



HAL
open science

Espace-temps des sociétés du passé

Xavier Rodier

► **To cite this version:**

Xavier Rodier. Espace-temps des sociétés du passé. Archéologie et Préhistoire. Université de Franche-Comté, 2016. tel-01259368

HAL Id: tel-01259368

<https://shs.hal.science/tel-01259368>

Submitted on 21 Jan 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ

École doctorale Langages, Espaces, Temps, Sociétés

DOSSIER EN VUE DE L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Présenté par

Xavier Rodier

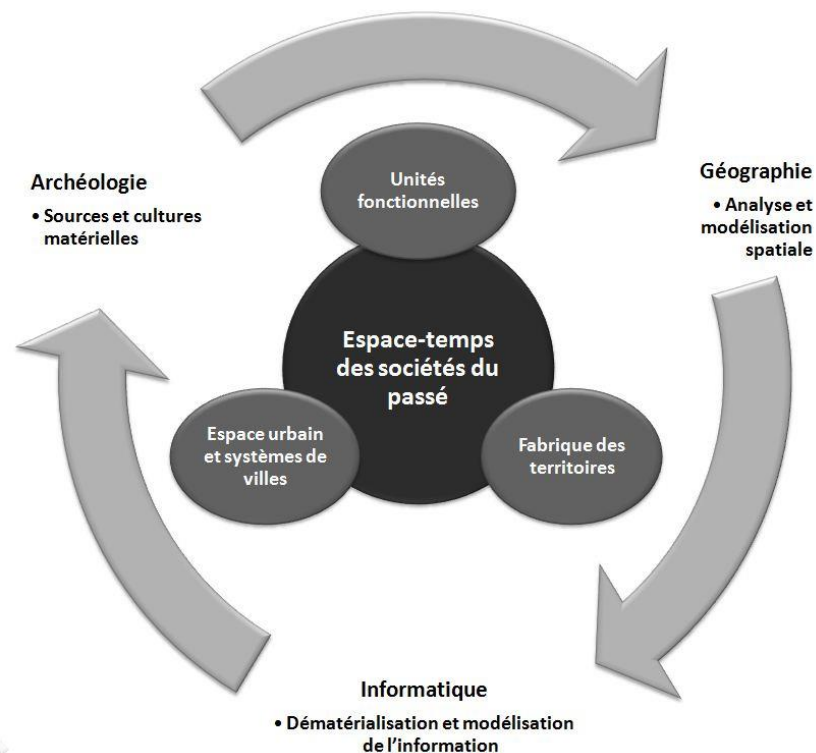
Ingénieur de recherche au CNRS
UMR 7324 CITERES-LAT

à Besançon le 11 janvier 2016

Volume 2

Synthèse des travaux de recherche

Espace-temps des sociétés du passé



Composition du jury

François Favory

Ricardo Gonzalez Villaescusa

Thérèse Libourel

Denise Pumain

Laurent Schneider

Professeur émérite des universités - Université de Franche-Comté

Professeur des universités - Université de Nice Sophia Antipolis

Professeur émérite des universités - Université de Montpellier

Professeur des universités - Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne

Directeur de recherche au CNRS - Université d'Aix-Marseille

SOMMAIRE

Avant-propos.....	5
Remerciements	7
Introduction.....	9
1. Processus d'élaboration de l'information archéologique et informatisation des données.....	11
1.1. Archéomatique.....	11
1.1.1. Changement de paradigme	11
1.1.2. Mutation méthodologique	12
1.1.3. Transfert de connaissances	18
1.2. De la fouille à l'interprétation : une question d'échelle.....	20
1.2.1. Échelles de représentation.....	20
1.2.2. Le terrain d'abord.....	21
1.2.3. Échelle d'analyse	23
1.2.4. Échelles des sources	25
1.2.5. L'échelle du raisonnement archéologique	27
1.3. La dématérialisation de l'enregistrement archéologique	29
1.3.1. Constituer la documentation	29
1.3.2. Informatique et système d'information	30
1.4. Archives de fouille, archives du sol	31
1.5. Le web des données	36
1.6. La publication archéologique	39
1.6.1. État de la publication archéologique française	39
1.6.2. Un projet ambitieux	40
1.6.3. Des exemples révélateurs	41
1.6.4. La pérennité des données électronique.....	45
2. Les archéologues dans l'espace.....	47
2.1. L'archéologue et la carte	47
2.1.1. Archéologie ou géographie ?.....	47
2.1.2. La cartographie.....	48
2.1.3. Les systèmes d'information géographiques.....	50
2.2. Espace urbain	52
2.2.1. L'archéologie urbaine	52
2.2.2. La ville, les villes.....	56
2.2.3. ToToPI : TOPographie de Tours Pré-Industriel	58
2.2.4. La chrono-chorématique urbaine.....	64
2.3. Territoires	71

2.3.1.	Paroisses et communes de Touraine.....	71
2.3.2.	ModelEspace	74
2.3.3.	SOLiDAR.....	78
3.	Du temps support à la dynamique des sociétés.....	85
3.1.	OH_FET, du modèle à l'application	85
3.1.1.	La modélisation	85
3.1.2.	Quelle modélisation du temps ?.....	89
3.1.3.	Trois échelles d'expérimentation	90
3.2.	Modéliser les dynamiques spatiales en sciences humaines	98
3.2.1.	Que modélise-t-on ?.....	99
3.2.2.	Quels modèles ?	103
3.2.3.	Quelle démarche ?	103
3.3.	Dynamiques des modèles, modèles dynamiques	106
3.3.1.	États, changement d'état, processus	106
3.3.2.	Les dynamiques des systèmes spatiaux	107
3.3.3.	Vers des modèles dynamiques.....	113
4.	Perspectives de recherche et pour la recherche.....	119
4.1.	Une recherche méthodologique et thématique	119
4.2.	Transmettre la recherche.....	122
4.3.	Ne pas chercher seul	123
	Bibilographie.....	125
	Tables des illustrations	151

AVANT-PROPOS

Ce dossier présenté en vue de l'Habilitation à Diriger des Recherches est composé de trois volumes :

- Mon **parcours scientifique** et les collectifs dans lesquels il s'inscrit. Il est accompagné d'un curriculum vitae détaillé et de la liste de mes travaux. L'indication (Annexe n) renvoie au troisième volume pour ceux qui y sont reproduits.
- Un **mémoire** intitulé « Espace-temps des sociétés du passé » dans lequel je présente mes principales recherches depuis la seconde moitié des années 1990. La présentation de ces travaux s'articule entre l'élaboration de l'information archéologique, l'appréhension de l'information spatiale en archéologie et la modélisation des dynamiques spatiales. Il se termine par les perspectives de recherche que je dégage de cette synthèse.
Afin de rendre compte de ma contribution aux travaux présentés, lorsqu'il ne s'agit pas de réflexions inédites, les appels bibliographiques sont précédés d'un numéro, [n], qui renvoie en plus à ma liste de publications dans le volume 1 (§11). Ceux suivis d'un appel (Annexe n) sont reproduits dans le volume 3.
- Un **recueil de travaux** qui constituent les annexes. Il comprend mes articles et chapitres d'ouvrages les plus significatifs, des expertises inédites et le projet du laboratoire que je dirige. Deux ouvrages sous ma direction et ma codirection s'ajoutent à ce volume.

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement François Favory d'avoir accepté de promouvoir ma démarche en vue de l'habilitation à diriger des recherches et j'exprime ma gratitude à Ricardo Gonzales Vilaescusa, Thérèse Libourel, Denise Pumain et Laurent Schneider de me faire l'honneur d'examiner mon travail de recherche.

J'adresse toute ma reconnaissance aux membres du Laboratoire Archéologie et Territoires, du réseau ISA, du GdR MoDyS pour les innombrables échanges toujours enrichissant qui alimentent ma réflexion. Je remercie plus particulièrement les membres des noyaux durs de ces collectifs pour nos nombreux échanges, tant scientifiques que pour l'animation de la recherche, toujours partagés avec une complicité croissante et qui ont donné lieu à quelques solides amitiés.

J'associe à ces remerciements tous les co-auteurs avec qui j'ai pris plaisir à collaborer.

Merci à Margot pour son soutien, ses encouragements, sa relecture et tout le reste.

Merci à Lola et Marthe dont la joie de vivre me guide et qui ont subi avec bienveillance et humour l'investissement nécessaire pour ce travail.

À mon père

INTRODUCTION

Ma démarche et ma pratique se trouvent à une triple interface disciplinaire entre archéologie – ou plus généralement sciences historiques – géographie et informatique. Je n'ai pas la prétention d'être géographe ni informaticien, mais je vais chercher dans ces disciplines les outils qui me manquent pour développer la méthodologie archéologique. Pour les géographes et les informaticiens, je suis sans aucun doute archéologue mais pour les archéologues je suis plutôt considéré comme un technicien. Mon travail porte plus sur les moyens d'étudier les sociétés du passé que sur le résultat à proprement parler. Je m'inscris en effet dans une démarche résolument méthodologique qui correspond à la fois à mon parcours dans la recherche, à mes compétences et aux réponses que j'apporte aux demandes d'étudiants de master et de doctorat archéologues ou géographes. L'espace-temps des sociétés du passé est en quelque sorte l'objectif ultime que je souhaite modestement servir avec cette contribution en fournissant quelques instruments pour l'observer et l'analyser afin finalement de mieux l'appréhender.

Les objets historiques que je manipule s'inscrivent dans trois niveaux qui définissent l'aspect thématique de ce travail chacune à différentes échelles de temps et d'espace. Le premier concerne les unités fonctionnelles ; c'est le niveau d'observation et d'acquisition des données archéologiques. Le deuxième porte sur l'espace urbain et les systèmes de villes ; il s'agit de comprendre et de connecter les systèmes intra et interurbains. La troisième est la fabrique des territoires ; elle concerne la production d'espace par les sociétés. L'approche archéologique porte, dans ces trois catégories, sur la matérialité des sociétés. Les sources archéologiques sont mobilisées dans des analyses et des modélisations spatiales empruntées à la géographie. L'informatique est mobilisée pour encadrer la dématérialisation de l'information et des processus et pour formaliser leur modélisation conceptuelle. L'ensemble relève à la fois d'une démarche que je qualifie d'archéomatique, au sens de l'informatisation de l'ensemble des processus archéologique de la fouille à la publication, et de l'archéologie spatiale, entendue comme une recherche fondée sur les propriétés spatiales des données archéologiques. La mise en œuvre croisée des niveaux d'analyse et des méthodes issues de ces trois disciplines contribue à la modélisation des dynamiques spatiales des sociétés du passé dont la compréhension est visée *in fine*.

La thématique de ce mémoire est au cœur du programme du Laboratoire Archéologie et Territoires de l'UMR CITERES dont j'ai l'honneur et le plaisir d'être responsable depuis 2012, en tant que directeur-adjoint de l'UMR. Le LAT est le pilier de ce que j'entends parfois appeler chez les archéologues « l'école de Tours ». Si école il y a, elle est due aux fondateurs du laboratoire, Henri Galinié, Élisabeth Zadora-Rio et Alain Ferdière, et elle est celle de la rigueur du raisonnement et de l'argumentation dans la construction des interprétations archéologiques. Le discours produit doit toujours être étayé par les données. C'est pourquoi la recherche méthodologique constitue la colonne vertébrale du laboratoire, comme l'a relevé le comité d'évaluation de l'AERES en 2011. Au-delà du laboratoire, ce travail s'inscrit également dans les objectifs des réseaux de recherche ISA (réseau inter-MSH Information Spatial et archéologie) et MoDyS (GdR 3359 du CNRS Modélisation des Dynamiques Spatiales) dont j'ai participé à la création en 2001 et au pilotage collectif pour le premier et que j'ai dirigé de 2010 à 2013 pour le second. Cela traduit ma conception résolument collective et interdisciplinaire de la recherche qui est également celle qui motive les collègues qui co-animent ces réseaux. Paradoxalement, la démarche de l'habilitation à diriger des recherches à laquelle je me soumetts est fondamentalement individuelle. Elle doit cependant beaucoup à ces trois équipes.

La formation des archéologues aux traitements de données et à l'informatique est un enjeu fondamental, non pas pour en faire des spécialistes mais pour qu'ils soient en mesure d'élaborer les traitements de données qui correspondent aux questions archéologiques qu'ils posent. C'est ce que nous tentons de faire avec la formation d'archéomatique à Tours, mais les changements de paradigme progressent lentement. En outre, les pratiques de la discipline relèvent naturellement de l'archéologie préventive très majoritaire en France. Celle-ci doit répondre à la fois aux contraintes d'efficacité de son statut et aux exigences de qualité de la recherche. Il en ressort une organisation dont la tendance est de favoriser la spécialisation des tâches. J'ai dénoncé, et je continue de le faire, cette hyperspécialisation néfaste pour l'avenir de l'archéologie. Ce débat est au cœur des savoir-faire, développés dans les laboratoires et réseaux de recherche, dont il faut assurer le transfert.

J'ai tenté en permanence de poser un regard critique sur la discipline, ses méthodes et mes propres pratiques afin d'être toujours en mesure de reconsidérer une démarche ou une approche. Pour faire progresser la discipline il faut accepter d'en bouleverser les pratiques. Dans les sciences humaines et sociales en général et en archéologie, en particulier, l'informatisation des processus n'est ni une automatisation ni une simplification, au contraire, il s'agit de mieux prendre en compte la complexité des phénomènes étudiés par une (des) approche(s) systémiques. Aborder l'archéologie par le paradigme des systèmes complexes n'est pas une évidence dans la discipline. C'est pourtant lumineux si l'on accepte de changer de perspective dans la relation du particulier au général qu'entretient l'archéologue avec ces données. Pour illustrer ou plutôt commenter la démarche, j'emprunte à mon président d'université qui aime à l'utiliser, cette citation de Kierkegaard : « ce n'est pas le chemin qui est difficile, c'est le difficile qui est chemin ».

La structure que j'ai souhaité donner à ce mémoire d'habilitation à diriger des recherches correspond à la fois à l'élaboration de connaissances en archéologie : de la fouille au modèle, et à la construction progressive de mes travaux : du terrain à la simulation. La première partie porte sur l'élaboration de l'information archéologique et les modes de publication des données et des résultats en s'intéressant à l'informatisation de ces processus. La deuxième partie qui correspond à un changement de niveau porte sur l'approche archéologique de l'espace, l'archéologie spatiale. Dans la troisième partie, je m'intéresse à la modélisation de la dynamique des sociétés, c'est cette fois un changement de perspective. Enfin, en guise de conclusion, j'ai dégagé quelques perspectives de recherche.

1. PROCESSUS D'ELABORATION DE L'INFORMATION ARCHEOLOGIQUE ET INFORMATISATION DES DONNEES

1.1. ARCHEOMATIQUE

1.1.1. CHANGEMENT DE PARADIGME

Aujourd'hui, le développement des outils et méthodes de l'archéologie s'inscrit, avec toute l'informatisation des sciences humaines et sociales (SHS), dans ce qu'il est convenu d'appeler les *Digital Humanities*, maladroitement traduit littéralement par « humanités numériques ». Le champ que cela recouvre est beaucoup plus large que la vitrine des données accessibles en ligne et correspond à un mouvement de fond qui fait sans conteste progresser la recherche en SHS. Si cela donne l'impression d'un pas de géant en avant, avec lequel les domaines jusque-là les moins versés dans l'informatique se retrouvent au-devant de la scène ayant en quelque sorte l'avance de leur retard, cette dynamique masque de nombreux travaux de fonds engagés de longue date mais moins spectaculaires. En d'autres termes, la dynamique des *Digital Humanities* est incontestablement positive pour l'ensemble des SHS. Avec des moyens informatiques offrant des puissances de calcul et des capacités de stockage colossales et en croissance permanente, l'accès aux données et les perspectives de mise en relation des informations sont incommensurables. Néanmoins, la structuration des données reste fondamentale pour que le mouvement soit efficace. Dans ce domaine, de nombreux travaux ont été menés dès les débuts de l'informatique dans différentes disciplines des SHS et en particulier en archéologie avec Jean-Claude Gardin dès la fin des années 1950 (GARDIN 1958 ; GARDIN 1967 ; GARDIN 1968 ; GARDIN 1979).

Les inventaires, les classifications et les typologies archéologiques entretiennent une relation évidente avec la gestion informatique de données. De même, les méthodes d'enregistrement des données de fouilles qui fondent le raisonnement archéologique présentent bien des similitudes avec les procédures informatiques. Jean-Claude Gardin relevait ainsi une analogie entre le raisonnement archéologique et le modèle de la machine « boîte noire » en cybernétique (GARDIN 1979 : 32-38) pour le passage des données initiales que Jean-Claude Gardin qualifie de matériaux, aux propositions finales, interprétations inférées qui constituent les résultats synthétiques. La machine, elle, est composée de toutes les opérations permettant de passer de l'un à l'autre qu'ils soient analytiques, quantitatifs, analogiques ou numériques, intellectuelles.

Mes travaux sur l'utilisation des bases de données et des systèmes d'information géographique (SIG) s'inscrivent de fait dans cette double logique fondée sur la gestion structurée de données au service des objectifs du raisonnement ([57] RODIER 2011 a ; Annexe 2). Ils sont liés à la nécessaire informatisation de l'enregistrement et de l'analyse des données afin de constituer des systèmes d'information utiles à la recherche et de proposer des processus d'analyses reproductibles nécessaires à la comparabilité des résultats.

Le néologisme « archéomatique », construit par la contraction d'archéologie et d'informatique, est né au Québec, comme celui de géomatique. C'est le titre d'un documentaire de Martine Asselin en 1999, *Archéomatique : une archéologie virtuelle*, qui porte sur le potentiel de l'informatique dans la pratique de l'archéologie, faisant la part belle aux applications *high tech*. Au tout début des années 2000, alors que nous cherchions un nom pour le master professionnel à l'université de Tours, j'ai proposé « achéomatique » pour définir l'informatisation de l'ensemble des processus de la recherche archéologique de la fouille à la publication. Nous en avons également fait le titre de l'axe de recherche méthodologique du LAT. Le terme est encore trop souvent utilisé de manière restrictive pour l'utilisation des SIG en archéologie ce qui n'a pas grand sens car, dans ce cas, mieux vaut parler de

géomatique. En revanche, la création en Italie, en 2010, de la revue *Archeomatica* (<http://www.archeomatica.it/>), consacrée aux nouvelles technologies pour le patrimoine culturel, montre qu'il s'agit bien d'un domaine en pleine croissance pour la recherche et sa valorisation auprès d'un large public. À mon sens, l'archéomatique est la voie du développement de l'archéologie car l'informatisation des pratiques est incontournable. Il ne s'agit pas d'automatiser les tâches de l'archéologue, comme pourraient être tentés de le faire les opérateurs de l'archéologie préventive dans un contexte concurrentiel, mais de faire bénéficier la discipline des nouvelles technologies en observant en quoi cela transforme les processus de recherche eux-mêmes ([55] RODIER, MOREAU et CIEZAR 2011 ; Annexe 2). C'est donc d'abord sur le terrain, puis au laboratoire et enfin dans les publications que se déploie l'archéomatique, toujours en relation avec le mode de raisonnement archéologique.

Lorsqu'on enseigne en archéomatique ou en archéologie spatiale, cela se traduit par des cours sur les bases de données, les SIG, la modélisation, l'analyse spatiale... Chacun de ces cours se veut innovant dans la mesure où ils sont fondés sur les recherches récentes dont ils font état. Cependant, ils impliquent à chaque fois de revenir sur les principes fondamentaux des méthodes de la recherche archéologique ([2] RODIER 2011 b ; Annexe 2). Par exemple, enseigner l'utilisation des SIG pour l'enregistrement des données à l'échelle de la fouille demande de revenir sur les méthodes et les objectifs de l'enregistrement, expliquer les principes et les avantages de la publication électronique nécessite de revenir sur les principes et la structure des publications archéologiques. Cela est souvent la cause de débats sur l'opposition entre l'apport des nouvelles technologies informatisées et le besoin de savoir-faire manuellement les opérations de bases.

De nombreux exemples peuvent illustrer cela y compris hors de l'archéologie. La mise à disposition du GPS comme outil de navigation, en avion, en bateau, en voiture ou en randonnée, s'est accompagnée d'oppositions sur la dépendance à l'électronique et la perte de savoir-faire : lecture de carte, orientation, triangulation. Si l'on peut rester dubitatif sur la diffusion massive de tels outils de grande technicité dans les voitures individuelles avec une interface homme-machine se substituant à la réflexion de l'utilisateur, le GPS permet un gain de précision, de fiabilités de rapidité et offre de nouvelles possibilités dans bien d'autres domaines, dont l'archéologie ([66] RODIER et SALIGNY 2006 ; Annexe 3). Cependant, les changements de pratique qu'il entraîne ont des conséquences qui relèvent du changement de paradigme. Il suffit d'observer le comportement d'une grande majorité des automobilistes qui confient le choix du parcours pour aller d'un point à un autre au GPS de leur véhicule. Ils ne s'interrogent donc plus sur le trajet à effectuer et surtout, ils ne consultent pas de carte mais suivent aveuglément les consignes qui leurs sont dictées avec une visualisation de leur position immédiate dans un environnement de quelques centaines de mètres autour au maximum. Que devient alors leur représentation spatiale ? L'espace géographique est traversé sans se préoccuper de sa forme au profit d'un voyage de A à B puis de B à C, etc. Il sera intéressant dans quelques temps d'interroger ces automobilistes sur leur représentation mentale de l'espace dont on peut imaginer qu'elle pourrait se rapprocher d'itinéraires comme la table de Peutinger.

