,44	Noyer (Jugl. Regia)	0,72	0,076392	0	52,91445	7,061676
21	0,1457	0	716,62	83,21	Frêne (*Fraxinus sp.*)	0,72	0,104904	0	75,1763	8,729062
22	0,106	0	751,1	86,94	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,07632	0	57,32395	6,635261
23	0,1219	0	773,32	96,03	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,087768	0	67,87275	8,428361
24	0,1386	0	801,21	96,14	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,099792	0	79,95435	9,594003
25	0,1433	0	829,45	103,88	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,103176	0	85,57933	10,71792
26	0,1108	0	852,24	109,91	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,079776	0	67,9883	8,76818
27	0,1311	0	876,58	115,92	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,094392	0	82,74214	10,94192
28	0,1085	0	897,85	116,48	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,07812	0	70,14004	9,099418
29	0,1219	0	932,41	116,77	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,087768	0	81,83576	10,24867
30	0,0927	0	955,18	129,22	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,066744	0	63,75253	8,62466
31	0,1029	0	981,07	128,55	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,074088	0	72,68551	9,524012
32	0,0702	0	1010,78	150,18	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,030186	0	30,51141	4,533333
33	0,0972	0	1042,66	140,35	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,041796	0	43,57902	5,866069
34	0,0867	0	1065,43	153,04	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,062424	0	66,5084	9,553369
35	0,0761	0	1096,11	175,81	Noyer (*Jugl. Regia*)	0,72	0,054792	0	60,05806	9,632982
E	0,0598	0	1124,75	173,74	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,043056	0	48,42724	7,480549
F	0,0581	0	1151,24	181,74	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,041832	0	48,15867	7,602548
G	0,056	0	1177,06	188,18	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,04032	0	47,45906	7,587418
H	0,0533	0	1203,55	196,71	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,038376	0	46,18743	7,548943
I	0,0496	0	1232,07	207,37	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,035712	0	43,99968	7,405597
J	0,0451	0	1257,87	218,9	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,032472	0	40,84555	7,108121
K	0,0391	0	1284,35	233	Non Id. (Simili Noyer)	0,72	0,028152	0	36,15702	6,559416
Total	4,5709	**0**	**652,5**	**124,63**			**3,11732**	0	2034,15	388,5114

Devis de poids: *Dramont E* V.2

Estimation du: 01/05/2012

Elements axiaux	Volume (M3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Quille	0,495	0	607,34	18,19	Pin Pignon (*Pinus Pinaster*)	0,5	0,2475	0	150,32	4,50
Etrave	0,531	0	1255,34	182,32	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,2655	0	333,29	48,41
Etambot	0,3734	0	69,87	212,63	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,1867	0	13,04	39,70
CG	1,3994	**0**	**710**	**132**			**0,6997**	0	496,65	92,61
Bordé	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	Δ	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
Bordé	3,5121	0	613,7	119,07	Melange (*Pinus Pinea/Halepensis*)	0,5	1,75605	0	1077,69	209,09
Préceintes	1,5969	0	619,41	196,21	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,79845	0	494,57	156,66
CG	5,109	**0**	**615**	**143**			**2,5545**	0	1572,26	365,76
Charp. Int.	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	Δ	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
Longerons	0,0946	0	706,69	64,78	Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)	0,5	0,0473	0	33,43	3,06
Massif d'emplanture	0,1721	0	712,64	73,72	Mélèze (*Larix Decidua*)	0,6	0,10326	0	73,59	7,61
Vaigrage	1,3036	0	660,46	110,04	Pin Maritime (*Pinus Maritima*)	0,43	0,560548	0	370,22	61,68
CG	1,5703	**0**	**671**	**102**			**0,711108**	0	477,23	72,36
Estimations Pont	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	Δ	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
CG	environ 3,5	**0**	**655**	**260**	/	/	**2,087**	0	1366,99	542,62
Mature	**Volume (M3)**	**X (cg)**	**Y (cg)**	**Z (cg)**	**Essence**	Δ	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total Y**	**Total Z**
Mât	0,506	0	793,39	716,25	Sapin (*Abies Alba*)	0,46	0,23276	0	184,67	166,71
Vergue	0,215	0	817,57	1153,54	Non Id. (simili Mât*Abies Alba*)	0,46	0,0989	0	80,86	114,09
CG	0,721	**0**	**801**	**847**			**0,33166**	0	265,53	280,80
Premier étage	**Volume (l)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Poids à vide (Kg)**	**Poids (Kg)**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
KeayXXXV Gd	87	0	544,58	159,08	20,9	107,9	5,5029	0	2996,77	875,40
KeayXXXV Pt	60	0	716,33	149,76	19	79	13,509	0	9676,90	2023,11
Spatheia Pt	5	0	586,73	151,06	5	10	1,2	0	704,08	181,27
SpatheiaGd/ Keay XXV	10,5	0	566,13	157,52	10	20,5	1,0455	0	591,89	164,69
		0	**657**	**153**			**21,2574**	0	13969,64	3244,47
Deuxième étage	**Volume (l)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Poids à vide (Kg)**	**Poids (Kg)**	**Poids (T.M)**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
KeayXXXV Pt	60	0	672,76	209,09	19	79	8,374	0	5633,69	1750,92
SpatheiaGd/ Keay XXV	10,5	0	703,66	206,16	10	20,5	1,7835	0	1254,98	367,69
Sigillées	/	0	505	237	/	/	1	0	505,00	237,00
		0	**663**	**211**			**11,1575**	0	7393,67	2355,61
CG Cargaison		**0**	**659**	**173**			**32,4149**	0	21363,30602	5600,07435
	Poids (Kg)	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Poids (T.M)**			Total x	**Total y**	**Total z**
Ancres	34,6	0	793,05	287,95	0,2422			0	192,07671	69,74149

Devis de poids: *Dramont E* V.2

Estimation du: 01/05/2012

	Lège non mâté	Lège Mâté	Chargé 1°	Chargé 2°
Déplacement (T)	9,17	9,74	31,00	42,16
Volume total de bois (m3)	16,15	16,87	16,87	16,87
Surface mouillée (m^2)				
Rapport Sv/M				
	CG lège	CG Mâté	CG Ch.1°	CG Ch.2°
Total x	0,00	0,00	0,00	0,00
Total y	5947,28	6404,88	20374,52	27768,19
Total z	1461,85	1812,39	5056,86	7412,47
	CG lège	**Lège Mâté**	**Chargé 1°**	**Chargé 2°**
x	0,00	0,00	0,00	0,00
y	648,58	657,35	657,22	658,66
z	159,42	186,01	163,12	175,82

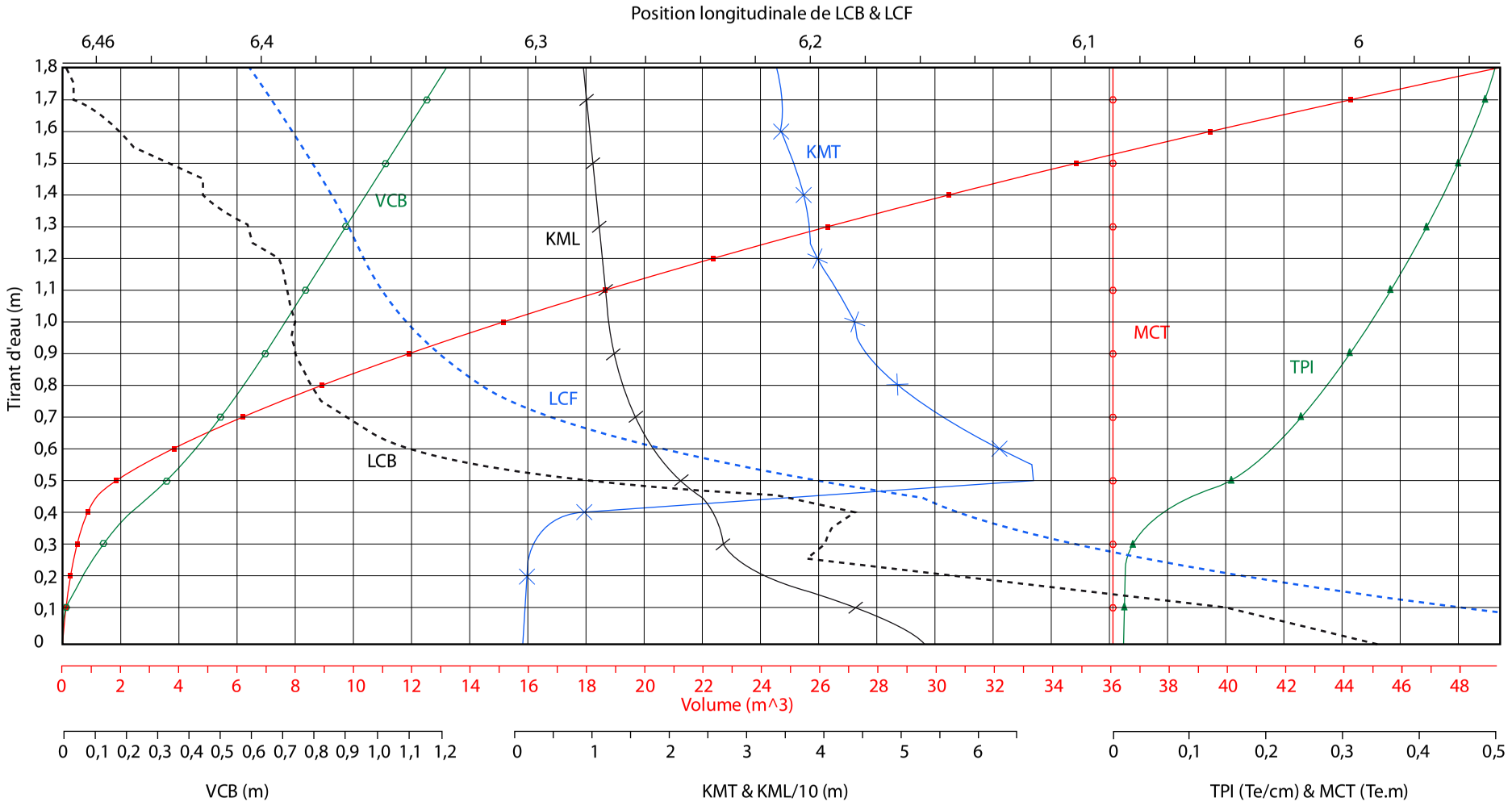


Fig. LXIV : Courbes hydrostatiques de l'hypothèse de restitution de *Dramont E.*

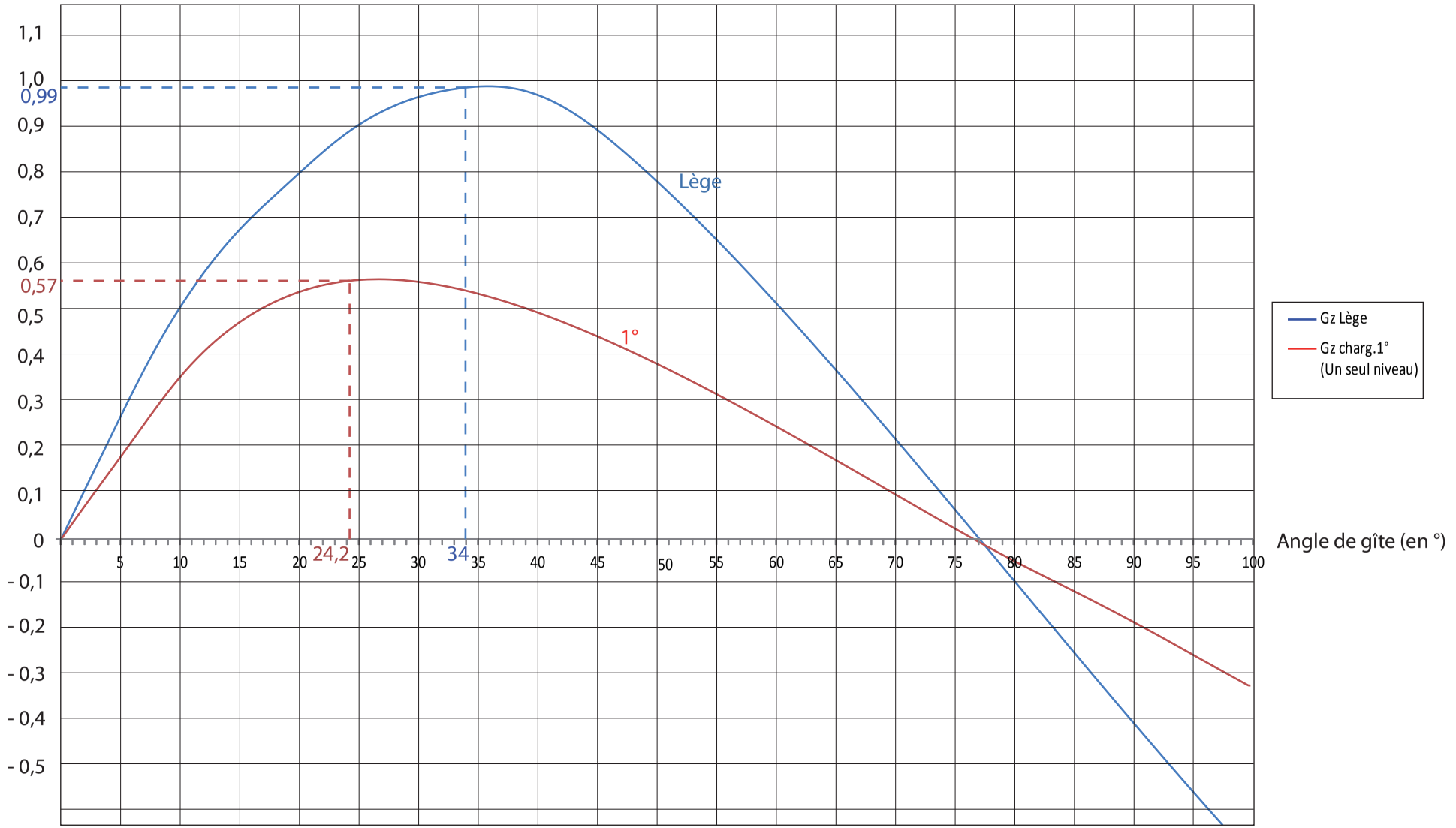


Fig. LXV : Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Dramont E* en fonction du chargement.

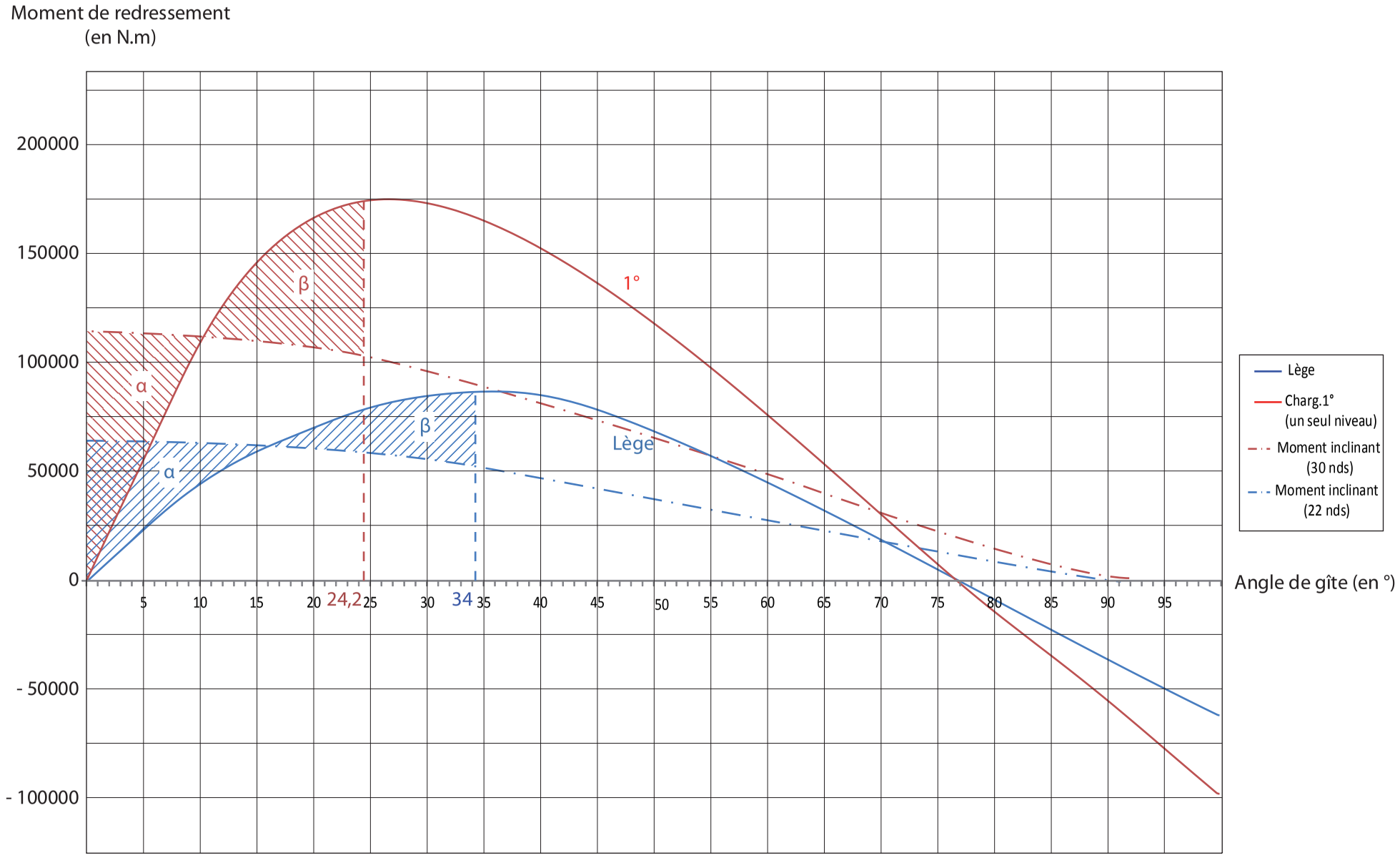


Fig. LXVI : Comparaison des différents moments redressants et inclinants de l'hypothèse de restitution n°1 de l'épave *Dramont E* en fonction du chargement.

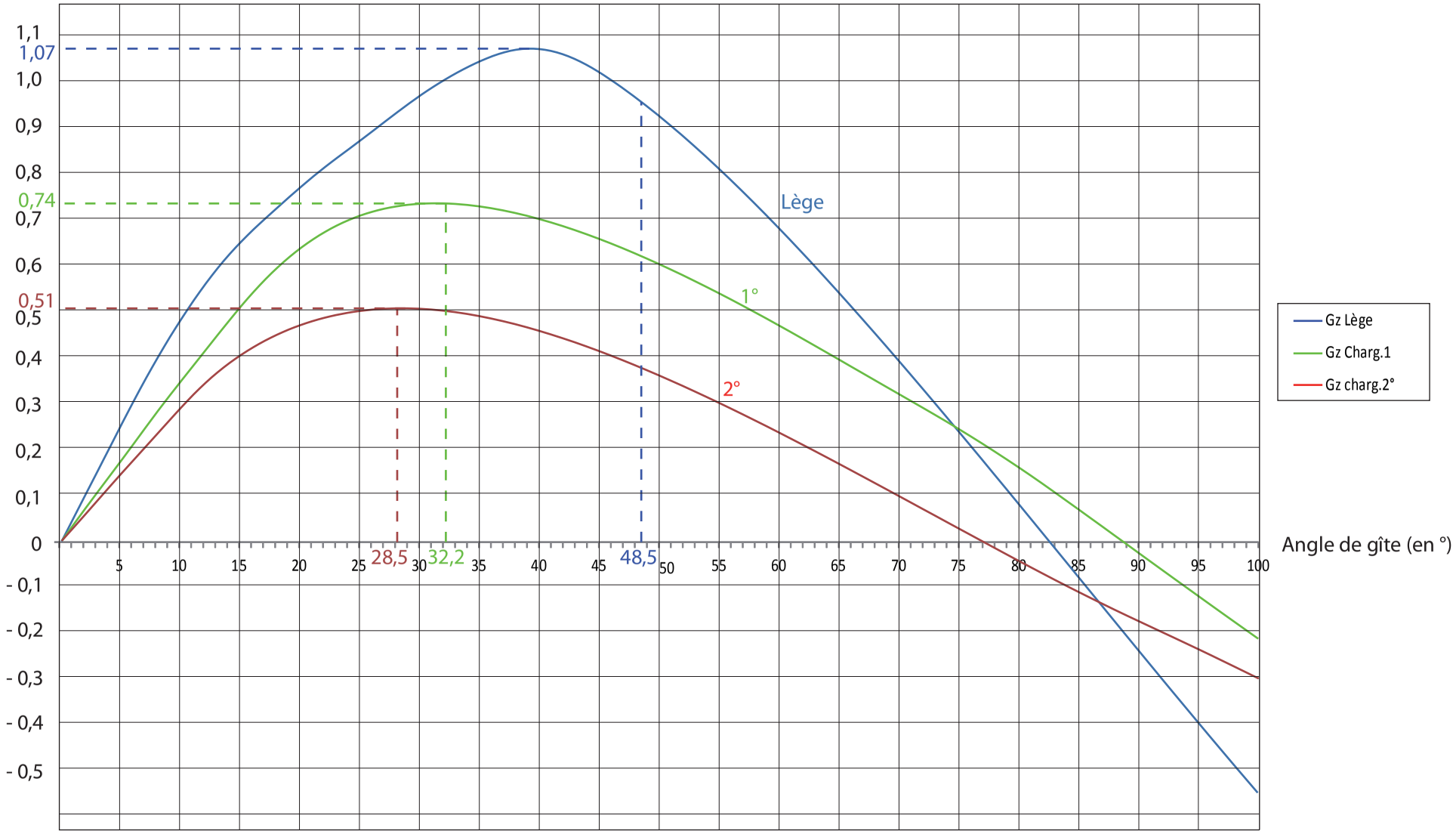


Fig. LXVII : Comparaison des différents bras de levier de redressement de l'hypothèse de restitution n°2 de l'épave D*ramont E* en fonction du chargement.

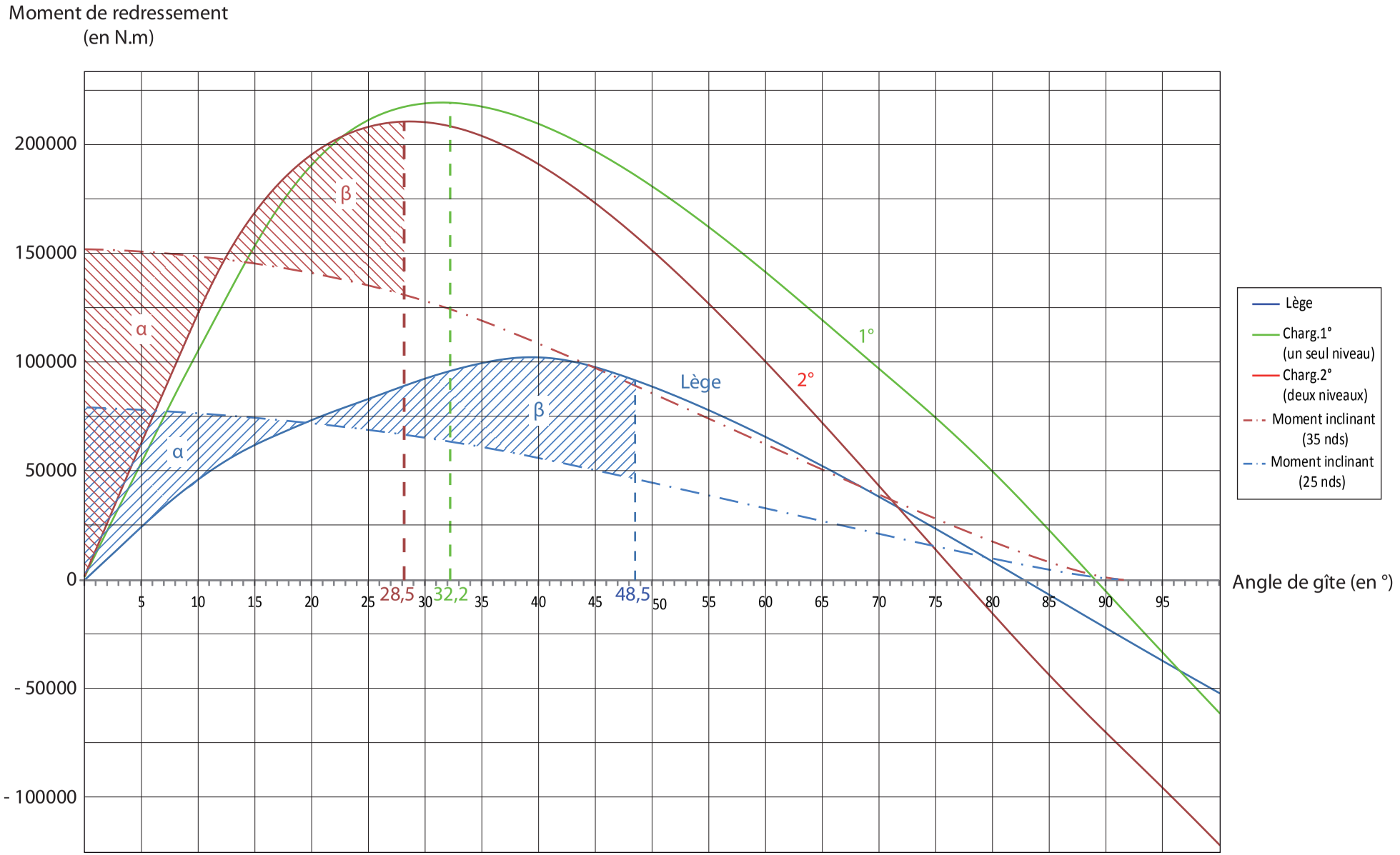
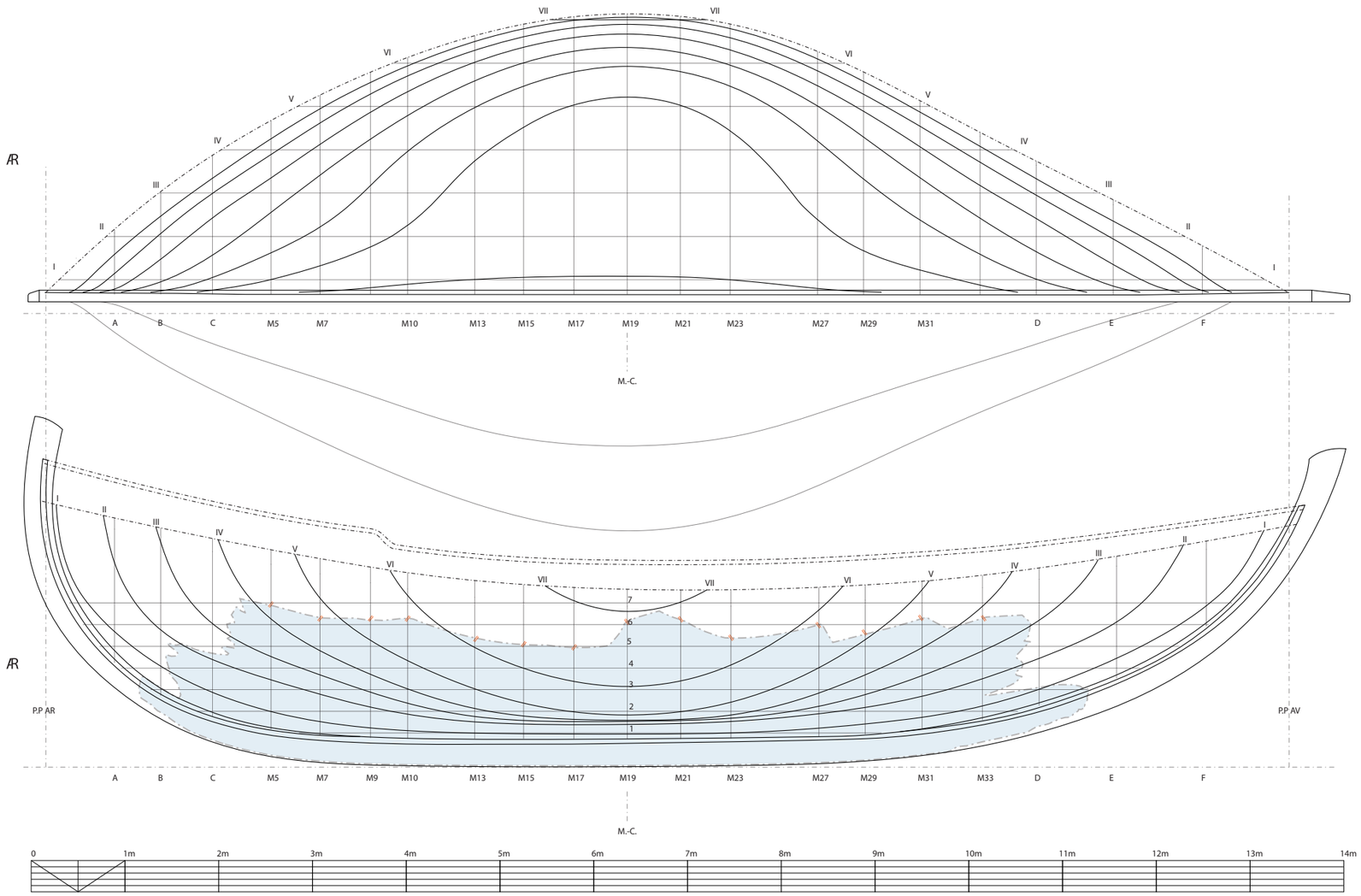
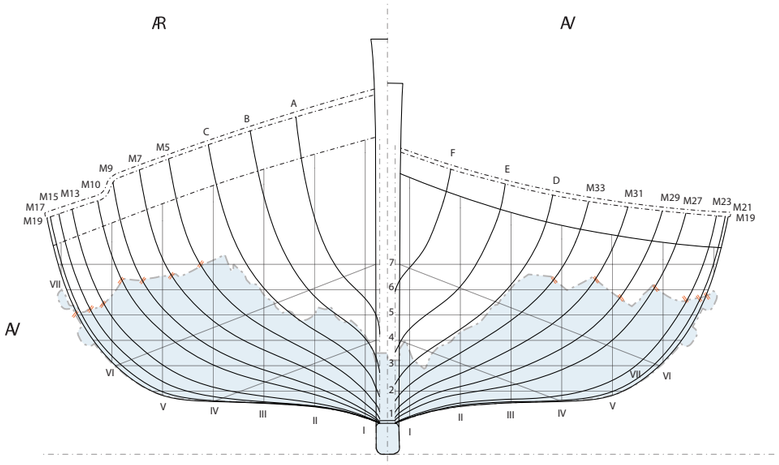


Fig. LXVIII : Comparaison des différents moments inclinants et redressants de l'hypothèse de restitution n°2 de *Dramont E* en fonction du chargement.