1.1.2. MUTATION METHODOLOGIQUE

Lorsqu'entre les années 1980 et 1990 les archéologues sont passés de l'utilisation de la chaîne (décamètre) et du théodolite, voire de la planchette alidade, à la station totale, la précision des relevés s'est largement améliorée en libérant un temps précieux sur le terrain. L'association de ces outils topographiques performants à la photographie numérique et au SIG a totalement changé la manière de faire des relevés de terrain (Fig. 1).

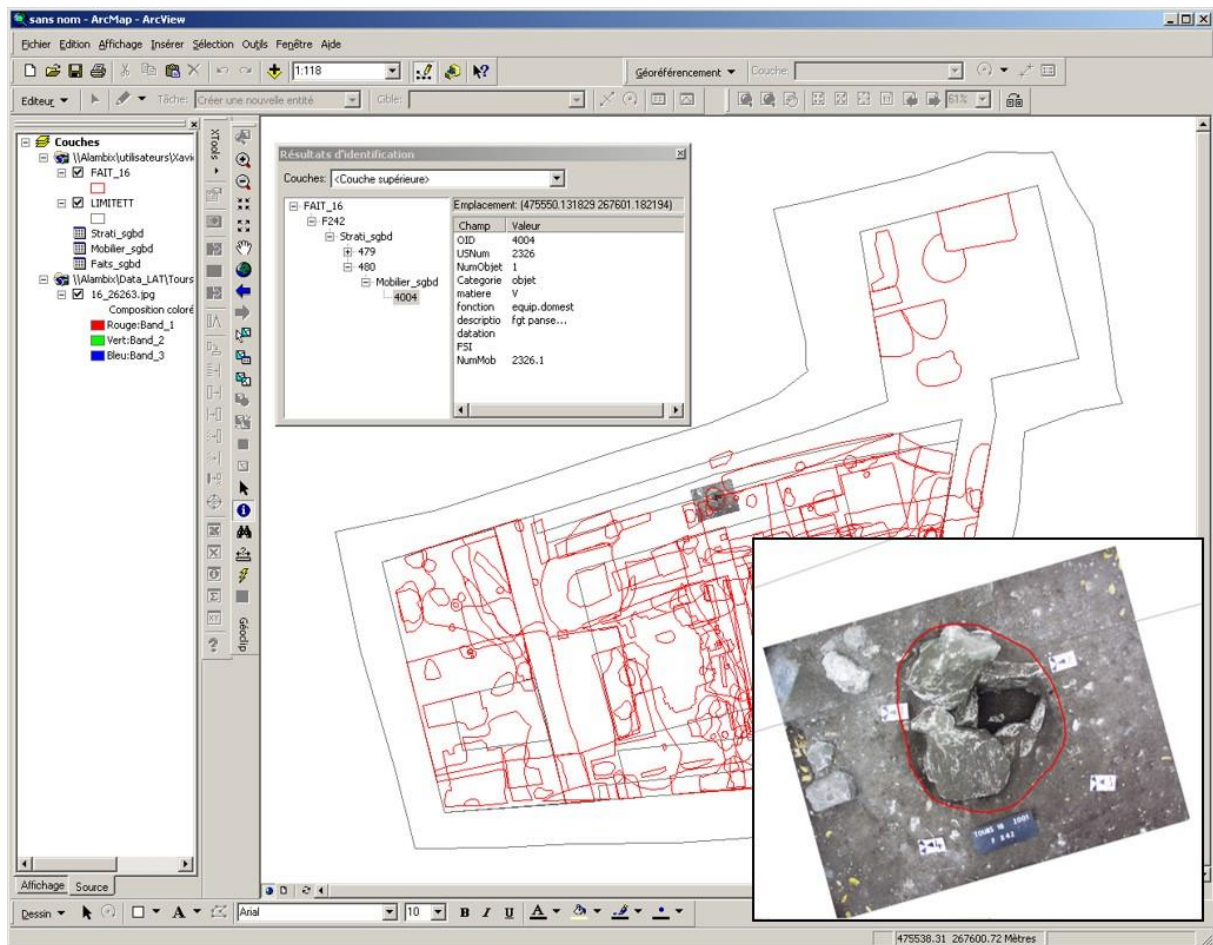


Fig. 1 : Exemple de relevé d'un trou de poteau par photographie et de son intégration dans un SIG, Tours, site 16.

J'ai eu l'occasion de participer à cette mutation en mettant en place le principe de relevé par photographie verticale avec des points de référence eux-mêmes enregistrés au tachéomètre sur la fouille du centre paroissial de Rigny-Ussé (Indre-et-Loire), dirigée par Élisabeth Zadora-Rio et Henri Galinié.

J'ai testé le principe de dématérialisation des relevés en 1996, en le doublant intégralement par des relevés manuels, avant de le généraliser à l'ensemble de la fouille. L'expérience a d'abord été menée sur la fouille du cimetière. Chaque sépulture faisait l'objet d'un relevé à la main au 1/10^e sur papier millimétré à l'aide d'un fil à plomb et d'une grille (cadre en bois et élastique de chapelier matérialisant un carroyage de 10x10 cm) disposée au-dessus de la sépulture. Le calcul fut simple dans le cadre de ce chantier-école : avec des fouilleurs débutants, il fallait, dans le meilleur des cas, une demi-journée pour effectuer le dessin. Avec la photographie et l'enregistrement des points de référence, l'opération était réalisée sur le terrain dans le pire des cas en 15 min, avec un temps de post-traitement groupé pour l'ensemble des relevés de la journée. Pour autant, nous nous sommes posés alors de nombreuses questions pour deux raisons : 1) le temps du relevé manuel est un temps d'observation et d'interprétation qu'il ne faut pas négliger, 2) la formation des fouilleurs, étudiants en archéologie pour la très grande majorité, doit comprendre les savoir-faire de base.

La fouille de l'ancien centre paroissial de Rigny à Rigny-Ussé, Indre-et-Loire

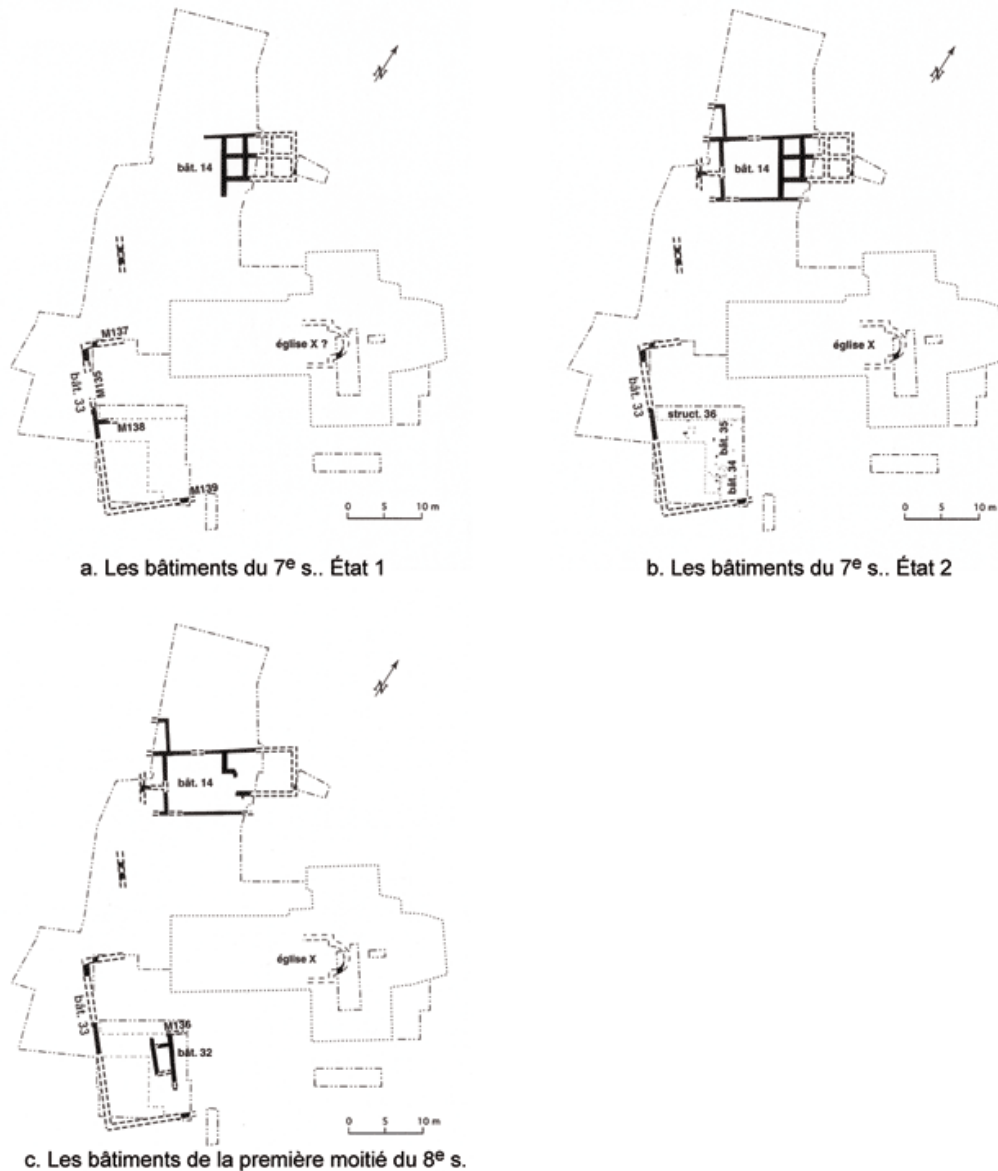
L'ancien centre paroissial de Rigny (ZADORA-RIO et GALINIE 2014 a ; ZADORA-RIO et GALINIE 2014 b ; ZADORA-RIO et GALINIE 2014 c), situé au fond d'un vallon aux versants abrupts, drainé par un petit affluent de l'Indre, a perdu ses fonctions au milieu du 19^e s. lors de la construction d'une nouvelle église paroissiale et d'un presbytère à Ussé, dans la vallée de la Loire, où l'habitat s'était regroupé à proximité du château. La fouille programmée des abords de l'église, conduite par le Laboratoire Archéologie et Territoires, sous la direction d'Élisabeth Zadora-Rio et Henri Galinié, entre 1986 et 1999 sur une superficie de 1100 m², a révélé une longue séquence d'occupation, depuis le 7^e s. dans l'emprise de la fouille - et depuis le Haut Empire dans l'environnement proche - jusqu'au milieu du 19^e s. (ZADORA-RIO GALINIE, *et al.* 1992 ; ZADORA-RIO et GALINIE 1995 ; ZADORA-RIO et GALINIE 2001). Un sondage, que j'ai eu le plaisir de réaliser, dans l'ancienne église paroissiale, qui date de la fin du 11^e ou du début du 12^e s., a révélé les vestiges de deux églises antérieures (ZADORA-RIO ÉLISABETH et GALINIE 2014 a). Sous le cimetière médiéval, qui a livré plus de 1700 sépultures, ont été mises au jour de vastes constructions des 7^e et 8^e s. qui était scellée sous une épaisseur de 2 à 4 m de dépôts archéologiques.



Fig. 2 : L'ancien centre paroissial de Rigny en cours de fouille.

La fouille de Rigny (Fig. 2), qui a permis d'entrevoir, pour la première fois, la réalité matérielle d'une *colonica* du haut Moyen Âge, a montré que ces établissements pouvaient présenter des ensembles architecturaux importants pourvus d'un lieu de culte et de grandes capacités de stockage. Contrairement aux idées admises sur la pérennité de la construction en pierre, les bâtiments des 7^e-8^e s. n'ont duré que quelques décennies et ils ont connu, pendant cet intervalle, d'importants réaménagements et une transformation notable des techniques de construction (Fig. 3). Les données archéologiques, qui attestent la présence d'un établissement du Haut Empire dans l'environnement proche, et les données paléoenvironnementales, qui témoignent de l'extension des cultures dans le vallon de Rigny depuis l'âge du Fer (LIARD *et al.* 2002), indiquent une implantation dans un milieu déjà fortement anthropisé. La colonge de Saint-Martin de Tours n'évoque en rien un front de colonisation agraire, contrairement à l'hypothèse fréquemment avancée selon laquelle les colonges résulteraient de défrichements récents (ZADORA-RIO et GALINIE 2014 b).

Rigny-Ussé, «Rigny» : la colonge de Rigny, centre d'exploitation d'un domaine rural de Saint-Martin de Tours aux 7^e- 8^e siècles



a. Les bâtiments du 7^e s.. État 1

b. Les bâtiments du 7^e s.. État 2

c. Les bâtiments de la première moitié du 8^e s.

E. Zadora-Rio, H. Galinié, CNRS - Dessin : C. Theureau

Atlas Archéologique de Touraine - CITERES, UMR 7324 - LAT - Université de Tours - CNRS - 2013

Fig. 3 : Transformations des bâtiments de la colonge de Rigny (Indre-et-Loire) aux 7e-8e siècles.

L'ancienne église paroissiale Notre-Dame de Rigny, désaffectée depuis le milieu du 19^e s., est mentionnée pour la première fois en 1139 dans un acte du pape Innocent II confirmant les possessions de l'abbaye de Cormery, parmi lesquelles « l'église Sainte-Marie de Rigny avec la chapelle d'Ussé ». À l'intérieur, en raison du mauvais état de l'édifice, la Conservation Régionale des Monuments Historiques a limité l'autorisation de fouille à une zone de 3m sur 8m, située entre l'aplomb de la clef de voûte du bras sud du transept et le centre de la croisée (ZADORA-RIO et GALINIE 2001 : 187-195). La fouille a révélé l'existence de deux édifices antérieurs à l'église actuelle, attribuée au 11^e-12^e s (Fig. 4). (ZADORA-RIO et GALINIE 2014 a). Bien que les chevets emboîtés des deux églises antérieures n'aient été que partiellement fouillés, leur situation centrée dans la croisée du transept de l'église en élévation suggère que celle-ci a repris l'orientation des édifices précédents. Cette orientation à 52,5°N, qui

présente un décalage de $37,5^\circ$ par rapport à l'orientation est/ouest habituelle des églises, ne s'explique pas par une adaptation au relief, bien au contraire : en raison de cette orientation malheureuse, le porche s'ouvre face au versant qui est soumis à une forte érosion, et la nécessité de dégager l'entrée des colluvions qui l'encombraient a exercé une forte contrainte sur les habitants. Cette orientation à $52^\circ 5'$ est conforme, en revanche, à un degré près, à celle du bâtiment 14 de la colonge de Rigny (ZADORA-RIO et GALINIE 2014 b), ce qui suggère que la première église (église X) s'inscrivait dans le même programme architectural (Fig. 4).

**Rigny-Ussé : les trois églises successives de Rigny (7^e /8^e s.-1859)
Plans restitués des églises X et Y**

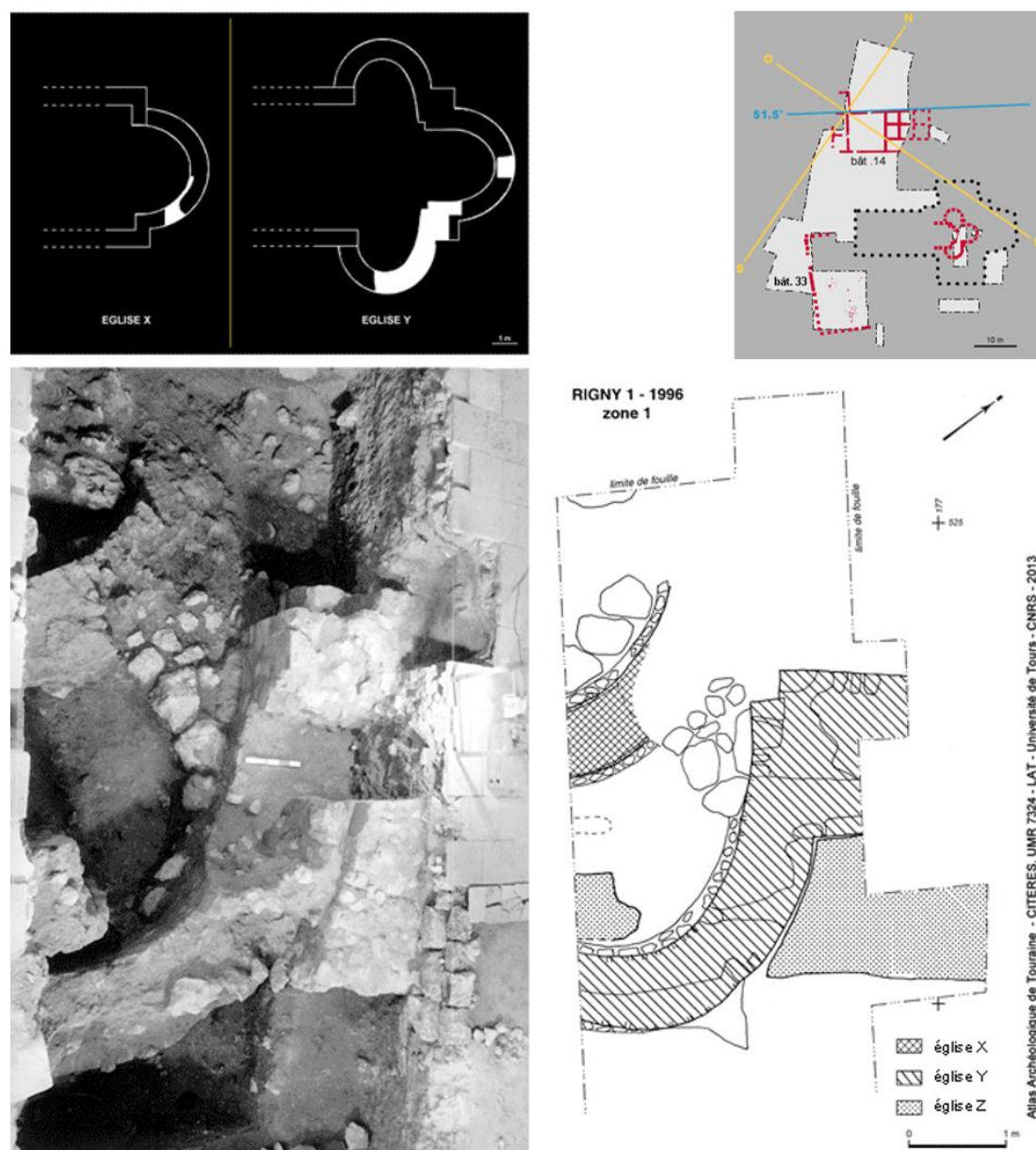


Fig. 4 : Les trois églises de Rigny (Indre-et-Loire).

Les résultats de la fouille permettent d'analyser la mise en place et les transformations de l'organisation spatiale du cimetière paroissial de Rigny et les fluctuations de son emprise pendant un millénaire (Fig. 5), qui révèlent des changements majeurs dans les pratiques religieuses et sociales. Les premières sépultures ont occupé un terrain vague encombré de ruines à proximité de l'habitat, mais l'église n'a pas joué un rôle moteur dans leur implantation. L'attraction que celle-ci exerce à partir de la fin du 10^e ou du début du 11^e s. peut être mise en relation avec l'établissement de l'organisation

paroissiale : elle accompagne la constitution du cimetière chrétien conçu comme lieu d'inhumation communautaire au milieu des vivants. Contrairement à une idée longtemps admise, le cimetière ne s'est pas développé de manière concentrique autour de l'église : l'espace funéraire a subi au contraire un processus de rétraction continu dont la fouille a mis en évidence les étapes successives entre le 10^e s. et le 19^e s. La réduction progressive de l'espace funéraire, l'expulsion des structures domestiques et la spécialisation de la zone d'inhumation, puis la mise à l'écart et l'enfermement des tombes, révèlent des transformations profondes des relations des vivants à leurs morts. Contrairement à une hypothèse fréquemment avancée, ces variations de la superficie du cimetière sont tout à fait indépendantes des fluctuations démographiques : chacune des réductions de l'espace funéraire a été accompagnée d'une augmentation de la densité d'inhumation et d'une accélération de la rotation des sépultures (ZADORA-RIO et GALINIE 2014 c).

**Rigny-Ussé: la fouille de l'ancien centre paroissial de Rigny et les transformations du cimetière (milieu 8^e s.-1865)
Les étapes de la réduction de l'emprise spatiale du cimetière**

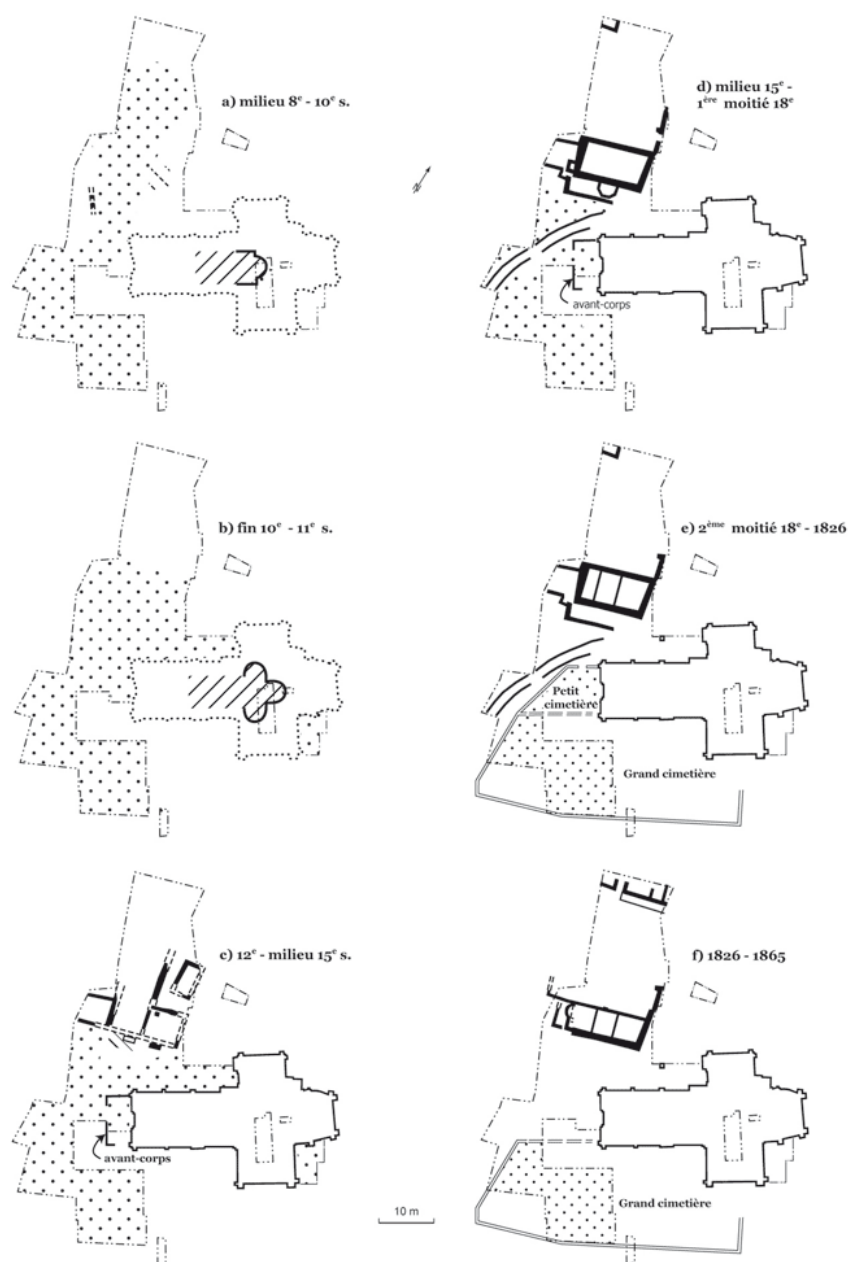


Fig. 5 : Les transformations du cimetière de Rigny (Indre-et-Loire) du milieu du 8^e siècle à 1865.

Le risque de perte d'information dû à la substitution d'une technique de relevé par une autre a été compensé par une attention particulière à investir une partie du temps gagné dans la qualité des observations et donc de l'interprétation. Le procédé nécessite en particulier d'imposer une impression systématique et rapide des relevés numériques (photographies géoréférencées) de manière à pouvoir les annoter sur le terrain. C'est ce principe que j'ai repris, une dizaine d'années plus tard, dans le cadre des propositions des SIG à l'échelle de la fouille que m'a commandées la direction scientifique de l'Inrap (Annexes 26 à 28). Ce mode opératoire est maintenant couramment utilisé tant en archéologie programmée que préventive. Malheureusement, la technique ayant souvent tendance à prendre le dessus, force est de constater que le temps de réflexion nécessaire sur le terrain disparaît, malgré les nombreuses recommandations que j'ai pu faire en ce sens, au profit de gains de productivités tels que l'impose la pratique de l'archéologie préventive. Je constate ici une dérive de l'automatisation que l'on m'oppose, voire me reproche, malgré mes nombreuses mises de garde. En effet, j'ai été régulièrement amené, et je suis encore, à défendre ce changement de procédure dans des débats contradictoires en arguant des bénéfices à condition d'être très exigeant sur le temps d'interprétation nécessaire sur le terrain.

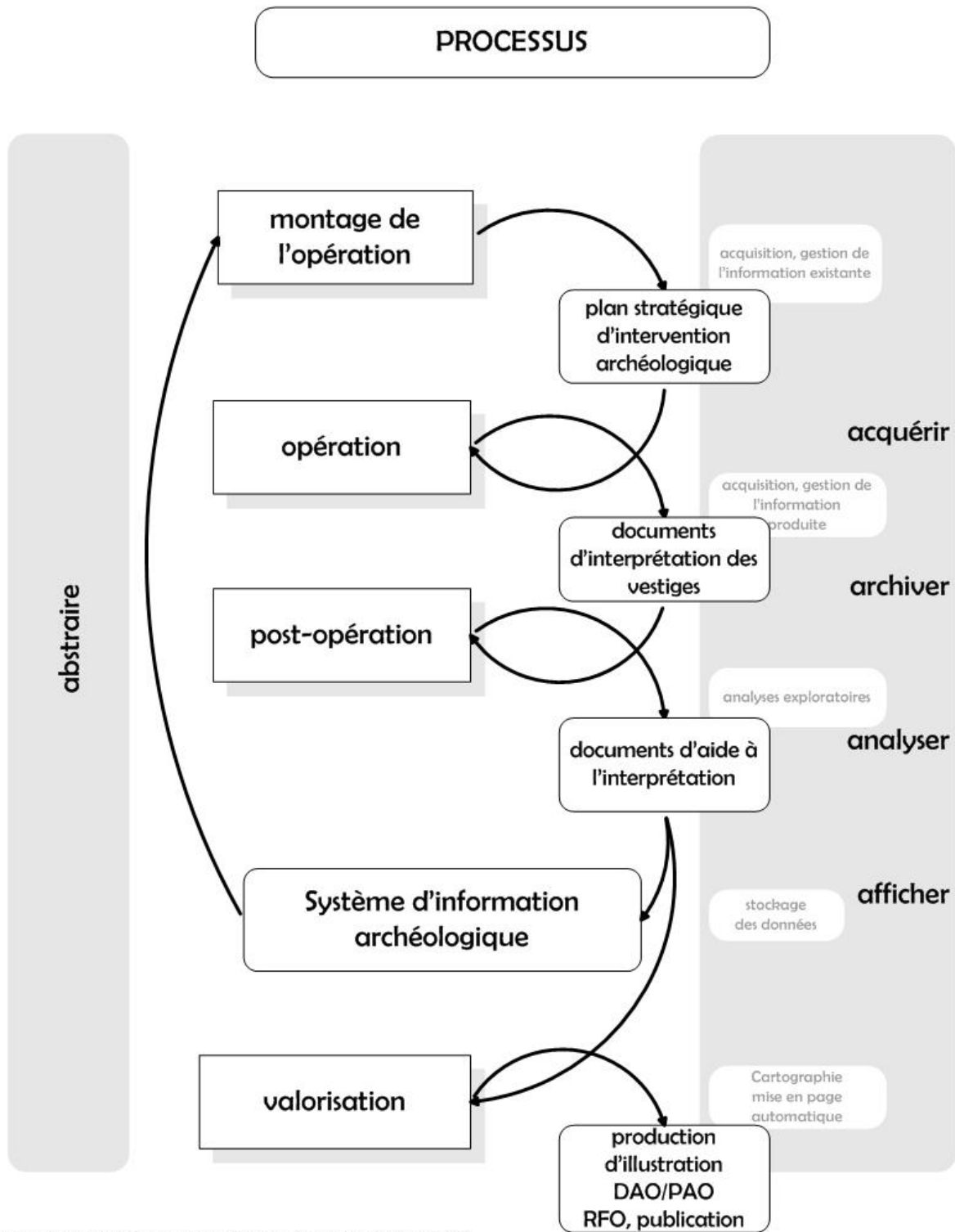
La formation des archéologues est également un débat qui est toujours d'actualité. Lors de la mise en place de ce protocole de relevé sur la fouille de Rigny-Ussé, nous consacrons un temps de la journée à des ateliers de formation autour des activités de nettoyage des mobiliers, en particulier la céramique et les ossements humains. Nous y avons tout simplement ajouté des séances de relevé manuel à l'aide d'une grille et d'un fil à plomb. Nous tenions ainsi à ce que les étudiants reçoivent une formation complète et surtout qu'ils soient en mesure de répondre aux exigences du marché de l'emploi. Pour les mêmes raisons, d'année en année, nous avons transformé cette formation en un apprentissage à l'utilisation des techniques de relevés informatisés. À l'heure actuelle, les mêmes questions se posent à propos de la formation des étudiants au relevé d'architecture pour les études d'archéologie du bâti. Tout le monde est convaincu qu'il faut leur apprendre les techniques de relevé par photogrammétrie et l'utilisation de scanner 3D, à condition bien sûr d'y associer les phases de préparation et de post-traitement des données. En revanche, de nombreuses voix s'élèvent contre la disparition de savoir-faire lié au dessin technique manuel. Sans tenir une position radicale et absurde qui prônerait la disparition pure et simple du dessin, je pense que nous ne pouvons faire l'impasse sur les changements à l'œuvre dans les pratiques de l'archéologie. Il est de notre responsabilité de trouver l'équilibre entre la transmission de nos savoir-faire obsolètes et la mise à disposition des moyens de les dépasser. L'archéologie de demain se pratiquera avec des outils que nous ne maîtrisons pas nécessairement mais nous devons permettre à nos étudiants d'y accéder, de s'en emparer et de nous dépasser tout en leur transmettant les objectifs archéologiques qu'il ne faut pas perdre de vue.

1.1.3. TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Les débats sur l'informatisation des relevés se résument en quelques questions simples. Dans quel but effectuons-nous ces relevés ? Est-il préférable de faire beau que de faire juste ? Comment travailleront demain les archéologues que nous formons aujourd'hui ? Ces questions m'ont servi de fil conducteur dans l'expertise que m'a confiée la direction scientifique et technique de l'Inrap sur la place des SIG dans les processus de l'archéologie préventive (KOEHLER et TUFFERY 2012 : 231-233). L'objectif en forme d'ambition que nous nous étions assigné avec la direction scientifique de l'Inrap était ni plus ni moins que l'amélioration de la qualité du raisonnement archéologique (Fig. 6). Cette collaboration s'est déroulée en trois temps :

- l'établissement d'un état de l'art et d'un état des lieux destinés à définir les utilisations potentielles des SIG en archéologie préventive et à envisager les échelles d'application pour l'Inrap ([79] RODIER 2006 ; Annexe 26) ;

- l'élaboration d'un processus à l'échelle de l'opération archéologique ([80] RODIER, MOREAU 2009 ; Annexe 27) ;
- l'expérimentation et l'évaluation du processus SIG en conditions opérationnelles sur sept opérations du centre archéologique de l'Inrap à Tours ([81] MOREAU, RODIER 2009 ; Annexe 28).



X. Rodier, A. Moreau, Laboratoire Archéologie et Territoires CITERES UMR 6173, Université de Tours - CNRS, 2009

Fig. 6 : Schéma global du processus SIG proposé à l'Inrap ([55] RODIER, MOREAU et CIEZAR 2011 ; Annexe 2 ; [38] ; RODIER, CIEZAR et MOREAU 2013).

Cette expertise a donné lieu à la création d'un poste d'ingénieur de recherche, référent national pour les SIG à la Direction Scientifique et Technique de l'Inrap, avec pour mission le déploiement du processus SIG dans l'établissement. La personne recrutée a constitué un réseau de référents SIG, sur la base du groupe de travail que j'avais mis en place pour l'étude, sur lequel elle s'appuie pour diffuser l'utilisation des SIG dans l'établissement. La montée en puissance de ce programme se traduit par des communications de plus en plus fréquentes dans les colloques spécialisés dont en particulier le CAA (*Computer applications and quantitative methods in archaeology*) où nous avons animé ensemble deux sessions sur l'utilisation des SIG en archéologie préventive en 2014 (*GIS, a new trowel for archaeologist? The challenges of using GIS in preventive archaeology*) et en 2015 (*The challenge of preventive archaeology: efficiency and quality*). L'utilisation des SIG se diffuse donc régulièrement au sein des équipes de l'Inrap ainsi que des autres opérateurs de l'archéologie préventive qui ne sont pas en reste. En revanche, en conclusion de cette étude et dès le premier rapport, j'insistais sur trois points qui me semblent toujours essentiels.

- Concernant l'apport de la démarche à la discipline, l'enjeu paradigmatique identifié dès la définition de cette étude était de passer de l'illustration au traitement de données dans l'objectif d'améliorer la qualité du raisonnement archéologique. Les travaux des équipes, qui ont intégré les SIG dans leur processus depuis 2009, montrent que l'on passe progressivement d'une pratique orientée sur la représentation à un mode de réflexion fondé sur le traitement de données. Néanmoins, il reste à convaincre encore une large partie de la communauté qui n'évalue la recherche archéologique qu'à l'aune de résultats factuels.
- À propos des moyens à mettre en œuvre pour parvenir à cet objectif, ce ne sont pas les choix techniques qui doivent guider les applications mais bien les objectifs à atteindre. De ce point de vue, l'impact des changements de processus proposés sur l'organisation du travail est fondamental. Il s'agit bien entendu du domaine le plus long et délicat à modifier. Il relève du domaine dit des ressources humaines et implique une réorganisation qui peut s'avérer déstabilisante, de l'individu à l'établissement. Les transformations engendrées interviendront probablement plus tard et très progressivement.
- L'Inrap a un rôle crucial à jouer pour la discipline car c'est la seule structure en France et en Europe qui se soit engagée dans la transformation des processus de l'archéologie préventive à l'échelle d'une organisation de 2200 personnes qui effectuent près de 1800 diagnostics par ans et plus de 260 fouilles. C'est sans commune mesure avec aucune des expériences qui ont pu être menées sur telle ou telle fouille programmée. Cependant, c'est justement sur les fouilles programmées, pour des raisons évidentes de contraintes différentes, qu'ont lieu les développements méthodologiques. Ces expériences et applications doivent donc être effectuées en réseau pour éviter le risque d'une pratique aut centrée.

1.2. DE LA FOUILLE A L'INTERPRETATION : UNE QUESTION D'ECHELLE

1.2.1. ÉCHELLES DE REPRESENTATION

La manipulation des échelles pour les archéologues commence dès l'acquisition des données lors des fouilles. En effet, même si l'informatisation des techniques de relevés automatisées à l'aide des outils issus de la topographie et de la géomatique modifie considérablement les pratiques de terrain, le relevé manuel reste une pratique nécessaire dans bon nombre de cas. L'archéologue est donc habitué à effectuer des relevés à de grandes échelles de représentation. Le changement d'échelle de représentation est donc assez bien maîtrisé. La publication archéologique des résultats d'une fouille

commence traditionnellement par une carte de localisation dans le pays, puis dans la région ou le département, ensuite viennent la carte topographique ou le plan cadastral, pour arriver enfin au plan général de la fouille. On passe donc allègrement du 1/20 000 000^e, pour localiser par un point l'emplacement du site archéologique sur une carte de France, au 1/500^e, pour présenter un plan général de la fouille. Par la suite, on se concentre sur des plans de structure entre le 1/100^e et le 1/50^e, dont l'archéologue n'est jamais vraiment satisfait, car ils rendent mal les détails qu'il a méticuleusement relevés sur le terrain au 1/20^e, 1/10^e ou 1/5^e, voire à l'échelle 1 en dessinant au marqueur sur des grands films plastiques réduits par la suite. Le défi de la carte au 1/1 (PALSKY 1999) ne fait pas peur à l'archéologue.

D'une manière générale, la cartographie traditionnelle en archéologie recouvre deux sortes d'échelles de représentation ([4] RODIER 2006) : celles couvertes par les relevés et plans de fouilles, celles de la mise en perspective des résultats de plusieurs fouilles entre elles. Les premières sont directement issues de l'enregistrement des données sur le terrain et constituent une grande part des archives de fouilles. Il s'agit du niveau de l'élaboration de la source archéologique. Les échelles y varient selon la nature et l'état de conservation des vestiges, la période chronologique. Les secondes sont constituées par le regroupement des entités archéologiquement interprétées dans un espace cohérent (ville, terroir, territoire). Il s'agit, pour l'essentiel, des cartes de topographie historique, des cartes de localisation, d'inventaire, de répartition thématique. C'est la focale d'analyse d'un espace, elle recouvre en fait de multiples échelles d'organisation des unités fonctionnelles (habitat, atelier...) aux paysages.

1.2.2. LE TERRAIN D'ABORD

Mes activités de recherche sur le traitement de données et la spatialisation de l'information archéologique m'ont éloigné d'une activité de responsable d'opérations de fouille. Je reste néanmoins archéologue d'une part par ma formation initiale et les fouilles que j'ai réalisées ([31] ZADORA-RIO, GALINIE, *et al.* 1992 ; [73] BISSON, RODIER et THOMAS 1995 ; [29] JOUQUAND *et al.* 1999 ; [27] ZADORA-RIO et GALINIE 2001 ; [63] RODIER, THEUREAU et BLANCHARD 2007), d'autre part parce que la validation des méthodes et des interprétations se fait toujours dans la confrontation au terrain.

L'archéologie, comme discipline des sciences historiques, a pour objectif de contribuer à la compréhension des sociétés du passé par l'étude de leurs traces matérielles. La fouille constitue donc l'étape fondatrice de la recherche archéologique sans en être sa finalité. L'importance du terrain dans la découverte et la pratique de l'archéologie, ainsi que dans la formation, joue un rôle déterminant dans les modalités de construction des connaissances de la discipline.

Le mode de raisonnement qui conduit à l'interprétation des données archéologiques, à l'échelle de la fouille, consiste en une double approche, d'une part inductive, d'autre part hypothético-déductive. La première est fondée sur une chaîne d'inférences à partir des connaissances acquises principalement par la fouille et dont l'analyse conduit à l'interprétation historique. Dans ce cas, la mise en œuvre des données archéologiques de terrain relève d'un processus inductif de regroupements successifs (fonctionnels, spatiofonctionnels, temporels et spatiotemporels) des atomes d'informations que sont les unités stratigraphiques (ou couches archéologiques) et les faits (ou structures) puis les différents regroupements effectués lors de la « mise en séquences » (séquences, agrégation, ensemble). La seconde consiste à inscrire les schémas d'interprétation du site dans l'histoire spécifique de l'espace auquel il appartient (une ville, un territoire...) selon sa position supposée dans une aire chrono-culturelle. Il s'agit cette fois d'un processus hypothético-déductif qui consiste à établir une périodisation hiérarchisée et spécifique au site fouillé, fondée sur les hypothèses d'inscription des phases d'occupation du site dans un modèle historique. Les deux démarches interfèrent et se

rejoignent dans leur apport à la compréhension des phénomènes auxquels elles doivent chacune permettre d'aboutir.

La figure 7 représente ce processus qui est celui de l'analyse stratigraphique telle que je l'ai schématisée ([18] GALINIE *et al.* 2005 : 5-8) pour décrire le système d'enregistrement archéologique ArSol (*cf. infra*).

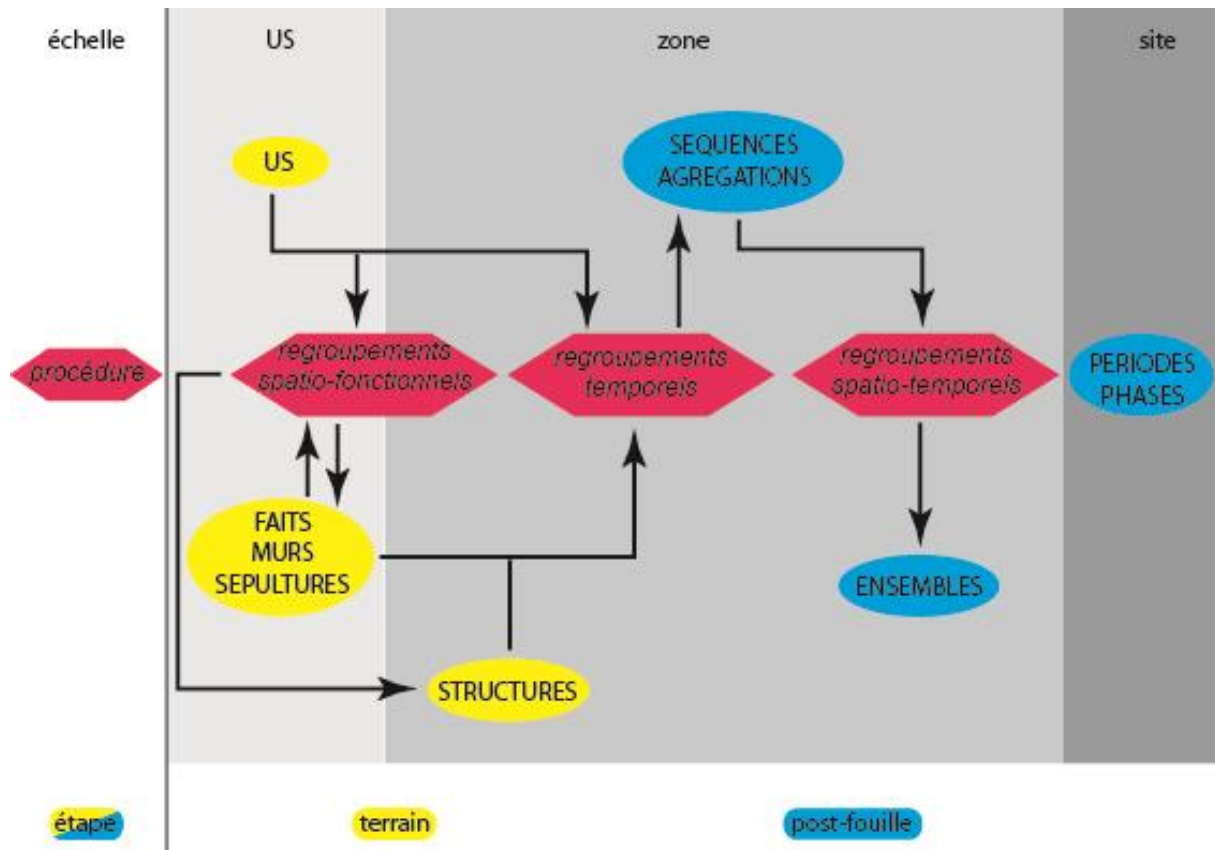


Fig. 7 : Processus de l'analyse stratigraphique ([18] GALINIE, HUSI, *et al.* 2005).