Annexes IX: Planches *Dramont E*

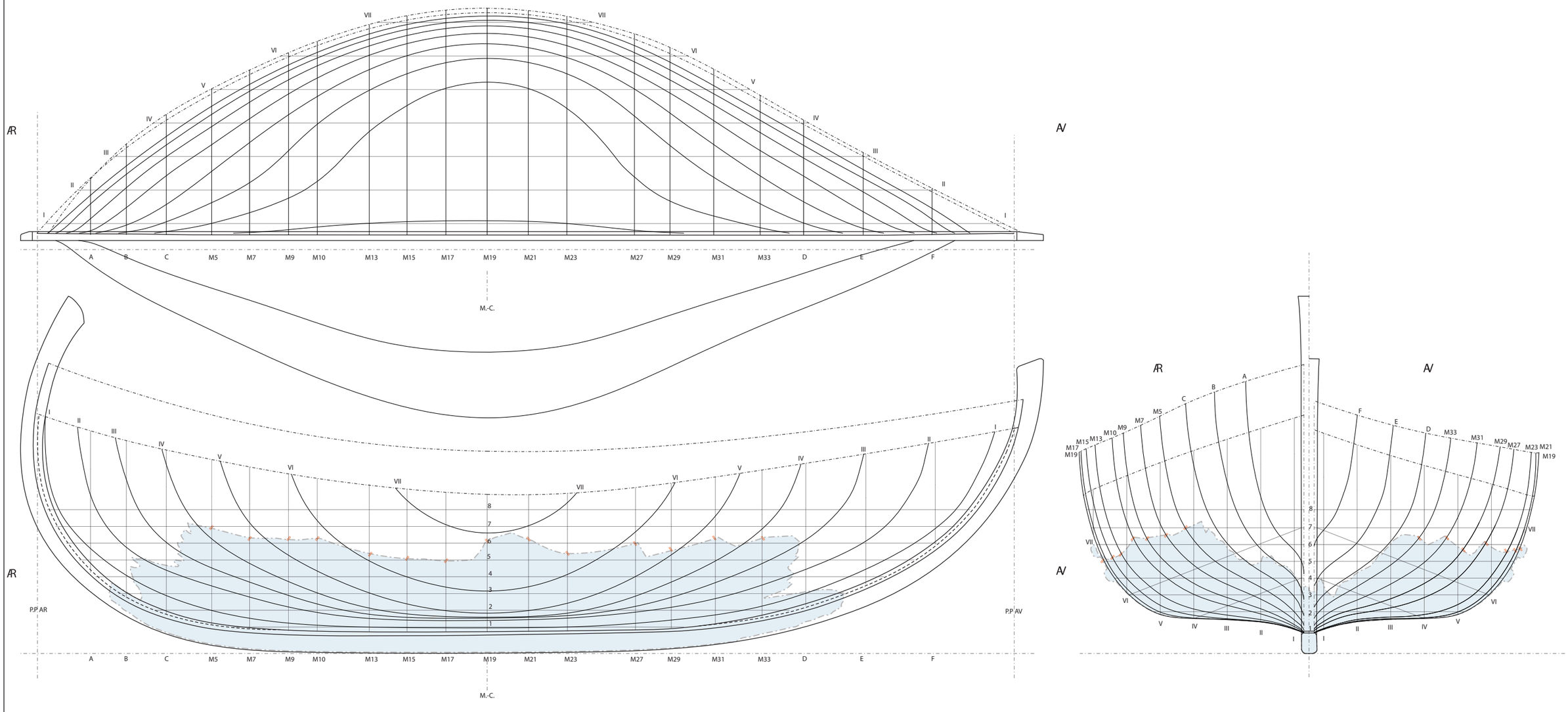
Dramont E	
Plan des formes général	Réstitution : P. POVEDA et R. ROMAN
	D.A.O : P. POVEDA
Version n° 2.1 Dessin du : 05/10/2009	:Vestiges archéologiques conservés

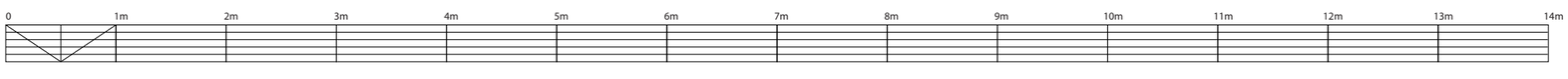




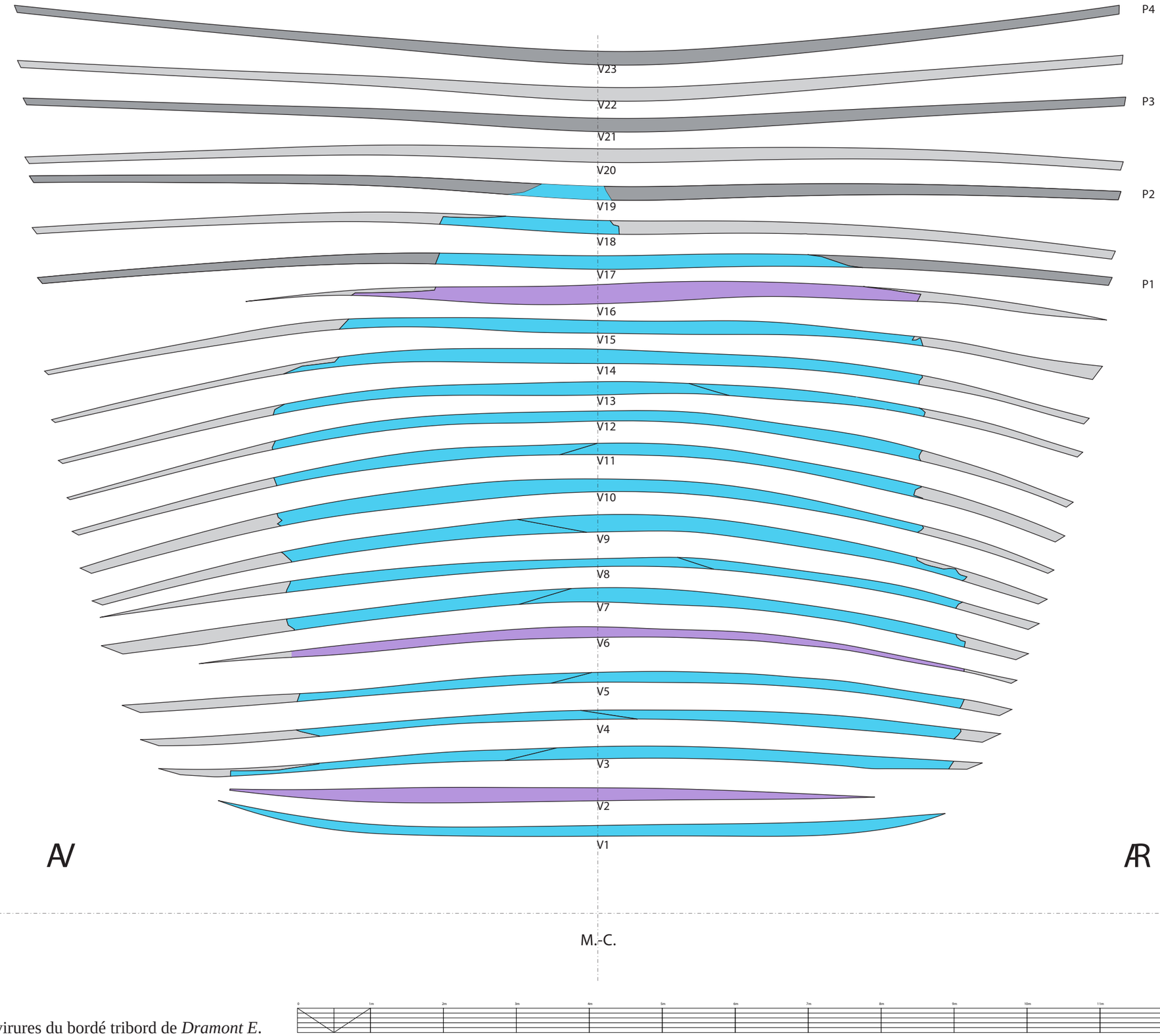
Pl. XXVIII : Plan de formes de la première hypothèse de restitution de l'épave *Dramont E*.

Dramont E	
Plan des formes général	Réstitution : P. POVEDA et R. ROMAN
	D.A.O : P. POVEDA
Version n° 2.2 Dessin du : 05/02/2011	: Vestiges archéologiques conservés





Pl. XXIX : Plan de formes de la deuxième hypothèse de restitution de l'épave *Dramont E*.



Pl. XXX : Plan dévellopé des virures du bordé tribord de *Dramont E*.

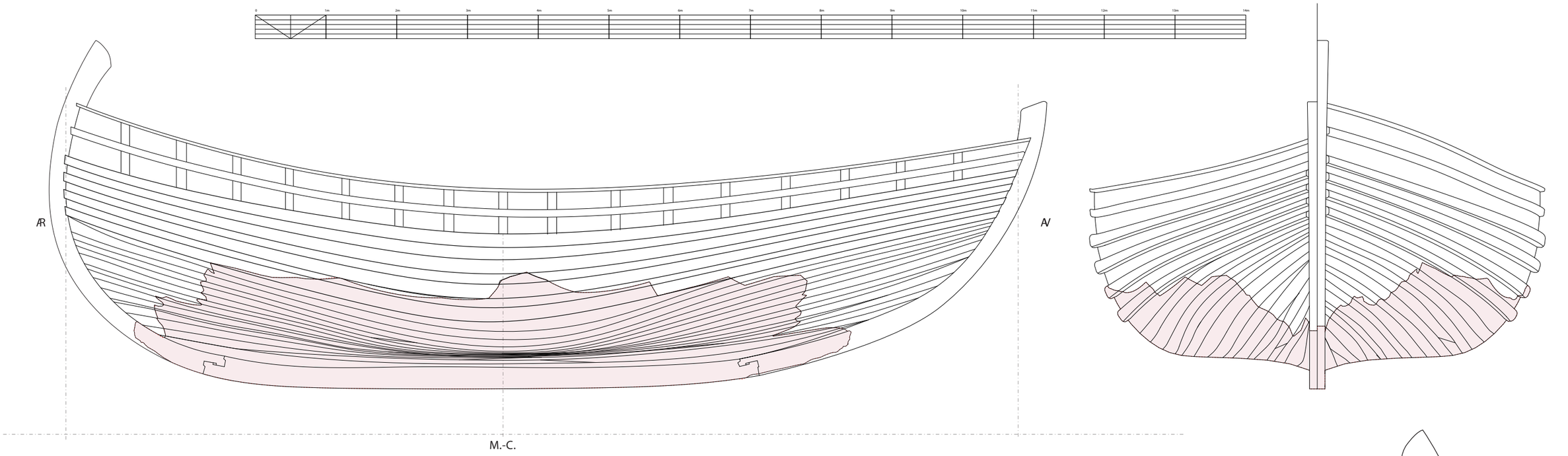


Fig. XXXI : Plan de coque de la deuxième hypothèse de restitution.

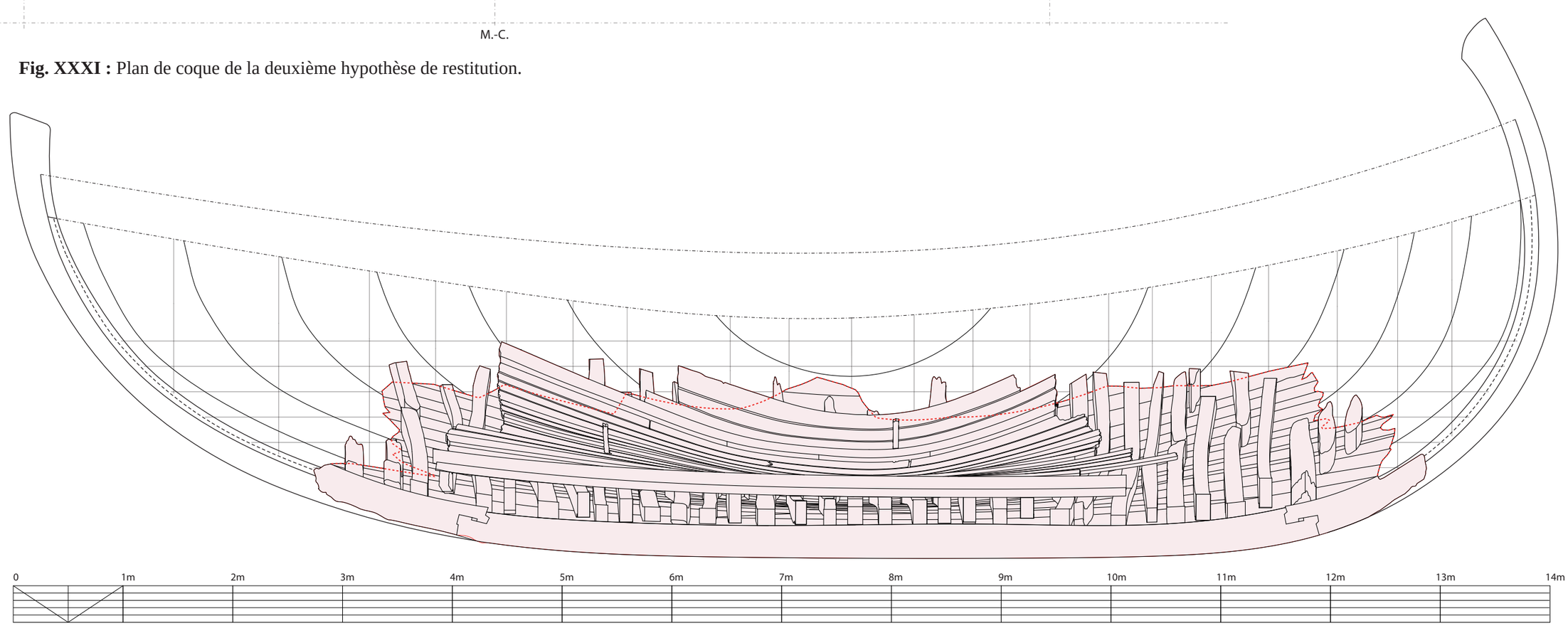


Fig. XXXII : Vue des vestiges remis en place au sein du plan de formes de la deuxième hypothèse de restitution.