À l'échelle de la fouille, ce processus permet, d'une part d'assurer la robustesse des données de l'analyse, d'autre part d'échapper à l'illusion que, du large ensemble des données les plus précises possibles à l'entrée, sortira l'étroite réponse à la question posée. Ce dernier cas relève de la confusion entre système d'enregistrement purement descriptif, prétendument objectif et exhaustif, et système d'information élaboré pour répondre à une problématique. En effet, de nombreux systèmes d'enregistrement sont conçus comme des banques de données regroupant l'information la plus détaillée possible au détriment de sa pertinence. Cette dérive est concomitante de l'informatisation des données mais traduit plus généralement la réduction du raisonnement à une démarche uniquement inductive.

L'articulation des approches inductive, inhérente à la fabrication des corpus de données en archéologie lors des fouilles, et hypothético-déductive, nécessaire pour hisser le discours archéologique au-delà de la stricte description des vestiges, intervient à toutes les échelles d'analyse. En effet, dès lors qu'il s'agit de raisonner à partir d'un corpus de données archéologiques, quelle que soit sa granularité (unité stratigraphique, objet, site, agglomération...), le raisonnement archéologique est fondé sur cette co-construction inductive et déductive. L'élaboration de la connaissance archéologique repose sur un raisonnement logique (Fig. 8) correspondant par ailleurs à une démarche scientifique classique ([56] RODIER ET SALIGNY 2011 ; Annexe 2). La particularité archéologique de ce schéma réside, d'une part dans

les filtres spécifiques qui contraignent la modélisation de la réalité (GALLAY 1986 : 154-157), d'autre part dans l'impossibilité du renouvellement de l'expérience. L'apport des connaissances issues d'une fouille n'est utile aux suivantes qu'en termes de choix concernant la modélisation et les protocoles qui en découlent, non pas directement pour les conditions initiales de l'expérience.

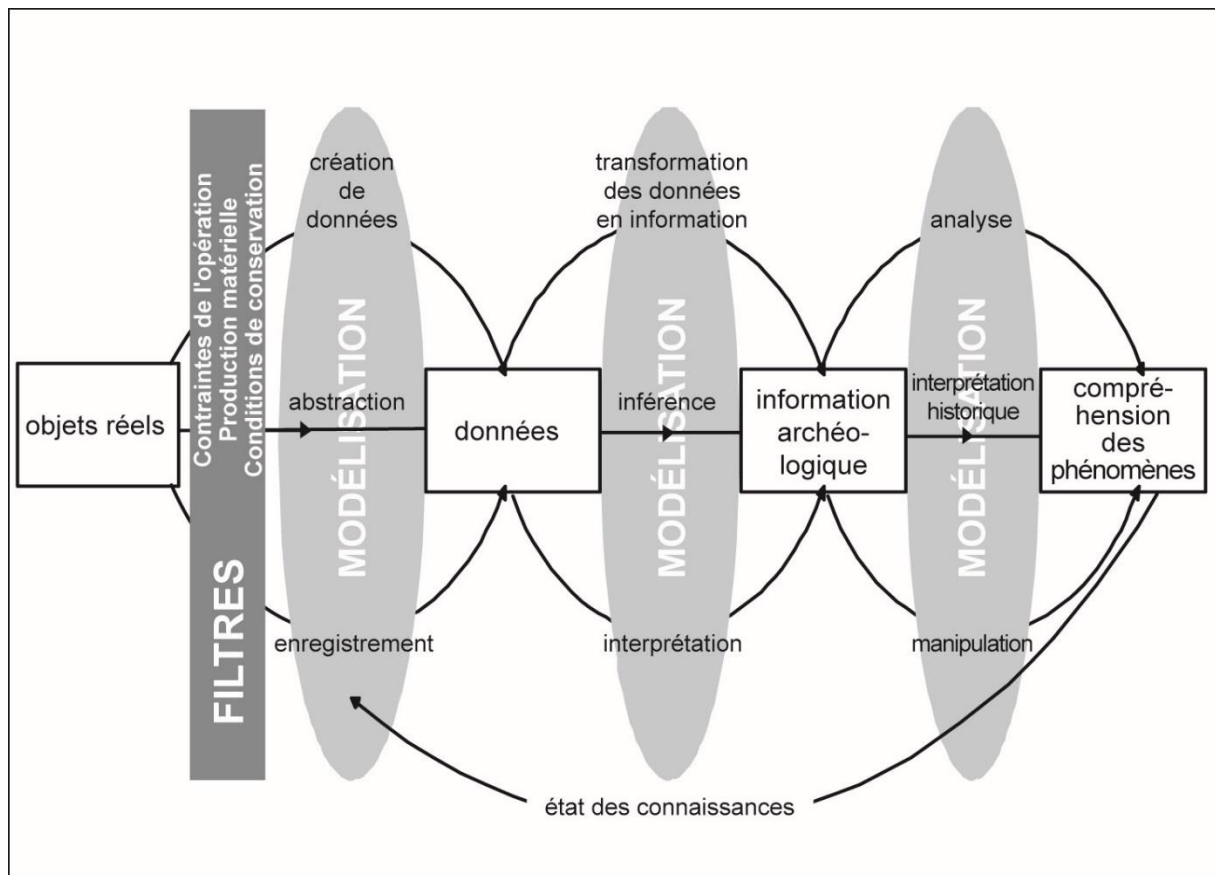


Fig. 8 : Schéma d'élaboration de la connaissance archéologique ([56] RODIER et SALIGNY 2011 ; Annexe 2).

1.2.3. ÉCHELLE D'ANALYSE

Au-delà de la seule représentation graphique, le changement d'échelle, entendu comme un changement de focale d'analyse¹, met en évidence les écueils et les enjeux associés à la chaîne d'inférence de l'archéologue pour passer de l'objet archéologique aux dynamiques spatio-temporelles des sociétés du passé. À ce stade, la manipulation des échelles est souvent moins maîtrisée car elle intervient également dans les dimensions sémantique et temporelle pour lesquelles la notion d'échelle est moins directement perçue. Pourtant, le passage d'une échelle à l'autre correspond systématiquement à un changement de résolution dans chacune des trois dimensions, sémantique, spatiale et temporelle de l'objet d'étude archéologique ([56] RODIER et SALIGNY 2011 ; Annexe 2 ; [39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4). L'emboîtement des échelles d'analyse se traduit par la définition d'objet spécifique à chacune d'entre elles et l'utilisation de descripteurs adaptés à chaque dimension (Fig. 9). Pour autant, le raisonnement n'est pas aussi linéaire qu'il paraît (*cf. supra* 1.2.1.).

¹ La notion de changement d'échelle est utilisée ici, et par la suite, alors qu'il ne s'agit plus uniquement de représentations cartographiques différentes. En géographie, on parlerait plutôt de changement de niveau mais un "niveau archéologique" est tout à fait autre chose, principalement utilisé en préhistoire, le terme renvoie à l'interprétation d'une couche d'occupation homogène. En archéologie, un changement de niveau correspond à un déplacement dans la stratigraphie et donc dans le temps.

Objet	Exemple	Fonction		Espace		Temps	
		Descripteur	Méthode	Descripteur	Méthode	Descripteur	Méthode
Unité stratigraphique	US 2375, couche d'occupation à l'intérieur d'un bâtiment A	Occupation intérieure	Caractérisation de l'usage du sol	Sol de la pièce X du bâtiment A	Localisation (relevés)	2375, sous (avant) 2274 et 2366, sur (après) 2456. XIV ^e -XV ^e siècle	Chronologie relative Datation (examen du mobilier)
Structure	Bâtiment A	Construction	Interprétation fonctionnelle des structures	Pièce X du bâtiment A	Assemblage des relevés	2 ^{ème} moitié XIV ^e siècle	Datation (étude quantifiée des assemblages de mobilier)
Fouille, opération, site	Bâtiment médiéval	Logis résidentiel	Thésaurus du CNAU (descripteur)	Fouille de la rue du Commerce	Emprise des bâtiments	2 ^{ème} moitié XIV ^e siècle	Datation (modélisation statistique des assemblages de mobilier)
Élément constitutif	Maison	Habitat domestique	Thésaurus du CNAU (valeur d'usage)	Parcelle, îlot	Emprise des maisons (plan cadastral)	XIV ^e siècle	Datation (modélisation statistique des assemblages de mobilier)
Objet historique urbain	Quartier résidentiel	Construction civile	Thésaurus du CNAU (fonction urbaine)	Quartier de Tours	Localisation ponctuelle dans la ville	XIV ^e - XV ^e siècle	Datation (modélisation statistique des assemblages de mobilier)
Espace urbanisé ancien	La ville réunie vers 1400	Ville	Critères de hiérarchisation inter-urbaine	Tours	Plan de ville (topographie historique)	Bas Moyen-Age	Insertion dans le modèle chronologique de la ville

Fig. 9 : Exemple archéologique de changement d'échelle sémantique, spatiale et temporelle ([56] RODIER et SALIGNY 2011 ; Annexe 2).

Un premier changement d'échelle consiste à transformer le relevé des artefacts mis au jour (l'observation de terrain) en un plan qui restitue l'identification de ces vestiges comme constituant une structure, le plus souvent par référence à d'autres déjà connues. L'étape suivante est l'association de cette structure avec toutes les autres synchrones dans l'emprise de la fouille. Ensuite, lorsqu'on souhaite exploiter les résultats de plusieurs fouilles, les structures initiales sont représentées par des symboles qui traduisent la caractérisation fonctionnelle de la structure à l'échelle considérée. Ce qui compte alors, c'est la nature de l'occupation identifiée et la valeur qui lui est affectée pour être utile à la compréhension du phénomène socio-spatial étudié.

L'interprétation thématique passe donc de la description à l'identification de l'usage, puis à la détermination de fonctions urbaines ou territoriales. Cette chaîne d'inférence est elle-même variable selon l'échelle de l'artefact initial considéré. Selon les cas, il peut s'agir d'un fragment de poterie, d'un outil en silex, d'une monnaie, d'un trou de poteau, d'un mur, d'un foyer, d'un sol, d'une pièce, d'un bâtiment, ou encore des micro-restes biologiques, animaux, des constituants du sol.

Spatialement, la transformation de points en surfaces, et inversement, fait appel à des processus de recomposition plus complexes que la généralisation ou l'agrégation. En fouille, par exemple, les artefacts permettant de reconnaître un bâtiment sont principalement des murs et des sols mais le plus souvent tronqués, voire disparus, et identifiables seulement par leur empreinte. Le relevé de terrain livre alors un plan très lacunaire que seule l'interprétation permet de compléter.

Pour le temps, le traitement chronologique va de l'antéro-postériorité (établissement d'une chronologie relative destinée à restituer l'ordre de déposition des unités stratigraphiques observées) à la datation. Les objets considérés s'inscrivent dans des temporalités différentes selon la focale d'analyse.

En archéologie, le changement d'échelle est une opération cognitive qui ne peut être résumée ni à un effet de loupe ou de zoom, ni à une généralisation de l'information. En effet, le passage de la caractérisation des objets d'étude à l'analyse des dynamiques spatiales ne consiste pas uniquement en un changement de niveau. La généralisation et l'agrégation spatiale d'entités identifiées dans le sol à l'échelle de la fouille sont insuffisantes pour aborder les dynamiques dans la longue durée. L'analyse de l'espace tel que nous l'envisageons consiste en un changement d'échelle auquel correspond un changement d'objet. Il faut transformer les objets individualisés à l'échelle des sources (matérielles, écrites, iconographiques) en objets historiques à l'échelle du territoire étudié. L'étude des relations sociétés/espaces dans la longue durée implique la mise en œuvre de données hétérogènes et lacunaires issues de sources multiples. L'individualisation des objets historiques pertinents dépend de la granularité propre à chaque source.

1.2.4. ÉCHELLES DES SOURCES

L'étude des rapports société/espace dans la longue durée implique le recours à trois types de sources : matérielles (fouilles, prospection, architecture), écrites (narrations et actes de la pratique) et iconographiques (vues et plans). Leur mise en œuvre consiste à relever dans chacune d'entre elles les éléments pertinents à une échelle d'analyse commune. Le même objet, s'il est présent dans différentes sources, y sera caractérisé différemment. La comparaison est rarement directe, il faut passer par la définition d'un objet commun univoque en définissant sa résolution spatiale dans chacune des dimensions qui le composent. La difficulté majeure de la mise en œuvre de sources interdisciplinaires tient au fait que chaque discipline a une approche spécifique de l'espace. En outre, chaque source a sa propre résolution et les phénomènes qu'elle permet de mettre en évidence ne sont pas toujours perceptibles à l'échelle d'une autre ni à celle de la comparaison des sources. Quelques exemples permettent d'illustrer le caractère multi-scalaire d'une approche historique fondée sur le croisement des sources.

- L'organisation spatiale de l'ouest de la ville de Tours est particulièrement bien documentée par les actes privés des monastères de Saint-Julien et de Saint-Martin au 10^e siècle qui nous renseignent sur la maîtrise foncière et l'œuvre de Téotolon, doyen de Saint-Martin puis évêque de Tours ([69] GALINIE *et al.* 2003 ; Annexe 5). Les données archéologiques pour la période considérée ont une précision chronologique beaucoup moins fine et livrent dans leurs emprises des marqueurs ponctuels de la structure spatiale des îlots urbains en particulier pour la rive de la Loire. L'analyse morphologique du cadastre du 19^e siècle vient compléter le dossier en fournissant des éléments sur la trame parcellaire à l'échelle de la ville et du quartier concerné ainsi qu'à celle des unités de plans de l'ouest de la ville. Chacune de ces trois sources livre des informations selon sa propre granularité à propos d'un phénomène commun. Leur mise en perspective à l'échelle de ce phénomène permet d'étudier précisément un épisode de la fabrique de l'espace urbain (GALINIE 2000). En revanche, aucun des éléments issus de ces sources n'est à l'échelle des objets historiques du système d'information de la ville pré-industrielle, ToToPI (*cf.* 2.2.3.) ([28] RODIER 2000 ; [25] GALINIE et RODIER 2002 ; Annexe 6 ; [41] RODIER *et al.* 2010).
- L'utilisation d'outils issus des sciences de la terre appliqués dans une problématique d'histoire de la ville (LAURENT et FONDRILLON 2010) constitue un exemple d'une approche multi-scalaire des données archéologiques. Une première approche a permis d'établir un référentiel micro-

archéologique fondé sur une analyse des composants des strates archéologiques dont les assemblages caractérisent l'usage et les processus de formation des dépôts. Une seconde, géotechnique, consiste à distinguer les couches archéologiques par leur compacité en mesurant leur résistance à l'aide d'un pénétromètre dynamique léger afin d'établir un référentiel archéologico-mécanique. Ces deux approches conjointes sont des outils de caractérisation quantitative et qualitative du sol urbain. Elles sont par nature multi-scalaires puisque leur objectif est de passer de la caractérisation du sol par ses composants et ses propriétés mécaniques à son usage social à l'échelle de la ville.

- La spatialisation des données paléobotaniques relève aussi d'un changement d'échelle entre les données et l'interprétation. La carpologie (macro-restes végétaux) et l'antracologie (identification des espèces ligneuses à partir des charbons de bois) donnent des informations sur l'environnement végétal des sites, mais leur localisation directe est impossible, et elle passe par l'utilisation de deux modèles, l'un écologique, l'autre spatial (DELHON *et al.* 2003). Le premier repose sur le constat que certaines espèces sont ancrées dans un milieu physique. La distribution de la végétation se fait à la fois en suivant l'étagement altitudinal et en suivant l'ossature que constitue l'hydrosystème. Les espèces de ripisylve (peuplier, saule, aulne) sont placées au bord des cours d'eau, puis les autres associations végétales se distribuent sur les versants selon leurs caractéristiques écologiques. Le deuxième se fonde sur le modèle de la *site catchment analysis*, selon lequel le souci de minimiser les distances joue un rôle structurant dans la définition des territoires vivriers. La *site catchment analysis* est dérivée du modèle de von Thünen (1926) qui, le premier, a proposé une théorie de la localisation en agriculture fondée sur l'analyse de l'accès aux ressources en fonction de la distance à partir de l'habitat : il aboutit toujours à des modèles concentriques. D'une discipline à l'autre, la résolution spatiale des données est donc variable, et la validité de l'articulation de sources interdisciplinaires varie selon l'échelle d'analyse.
- Dans l'étude de la formation des territoires à travers les paroisses et communes de Touraine (Zadora-Rio 2008), nous avons utilisé les limites communales de 1790 pour tenter d'identifier les processus qui ont influencé la morphologie des territoires. Plusieurs des phénomènes observés se sont révélés pertinents à une échelle mais pas à une autre. À l'échelle du département par exemple, l'absence de corrélation entre la superficie d'une commune et son potentiel agricole, et plus généralement entre les descripteurs morphologiques et les données pédologiques, est avérée. Cette corrélation peut cependant être marquée lorsqu'on change d'échelle : ce qui ne peut être établi pour la Touraine prise dans son ensemble l'est parfois à l'échelle d'une vallée, notamment pour les cours d'eau principaux : la rive gauche de la Vienne se caractérise par exemple par de petites communes au fort potentiel agricole. La modélisation des territoires, et la confrontation des modèles avec les données réelles, ont montré que la distance entre les chefs-lieux, indépendamment de leur poids hiérarchique, était le facteur déterminant dans la définition du maillage à l'échelle du département. Il faut sans doute y voir la marque du rôle joué par les pratiques religieuses et sociales dans la formation des territoires paroissiaux et communaux. De l'époque carolingienne jusqu'aux Temps modernes, la distance à l'église est le motif le plus souvent invoqué pour demander la création d'une nouvelle paroisse. Si le facteur qui rend le mieux compte de la superficie des territoires paroissiaux, à petite échelle, est la distance, ce n'est plus le cas à grande échelle. En effet, en changeant de focale, on constate pour chaque commune des écarts importants entre le modèle et la forme réelle des territoires communaux, ce qui indique que d'autres facteurs interviennent : la nature des sols, les lignes de crête, les cours d'eau, la présence d'une route ou d'un gué, la propriété foncière... Les dossiers de délimitations communales de 1790 ont parfois transmis l'écho de ces interactions locales entre les tracés et les éléments du paysage agraire. On peut

donc considérer que « l'enveloppe territoriale » et les limites communales constituent deux niveaux d'organisation distincts, régis par des facteurs explicatifs différents. Ils n'ont pas non plus le même rythme de transformation. Si l'« enveloppe territoriale » a été définie dans sa masse à une date précoce, sans doute entre le Xe et le XIIIe s., et s'est inscrite le plus souvent dans la durée, les limites paroissiales et communales ont connu des variations nombreuses, et ces transformations très locales pouvaient se produire à un rythme rapide si on en juge par la documentation des deux derniers siècles ([60] CHAREILLE, RODIER et ZADORA-RIO 2008).

1.2.5. L'ÉCHELLE DU RAISONNEMENT ARCHEOLOGIQUE

L'échelle de construction de l'information historique par l'archéologie est fortement contrainte par celle de l'acquisition des données. La nature incomplète des données et le temps de leur acquisition, la fouille, ainsi que l'histoire de la discipline, contribuent au développement d'une pratique de l'archéologie attachée à l'enquête, aux détails, aux inventaires infinis. Cette pratique ne favorise pas l'acceptation du changement de focale pour observer les données à un autre niveau d'organisation, et amène trop souvent au rejet de toute forme de modélisation au prétexte qu'aucune ne rend compte de l'infinie complexité de la réalité.

L'échelle du discours archéologique est soit trop proche de celle des données, soit trop éloignée. En effet, le moyen le plus fréquemment rencontré pour inscrire les données archéologiques dans un modèle historique consiste à faire entrer coûte que coûte les résultats de fouille dans l'histoire préétablie du lieu. Cela se traduit par un récit continu de l'occupation des sites des origines de l'occupation à nos jours. Alors que ces mêmes données, mises en œuvre différemment, selon des protocoles de traitement de données reproductibles, mettent en évidence des temporalités différentes de celles du récit construit à partir des sources écrites, par exemple.

L'accroissement considérable des données issues de l'archéologie depuis 20 ans, grâce au développement de l'archéologie préventive, permet de revisiter de nombreuses questions traitées par l'archéologie. En revanche, à aucun moment, ou presque, cette manne n'est exploitée à une échelle différente qui pourrait apporter des éléments de compréhension à d'autres niveaux d'organisation et, en retour, peser sur les questionnements initiaux au moment de l'acquisition des données et orienter les choix nécessaires au moment des fouilles. Cette évidence méthodologique est pourtant rarement mise en œuvre dans une discipline encore jeune dont les processus d'interprétation et l'énoncé des paradigmes ne sont pas formalisés.

En effet, l'archéologie revendique le statut de discipline scientifique sans en assumer les contraintes de rigueur pour la définition des paradigmes, la description et le suivi des protocoles, l'analyse et le traitement des données, l'administration de la preuve. Les archéologues défendent l'archéologie en mettant en avant d'une part la spécificité des sciences humaines, d'autre part ses propres spécificités au sein des SHS. On pourrait ajouter sans hésitation les spécificités de chaque archéologue ne facilitant pas la construction disciplinaire qui nécessite l'adoption collective de paradigmes et de protocoles partagés. La spécificité, par définition, ne favorise pas la construction collective. Elle permet surtout de se dédouaner de la généralisation nécessaire à la comparaison et à la synthèse et, *a fortiori*, de toute tentative de modélisation, en légitimant le caractère particulier et indispensable de chaque détail acquis empiriquement. C'est pourtant bien en se donnant les moyens de la comparabilité des résultats, fondés sur une administration de la preuve permettant de réfuter les hypothèses, que la connaissance progresse, d'autant que les modes de construction du raisonnement s'appliquent à l'ensemble des sciences humaines (GARDIN 1979 : 13-20). La spécificité est donc à l'archéologie, voire aux SHS, ce que la typicité des appellations est au monde vinicole : un argument dogmatique qui dans un cas masque l'authenticité et l'originalité du vin ([78] RODIER 2010), dans l'autre verrouille la

construction disciplinaire et interdisciplinaire de la recherche, autrement dit dans les deux cas « un attrape-nigauds » (GALINIE 2011).

Le caractère lacunaire, par exemple, de la documentation archéologique est bien réel, mais face au problème, plusieurs attitudes sont envisageables, comme le décrit Philippe Boissinot (2011 : 10) :

« Face aux documents lacunaires et muets mis au jour, force est de constater notre déficience vis-à-vis de la plupart de nos objectifs de connaissance – ce qui ne veut pas dire la totalité desdits objectifs. Pour y parer, plusieurs réponses sont possibles : soit on prend le parti de reconstruire les parties manquantes à l'aide de quelques concepts, d'idées générales s'accordant tant bien que mal avec la matérialité des traces, au risque de tomber dans un discours de nature « mythologique », car narratif et incontrôlable, qui ne propose qu'un récit possible pour les faits rencontrés, soit on considère qu'une seule solution n'est guère envisageable pour le problème posé, et l'on se livre alors à l'inventaire des situations possibles en s'aidant des savoirs accumulés par les sciences de l'homme, soit encore, en se drapant dans une rigueur extrême, on ne considère que les questions qui peuvent faire l'objet d'une validation sur le terrain, renvoyant du même geste à la parascience tous les aspects qui ne peuvent être traités – un geste qui n'aurait pas déplu à un Wittgenstein ».

Jean Guilaine insiste, quelques pages plus loin dans le même ouvrage, affirmant que seule la première proposition est recevable (GUILAINE 2011 : 28) :

« On fait reproche à l'archéologue de vivre replié sur sa démarche : fouilles, description, précisions typologiques, apports chronologiques. L'interprétation plus large de ses données le terrorise car il connaît les limites de sa documentation et il sait qu'au-delà de certaines considérations il ne pourra formuler que des suppositions plus ou moins assurées. Que faire donc ? L'éditeur de cet ouvrage nous indique trois types de réponses possibles :

1) Ou jouer le rigoriste jusqu'au-boutiste qui, en dehors des validations possibles, se refuse à toute spéculation. [...]

2) Ou le chercheur qui, une fois les matériaux exposés, dresse la liste des hypothèses possibles sans en sélectionner une. [...]

3) Enfin celui qui, à partir d'une documentation qui est ce qu'elle est, qui vaut ce qu'elle vaut, tente de reconstituer les parties manquantes du puzzle, lance des hypothèses, voire privilégie une interprétation, risque des scénarios. Tout en mesurant la part de danger que comporte cette solution, cette part de récit, en ayant bien pris soin de s'entourer au maximum des sciences humaines et naturelles qui peuvent à la fois documenter et servir de garde-fou, je pense que cette voie est la seule qui vaille. »

Nous ne pouvons qu'être d'accord avec le constat que fait Philippe Boissinot avec ses trois propositions ainsi qu'avec le choix de Jean Guilaine de construction du discours archéologique à partir de l'état des connaissances, car c'est le fondement de la pratique archéologique. Cependant, il est aussi envisageable de traiter l'examen des possibles (2) par des modèles fondés sur les données rigoureusement analysées en l'état des connaissances (3). La modélisation permet ainsi de valider l'une ou autre des hypothèses ou simplement d'en éliminer certaines. Il est toujours étonnant que la démarche scientifique faisant appel à la modélisation soit toujours aussi absente de la description de l'archéologie. Est-il si compliqué pour un archéologue de présenter les données mises au jour le plus objectivement possible, c'est-à-dire en l'état des connaissances ; puis les interprétations univoques

sur lesquelles l'expertise de l'archéologue ne fait aucun doute (des faits établis en quelque sorte), ensuite de proposer des modèles sur cette base robuste pour valider ou invalider des hypothèses et construire un discours scientifique. En d'autres termes, cela revient à consolider par une démarche rigoureuse la manière de combler les lacunes inhérentes aux données archéologiques. Une démarche processuelle n'est pas antinomique avec l'interprétation des données fondées sur les connaissances des autres sciences sociales. Les géographes modélisateurs en ont fait la preuve et transmettent leur méthodologie à de petits groupes d'archéologues motivés par une interdisciplinarité qui ne fait d'aucune des disciplines l'auxiliaire d'une autre. Les travaux archéologiques qui font appel à la modélisation, voire à la simulation, ont encore peu d'écho en France. Ils constituent pourtant de fabuleux outils de compréhension des sociétés du passé par la mise en œuvre de leurs traces matérielles aux échelles des sociétés plutôt qu'à celles des traces elles-mêmes.

1.3. LA DEMATERIALISATION DE L'ENREGISTREMENT ARCHEOLOGIQUE

1.3.1. CONSTITUER LA DOCUMENTATION

L'ambition de la base de données ou du système d'information universel reste un leurre malgré ses résurgences régulières au gré des innovations informatiques et des modes qui les accompagnent. De même, l'enregistrement exhaustif et objectif lors d'une fouille archéologique demeure une parfaite utopie (FERDIERE 1989 : 299) quel que soit le progrès des méthodes employées. Cependant, la mise à disposition d'une documentation archéologique ordonnée devient, dans une certaine mesure, un objectif atteignable sous réserve d'un travail considérable, en amont, de structuration de l'information d'une part, de classification et d'analyse des données elles-mêmes d'autre part.

Paradoxalement, au moment où l'on approche des possibilités de partage et d'interrogation des données à grande échelle grâce aux solutions d'interopérabilités entre les systèmes d'information, la croissance exponentielle des données primaires, acquises par l'archéologie préventive, est issue d'une suractivité qui ne laisse pas le temps de la classification et de l'analyse nécessaire pour ordonner l'information. La puissance des outils se retrouve finalement inopérante face à une information sémantique trop souvent indigente.

La relation d'un système d'enregistrement comprenant toute la documentation et d'un SIG aboutit à un système d'information archéologique. L'utilisation de ce terme est encore relativement peu employée à cause de l'assimilation des systèmes (d'enregistrement, d'information spatiale, d'information archéologique) à des outils informatiques clé en main comme autant d'applications-métier. Or, il existe en effet peu de systèmes d'information archéologique intégrant l'ensemble des données et des processus de traitements. Cela renvoie à la normalisation des procédures qui est loin d'être effective dans une discipline encore jeune si l'on considère que les méthodes de fouilles stratigraphiques en aire ouverte prennent corps à Winchester au milieu des années 1960. Le risque d'une homogénéisation serait d'amener à une pratique standardisée, ne laissant plus la place aux doutes et aux choix de l'archéologue. À l'extrême inverse, cette confusion entre outils et système sert encore trop souvent d'argument autoritaire pour refuser en bloc toute tentative de formalisation et de dématérialisation des processus, cantonnant ainsi l'archéologie à une pratique sans doute plus poétique mais assurément insuffisamment robuste pour relever d'une approche scientifique revendiquée et pas seulement érudite.

« Ce qui ressemble au premier abord à une science normale (au sens de Kuhn) en plein essor, au socle consensuel bien établi, fait cependant l'objet de critiques de plus en plus approfondies, parfois de désillusions, qui méritent d'être discutés. Il est indéniable qu'au-delà d'une certaine virtuosité technique dans la réalisation de fouilles, dans le traitement des collections également, se pose la question du statut scientifique des interprétations

proposées, qui peuvent parfois se ramener à de mauvaise littérature, véhiculant une imagination conditionnée. » (BOISSINOT 2011 : 9).

1.3.2. INFORMATIQUE ET SYSTEME D'INFORMATION

Il n'est plus possible aujourd'hui de maîtriser l'ensemble des opérations effectuées par un programme informatique comme lorsqu'il s'agissait d'écrire un programme pour des cartes perforées ou dans un langage basique (n'en déplaie aux nostalgiques qui ont connu les débuts de l'informatique appliquée à l'archéologie). L'échelle des processus a changé et l'enchaînement des opérations passe par l'ajustement de briques-logiciel effectuant chacune des séries d'opérations complexes qu'aucun esprit humain ne peut prétendre maîtriser dans leur ensemble. L'échelle du raisonnement doit donc être hissée à ce niveau, comme un métaraisonnement. Il s'agit quasiment d'un changement de paradigme dans les protocoles de raisonnement eux-mêmes et en tout cas d'un réel changement de pratique. D'où l'importance de modélisation conceptuelle des processus de raisonnement qui amènent à l'interprétation ([56] RODIER et SALIGNY 2011 ; Annexe 2).

La question de la constitution de système d'information archéologique n'est pas nouvelle et renvoie à la formalisation des modalités de construction des connaissances. Là encore, la position disciplinaire des archéologues est paradoxale : à la rigueur de la constitution des inventaires de données et de la construction des classifications et des typologies, s'oppose l'élaboration empirique des bases de données informatisées. Il est en effet difficile de comprendre pourquoi ces mêmes chercheurs, capables de constituer de véritables systèmes d'information manuels comme les systèmes d'enregistrement de terrain ou les inventaires de mobilier par exemple, ont le plus souvent appréhendé l'informatique par des outils les plus simplifiés, laissant complètement de côté la modélisation conceptuelle pourtant nécessaire en amont. Je pense ici aux logiciels du début des années 1990 dont la communauté archéologique s'est largement emparée pour créer des bases de données non pas à partir de leur structure mais du masque de saisie ou de visualisation des données. De nombreux travaux dans les années 1970-1980, avec des interfaces informatiques moins conviviales, avaient pourtant donné lieu à des systèmes structurés. Les publications du Centre de recherche archéologique (CRA-CNRS) à Valbonne en témoignent. Ainsi, quelques équipes, dont celles de Tours, ont ensuite œuvré dans le sillage des travaux de Jean-Claude Gardin en informatique et de ceux qui relèvent de l'archéologie processuelle.

S'engager dans la formalisation des modes de construction de la connaissance archéologique afin d'élaborer des modèle de données pour les implémenter dans des systèmes informatiques soulève immédiatement de nombreuses questions sur l'intérêt et la finalité de la démarche elle-même. Cependant ces questions ne sont pas neuves et ont été posés clairement par Jean-Claude Gardin à propos de ce qu'il appelle les organisations logico-sémantiques (OLS) : « jusqu'où faut-il s'engager dans l'élucidation des OLS qui sous-tendent et déterminent les constructions archéologiques ? Dans quelle mesure cet effort contribue-t-il à donner à celles-ci un caractère plus "scientifique" ? D'une manière plus générale, quelle est la place des OLS dans le mouvement de l'archéologie vers une formalisation accrue de ses constructions ? » (GARDIN 1979 : 203). Il pense que la formalisation des constructions archéologique se résume à de plus simples schématisations : « En d'autre termes, l'on risque de se trouver ramené de proche en proche à la première voie, celle de l'élucidation des OLS [organisation logico-sémantique] idiosyncrasiques et changeantes qui fondent non pas les processus cognitifs en général, mais un nombre ridiculement faible de constructions particulières à une discipline, à une école, voire à une personne seule. La " formalisation" des constructions explicatives de l'archéologie ne saurait donc signifier, selon moi, dans l'état présent de nos connaissances en matière d'intelligence artificielle, que la multiplication d'exercices de cette nature, fort éloignés des ambitions plus vastes que ce mot peut, ou mieux, *doit* suggérer, s'il est pris sérieusement. Aussi, me rangerais-je à l'avis du

logicien J.-B. Grize, déjà cité, qui propose de distinguer les *formalisations* au sens strict, où les modèles sont de véritables systèmes formels, tributaires à un titre ou à un autre de la logique mathématique, et les *schématisations*, à savoir " des modèles engendrés par un discours tenu dans une langue naturelle". » (GARDIN 1979 : 209-210).

Cette distinction entre formalisation et schématisation est toujours d'actualité pour l'essentiel de la production archéologique, du moins celle où un tel effort est mené, et la schématisation reste une étape préalable nécessaire (GARDIN 1979 : 211-212). Aujourd'hui, la progression de l'intelligence artificielle et la disponibilité d'outils informatiques toujours plus puissants, couplées à l'intégration dans les démarches archéologiques de modèles issus d'autres disciplines (statistique, analyse spatiale...) permettent de proposer des formalisations de plus en plus rigoureuses des processus de recherche établis le plus souvent dans des programmes collectifs interdisciplinaires. Il me semble donc maintenant non seulement possible mais indispensable de faire tendre l'archéologie vers une formalisation plus stricte de ses constructions et de ses paradigmes. Les travaux menés à l'aide d'outils comme les SIG ont par exemple donné lieu à des modèles formalisés qui permettent une discussion d'égal à égal avec d'autres disciplines, ce qui n'était pas assuré tant que la démonstration n'atteignait pas la robustesse attendu, j'y reviendrai dans la troisième partie à propos de modélisation. Les discours incantatoires sur la spécificité (cf. 1.2.5.) de l'archéologie sont contre-productifs, tant que l'on est incapable de les fonder sur des paradigmes disciplinaires formalisés. « L'introduction des nouvelles technologies de l'information dans nos domaines conduit à donner le plus grand poids à des questions fondamentales qui n'ont rien à voir avec l'informatique, et dont peut-être on s'étonnera un jour qu'il ait fallu attendre l'ordinateur pour que nous nous les posions » (GARDIN 1990).

1.4. ARCHIVES DE FOUILLE, ARCHIVES DU SOL

L'acte de fouille est irréversible. Quelle autre discipline que l'archéologie détruit son objet d'étude en l'observant sans aucun moyen de renouveler l'expérience ? Cela confère le statut de données primaires à la documentation produite lors de la fouille. En outre, l'archéologue prend une lourde responsabilité lorsqu'il procède à l'enregistrement des données de terrain.

Cette particularité a donné lieu à de nombreux débats sur les méthodes et les systèmes d'enregistrement stratigraphique depuis leur introduction en France à la fin des années 1960. L'expression de ces débats se retrouve en partie dans les actes de la table ronde sur l'enregistrement des données de fouilles urbaines tenue au Cnau en 1986 (RANDOIN 1987). L'enregistrement stratigraphique, par son caractère analytique - contrairement à la prise de note continue dans le carnet de fouille de l'archéologue - se prête aisément à la répartition des informations dans des rubriques sur des fiches. La conversion de ses fiches en base de données informatisée a ensuite coulé de source, dès l'apparition de la micro-informatique dans les années 1980. L'informatisation de ces systèmes a été l'occasion de prolonger les débats et surtout a donné lieu à une multitude d'outils. Un premier bilan confrontant ses expériences a été dressé lors de la table ronde tenue au Cnau en 1985 (RANDOIN 1986). Les principaux systèmes sont ceux développés par des équipes œuvrant sur des programmes archéologiques de longue haleine (Chartres, Lattes, le Grand Louvre, Lyon, Tours...). En 1988, un appel d'offre institutionnel (ministères de la Culture, de la Recherche et l'Enseignement supérieur) sur l'informatisation des archives de fouille a donné une impulsion dont les deux systèmes les plus répandus en France sont issus : ArcheoData (ARROYO-BISHOP et LANDATA ZARZOZA 1990) et Syslat (PY 1997). Dans les années 1990, la diffusion de micro-ordinateurs de plus en plus puissants, associée à l'élargissement de l'offre logicielle, ont donné lieu à la multiplication des systèmes locaux selon les sites et les équipes. La table ronde que j'ai co-organisée avec Philippe Husi au LAT en mars 2015, montre qu'avec des moyens informatiques toujours plus puissants les points fondamentaux du débat

restent des questions d'une cruelle actualité. En trente ans, du milieu des années 1980 à aujourd'hui, je retiens trois éléments de ce vaste débat :

- La transformation de l'enregistrement stratigraphique sous forme de fiches prétendant le rationaliser par des listes à choix multiples a constituée, avant même l'informatisation, une dérive en appauvrissant le raisonnement par une tendance à la pré-interprétation ;
- L'informatisation des systèmes d'enregistrement est majoritairement fondée sur ces systèmes rationalisés accentue le phénomène tout en renforçant l'idée qu'il ne peut y avoir de systèmes partagés. En effet, plus les entrées des fiches d'enregistrement sont formatées, moins elles répondent au cas particulier ;
- Les principes de l'enregistrement stratigraphique constituent le minimum commun sur lequel tout le monde s'accorde (DESACHY 2005 a : 83). Ce socle, dès lors qu'il est inclus dans un système d'enregistrement, est nécessaire et suffisant pour permettre l'interopérabilité des systèmes via leur méta-interrogation par des ontologies (cf. 1.5.).

Le système ArSol ([18] GALINIE *et al.* 2005 ; [40] HUSI et RODIER 2008 ; Annexe 7), pour Archive du Sol, est développé par le Laboratoire Archéologie et Territoires pour l'exploitation des données des fouilles conduites par ses membres. Il est également utilisé pour d'autres fouilles et par d'autres opérateurs comme l'Inrap ou des services de collectivités territoriales. Il est constitué de deux modules : Archives de fouilles pour la stratigraphie et BaDoC pour la céramique. ArSol est conçu pour la gestion et le traitement des données stratigraphiques et mobilières dans l'optique d'une analyse des sites fouillés et leur spatialisation.

Le module stratigraphique a été élaboré en 1990 pour la fouille du centre paroissial médiéval de Rigny (Indre-et-Loire) (ZADORA-RIO 1994). Je l'ai ensuite adapté pour les fouilles de Tours d'abord en dupliquant la base de données pour chaque opération, puis en intégrant l'ensemble pour arriver à un système multi-site. ArSol a également été utilisé à Chinon (LORANS 2006 : 16-17), par l'AFAN puis l'Inrap à Tours et Poitiers, par le Conseil général d'Indre-et-Loire à Chinon, par la Communauté d'agglomération Bourges Plus... Le système développé en 1990 à l'origine d'ArSol, s'inscrit dans la lignée de la multiplication des outils propres à chaque équipe. Cependant, il se justifie par les choix qui ont présidé à sa logique d'organisation en regard des deux premiers éléments du débat, le troisième étant plus récent. Premièrement, ArSol est l'informatisation du système d'enregistrement stratigraphique manuel utilisé depuis 1969 pour les fouilles de Tours (GALINIE 1980 ; GALINIE 2013). Il est fondé sur les pratiques de terrain mises au point dans les années 1960, en Grande-Bretagne, notamment par Philip Barker dans ses fouilles de Wroxeter et de Hen Domen et par Martin et Birthe Biddle pour les fouilles urbaines de Winchester (GALINIE 2013 : 2). Tout en systématisant le caractère analytique de l'enregistrement stratigraphique, ni les fiches sur papier, ni leur informatisation dans ArSol n'ont succombé aux attraites d'une trop forte rationalisation. Deuxièmement, ArSol est construit comme un système ouvert, c'est-à-dire modulable et surtout non contraint par des thésaurus intégrés. Les listes de vocabulaire pour décrire le mobilier ou les Faits par exemple, sont constituées au fur et à mesure de l'utilisation du système, selon les besoins propres à la nature des sites fouillés.

À l'origine, la différence essentielle avec les autres systèmes existant est le choix de construire un outil d'aide à la recherche fondée sur une utilisation de l'informatique pour l'amélioration de procédés plutôt que d'un outil de gestion de l'enregistrement s'attachant à rationaliser les pratiques avec une tendance à l'automatisation. Cette orientation fondée sur des objectifs différents constitue une distinction tenace pour les développements suivants de chacun des systèmes.

ArSol peut être utilisé pour toute fouille stratigraphique. Il a été progressivement intégré à partir de 1998 à la chaîne de traitement de l'information graphique que j'ai mise au point sur la fouille de Rigny

et qui consiste à associer les relevés numériques de terrain aux données stratigraphiques dans un Système d'Information Géographique. Ce système permet d'une part la gestion des données de terrain et leur exploitation post-fouille (analyse stratigraphique et spatiale) et d'autre part l'intégration des données utiles à des échelles plus petites dans d'autres systèmes d'information. Par exemple, les données des fouilles de Tours sont intégrées dans ToToPi, Système d'Information Géographique pour l'étude de la Topographie historique de Tours Préindustriel ([28] RODIER 2000 ;[25] GALINIE et RODIER 2002 ; Annexe 6). À l'échelle de la fouille, cela permet notamment de consulter l'ensemble de l'information à partir des données planimétriques, de constituer automatiquement des plans selon les découpages chronologiques inclus dans la base stratigraphique, ou encore de cartographier des répartitions de mobilier.

La base de données céramiques, réalisée par Philippe Husi à partir de 1991 pour la céramique de la ville de Tours, permet de traiter les données de toute fouille stratigraphique, quels que soient le faciès typologique et la chronologie du site. Ce système a une vocation de gestion de la céramique mais surtout de recherche, puisque les principaux développements concernent la typologie, la quantification et la datation à l'échelle du site, de la ville ou plus largement de tous les niveaux de regroupement possibles. ArSol est le seul système, à ma connaissance, à proposer le calcul à la volée du nombre minimum d'individu (NMI) selon l'échelle d'analyse choisie ([40] HUSI et RODIER 2008 ; Annexe 7). L'interface de cette base est suffisamment aboutie pour que des céramologues peu experts en informatique puissent assez rapidement s'en servir. Cet outil a été utilisé pour toutes les études céramologiques du Laboratoire Archéologie et Territoires, y compris dans le cadre de diplômes universitaires (masters et thèses).