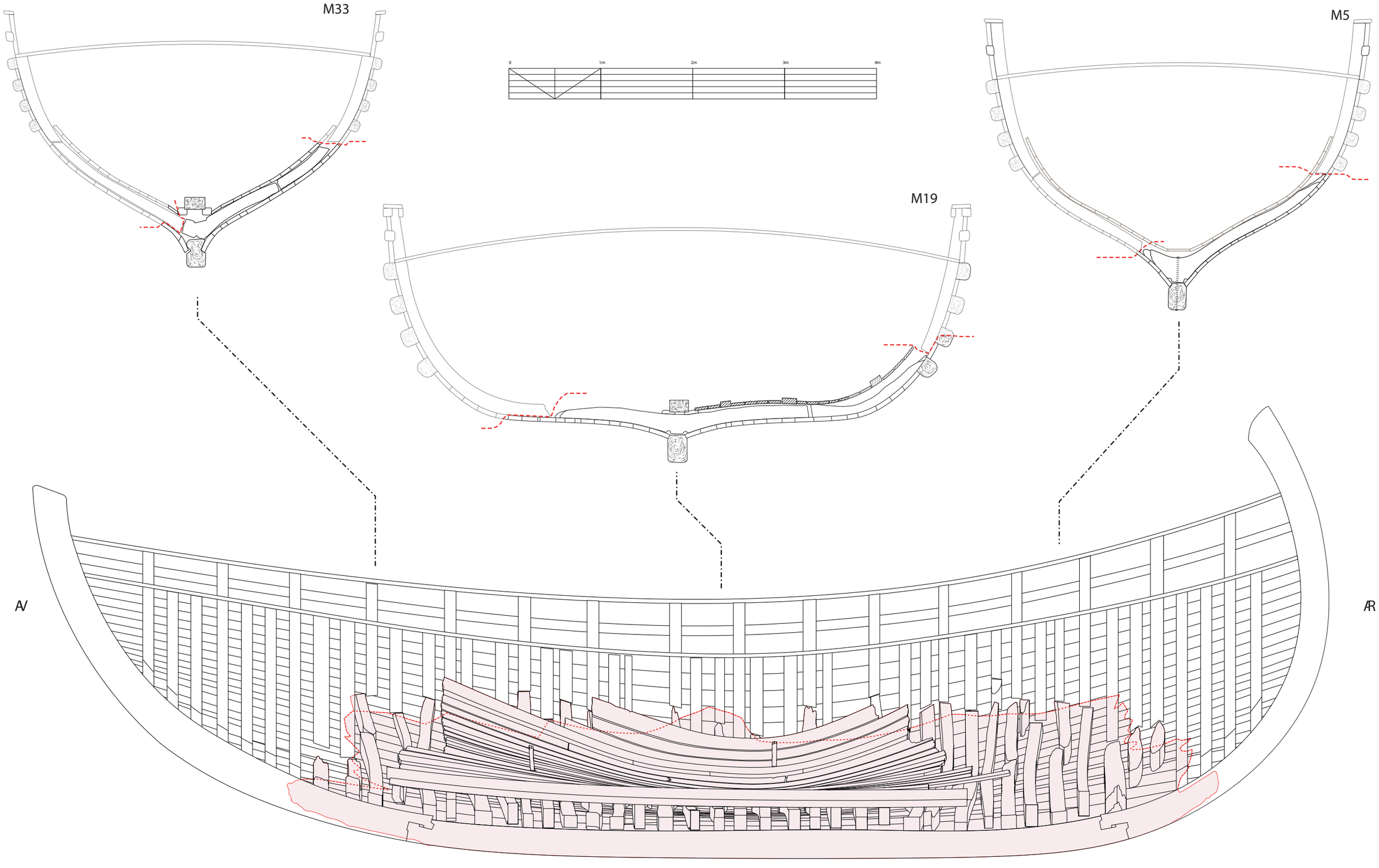
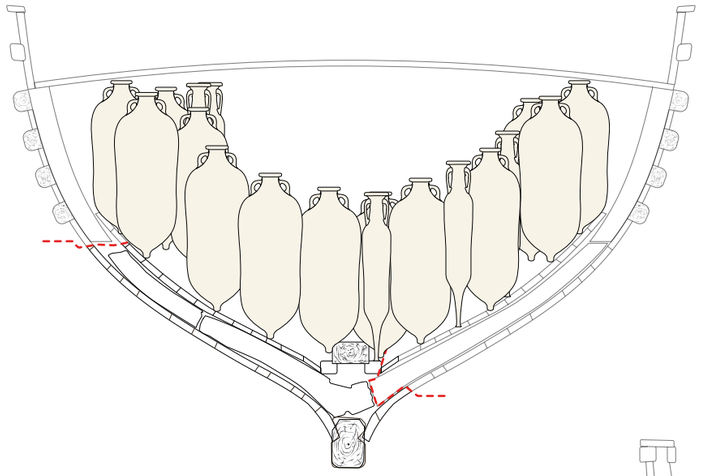
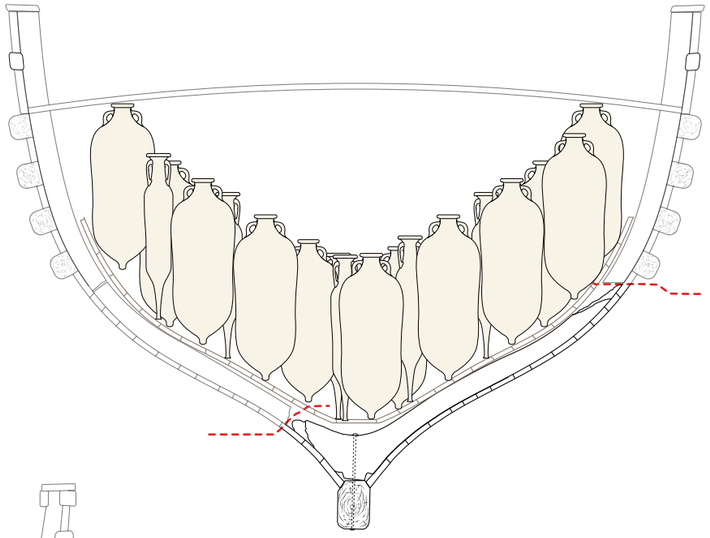
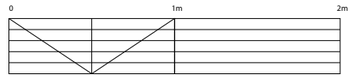
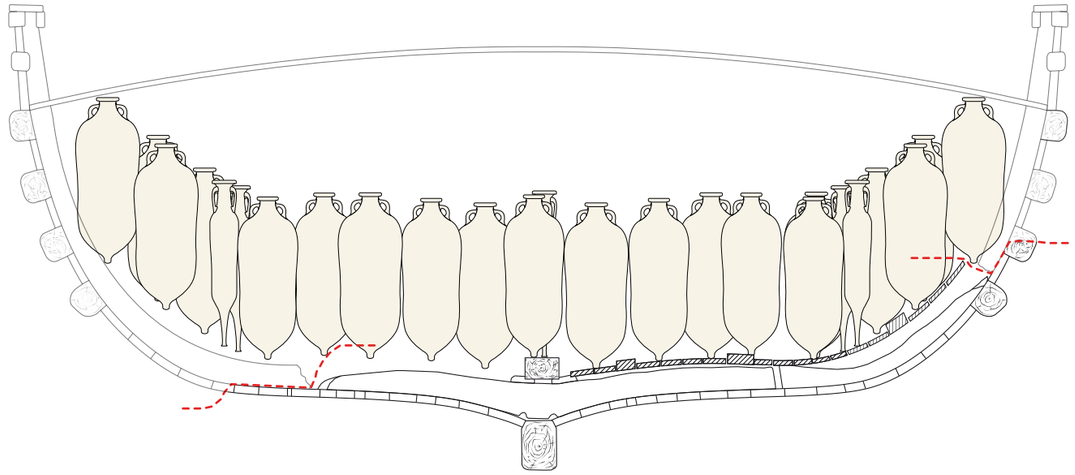


Fig. XXXIII : Coupes transversale et longitudinale de la deuxième hypothèse de restitution.



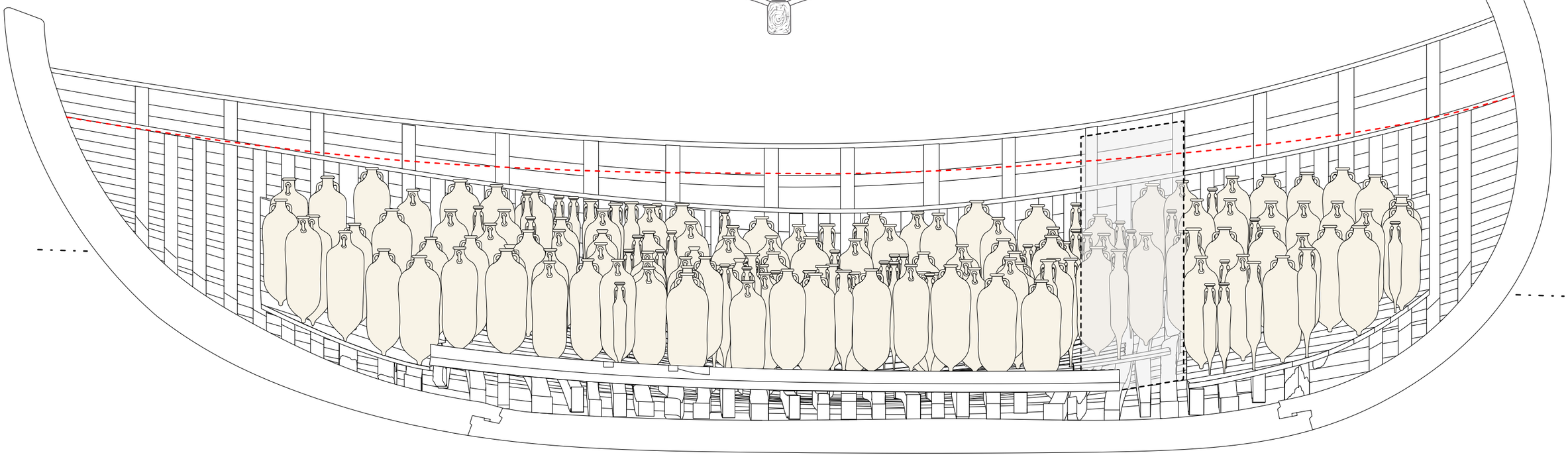




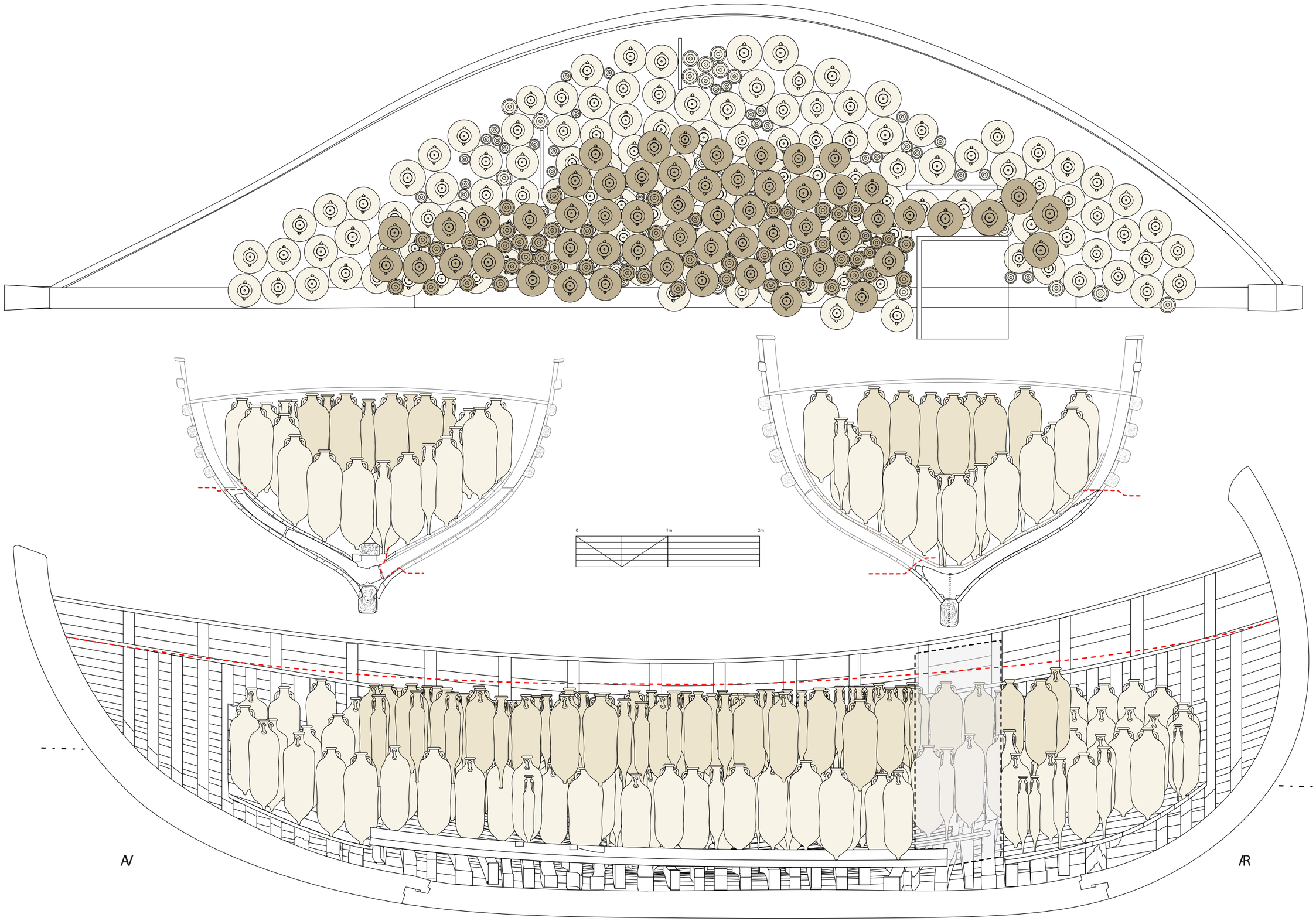


AV

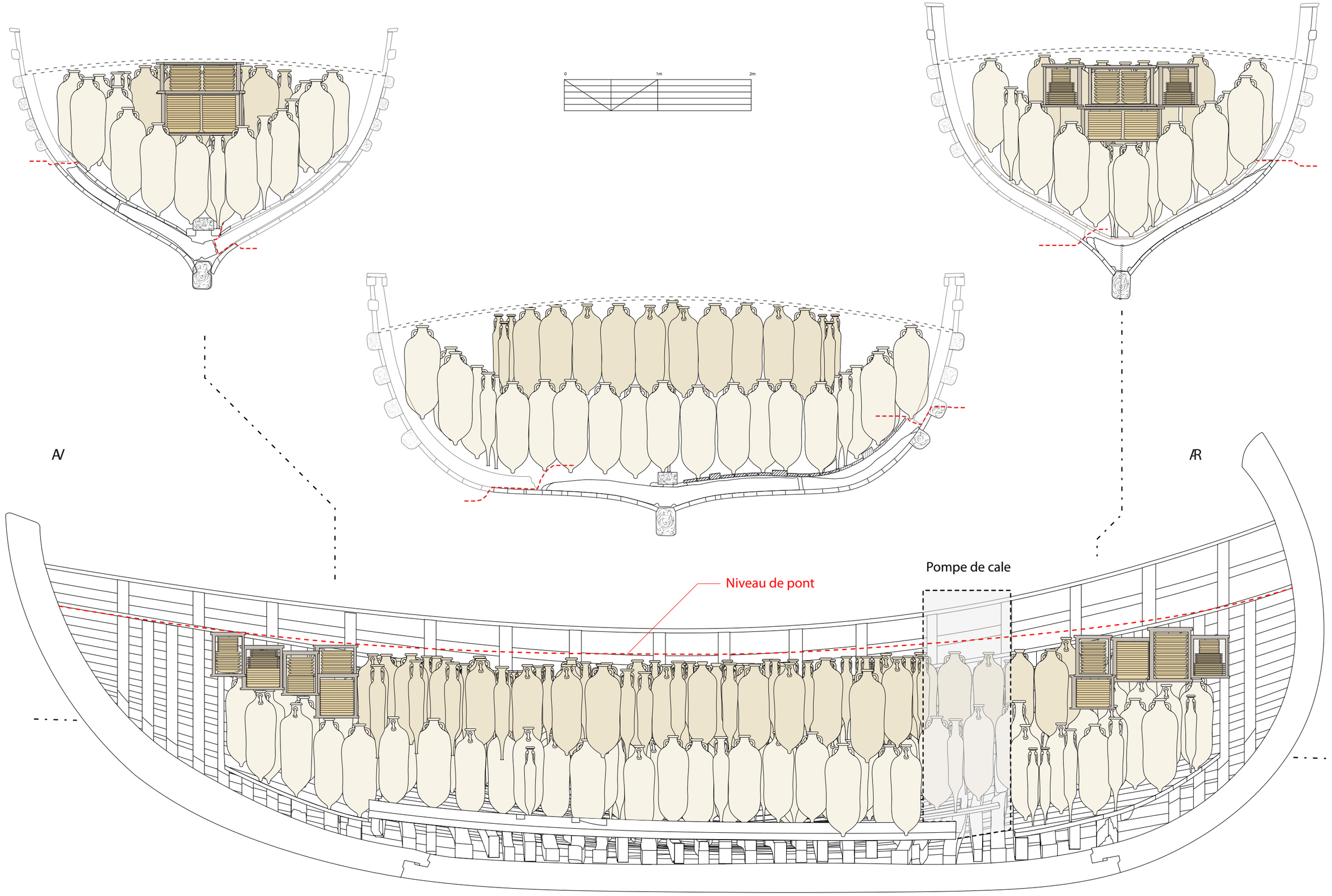
AR



Pl. XXXIV : Schéma de répartition du premier niveau d'amphores de la cargaison dans la deuxième hypothèse de restitution du navire.

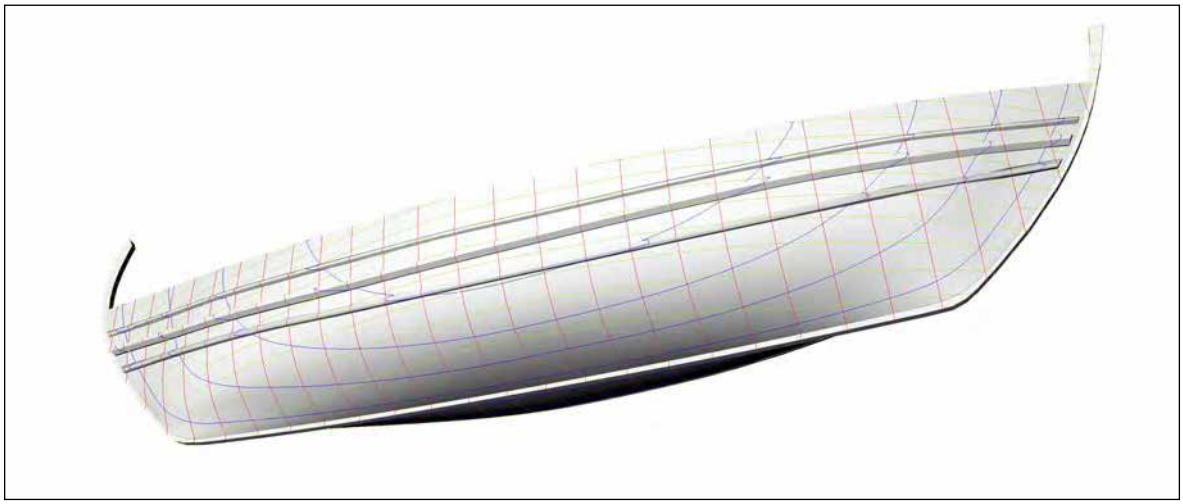


Pl. XXXV : Schéma de répartition des deux niveaux d'amphores de la cargaison dans la deuxième hypothèse de restitution du navire.