Dès 1990, Élisabeth Zadora-Rio a intégré au système une fonction d'analyse des relations stratigraphiques enregistrées et de détection des erreurs logiques. Les recherches sur l'informatisation des diagrammes stratigraphiques ont donné lieu à la disponibilité aujourd'hui de trois principaux systèmes : Arched, initié en Allemagne puis développé la faculté d'informatique de l'université de Vienne (<https://www.ac.tuwien.ac.at/files/archive/ArchEd/>) ; Stratify, développé par Irmela Hertzog à Bonn (www.stratify.org) ; Intrasis, qui est le seul système d'information archéologique intégré développé en Suède (<http://www.intrasis.com/>). En France, seul Bruno Desachy a développé une solution d'automatisation du traitement des relations stratigraphiques pour la constitution des diagrammes à partir d'un algorithme publié en 1990 (DESACHY et DJINDJIAN 1990). En collaboration avec Bruno Desachy, nous avons intégré dans ArSol les procédures de traitement des données stratigraphiques qu'il a développé pour *Le stratifiant* (DESACHY 2005 a ; DESACHY 2005 b ; DESACHY *et al.* 2005 c ; DESACHY 2012). Toutefois, nos choix sont plus restrictifs sur l'automatisation, en particulier sur l'insertion de datation dans le diagramme, conformément à la ligne directrice pour ArSol qui consiste à toujours renvoyer le choix interprétatif à la responsabilité de l'archéologue. Il n'y a, par exemple, pas de dates fournies par la céramique dans ArSol mais une fiche livrant les informations à interpréter par l'archéologue. Il s'agit d'un outil d'aide à la datation développé par Philippe Husi qui fournit la fourchette chronologique selon le niveau de regroupement interrogé (Fig. 10).

Datation du contexte : **AA000093**
Cet outil est une aide à la datation.

La datation du contexte est proposée par l'archéologue à partir des informations suivantes :
Fourchette chronologique de l'Ensemble : estimation modèle statistique
Borne inférieure 0 - Borne supérieure 0

FOURCHETTE CHRONOLOGIQUE DURANT LAQUELLE TOUS LES GROUPES TECHNIQUES PEUVENT EXISTER
1162 - 1266

EFFECTIF TOTAL DE LA SELECTION (EN NMI)

LE (OU LES) GROUPE(S) TECHNIQUE(S) DONT L'EFFECTIF EST LE PLUS IMPORTANT (en NMI)

Groupe Technique	data inf	data sup	effectif
to8f	1085	1189	10

LE (OU LES) GROUPE(S) TECHNIQUE(S) LE PLUS RECENT, POSTERIEUR A LA FOURCHETTE CHRONOLOGIQUE (en NMI)

Groupe Technique	Nbre	data inf	data sup
to1g	1	1332	1429

Matériel intrusif/à la fourchette chronologique estimée
effectif en NMI 1 - % / à l'effectif total des NMI 1,1

Matériel redéposé/à la fourchette chronologique estimée (que sur redep ; pas GR)
effectif en NMI 42 - % / à l'effectif total des NMI 47,7

Totalité du matériel redéposé en NMI (redep +GR)
effectif en NMI 42 - % / à l'effectif total des NMI 47,7

Totalité du matériel redéposé en NR (redep + GR)
effectif en NR 0 - % / à l'effectif total

Pour les médiévistes : matériel redéposé Gallo-Romain (en NMI)
effectif en NMI 0 % / à l'effectif total des NMI 0

Pour les médiévistes : matériel redéposé Gallo-Romain (en NR)
effectif en NR 0 - % / à l'effectif total

Fig. 10 : Fiche d'aide à la datation développée par Philippe Husi dans ArSol ([40] HUSI et RODIER 2008 ; Annexe 7).

L'interrogation des données à différentes échelles d'analyse est possible par le choix laissé à l'archéologue du nombre de niveaux de regroupement de l'information stratigraphique qu'il souhaite mettre en œuvre. Celui-ci pouvant différer selon la complexité de la stratigraphie, la nature de la fouille et le mode d'intervention (préventif/programmé). À la traditionnelle succession US/séquences/Phases/Périodes, nous avons substitué quatre niveaux, correspondant à la démarche inductive (cf. 1.2.1.), Unités Stratigraphiques/Séquences/Agrégations/Ensembles, afin de réserver la périodisation et sa subdivision en phases à la démarche hypothético-déductive (cf. 1.2.1.). US, séquences, agrégations et ensembles sont des niveaux de regroupement stricts, fonctionnant comme des poupées gigognes. La séquence reste définie comme le regroupement d'unités stratigraphiques relevant d'une même opération (niveau d'occupation, utilisation d'un foyer, rejet de déchets...). L'agrégation consiste à regrouper des séquences selon la même logique à un niveau de compréhension plus abouti. L'agrégation correspond donc à plusieurs opérations relevant d'une activité commune (occupation, construction...). L'ensemble procède d'une logique à la fois fonctionnelle et spatiale permettant d'étendre le regroupement à des activités du même registre et/ou spatialement cohérentes. La frontière entre séquence, agrégation et ensemble est volontairement souple afin d'une part de faciliter la manipulation des données en choisissant le nombre de niveaux de regroupements nécessaire, d'autre part en laissant la possibilité d'associer les éléments de datation issue du mobilier à l'un ou l'autre des niveaux. Le découpage en périodes correspond à une autre logique qui mobilise toutes les informations disponibles pour l'interprétation du site et n'est pas uniquement issue de regroupements successifs des unités élémentaires. Il s'agit de décrire les grandes périodes reconnues d'occupation du site. Sa subdivision en phases relève de la même logique et permet de faire le lien avec les ensembles stratigraphiques.

ArSol
Archives du Sol - © 1996 - 2014 UMR 7324 CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires

RECHERCHE
CONSULTATION + TRAVERSAPHIQUE

+ Recherche

+ Résultats

Tours_site 3 - Château de Tours

Mur 1 [Retour à la Fiche du Départ](#)

Zone :	0	LargeurCM :	0
Secteur :	5	LongeurCM :	0
Partie Mur :	élévation	Structure Num :	0
Matériau :		Etat :	0
Technique de Construction :			

Matériau :
Partie Mur:élévation
Technique de Construction:

17 PHOTOS

4 DESSINS

Fig. 11 : Interface web d'ArSol.

Les solutions informatiques choisies s'appuient sur les logiciels commerciaux utilisés dès le début du développement en 1990. L'emploi de solutions libres n'était alors pas d'actualité en particulier en archéologie. Les logiciels utilisés sont 4D, comme SGBD, et ArcGis, comme SIG, la communication entre les deux étant assurée par une interface ODBC (*Open DataBase Connectivity*). Si ArcGis est bien connu, 4D l'est moins. Il s'agit d'un SGBD robuste permettant de gérer des structures complexes et possédant un langage de développement. Il offre plusieurs niveaux d'accès selon les compétences de l'utilisateur : interface personnalisée, utilisation avancée, programmation/développement. Il permet de déployer une application client/serveur et multi-plates-formes et de l'ouvrir sur internet.

Le développement d'ArSol est continu depuis son origine. C'est aujourd'hui une application client-serveur hébergée à l'Université François-Rabelais (MSH Val-de-Loire, UMR 7324 CITERES-LAT). Son utilisation est possible sous plusieurs formes :

- en interne depuis le Laboratoire Archéologie et Territoires ;
- depuis l'extérieur, sur demande, avec un accès sécurisé pour une ou plusieurs opérations ;
- en version portable autonome (ArSol.exe), sur demande.
- en consultation libre pour les sites autorisés (<http://arsol.univ-tours.fr>)

La base ArSol est en effet accessible en ligne depuis juillet 2014 (Fig. 11). Il s'agit d'un accès aux données stratigraphiques et mobilières d'une partie des fouilles enregistrées dans ArSol. Seuls les sites pour lesquels les responsables ont accepté la publication des données sont accessibles. Le corpus de sites augmente au fur et à mesure de la vérification des données. La visite peut s'effectuer selon deux modes : un accès à partir de la stratigraphie du site ou une recherche multicritères permettant de d'interroger plusieurs sites à la fois.

La poursuite des travaux sur les archives de fouilles, dans le cadre de projets soutenus par la Région Centre-Val de Loire et la TGIR Huma-Num, a permis d'engager la numérisation des volumes d'enregistrement papier afin d'associer la documentation d'origine dans la base de données. ArSol fait actuellement l'objet de développement pour rendre la base interopérable avec d'autres systèmes partageant les principes minimums de l'enregistrement stratigraphique même si leur structure est différente. Enfin, le développement d'une interface pour tablette numérique de terrain est programmé à partir de l'automne 2015 pour aboutir à la dématérialisation complète de l'enregistrement dès la fouille.

1.5. LE WEB DES DONNEES

L'avènement des Digital Humanities auquel on assiste, va de pair avec l'augmentation exponentielle de la documentation numérique dans toutes les disciplines des SHS. En archéologie, Il existe autant de bases de données qu'il existe d'équipes d'archéologues, voire plus. Les logiciels et les structurations sont extrêmement hétérogènes mais, une fois abandonné le débat stérile sur la possibilité de faire adopter par la communauté des archéologues un système unique, capable de répondre à toutes les situations, il faut mettre en place des solutions d'interopérabilité pour interroger les données. Les ontologies, en proposant une structuration globale par grand domaine (BACHIMONT 2000), permettent de faire communiquer des corpus hétérogènes. La publication des systèmes d'information dans le web des données constitue l'aboutissement de la démarche qui offrira l'interconnexion des données. Là encore, en archéologie ainsi que dans l'ensemble des SHS, les ontologies et le web apparaissent comme le nouvel Eldorado qui va permettre de pallier les lacunes de structuration en mettant en relation toutes les données entre elles, comme par magie. Notre approche, plus besogneuse, consiste à concevoir un outil d'interrogation des bases de données existantes sans les modifier via une ontologie avec laquelle il convient de les mettre en correspondance (LE BOEUF 2009 ; LE BOEUF 2012).

Le Consortium MASA (« Mémoire des Archéologues et des Sites Archéologiques »), labellisé par la TGIR Huma-Num, réunit plusieurs acteurs de la recherche archéologique française et a pour mission, entre autres, de proposer des solutions pour pérenniser et homogénéiser l'information archéologique. Au sein de ce consortium, nous travaillons avec Olivier Marlet au LAT sur l'interopérabilité des données archéologiques à partir d'ArSol.

L'objectif est de mettre en place un accès unifié à des corpus numérisés en utilisant des procédures et des outils communs. Pour partager les données, sans modifier le système d'origine, et pour permettre leur interrogation, il est nécessaire de s'affranchir à la fois du logiciel, de la structure, du vocabulaire, de l'accessibilité et de la langue (ECKKRAMMER, FELDBACHER et ECKKRAMMER 2011 : 154). L'utilisation de l'ontologie du CIDOC-CRM (<http://www.cidoc-crm.org/>), norme internationale (ISO 21127:2006) en matière de structuration des données numériques pour le patrimoine culturel, s'est donc imposée comme étant le modèle le plus complet pouvant constituer un point de concordance entre diverses

bases de données archéologiques (DOERR 2003 ; LOURDI et PAPTHEODOROU 2009 ; DENTAMARO *et al.* 2007 ; JORDAL, ULEBERG et HAUGE 2012 ; KUMMER 2010). L'ontologie est utilisée comme une surcouche de description consensuelle par laquelle peut passer l'interrogation, ce qui permet de communiquer avec chaque base de données moyennant un système d'équivalences, ou « *mapping* ». Le principe est de faire correspondre les entités de l'ontologie avec les champs de la base de données (ANDREUSSI et FELICETTI 2008). Le fait de passer par la modélisation d'une ontologie permet de s'affranchir à la fois du logiciel du système de gestion de base de données, de la structure propre à la base de données source.

Pour ArSol, la première étape du *mapping* a consisté à sélectionner les tables contenant les informations élémentaires et communes à toute fouille archéologique : les Faits et le mobilier ([34] LE GOFF *et al.* 2014 ; Annexe 8). Le *mapping* de la table FAIT et de la table MOBILIER vers le CIDOC-CRM offrira un accès aux données de terrain des sites fouillés enregistrés dans ArSol (datation et documentation comprises). Il a ensuite fallu s'approprier le modèle global de l'ontologie (SZABADOS et LETRICOT 2012) pour déterminer quelle est l'entité qui correspond le plus précisément au champ de la base de données. Une ontologie est un réseau sémantique, un graphe, qui met en relation les entités conceptuelles décrivant un domaine, leur relation et la nature de ces relations. Il convient alors de construire l'arborescence complète permettant de mettre en relation l'entité choisie au sein du modèle ontologique avec le contenu précis que l'on souhaite mettre en correspondance dans la base de données, en précisant toutes les propriétés et entités intermédiaires. Enfin, la dernière étape est l'écriture de l'ensemble de cette arborescence sous la forme de triplets RDF (*Resource Description Framework*). Le RDF est un modèle de graphe qui permet de décrire formellement le contenu du web et le traitement automatique de ces descriptions. Les triplets RDF qui structurent un document sont des associations « sujet-prédicat-objet ». Le sujet correspond au contenu, ou la ressource, initial ; le prédicat est le type de propriété appliqué ; l'objet est la valeur de la propriété, c'est-à-dire une donnée ou une autre ressource. Pour décrire le *mapping* de la base de données sur l'ontologie, le triplet « sujet-prédicat-objet » devient alors « Entité source-Propriété-Entité cible ». L'entité cible de la fin d'une arborescence constitue le renvoi au champ ciblé de la base de données. L'ensemble du fichier organisant tous ces triplets constitue le fichier de *mapping* permettant de connecter sémantiquement l'ontologie à une base de données. Bien entendu, pour chaque base de données avec une structure spécifique, il faut faire un *mapping* différent. Le *mapping* est la clé de correspondance pour faire communiquer l'ontologie avec la base de données.

La collaboration avec Béatrice Bouchou-Markhoff du Laboratoire d'informatique de l'Université de Tours, nous a permis d'appréhender les principes des systèmes OBDA (Ontology Based Data Access), récemment introduit dans le cadre du web sémantique. L'OBDA propose de fournir l'accès à une ou plusieurs sources de données à travers une ontologie qui sert alors de médiateur entre l'utilisateur et les données. Grâce à cette couche OBDA, l'ontologie devient le point d'accès pour interroger les données, tout en laissant l'information dans les bases de données qu'utilisent les chercheurs. Un système OBDA se compose : d'une ontologie (niveau sémantique), des sources de données diverses (dans notre cas, ArSol), d'un jeu de *mapping* exprimant les relations entre les données de la source et l'ontologie, et d'une couche applicative pour manipuler et interroger le système. Nous avons choisi d'utiliser *ontop*, la solution développée par l'équipe du Professeur Calvanese à l'Université de Bozen-Bolzano (Italie) avec laquelle une collaboration s'est engagée (RODRIGUEZ-MURO et CALVANESE 2009; RODRIGUEZ-MURO, KONTCHAKOV et ZAKHARYASCHEV 2013 a ; RODRIGUEZ-MURO, KONTCHAKOV et ZAKHARYASCHEV 2013 b). *Ontop* se présente comme une extension de Protégé (logiciel libre dédié aux ontologies développé par l'université de Stanford), développée en langage Java et permettant d'abord de spécifier les correspondances entre l'ontologie et la base de données, pour ensuite permettre d'évaluer des requêtes sur l'ontologie dont les résultats sont recherchés dans la base de données. Le langage de requête SPAQL (*SPARQL Protocol and RDF Query Language*) permet d'accéder aux données du web en interrogeant des données RDF, à l'instar du SQL (*Structured query language*) qui permet

d'interroger les bases de données. L'interface utilisateur intégrée à Protégé, dans lequel l'ontologie est chargée sous la forme d'un fichier XML-OWL (McGUINNESS et VAN HARMELEN 2004), aide à réaliser le fichier OBDA contenant les déclarations de correspondances entre l'ontologie et la source de données. Un « point d'accès SPARQL » (*SPARQL Endpoint*) est enfin nécessaire pour pouvoir offrir une interrogation en ligne utilisable par des applications (*Web service*) (Fig. 12).

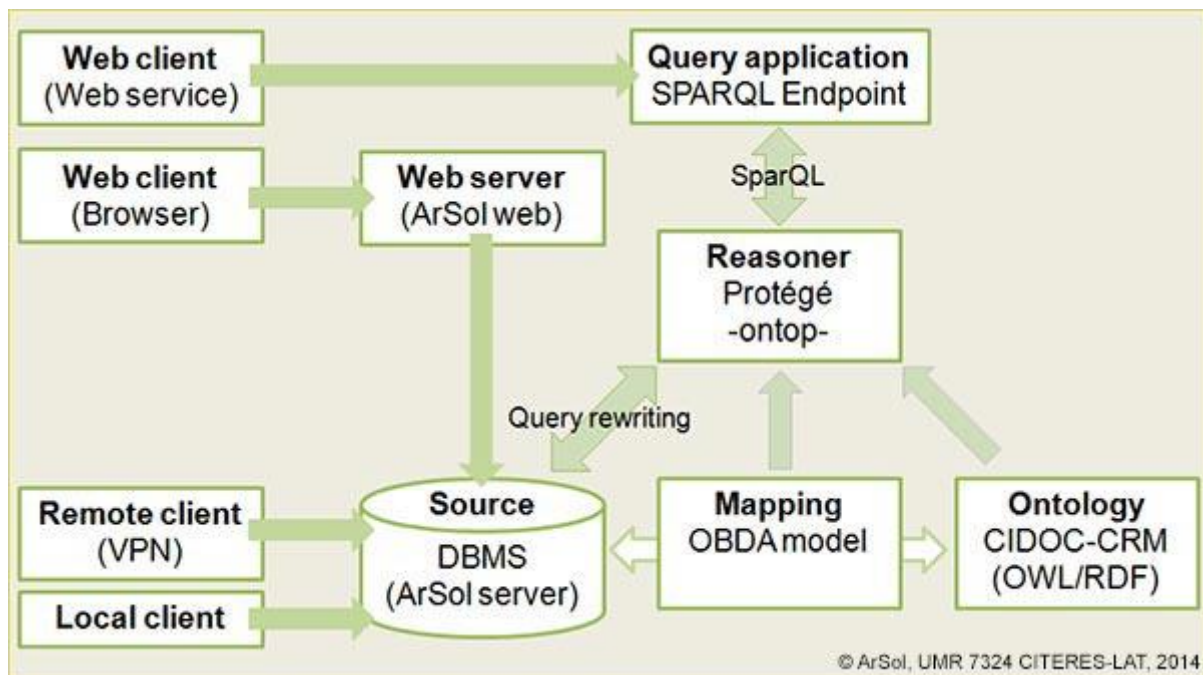


Fig. 12 : Principe de fonctionnement d'ArSol avec sa version Web et l'interrogation via le CIDOC CRM ([34] Le Goff et al. 2014 ; Annexe 8).

Les premiers essais avec ArSol ont été un peu laborieux avant de donner des résultats satisfaisants. Il est maintenant nécessaire d'élargir le nombre de nos sources de données afin de donner tout son sens à l'interopérabilité. Pour cela, nous allons suivre la même démarche avec d'autres bases de données archéologiques. La seule contrainte est que ces bases contiennent la description d'entités équivalentes, Fait et Mobilier constituant tout de même un point de convergence, et qu'elles puissent être ouvertes sur le web. La méthodologie mise en œuvre pour Arsol est exploitable pour d'autres bases. Le *mapping* sera bien sûr différent mais le fait de rattacher chaque champ de la structure d'une base à une entité ou à une propriété de l'ontologie permet de se référer à une structure commune avec un vocabulaire unique (en anglais, donc indépendant de la langue d'origine).

Le point d'accès SPARQL est indispensable pour les applications (services web) qui interrogeront ArSol, répondant ainsi à l'objectif d'interopérabilité via la publication dans le web sémantique. L'objectif du web sémantique étant de permettre la lecture du contenu du web à la fois par des humains et par les machines elles-mêmes en assurant l'interconnexion des sources d'informations préalablement structurées. Nos efforts vont maintenant porter sur les interactions homme-machine pour permettre aux humains de bénéficier de cette interopérabilité en accédant à ce niveau sémantique via une interface adaptée. Nous développerons donc une application gérant des interfaces web pour les utilisateurs, application qui utilisera le point d'accès SPARQL. L'objectif est de permettre à un utilisateur d'interroger n'importe quelle base de données, publiée sur le web, sans se soucier du logiciel ni de la structure d'origine : l'interrogation se fait via l'ontologie, puis un moteur retranscrit la requête pour la base de données-cible en utilisant le fichier de *mapping*, enfin les résultats sont renvoyés à l'utilisateur en respectant la structure de l'ontologie. Avec ce procédé, il est donc possible d'interroger plusieurs bases en même temps, même si leurs formats natifs sont différents.

1.6. LA PUBLICATION ARCHEOLOGIQUE

L'informatisation des systèmes d'information archéologique, leur mise à disposition sur le web et leur interopérabilité prochaine dans le web des données, permet de repenser les modes de publication en archéologie. Si la nécessité de publier les données primaires à la suite des fouilles doit rester une priorité, les modalités de cette forme de publication sont à revoir. En effet, l'augmentation considérable du nombre d'opérations archéologiques depuis les années 1990 et les moyens sans équivalent mis à la disposition de l'archéologie préventive devraient donner lieu à beaucoup plus de publications. Cependant, même si, dans le meilleur des mondes, toutes les fouilles donnaient lieu à publication dans des délais raisonnables, il serait impossible de maîtriser l'ensemble de ces publications à ce niveau de détail pour en tirer des synthèses. C'est donc l'approche même des modalités de mise à disposition des corpus de données primaires qu'il faut repenser. L'examen de la forme de l'offre de publication archéologique française amène à un constat assez négatif pour des travaux de qualité. Il existe cependant des exemples qui montrent la pertinence de nouveaux modes de publication. Malheureusement la proposition soumise aux revues interrégionales d'archéologie a subi un refus généralisé.

1.6.1. ÉTAT DE LA PUBLICATION ARCHEOLOGIQUE FRANÇAISE

Le ministère de la Culture et de la Communication et le CNRS reconnaissent et soutiennent huit revues interrégionales d'archéologie : *Aquitania*, *Archéologie du Midi Médiéval*, *Documents d'Archéologie Méridionale*, *Revue Archéologique de l'Est*, *Revue Archéologique de l'Ouest*, *Revue Archéologique de Narbonnaise*, *Revue Archéologique du Centre de la France*, *Revue du Nord*. Leur vocation est la publication des données primaires, chacune dans l'aire géographique qu'elle couvre. D'autres revues nationales dont la vocation est de publier des travaux plus synthétiques sont divisées chronologiquement : *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, *Gallia*, *Revue Archéologique*, *Archéologie médiévale*. La communauté des archéomètres publie *Archéosciences revue d'archéométrie*, plus transversale mais thématique. Ces revues, nationales et régionales, ont à peu près toutes des collections de suppléments pour publier des monographies. La collection des Documents d'archéologie française a pour mission de publier les résultats scientifiques des recherches archéologiques effectuées sur le territoire national. À cela s'ajoutent quelques publications via des presses universitaires et l'Inrap qui a créé ses propres collections. Je ne cite ni les éditeurs privés, ni les sociétés savantes de tous ordres qui publient soit des bulletins, soit des actes de rencontres régulières.

Si les archéologues français connaissent à peu près ce paysage, il semble difficile pour un collègue étranger de s'y retrouver. En outre, cette multitude de supports ne répond pas entièrement aux besoins. En effet, il est nécessaire pour l'archéologie française de publier également des articles de synthèse et de méthodes accessibles au niveau international en complément de l'indispensable publication des données nouvelles auprès de la communauté scientifique. Force est de constater que le spectre actuel des revues archéologiques françaises, qu'elles soient régionales ou nationales, ne répond pas aux niveaux de diffusion et d'évaluation nécessaires pour valider la qualité scientifique des travaux qui y sont publiés, selon les normes en vigueur dans la communauté scientifique.

L'état des revues interrégionales peut se résumer ainsi :

- La qualité des publications et le travail effectué par les comités de rédaction sont reconnus et soulignés par la communauté.
- Bon nombre de revues connaissent des difficultés financières.

- Les revues manquent de visibilité (nationale et internationale) et s'inscrivent mal, par définition (revues interrégionales), dans les différentes classifications de publications scientifiques.
- Les chercheurs, et plus particulièrement les jeunes chercheurs, ont besoin de publications reconnues pour leurs dossiers (concours, carrière).
- La publication dans ces revues manque de transversalité nationale (chronologique, thématique et méthodologique). Elles accueillent très peu d'articles méthodologiques et n'offrent pas, dans leur format actuel, de lieu de débat scientifique qui fait défaut. En outre, elles ne favorisent pas la publication de travaux issus d'autres disciplines.

Au-delà des questions strictement liées à l'édition, l'enjeu est d'assurer la visibilité internationale de la discipline. Les revues actuelles publient des travaux de qualité mais combien sont lus à l'étranger ? Combien d'articles d'auteurs étrangers sont-ils publiés dans nos revues ? Lorsque nous tentons d'internationaliser nos recherches ou de faire connaître les résultats de nos programmes recherches (ANR, Européens, APR régionaux, PCR, réseaux de nationaux...), nous publions dans des actes de colloques internationaux (et la France n'y est pas toujours bien représentée) ou des revues étrangères (*Antiquity*, *Medieval archaeology*, *JAS*,...). Les travaux transversaux promus par des programmes interdisciplinaires ne trouvent pas de supports adaptés. À l'occasion des rencontres de jeunes chercheurs sur la modélisation des dynamiques spatiales du GdR MoDyS, nous avons sélectionné les plus aboutis pour les amener à la publication. Plusieurs d'entre eux, y compris archéologiques, ont été publiés dans les revues de géographie *M@ppemonde* et *Cybergeog* (<http://isa.univ-tours.fr/modys/rencontre.php?year=2010>). Quelle revue française d'archéologie accepterait un article de géographe, par exemple, pour son intérêt méthodologique ?

1.6.2. UN PROJET AMBITIEUX

En 2012, le CNRS a mis un terme aux subventions qu'il accordait aux revues interrégionales d'archéologie tout en maintenant le personnel dont bénéficient certaines (1,66 ETP au total : *Aquitania*, 1 IE à 50% ; *RAE*, 1 AI à 50% ; *RAN*, 1 AI à 33% ; *DAM*, 1 AI à 33%). Les huit revues interrégionales reçoivent, par ailleurs, chacune une subvention de 10 000€ du ministère de la Culture. Comme responsable du laboratoire qui héberge la *RACF*, j'ai fait part à la direction de l'InSHS de mon inquiétude quant à la publication des résultats archéologiques et des données primaires qui relèvent de la responsabilité scientifique de la discipline, étant donné le rôle particulier et fondamental que jouent ces revues. La direction de l'InSHS a accueilli très favorablement ces remarques et a encouragé la réunion des responsables des revues pour leur exposer le projet. Le ministère de la Culture a également accepté de prendre part à cette discussion.

Face à cette situation nouvelle et au constat établi, j'ai pris l'initiative, avec le soutien de la direction scientifique de l'InSHS, de proposer aux responsables des revues de réfléchir à un projet fédérateur d'union des revues interrégionales d'archéologie dont les premiers avantages évidents seraient :

- Un meilleur référencement national et international offrant la visibilité nécessaire ;
- La conservation des entrées régionales permettant de publier les résultats des travaux archéologiques ;
- Des entrées thématiques et chronologiques dans le corpus d'articles national favorisant les comparaisons aujourd'hui difficiles et permettant une meilleure circulation de l'information entre les chercheurs ;

- La création d'une entrée méthodologique et théorique permettant d'accueillir des travaux actuellement éparpillés, voire parfois redondants, et créer une ouverture à l'interdisciplinarité. ;
- L'ouverture plus large à l'interdisciplinarité par l'accueil d'articles issus d'autre discipline ;
- Un lieu de débat scientifique ;
- Offrir un support de publication d'articles de synthèse pour les programmes de recherches (PCR, APR régionaux, ANR, programmes européens...) ;
- Un format d'article plus synthétique, renvoyant la publication des preuves à des annexes électroniques sous toutes les formes imaginables selon les cas de figures.

Un tel projet consiste à réunir les revues régionales au sein d'une revue électronique nationale, par exemple sur le modèle de *Internet Archaeology* (<http://intarch.ac.uk/>) ou de *Cybergeo* (<http://cybergeo.revues.org>) avec une publication à l'article. Si le modèle électronique est nouveau, le projet d'union des revues interrégionales ne l'est pas. Olivier Buchsenschutz l'avait déjà proposé il y a une dizaine d'années mais avait échoué face à un refus massif des revues existantes. Il faudrait inventer une organisation articulant un comité de rédaction national, représentant les revues qui souhaiteront s'engager dans ce projet, et ouvert à l'international, avec les comités actuels des revues. L'enjeu est d'offrir un support de publication unique avec une visibilité internationale tout en conservant la dynamique et la qualité des publications régionales. Si ce projet ambitieux débutait avec les revues volontaires, il permettrait très rapidement de hisser la publication archéologique française au rang qu'elle mérite.

Une telle revue nationale devrait être associée à un portail d'accès aux données archéologique (par exemple sur le modèle britannique ADS, cf. *infra*) afin de ne pas publier les preuves dans le corps des articles et d'offrir de nouvelles possibilités d'accès à la documentation et aux données primaires : c'est l'innovation qu'offrent les moyens numériques de publication.

Les positions des comités de rédaction des revues interrégionales ont été à nouveau quasi unanimes pour rejeter le projet. Néanmoins, le débat n'est pas clos et je ne désespère pas d'assister à une transformation des revues archéologiques.

1.6.3. DES EXEMPLES REVELATEURS

Les exemples de publications électroniques en archéologie, de plus en plus nombreux, font pourtant la démonstration de l'efficacité du principe.

La revue *Internet Archaeology* (<http://intarch.ac.uk/>) publie en ligne depuis 1996 selon un modèle éditorial qui permet de répondre à tous les cas de figures, c'est-à-dire aussi bien pour une forme d'article standard que pour un texte associé à des corpus de données accessibles sous forme de bases de données, ou de SIG, plus ou moins élaborés. Il suffit de lire le premier éditorial d'Alan Vince (1996) pour mesurer le retard de l'archéologie française en la matière. Il concluait sur l'excitation due à l'ignorance des développements informatiques futurs : « As with all aspects of the futurology of computing, the truth is that we really have no real idea of what lies in store for us or what the pace of change will be. The next few years are going to be exciting but nerve-wracking times. ». Vingt ans après les moyens informatiques disponibles et les possibilités offertes par internet nous placent dans une situation identique avec le bénéfice d'expérience comme celle-ci.

Archaeology Data Service (ADS, <http://archaeologydataservice.ac.uk/>), créé également en 1996, est un centre de ressources numériques en archéologie pour la recherche et l'enseignement au Royaume-Uni (Fig. 13). ADS offre un accès à des données originales au format numérique et en assure la conservation sur la longue durée. Il a aussi pour but de favoriser l'utilisation des données numériques

en archéologie et le déploiement des techniques associées: on trouve sur le site des conseils et diverses ressources destinés à la communauté scientifique. L'existence d'ADS repose sur un postulat qui relève de l'éthique professionnelle de la communauté archéologique: l'utilisation des données primaires doit être libre. Je ne suis pas certain que cette doctrine soit partagée par tous les archéologues français. Le nombre d'intervenants dans le domaine de l'archéologie est souvent évoqué comme un obstacle, ou au moins un frein, au partage de données et de ressources. Pourtant le Royaume-Uni est confronté depuis bien plus longtemps que la France à la coexistence de multiples intervenants publics et privés en matière d'archéologie. La complexité du système d'acteurs britanniques n'a visiblement pas été un frein à la création d'une ressource centralisée. Force est de constater le retard considérable qu'accuse l'archéologie française (en dépit de sa défense légitime et argumentée de l'appartenance de l'archéologie à la sphère publique) en matière d'archivage et de mise à disposition — au moins à destination de la communauté scientifique — des données numériques. Je ne souhaite pas ouvrir ici le débat sur les raisons de cette situation, qui relève de la responsabilité collective de la communauté archéologique française, mais simplement attirer l'attention sur une ressource unique en archéologie. *Archaeology Data Service* constitue à mon sens un modèle de centre de ressources numériques qui fait cruellement défaut en France.

The screenshot shows the homepage of the Archaeology Data Service (ADS). The header is red with the ADS logo and a search bar. The navigation menu includes: HOME, ARCHSEARCH, ARCHIVES, ADS-easy, LEARNING, ADVICE, RESEARCH, ABOUT US, BLOG, LOGIN. Below the header are three main sections: EXPLORE, DISCOVER, and DEPOSIT. A large featured collection section highlights 'Silbury Hill' with a landscape image. The page also includes news items about the release of the Cumberland and Westmorland Antiquarian and Archaeological Society Transactions, the Digital Data Re-use Award 2015, and the Directory of Open Access Journals Seal. At the bottom, there are three award seals: DSA 2014-2015, Digital Preservation Award 2015 Winner, and Data Citation Index.

Fig. 13 : Portail *Archaeology Data Service*.

1996, c'est également l'année de naissance de la revue *Cyberge* (<http://cyberge.org>) dont le modèle éditorial est lui aussi source d'inspiration pour envisager une revue française d'archéologie dépassant les limites actuelles tout en offrant la garantie de l'évaluation scientifique. Le propos de

Denise Pumain (2015) dans son dernier éditorial font écho à ceux d'Alan Vince : « Une nouvelle jeunesse pour *Cybergeo* : créée il y a 19 ans déjà, la plus ancienne revue entièrement électronique de sciences sociales confirme la vocation du support et du modèle de diffusion qu'elle a choisi, toujours en veille et en adaptation permanente ! ».

En 2007, Valentine Roux a créé *The Arkeotek Journal* (<http://www.thearkeotekjournal.org/>) qui publie des corpus expérimentaux et ethnographiques à valeur de référentiels pour l'identification et la caractérisation technologique des vestiges préhistoriques. Le modèle de publication est fondé sur l'écriture logiciste de Gardin (GARDIN et LAGRANGE 1975 ; GARDIN 1979 ; GARDIN 1997) auquel internet donne une dimension nouvelle (GARDIN et ROUX 2004).

La publication monographique de la fouille du centre paroissial de Rigny qu'Élisabeth Zadora-Rio est en train d'achever, sera publiée dans les mois à venir sur le même modèle en écriture logiciste. En résumé, l'approche logiciste consiste à organiser l'interprétation archéologique à partir d'un ensemble de propositions déclaratives associées aux arguments et reliées à une base de propositions plus détaillées par des règles d'inférences. Le raisonnement est modélisé en propositions initiales, fondées sur les données d'observation, de comparaison ou de référence, propositions intermédiaires, correspondant aux opérations logico-discursives, et propositions finales qui sont les conclusions. Le passage d'un niveau de proposition à un autre permet de suivre le raisonnement et les inférences de l'auteur. La conception ou la lecture de l'arbre d'inférence peut s'effectuer dans deux directions alternatives : empirico-inductive, de la base de données aux conclusions, ou hypothético-déductive, des hypothèses à la base de données (GARDIN et ROUX 2004 : 26-27). La puissance de cette démarche est d'offrir plusieurs niveaux de lecture, de produire un discours totalement argumenté et de livrer explicitement le raisonnement de l'auteur. La publication de Rigny sera complétée d'une part d'un récit synthétique d'accès plus classique mais connecté à la base logiciste, d'autre part du lien aux données disponibles par une connexion avec ArSol.

Un exemple extrait de la publication en cours de la fouille de Rigny illustre l'articulation entre les propositions et les multiples sens de lecture possible. Le bâtiment 14, mis au jour au nord du site, présente trois états présentés dans le chapitre intitulé « *La Riniaco colonica*, un centre d'exploitation domaniale de Saint-Martin de Tours (7^e/8^e s.) ». La présentation de l'état 3, par exemple, commence par les propositions qui décrivent les données et l'établissement de la chronologie :

- P0/13 CHRONOLOGIE - La ruine du bâtiment 14 est antérieure aux sépultures qui sont creusées à partir du milieu du 8e s. à travers les murs et les couches de destruction.
La sépulture S589, qui coupe le mur sud de l'État 2 du bâtiment 14, est antérieure à 776 (Ly-9326). Elle est postérieure à la destruction du bâtiment 14.
- P0/14 CHRONOLOGIE - Quelques tessons de céramique provenant des couches de destruction du bâtiment 14 sont datés du milieu du 8e s. au plus tôt.
- P0/15 Les murs du bâtiment 14 sont récupérés parfois jusqu'aux fondations.
- P0/16 Des réaménagements sommaires sont observables.
Le muret M129, sans fondation, dessine un départ d'hémicycle et repose sur les couches de destruction, qui sont aplanies.

Elles sont suivies d'une proposition intermédiaire qui correspond à l'interprétation fondée sur l'articulation de tout ou partie des propositions initiales selon un raisonnement logique :

- P1/5 La destruction du bâtiment 14 intervient progressivement et laisse place à une zone d'inhumation dans le troisième quart du 8e s.

La datation repose sur la chronologie des sépultures datées par le radiocarbone. La plus ancienne, S 589 (entre 661 et 776, Ly-9326) est antérieure à 776. On situe donc le début des inhumations entre 750 et 776.

P1/5 est fondée sur P0/13, P0/14 et P0/15.

Enfin, une proposition finale présente la synthèse à propos de l'état 3 du bâtiment 14 :

- P2/3 Au cours de la seconde moitié du 8e s., dans l'État 3, le bâtiment 14 sert de carrière de pierre et de lieu d'inhumation mais il a aussi d'autres usages, indéterminés.
P2/3 est fondée sur P1/5 et P0/16.

Chaque proposition est associée à une illustration des arguments avancés : photo, tableau d'assemblage céramique, courbe de datation par dendrochronologie ou 14C, plan de détail, de structure, d'état ou de phase. Les mentions de mur ou sépulture, par exemple, renvoient directement à leur fiche dans la base ArSol en ligne. Le lecteur peut ainsi aborder la lecture par le niveau de synthèse qu'il souhaite (des P0 aux P2 ou l'inverse) tout en ayant accès en permanence aux inférences de l'auteur et aux preuves sur lesquelles elles sont fondées.

D'autres travaux du LAT sont publiés tout ou partie sur internet. C'est le cas de la fouille du Site 3 de Tours (GALINIE, HUSI et MOTTEAU 2014) qui comprend un volume de synthèse sur papier auquel est associé l'ensemble de l'information stratigraphique sur internet (<http://citeres.univ-tours.fr/rt9/>). L'accès à la documentation se fait par un tableau selon la logique de l'analyse stratigraphique. À une autre échelle, l'Atlas archéologique de Touraine est lui entièrement électronique (<http://a2t.univ-tours.fr/>). Il se présente sous la forme d'une publication (ZADORA-RIO 2014) et d'un site de webmapping (<http://a2t.univ-tours.fr/sig.php>) donnant accès à la base de données géographique de l'atlas (Fig. 14).

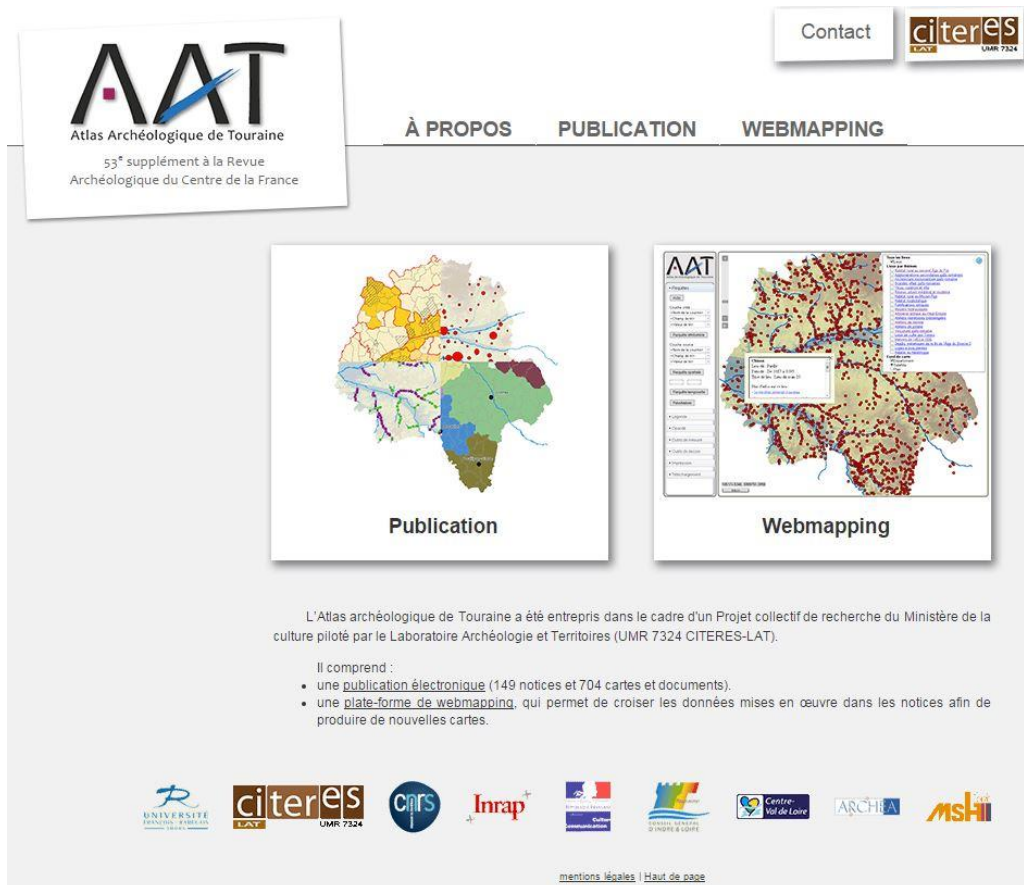


Fig. 14 : Atlas Archéologique de Touraine.

1.6.4. LA PERENNITE DES DONNEES ELECTRONIQUE

L'archivage des données informatiques est un enjeu majeur pour la pérennité des données qui donne lieu à des débats animés et souvent assez tranchés entre les défenseurs de l'informatisation et de la dématérialisation d'un côté et les tenants de l'archive papier, seule à avoir fait la preuve de la durabilité, de l'autre.

Avant tout, les archéologues et les historiens sont les mieux placés pour savoir que, quoi qu'il arrive, seule une partie des données traverseront le temps. La mise à disposition de très grandes quantités de données publiques, de corpus, rendue possible par les progrès de l'informatique et surtout par la croissance exponentielle des capacités de stockage et de calcul, qui renvoie au Big Data (pour employer une expression à la mode), donne l'illusion d'un archivage total. La question de la pérennité de l'archivage de ces immenses quantités de données n'est pour autant pas toujours abordée, soit par inconscience de l'enjeu, soit considérant que l'on peut faire une confiance totale dans le progrès technique. Lorsqu'elle l'est, elle ouvre le débat sur la capacité à archiver ou non des données informatiques. En revanche, la question du choix de ce qui est à archiver ou non est rarement posée en dehors du monde des archivistes dont c'est le quotidien. Pour les données archéologiques, il va de soi qu'il est indispensable d'assurer l'archivage des données primaires (cf. 1.4.). Malgré cette évidence, la question n'est pourtant pas résolue dans bon nombre de cas même sur papier. Le traitement des archives de fouilles que les archéologues conservaient traditionnellement chez eux jusque dans la seconde moitié du 20^e siècle, voire encore aujourd'hui dans quelques cas heureusement exceptionnels, n'est pas réglé. Il faut dire que les institutions, au premier rang desquelles le ministère de la Culture, ne disposent pas des moyens suffisants pour assurer l'archivage digne de ce nom des données de fouilles, enregistrement et mobiliers compris. L'informatisation multiplie le problème en ajoutant de nombreuses contraintes supplémentaires (format de données, de logiciel, de plateforme, de matériel et de support physique de stockage) Les instances n'ont pas, pour l'instant, fixé de règles strictes de modalités de versement des données numériques, qui seraient de toute façon difficilement applicables en l'état des compétences informatiques dans une grande majorité des services ou laboratoires concernés.