Pl. XXXVI : Schéma de répartition des deux niveaux d'amphores de la cargaison et de la cargaison de céramiques sigillées dans la deuxième hypothèse de restitution du navire.

Annexes X: Eléments sur l'hydrostatique et la stabilité *Jules-Verne 7*



Devis de poids *Jules-Verne 7*

Estimation du : 13/07/2012

Couple n°	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (t.m)	Total x	Total Y	Total z
Cr1	0,01	82,10	0,00	224,30	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	0,26	0,00	0,72
M0	0,01	127,10	0,00	169,95	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	0,73	0,00	0,97
Cr2	0,01	171,27	0,00	203,64	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	0,58	0,00	0,69
M1	0,01	227,66	0,00	111,53	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	0,97	0,00	0,48
Cr3	0,01	264,82	0,00	187,78	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	0,89	0,00	0,63
M2	0,04	326,99	0,00	94,15	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,02	6,71	0,00	1,93
Cr4	0,01	362,37	0,00	171,16	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	1,26	0,00	0,60
M3	0,02	418,99	0,00	69,72	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	5,50	0,00	0,92
Cr5	0,01	459,51	0,00	160,15	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	1,53	0,00	0,53
M4	0,02	514,57	0,00	56,95	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	4,50	0,00	0,50
Cr6	0,01	553,41	0,00	149,41	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	1,88	0,00	0,51
M5	0,02	611,15	0,00	53,19	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	6,01	0,00	0,52
Cr7	0,01	649,97	0,00	137,79	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	3,50	0,00	0,74
M6	0,03	711,81	0,00	37,45	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,02	11,53	0,00	0,61
Cr8	0,01	743,54	0,00	137,89	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	2,40	0,00	0,44
M7	0,02	806,99	0,00	46,66	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	10,13	0,00	0,59
Cr9	0,01	844,95	0,00	139,79	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	2,72	0,00	0,45
M8	0,02	901,04	0,00	43,79	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	9,17	0,00	0,45
Cr10	0,01	934,88	0,00	145,59	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	4,52	0,00	0,70
M9	0,03	1000,94	0,00	60,87	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	14,59	0,00	0,89
Cr11	0,01	1035,31	0,00	155,65	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	3,13	0,00	0,47
M10	0,02	1093,90	0,00	81,83	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	12,76	0,00	0,95
Cr12	0,01	1144,12	0,00	170,65	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	3,37	0,00	0,50
M11	0,02	1200,95	0,00	109,31	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	14,53	0,00	1,32
Cr13	0,01	1247,53	0,00	188,26	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	3,63	0,00	0,55
M12	0,01	1297,55	0,00	140,80	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	7,99	0,00	0,87
Cr14	0,01	1342,63	0,00	213,09	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,00	3,95	0,00	0,63
Total	0,36	**714,05**	**0,00**	**98,58**			**0,19**	138,75	0,00	19,15

Devis de poids *Jules-Verne 7*

Estimation du : 13/07/2012

Elements axiaux	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Quille	0,11	740,70	0,00	10,07	Chêne vert (Quercus Ilex)	1,10	0,12	90,95	0,00	1,24
Etrave	0,04	1379,62	0,00	186,01	N.id (simili quille)	1,10	0,04	61,54	0,00	8,30
Etambot	0,05	47,85	0,00	235,50	N.id (simili quille)	1,10	0,06	2,78	0,00	13,66
Total	0,20	**688,84**	**0,00**	**102,90**			**0,23**	155,27	0,00	23,19

Bordé	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Bordé	1,69	756,12	0,00	97,88	Pin d'Alep	0,55	0,93	702,30	0,00	90,91
Préceintes	0,61	720,41	0,00	139,04	Pin d'Alep	0,55	0,34	241,44	0,00	46,60
Total	2,30	**746,65**	**0,00**	**108,79**			**1,26**	943,74	0,00	137,51

Charp. Int.	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Massif d'emplanture	0,19	814,45	0,00	26,72	Chêne vert (Quercus Ilex)	1,10	0,21	172,88	0,00	5,67
Carlingots axiaux	0,09	712,52	0,00	34,04	Chêne vert (Quercus Ilex)	1,10	0,10	71,32	0,00	3,41
Vaigrage	0,69	715,08	0,00	66,11	Pin d'Alep	0,55	0,38	271,10	0,00	25,06
Total	0,97	**745,21**	**0,00**	**49,38**			**0,69**	515,30	0,00	34,14

Pont	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Epontilles	0,05	752,62	0,00	91,54	Chêne vert (Quercus Ilex)	1,10	0,06	45,09	0,00	5,48
Etambrai	0,06	769,81	0,00	89,85	Pin d'Alep	0,55	0,03	25,06	0,00	2,93
Barrots	0,47	765,34	0,00	133,63	Pin d'Alep	0,55	0,26	199,80	0,00	34,89
Jambettes	0,02	695,60	0,00	230,27	Pin d'alep / Aulne Glutineux	0,54	0,01	8,88	0,00	2,94
Bordé de pont	0,18	687,10	0,00	226,96	Pin d'Alep	0,55	0,10	67,47	0,00	22,29
Liston et pavois	0,42	724,69	0,00	233,07	Pin d'Alep	0,55	0,23	168,92	0,00	54,33
Total	1,21	**738,58**	**0,00**	**176,11**			**0,70**	**515,23**	**0,00**	**122,85**

Gouvernail	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Safran	0,12	165,39	0,00	111,08	Pin d'Alep	0,55	0,06	10,54		7,08
Barrot	0,04	202,24	0,00	170,17	Pin d'Alep	0,55	0,02	3,99		3,36
Total	0,15	**174,10**	**0,00**	**125,05**			**0,08**	**14,54**	**0,00**	**10,44**

Mature	Vol. (m^3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids (T.M)	Total x	Total Y	Total Z
Mât	0,21	792,19	0,00	472,92	Sapin	0,41	0,09	68,15	0,00	40,68
Vergue	0,11	805,90	0,00	978,90	Sapin	0,41	0,04	34,99	0,00	42,50
Accastillage	0,15	770,00	0,00	400,00	N. Id	0,65	0,09	65,57	0,00	34,06
Total	0,47	**786,16**	**0,00**	**546,36**			**0,21**	168,70	0,00	117,24

Devis de poids *Jules-Verne 7*

Estimation du : 13/07/2012

	Lège Mâté	Lège lesté	Lège lesté V.2	Charg.1 Amph. Mass. (2et)	Charg.2 Amph. Mass/Lest (2et)	Charg.3 Amph. Mass/Lest (3et)	Charg.2 Amph. Mass/Lest 2 (2et)
Déplacement (T)	3,37	5,63	7,63	13,94	16,20	21,26	18,20
Volume total de bois (m3)	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67
Surface mouillée (m^2)							
Rapport Sv/M							

	Lège Mâté	Lège lesté	Lège lesté V.2	Charg.1 Amph. Mass. (2et)	Charg.2 Amph. Mass/Lest (2et)	Charg.3 Amph. Mass/Lest (3et)	Charg.2 Amph. Mass/Lest 2 (2et)
x	727,28	736,47	739,28	744,02	744,88	745,62	745,13
y	0,00	1,00	2,00	1,00	3,00	4,00	3,00
z	130,93	87,29	77,23	109,89	97,66	120,61	92,31

Devis de poids *Jules-Verne 7*

Estimation du : 13/07/2012

Chargement											
Premier étage	**Nombre**	**Vol. Céram.**	**Vol. Int.**	**Pds à vide**	**Pds unit.**	**Pds total (T)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Massaliotes (Bertucchi 1)	98	11,50	34,00	22,24	56,24	5,51	747,65	0,00	76,35	4121,01		420,84
Deuxième étage	**Nombre**	**Vol. Céram.**	**Vol. Int.**	**Pds à vide**	**Pds unit.**	**Pds total (T)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Massaliotes (Bertucchi 1)	90	11,50	34,00	22,24	56,24	5,06	751,21	0,00	132,41	3802,62		670,26
Total Cargaison	**188**					**10,57**	**749,35**	**0,00**	**103,19**	**7923,62**	**0,00**	**1091,10**

Chargement											
Premier étage	**Nombre**	**Vol. Céram.**	**Vol. Int.**	**Pds à vide**	**Pds unit.**	**Pds total (T)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Massaliotes (Bertucchi 1)	98	11,50	34,00	22,24	56,24	5,51	747,65	0,00	76,35	4121,01	**0,00**	420,84
Deuxième étage	**Nombre**	**Vol. Céram.**	**Vol. Int.**	**Pds à vide**	**Pds unit.**	**Pds total (T)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Massaliotes (Bertucchi 1)	90	11,50	34,00	22,24	56,24	5,06	751,21	0,00	132,41	3802,62	**0,00**	670,26
Troisième étage	**Nombre**	**Vol. Céram.**	**Vol. Int.**	**Pds à vide**	**Pds unit.**	**Pds total (T)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Massaliotes (Bertucchi 1)	90	11,50	34,00	22,24	56,24	5,06	748,00	0,00	194,05	3786,37	**0,00**	982,28
Total Cargaison	**188**					**15,64**	**748,92**	**0,00**	**132,60**	**11709,99**	**0,00**	**2073,37**

Premier étage	Nombre	Vol. Céram.	Vol. Int.	Pds à vide	Pds unit.	Pds total (T)	Cg x	CG y	Cg z	Total x	Total y	Total z
Etrusques (Py 4)	110	9	28	17,41	45,41	4,99	747,65	0,00	76,35	3734,47		381,36
Deuxième étage	**Nombre**	**Vol. Céram.**	**Vol. Int.**	**Pds à vide**	**Pds unit.**	**Pds total (T)**	**Cg x**	**CG y**	**Cg z**	**Total x**	**Total y**	**Total z**
Etrusques (Py 4)	100	9,00	28,00	17,41	45,41	4,54	751,21	0,00	132,41	3411,14		601,26
Total Cargaison	**210**					**9,54**	**749,35**	**0,00**	**103,05**	**7145,61**	**0,00**	**982,62**

	Vol. (m3)	X (cg)	Y (cg)	Z (cg)	Essence	Δ	Poids	Total x	Total Y	Total Z
Lest 1	1,67	750,20	0,00	22,10	Sable	0,74	2,26	1693,02	0,00	49,87
Lest 2	3,15	748,78	0,00	34,70	Sable	0,74	4,26	3187,37	0,00	147,71

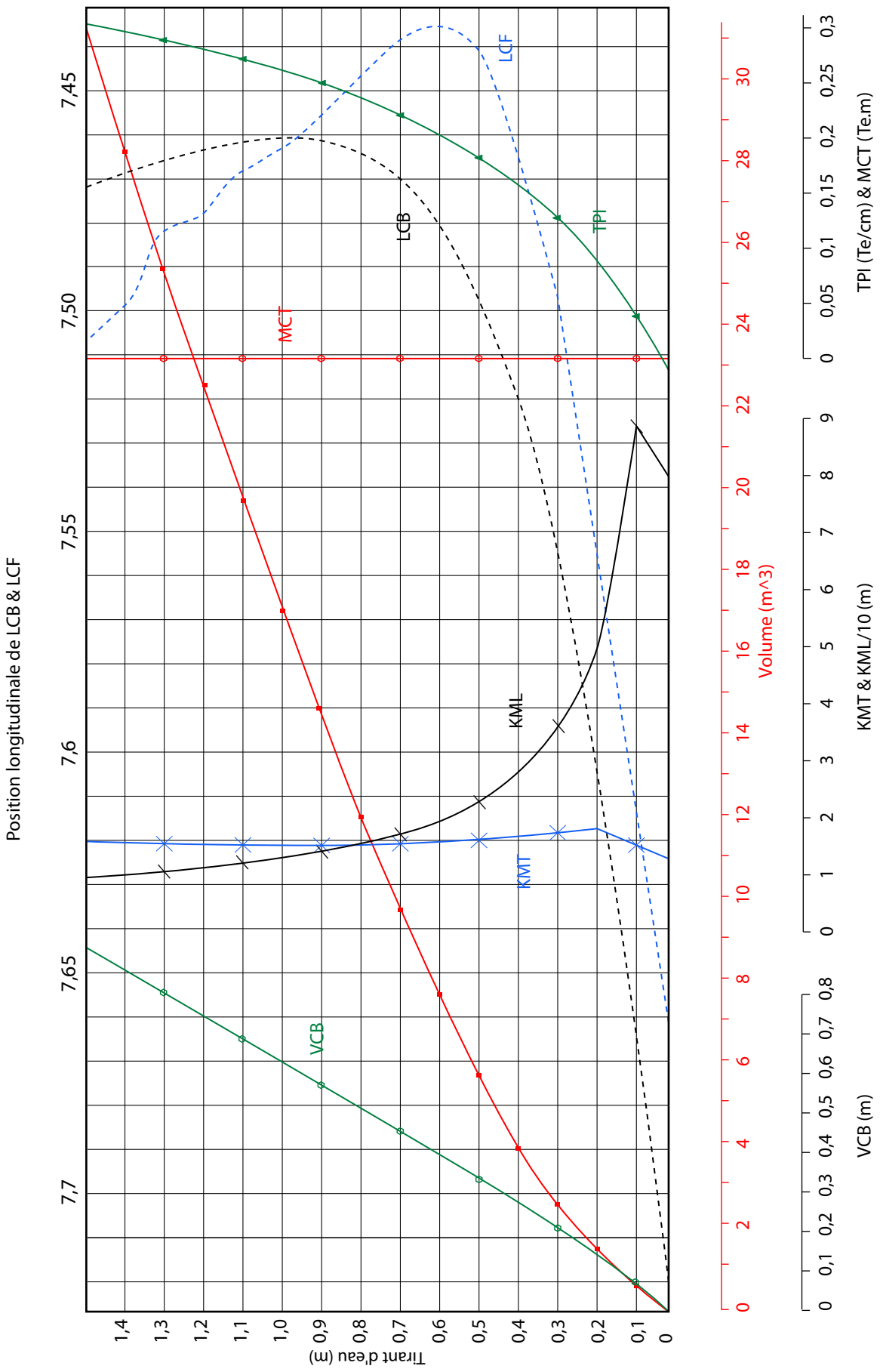


Fig. LXIX : Courbes hydrostatiques de la nouvelle hypothèse de restitution de *Jules-Verne 7*

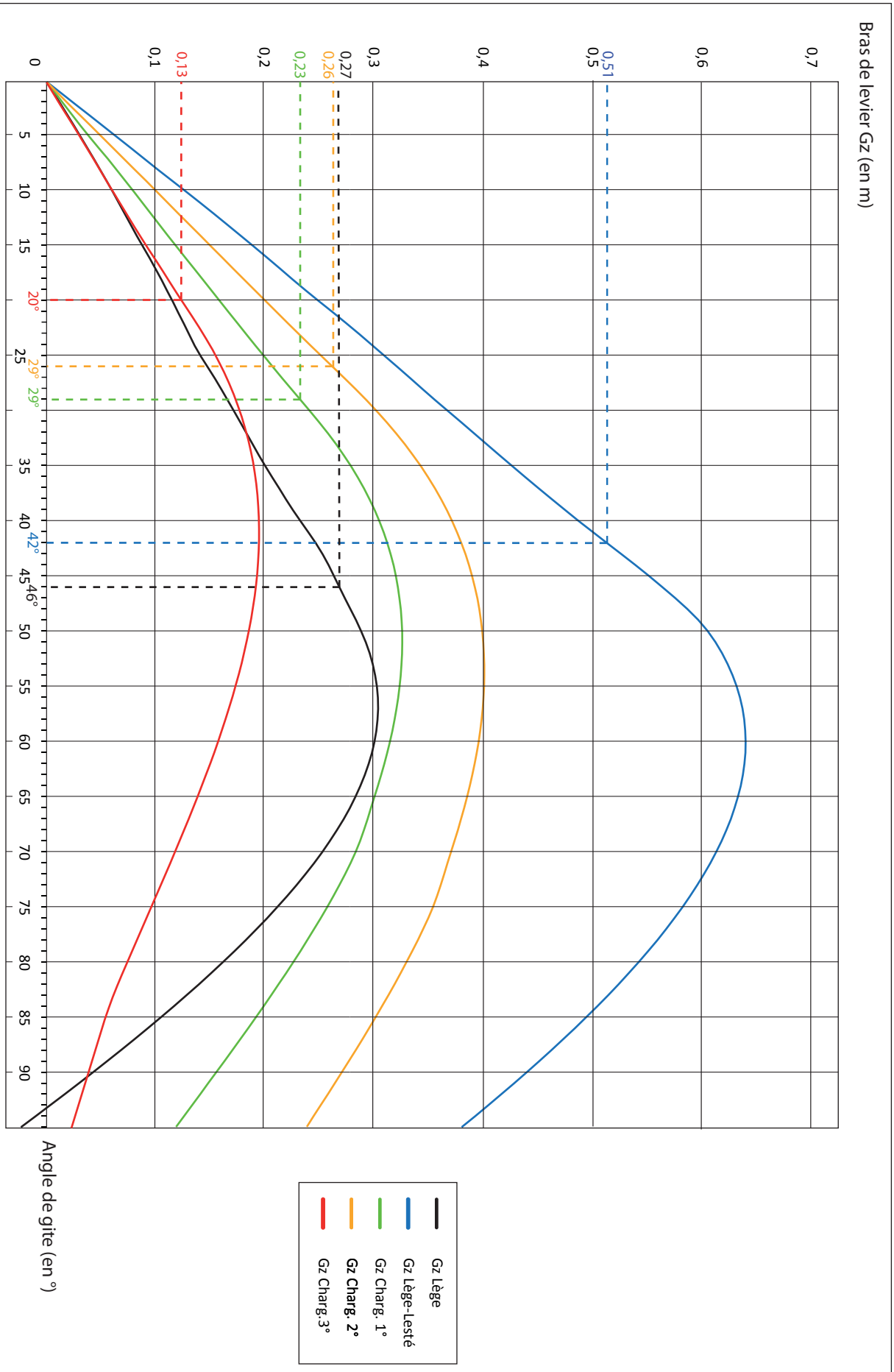


Fig. LXX : Comparaison des différents bras de levier de redressement de la nouvelle hypothèse de restitution de l'épave *Jules-Verne 7* en fonction du type de chargement.

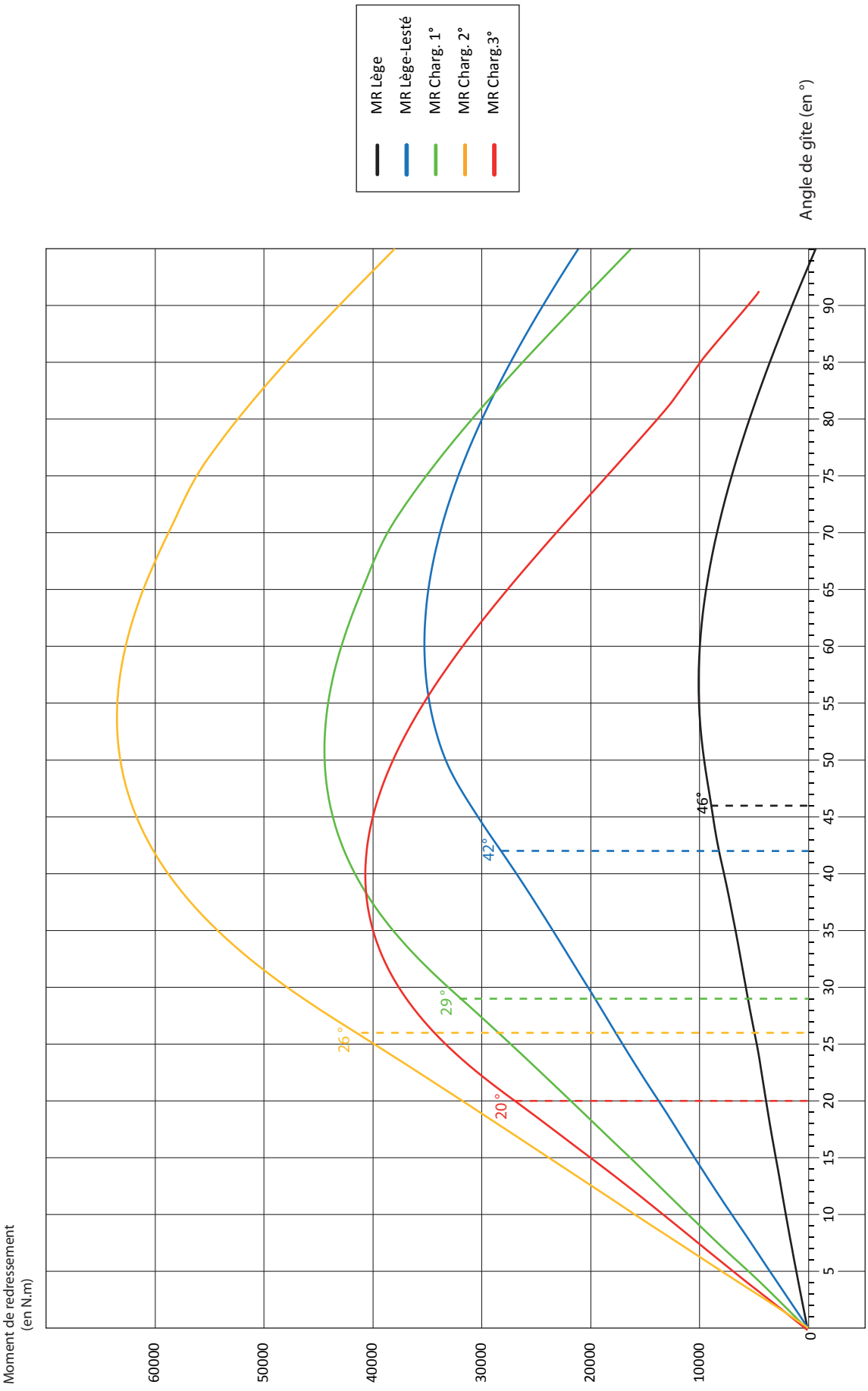


Fig. LXXI : Comparaison des moments redressants, pour différentes configurations de chargement de la nouvelle hypothèse de restitution de *Jules-Verne 7*.

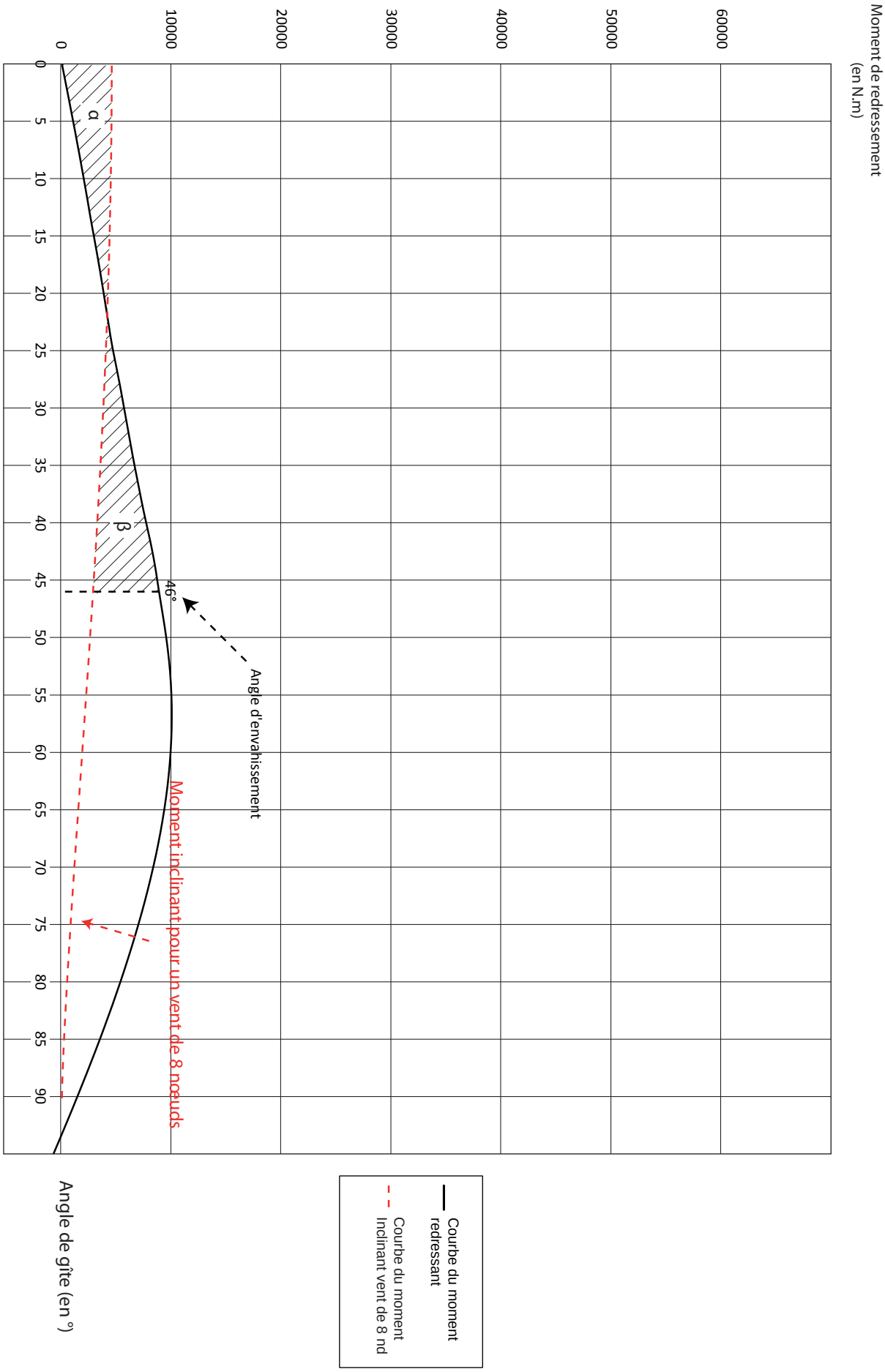


Fig. LXXII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 3,37 t.m du navire (Lège).

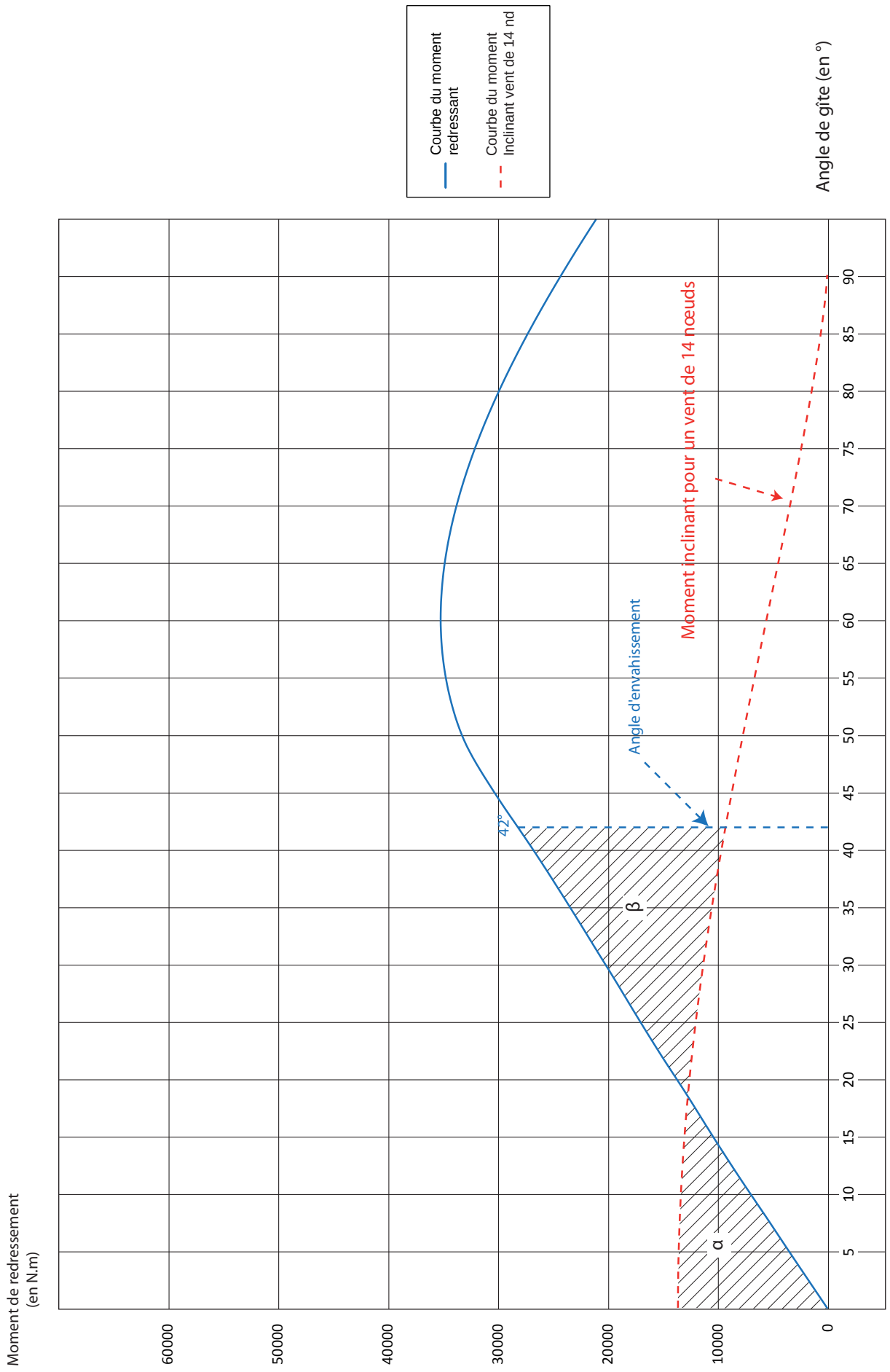


Fig. LXXIII : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 5,62 t.m du navire (Lège-Lesté).

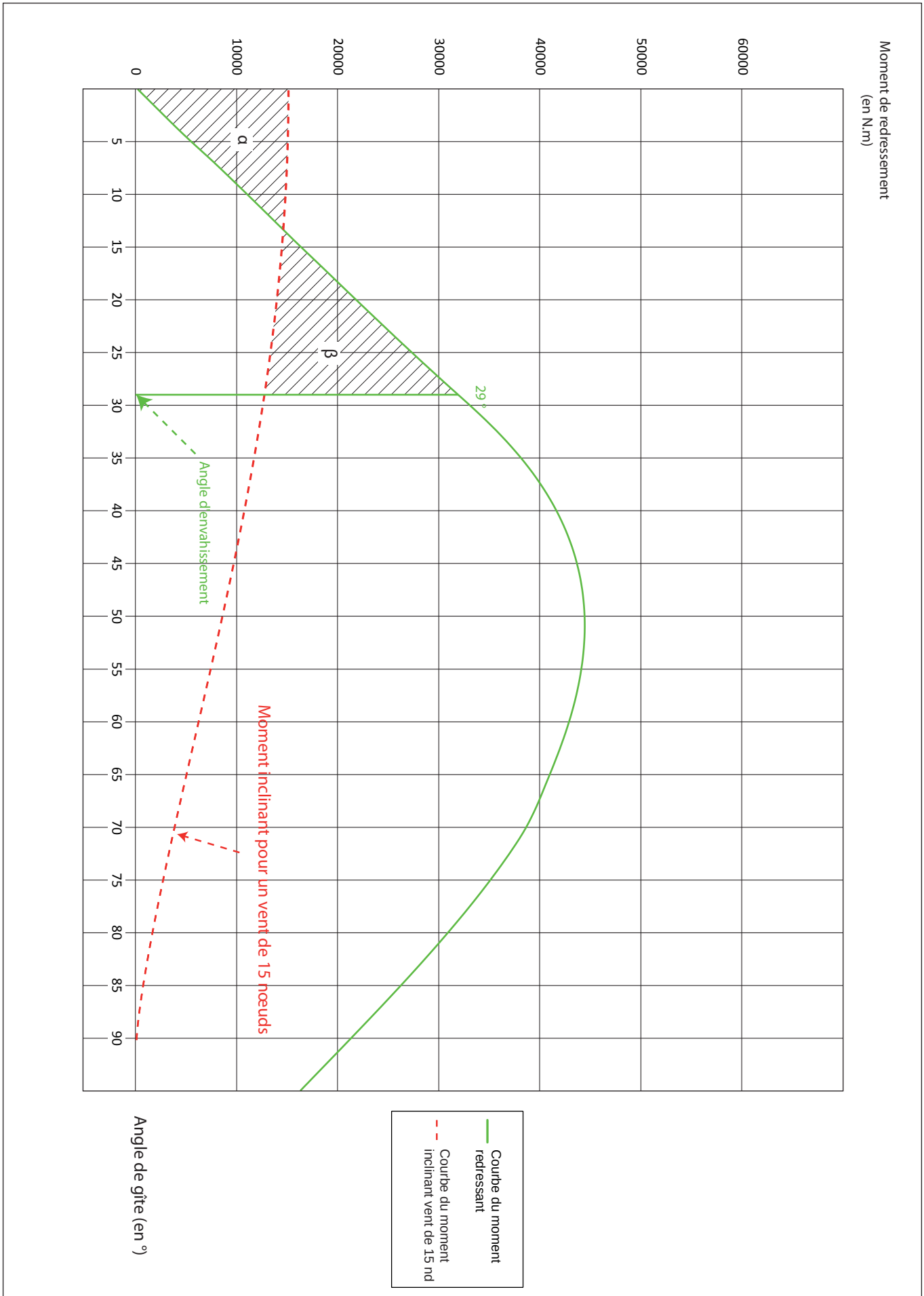


Fig. LXXIV : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 13,94 t.m du navire (Charg.1°).

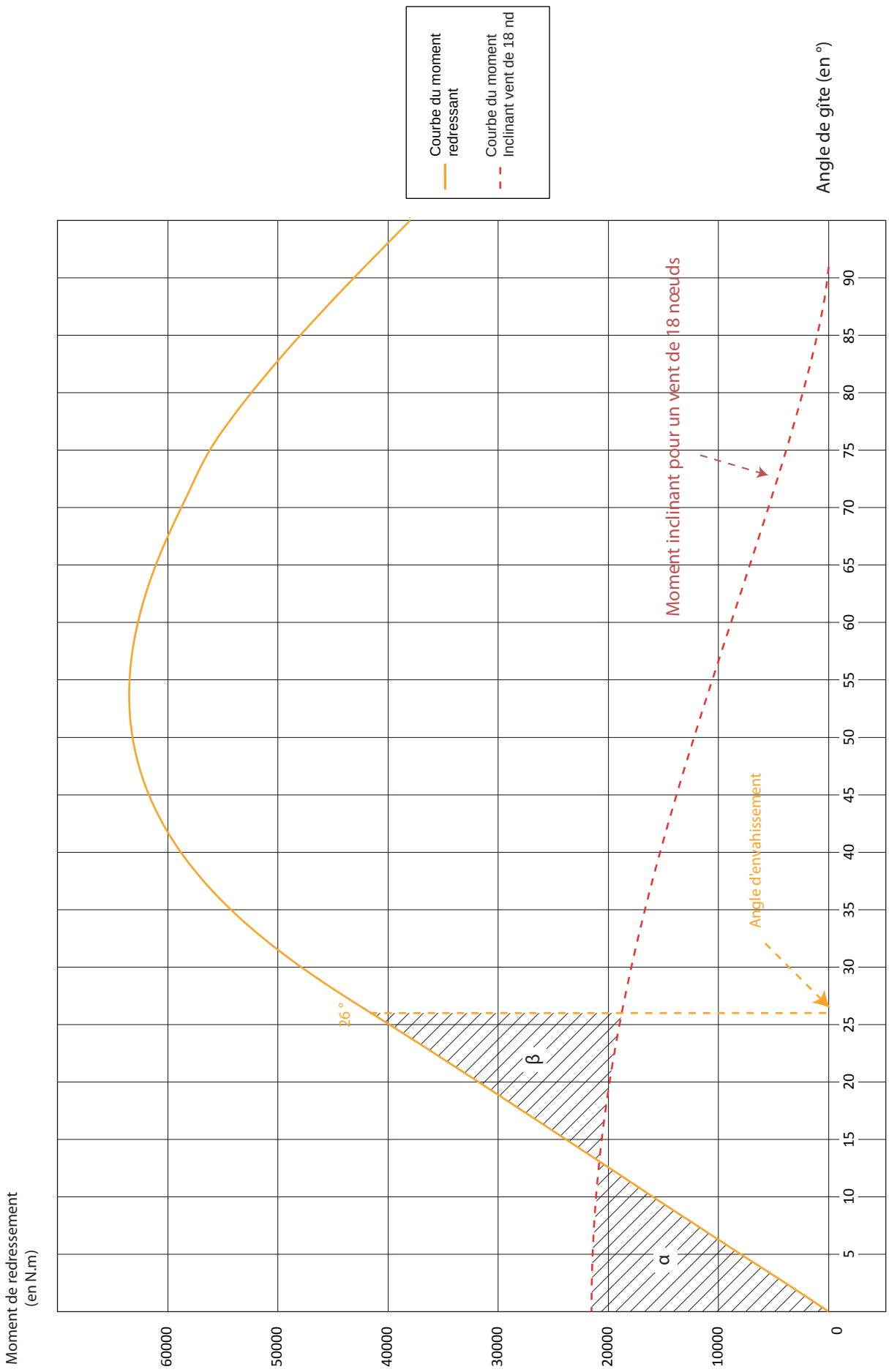


Fig. LXXV : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 16,19 t.m du navire (Charg.2°).

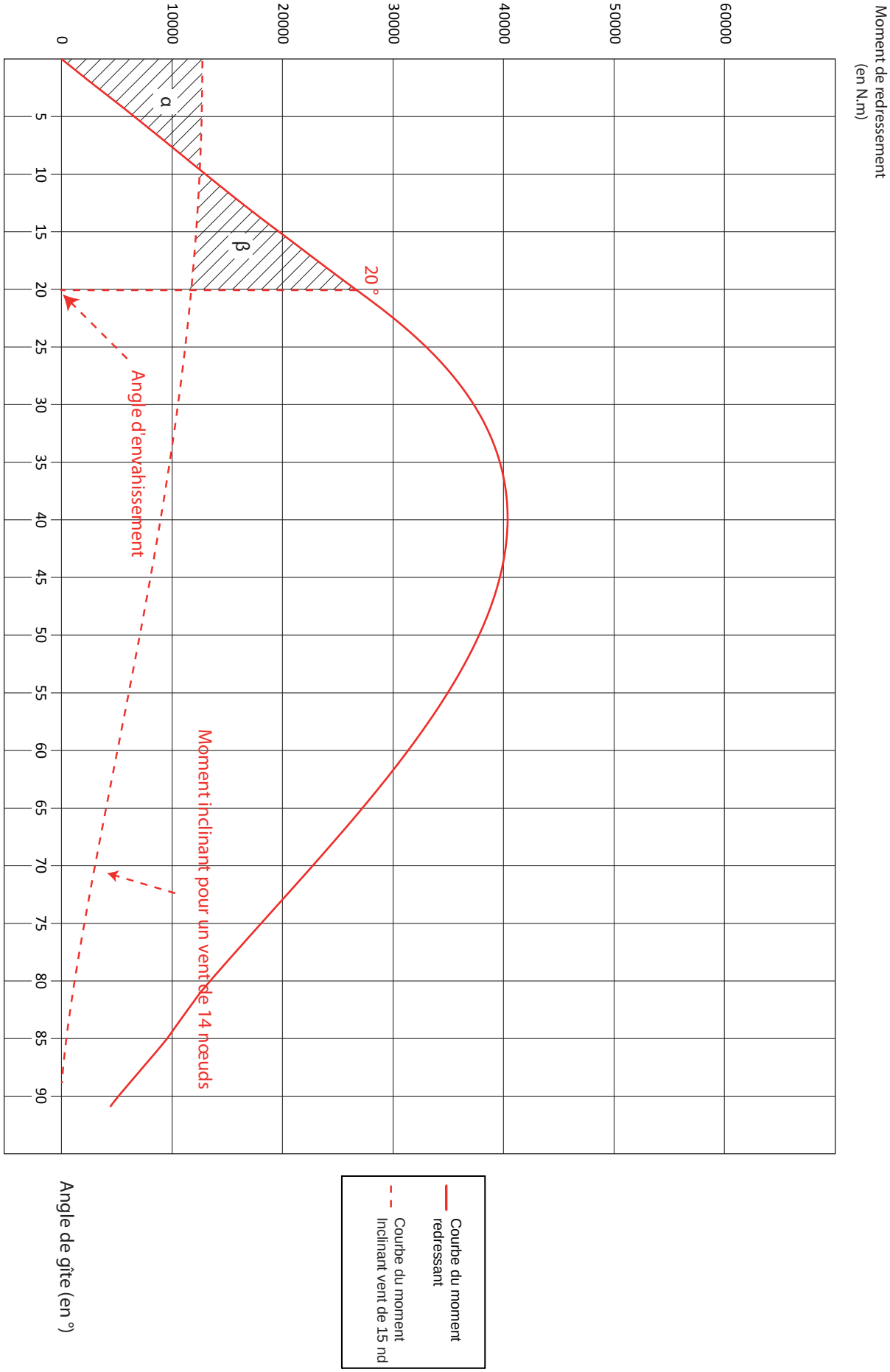
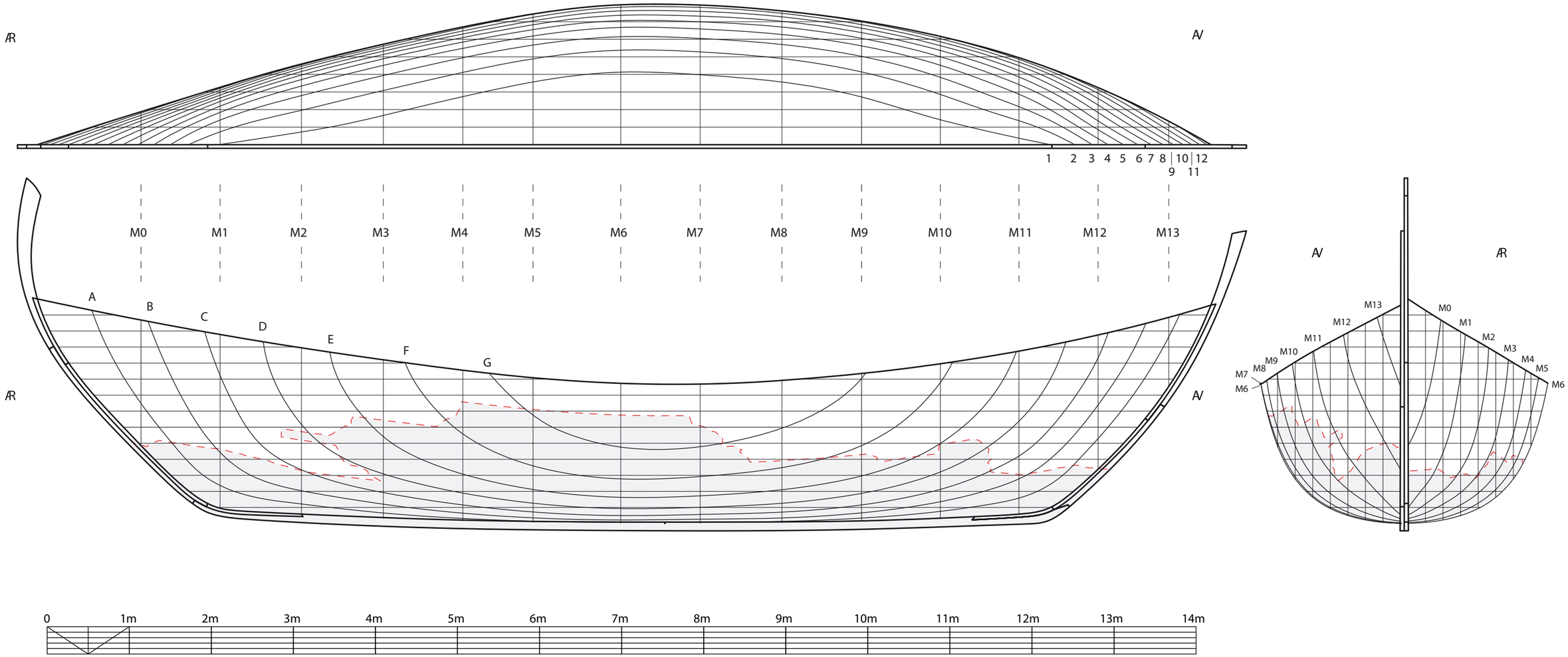
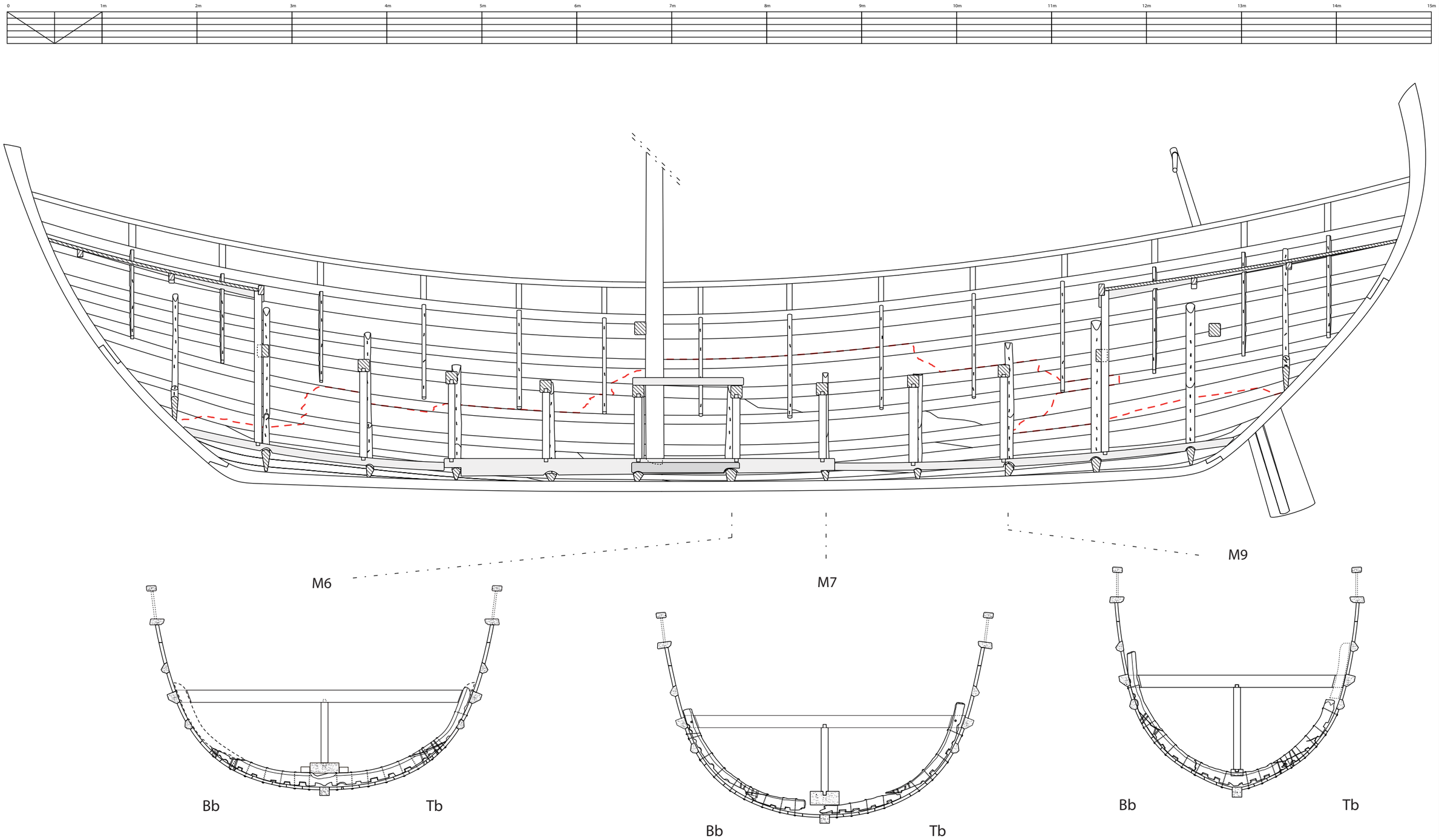


Fig. LXXVI : Comparaison des moments redressant et inclinant pour l'hypothèse d'un déplacement de 21,26 t.m du navire (Charg.3°).

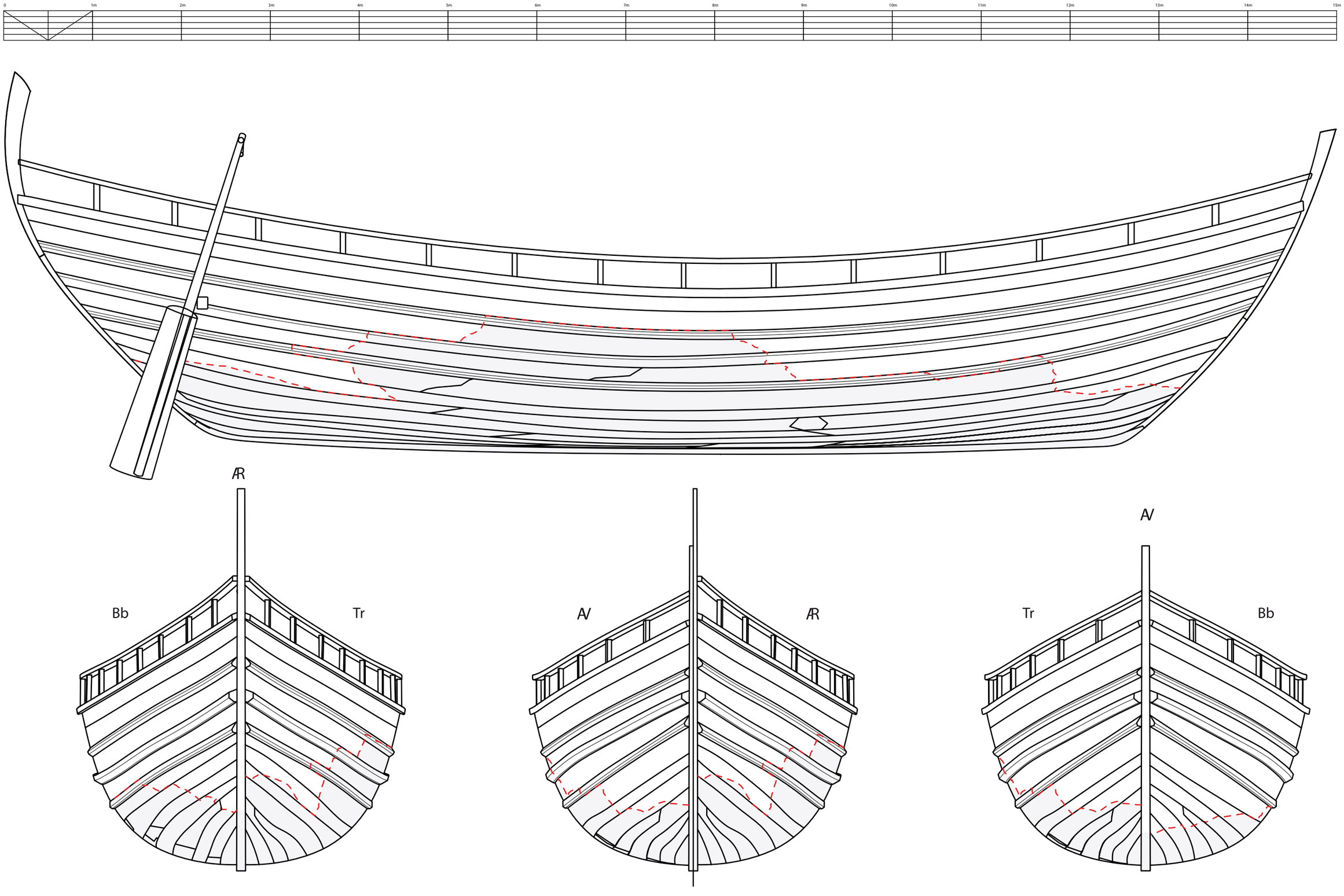
Annexes XI: Planches *Jules-Verne 7*



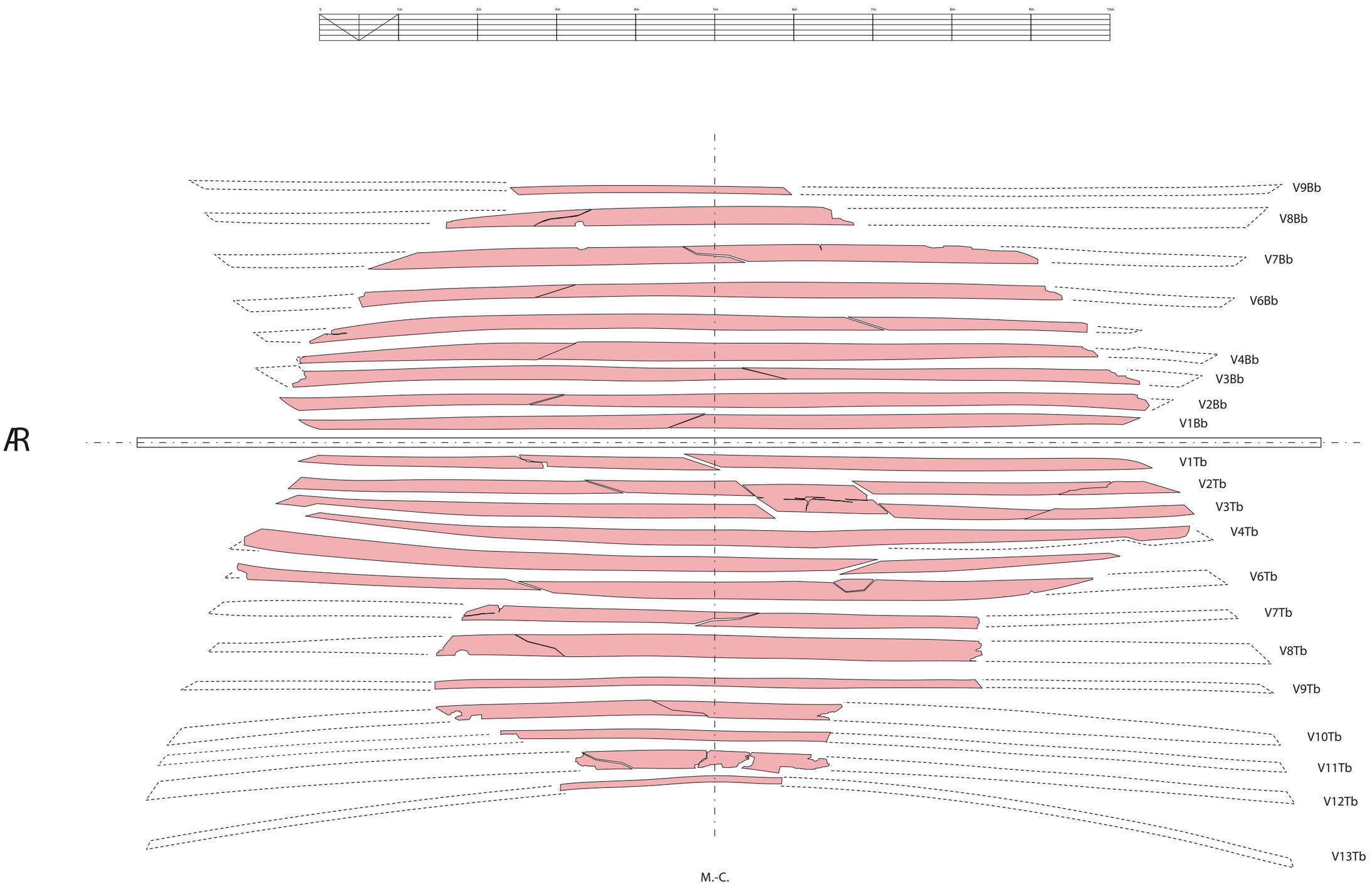
Pl. XXXVII : Nouveau plan de formes de restitution.



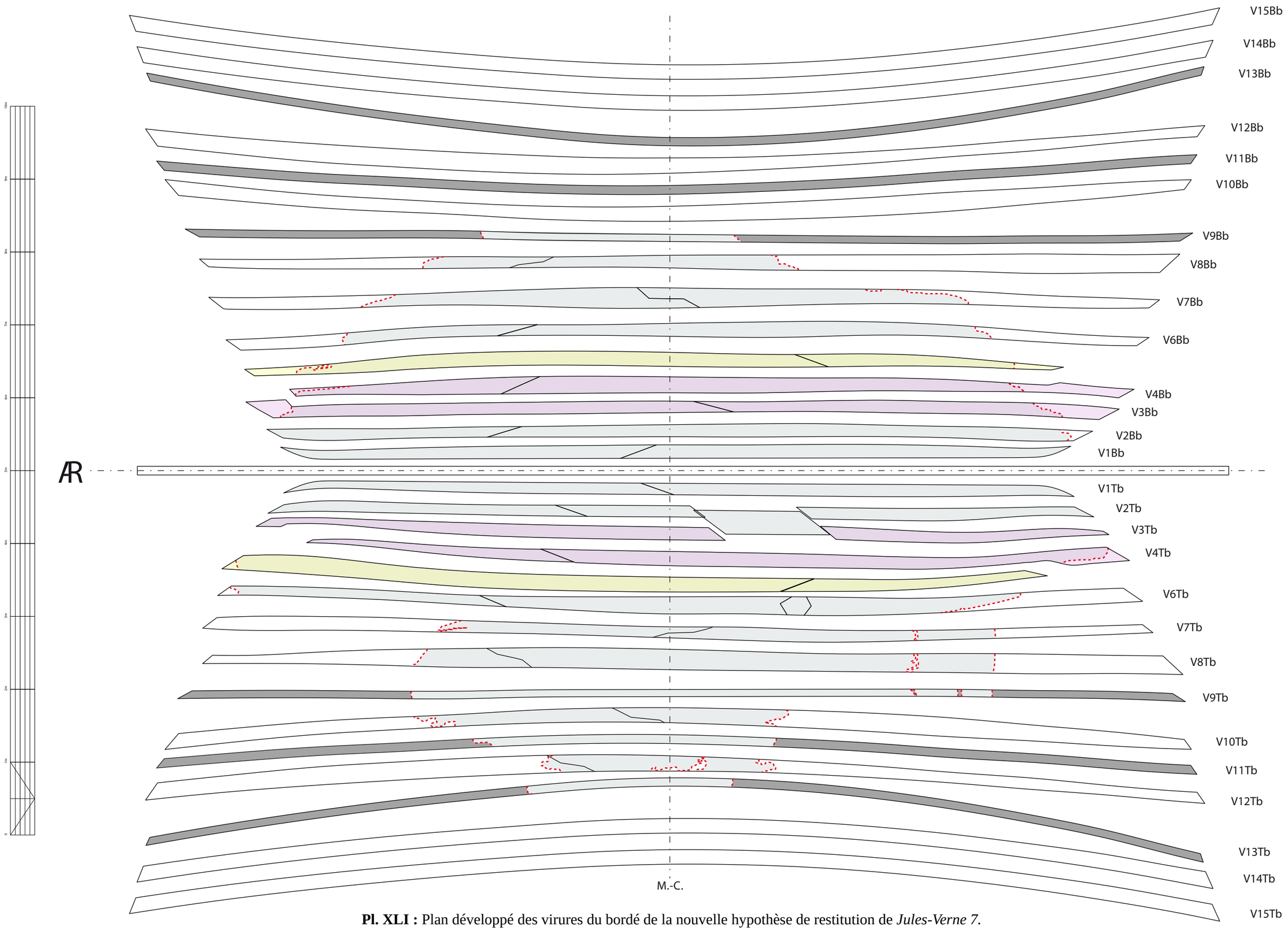
Pl. XXXVIII : Coupe longitudinale sur l'axe de quille et coupes transversales au niveau du maître-couple (M6) et des couples M7 et M9, de la nouvelle hypothèse de restitution.



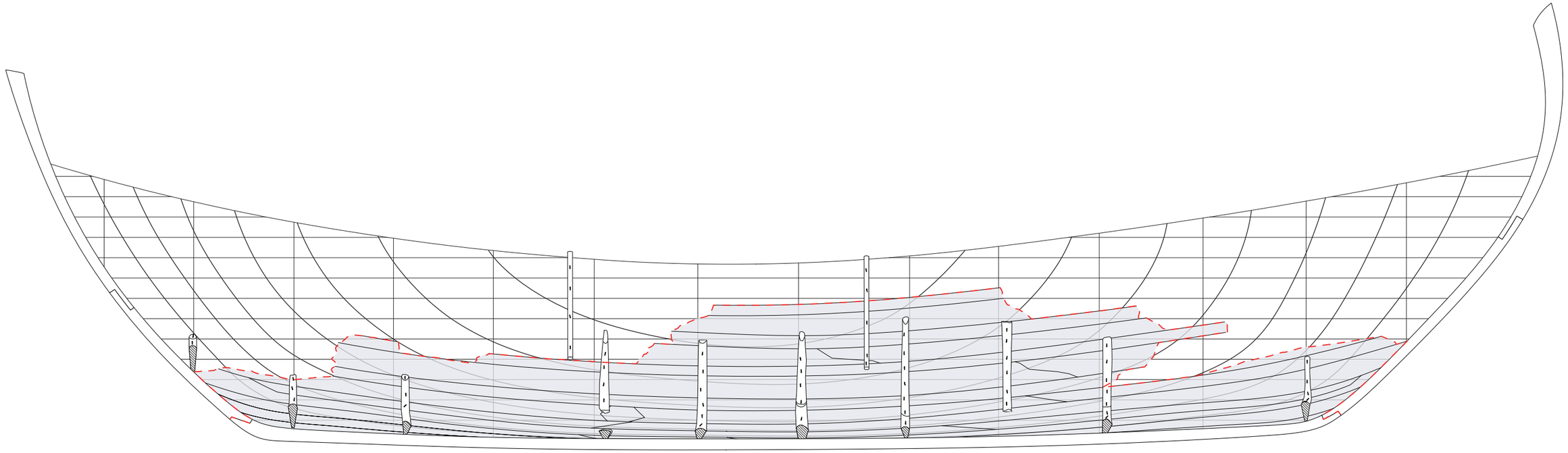
Pl. XXXIX : Elevations longitudinale et verticales de la nouvelle hypothèse de restitution.

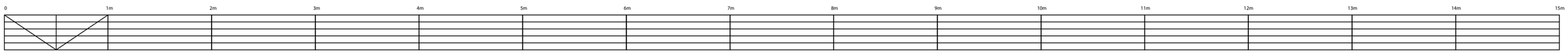


Pl. XL : Plan développé des virures du bordé, tiré du modèle des vestiges de *Jules-Verne 7*.



Pl. XLI : Plan développé des virures du bordé de la nouvelle hypothèse de restitution de *Jules-Verne 7*.





Pl. XLII : Vestiges du flanc tribord remis en place au sein du nouveau plan de formes de restitution.