La transformation en format texte permet de s'affranchir des formats de données dépendant de logiciels ou de plates-formes informatiques particuliers. Le travail effectué pour l'édition universitaire par le pôle Document Numérique de la MRSH de Caen en collaboration avec le Centre pour l'édition électronique ouverte (Cleo) est à ce titre exemplaire. Il offre la possibilité de produire des publications de données sous des formes multiples (ouvrage papier ou électronique, site web,...) à partir d'une structure unique fondée sur la TEI (*Text Encoding Initiative*), standard pour la description des textes numériques, et l'EAD (*Encoded Archival Description*), inspirée de la TEI pour la description de structures d'archivage et de leur stockage physique. TEI et EAD sont écrits en langage XML (*Extensible Markup Language*), dans des fichiers textes indépendants des logiciels et des systèmes informatiques. Ne se pose plus alors que la question du support d'archivage des fichiers textes. Cette dernière question n'est pas négligeable mais elle peut être résolue de plusieurs manières :

- par le progrès des supports de stockage qui seuls comptent puisque le format de fichier (texte) est pérenne ;
- par les institutions comme le CINES (Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur) qui conservent les documents, les rendent accessibles et en conservent l'intelligibilité ;
- la mise en ligne des données et le maintien à jour des données publiées : tant que les archives sont « vivantes » elles sont sauvées ;

- *in fine*, l'impression des fichiers textes qui rendent alors indépendant du support de stockage informatique.

L'encodage des données numériques de la recherche en TEI, pour décrire le contenu et le publier, et EAD, pour décrire des archives, offre les solutions pour produire des archives pérennes. Cela implique de s'engager dans le développement de nos systèmes d'information sans nécessairement en modifier la structure et le format, afin de produire des fichiers XML (TEI et/ou EAD), directement depuis ces systèmes, qui pourront être archivés, voire imprimés, et relus puisqu'il s'agit de textes. Il est également possible d'envisager la migration d'un format à un autre et la restructuration (redocumentarisation dans le jargon actuel) des bases de données élaborées dans les années 1980, 1990 et qui n'ont pas été maintenues jusqu'à aujourd'hui. Il s'agit, dans ce cas, d'opérations à mener d'urgence mais les moyens disponibles sont insuffisants, tout comme d'ailleurs l'intérêt des chercheurs pour cette question. Il est tout de même paradoxal qu'un archéologue qui prend la responsabilité de détruire un site en le fouillant ne mette pas tout en œuvre pour assurer la sauvegarde des archives qu'il a constitué. La défense de l'édition sur papier pour sa pérennité par rapport au numérique est généralement admise par la communauté des archéologues plutôt que de s'emparer du problème pour tenter de le résoudre.

Le principe est, *in fine*, de convertir en texte les contenus et les relations entre les contenus de nos systèmes d'information. Cette transformation ne permet pas de traduire la complexité conceptuelle et opérationnelle des systèmes d'information mais elle assure la sauvegarde des données et de la structure de leur mise en relation. L'avantage de ces solutions est de permettre à la fois l'archivage des publications des métadonnées et des données elles-mêmes.

2. LES ARCHEOLOGUES DANS L'ESPACE

Dr. Lewis Dixon

- *Can you read a map?*

Dr. Cornelius

- *I'm an archaeologist. I can draw one!*

in *Escape from the Planet of the Apes*, Don Taylor, Paul Dhen, 1971

2.1. L'ARCHEOLOGUE ET LA CARTE

2.1.1. ARCHEOLOGIE OU GEOGRAPHIE ?

L'archéologie est spatiale par nature puisqu'elle s'intéresse aux sociétés qui se définissent en partie par leur dimension spatiale ([21] BARGE *et al.* 2004 ; Annexe 9 ; [2] RODIER *et al.* 2011 ; Annexe 2). Elle présente des caractéristiques propres liées d'une part à l'amplitude temporelle couverte par la discipline, d'autre part au processus d'élaboration de l'information lui-même contraint par la nature des sources mises en œuvre. Sur le terrain, la première tâche de l'archéologue est de situer ses découvertes dans l'espace. L'archéologie aspatiale est celle pour qui l'objet prime pour lui-même avant de s'intéresser à l'individu qui l'a fait, la société dans laquelle il vivait, les rapports de cette société à l'environnement et sa capacité à produire de l'espace. Les travaux portant sur des collections d'objets, des types de mobilier ou d'architecture, qui relèvent de la démarche de l'histoire de l'art, apportent une connaissance des objets pour eux-mêmes au travers d'analyses stylistiques fines. Certes l'archéologie s'intéresse à la culture matérielle mais son objectif est la compréhension des modes de vie et du fonctionnement des sociétés du passé qu'elle explore. Pour l'atteindre il est nécessaire de passer par des processus analytiques des corpus de données assemblés, seuls à même de produire des résultats tangibles et interprétables. D'une part la démarche est fondée sur des processus rigoureux et reproductibles afin d'assurer la comparabilité des propositions, d'autre part le champ d'investigation comprend l'ensemble des interactions entre les objets, les structures mises au jour par la fouille et toutes les données sur leur environnement. Je m'inscris en ce sens dans une école qui s'intéresse, à partir des données archéologiques et de toutes les sources mobilisables, aux rapports des sociétés du passé à l'espace dans lequel elles s'inscrivent et qu'elles produisent. On peut qualifier l'approche d'archéologie spatiale, quitte à être catalogué dans une chapelle parmi d'autres, mais c'est à mon sens l'essence même de l'archéologie. Ce qui la caractérise, c'est une démarche qui embrasse les multiples aspects des sociétés par les méthodes propres à la discipline et celles empruntées à d'autres. Dans la première partie de *L'archéologie des disciplines géohistoriques*, Gérard Chouquer et Magali Watteaux recensent 152 occurrences d'intitulés de recherche ou de disciplines qui couvrent le domaine géohistorique depuis la fin du 19^e s. (CHOUQUER et WATTEAUX 2013 : 25). La richesse de leur inventaire argumenté offre une analyse qui découragerait quiconque de proposer un état de l'art préalable au positionnement de sa recherche. Derrière la diversité des appellations, les auteurs voient « l'émergence d'un champ disciplinaire immense ». Je préfère pour ma part m'inscrire à l'interface disciplinaire entre sciences géographiques et sciences historiques, entre espace et temps. Leur classement place les travaux du réseau ISA ([2] RODIER *dir.* 2011 ; Annexe 2) dans la dominante de la nouvelle géographie, avec d'ailleurs ce qui relève de la nouvelle archéologie, dans laquelle nous puisons largement en effet. En revanche, le choix de s'affirmer d'abord archéologue dans l'introduction nous ait reproché or notre discipline de référence est en effet l'archéologie car c'est celle du positionnement du réseau ISA même si Olivier Barge, avec qui j'ai signé l'introduction incriminée, est géographe. Il ne s'agit pas, comme Gérard Chouquer et Magali Watteaux nous en prête l'intention, de donner à l'archéologie une place dominante parce qu'elle serait celle qui s'intéresse aux objets et à leurs interprétations alors que la géographie ne lui serait que pourvoyeuse d'outils d'analyse. Bien

au contraire, nous nous inscrivons à une interface disciplinaire dont il n'est pas indispensable de faire une nouvelle discipline pour produire des résultats. C'est de l'échange entre archéologues, historiens, préhistoriens, géographes, architectes, informaticiens, que sont nés des productions scientifiques au sein du réseau ISA et plus particulièrement du GdR MoDyS dont témoigne, je l'espère, quelques-uns de mes travaux. Roger Agache (1979 : 33) rêvait d'une archéologie « totale et idéale que serait une véritable "archéologie du paysage" ». Il n'y a pas plus d'archéologie totale que de géographie totale mais des constructions complémentaires dont les convergences, comme les divergences, permettent parfois de mieux comprendre nos objets d'études.

Pour autant, l'intérêt des archéologues pour les travaux des géographes ne va pas toujours de soi. C'est pourtant bien en géographie que se trouvent les concepts et les outils nécessaires à leurs recherches lorsqu'ils s'intéressent à l'espace. En France, les rapports entre l'archéologue et la carte sont multiples mais ils peuvent être abordés selon deux approches. La première concerne le lien entre l'archéologie et la cartographie ou plutôt l'emploi et la production des cartes par les archéologues. La seconde concerne la place faite à l'espace dans les études archéologiques, elle est maintenant étroitement associée aux systèmes d'information géographique.

2.1.2. LA CARTOGRAPHIE

La cartographie traditionnelle en archéologie recouvre trois sortes d'échelles de représentation (RODIER 2006) : celles couvertes par les relevés et plans de fouilles, celles de la ville ou de quelques communes rurales (oscillant entre l'échelle cadastrale et celle de la carte topographique) et enfin celles de la répartition des sites pour une période ou un type d'objet qui donnent lieu à des « cartes à pois » (BUCHSENSCHUTZ, GANDINI et MAUSSION 2004). Les premières sont directement issues de l'enregistrement des données sur le terrain et constituent une grande part des archives de fouilles. Les deuxièmes sont constituées par le regroupement des entités archéologiquement interprétées dans un espace cohérent (ville, terroir). Il s'agit, pour l'essentiel, des cartes de topographie historique. Les dernières représentent l'utilisation de la carte en archéologie : cartes de localisation, d'inventaire, de répartition thématique.

La pratique de la cartographie en archéologie urbaine a fait l'objet d'un bilan critique par Bruno Dufaÿ (2001) dans lequel il relève l'absence quasi totale de documents de synthétiques et explicatifs de la transformation des villes. Considérant les avancées de la recherche et des pratiques, il refait le même constat dix ans après (DUFAY et GRATALOUP 2013 : 387). Malheureusement cette situation ne se limite pas à l'archéologie urbaine. En effet, la présentation des résultats de fouille, dans les rapports mais également dans les publications, continue traditionnellement à s'appuyer sur des documents qui, sous prétexte de servir de preuve, sont bien souvent illisibles. On trouve une multitude de relevés précis réduits pour les besoins de la publication à des échelles ou le niveau de détail représenté n'est plus pertinent. Certes ces relevés font partie du corpus de preuve qui étaye le discours mais, à ce titre justement, il serait préférable de les reléguer en annexe avec le reste des données primaires, pour offrir, à la place au lecteur, des illustrations plus synthétiques permettant de comprendre l'interprétation qui en est faite. Cela relève des enjeux de la publication archéologique (cf. 1.6) afin de rendre nos productions accessibles et compréhensibles à d'autres que des archéologues dans une perspective interdisciplinaire. De même, la règle, ou plutôt la coutume, veut que l'on trouve au début des rapports un plan général (improprement appelé plan de masse, voire plan masse, qui désigne à l'origine un document d'architecture et aujourd'hui un document d'urbanisme) sur lequel sont représentés toute les structures mises au jour. Autant ce type de document est utile pendant la fouille et l'étude, autant il n'a aucun sens ensuite puisqu'il ne discrimine les éléments représentés ni chronologiquement ni thématiquement. Lorsqu'il s'agit de diagnostics sur de très grandes surfaces, pouvant atteindre plusieurs centaines d'hectares, les tranchées de diagnostic donnent l'impression

que des secteurs ont été tramés et les structures ressemblent à des taches sur une mauvaise photocopie. C'est plans se retrouvent également dans des publications, voire même dans des expositions destinées à un large public, alors que bien des techniques de cartographie permettent de rendre ses documents lisibles.

Dans le cas « ville », l'archéologie urbaine, quand il ne s'agit pas de sa pratique en ville mais de travaux dont l'objet est la ville dans le temps, tient une place particulière dans la manière de considérer l'espace. Posée en Grande-Bretagne dès le début des années 1970 (HEIGHWAY 1972 ; BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973), la question a fait régulièrement l'objet d'états des lieux en France (GALINIE 1979 ; ANONYME 1982 ; GARMY 1994 ; DUFAY 2001). Les axes de recherche portent sur l'évaluation du potentiel archéologique, la topographie historique (Fig. 15), la morphologie urbaine, selon deux points de vue : les enquêtes nationales ou régionales sur les hiérarchies et les réseaux d'une part, et les travaux monographiques d'autre part. Dans l'étude archéologique de la ville c'est l'espace qui prime, il est érigé à la fois comme source et comme objet de recherche avec « pour objectif de comprendre et d'expliquer le fonctionnement et la fabrique de l'espace urbain » (GALINIE 2000). Cependant, ce positionnement, qui place l'espace au centre de la recherche, est le plus souvent délaissé dans les travaux sur les villes au profit de la constitution d'inventaires gestionnaires de plus en plus détaillés.

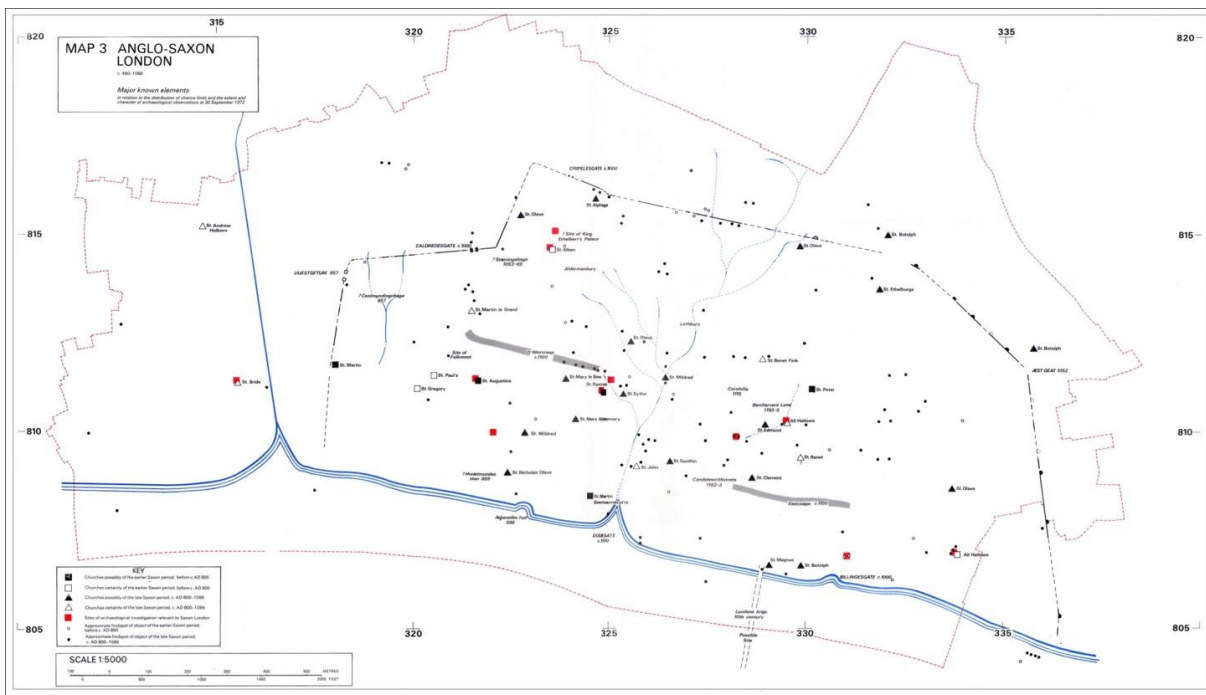


Fig. 15 : Plan de topographie historique de Londres Anglo-Saxon (BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973).

La mythique carte archéologique est un peu à l'archéologue ce qu'est au cartographe la carte de l'empire de Borges ou de Lewis Carroll (voir à ce sujet Palsky 1999) : un objet par définition irréalisable. En effet, comme l'écrivent les auteurs d'un encart sur l'Inventaire archéologique national, dans la réédition d'un manuel sur la prospection archéologique (FROMENTIN, LAUZANE et ROPARS 2006), « l'inventaire archéologique est un état des connaissances en permanente évolution » et « nos inventaires sont par nature des catalogues incomplets ». Cependant, faisant preuve de beaucoup d'abnégation, l'archéologue s'est attelé à cette tâche avec acharnement et l'État en a fait une mission prioritaire. La carte archéologique nationale (FROMENTIN, LAUZANE et ROPARS 2006 ; BUCHSENSCHUTZ, GANDINI et MAUSSION 2004), organisée et gérée par les services du ministère de la Culture, est constituée d'une base de données liée à un SIG appelé Patriarche (PATRIImoine ARCHÉologique).

Toutes les cartes archéologiques sont par nature une représentation de l'état des connaissances à un moment donné. À ce titre, on leur reproche souvent d'être des cartes des chercheurs plutôt que des sites. On démontre, en effet, facilement que les sites archéologiques sont principalement répartis le long des tracés autoroutiers ou ferroviaires (DESACHY 2006). Cependant, d'une part les inventaires sont de plus en plus précis, tant quantitativement que qualitativement, d'autre part les études tiennent compte de ce biais. En outre, cet argument a trop souvent été un frein aux études sur les dynamiques de peuplement ou un prétexte pour les dévaloriser.

Il est bien entendu que l'inventaire des sites archéologiques est le préalable à toute étude sur les dynamiques de l'occupation du sol dans la longue durée. Les programmes archéologiques portant sur ce sujet (DURAND-DASTES *et al.* 1998 ; VAN DER LEEUW, FAVORY et FICHES 2003 ; BATARDY, BUCHSENSCHUTZ ET DUMASY 2000 ; ZADORA-RIO 2014) sont fondés sur des inventaires détaillés généralement issus de la carte archéologique nationale puis largement complétés par des programmes de prospections systématiques ou des enquêtes spécifiques. Pour autant, la carte archéologique constitue l'inventaire patrimonial des sites archéologiques connus au fur et à mesure de leur découverte mais ne peut pas répondre aux questions spécifiques de tel ou tel programme de recherche.

L'utilisation des cartes prend un autre sens lorsqu'elles deviennent elles-mêmes une source d'information. C'est le cas dans les études morphologiques du parcellaire rural ou urbain (CHOUQUER 1987 ; GAUTHIEZ, ZADORA-RIO et GALINIE 2003 ; [69] GALINIE *et al.* 2003 ; Annexe 5).

Les documents anciens sont le plus souvent utilisés de manière régressive. Les plans terriers, les plans cadastraux, les cartes anciennes sont autant de sources qui, bien que produites à des fins différentes, livrent des informations sur l'occupation du sol (COSTA et ROBERT 2008 ; BRUNEL, GUYOTJEANNIN et MORICEAU 2002). Le colloque de l'Association des archivistes français en 2005 s'intitulait *Représenter le territoire: archives et nouvelles technologies, du plan terrier au SIG*, et en 2006, le numéro 44 de la revue *Le Médiéviste et l'Ordinateur* (<http://lemo.irht.cnrs.fr/44/sommaire.htm>), qui porte sur les SIG, proposait plusieurs articles illustrant l'utilisation de terriers et de cadastres anciens (JARRY et OGIER 2006 ; LETURCQ 2006 ; POIRIER 2006). Plus récemment, deux journées d'études sur la *Géolocalisation de sources anciennes* ont eu lieu à la MSH de Dijon.

2.1.3. LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUES

L'application des méthodes de l'analyse spatiale est intervenue en archéologie dès les années 1970. Elle est maintenant, depuis une vingtaine d'années, indissociable des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dont les premières utilisations en archéologie ont vu le jour à la toute fin des années 1980 (GAFFNEY et STANCIC 1991) et se généralise à partir du milieu des années 1990. Dans le même temps, les archéologues ont bénéficié des progrès de la télédétection et des analyses issues des sciences de la terre.

Bien que l'analyse spatiale ne se résume pas aux seuls outils SIG, l'utilisation de ces derniers dans les travaux archéologiques a connu une forte croissance dans les années 2000. Le recours à ces outils touche, en effet, toutes les dimensions de l'information spatiale en archéologie : la collecte des données (*cf.* 1.2.1), la constitution, la gestion et la mise à disposition des corpus, leur exploitation par l'analyse et la modélisation spatiales. Quelle qu'en soit l'utilisation, les SIG offrent des résultats inaccessibles jusqu'alors et d'une plus grande variété : ils permettent la confrontation de données de nature variée, le croisement des sources et le traitement systématique de grandes quantités de données, l'accès à des outils d'analyse, de modélisation ou de représentation. Plus encore, nécessitant de formaliser l'implicite, la modélisation préalable des données que cet outil implique apporte elle-même une forte valeur ajoutée aux résultats.

Le recours aux SIG pour l'archéologie permet non seulement l'informatisation du traitement de l'information spatiale, c'est-à-dire l'acquisition, la sélection, la représentation et la mise en page, mais offre aussi un fort potentiel d'analyse, d'une part en assurant le lien entre les volets sémantique et spatial de l'information archéologique, d'autre part en ouvrant l'accès aux propriétés spatiales des entités archéologiques ([21] BARGE *et al.* 2004 ; Annexe 9 ; [2] RODIER *et al.* 2011 ; Annexe 2). Les conséquences portent sur le protocole d'interprétation des données archéologiques. En ce sens, les SIG, souvent présentés comme des outils d'aide à la décision, deviennent des outils d'aide à la recherche.

L'argumentaire archéologique est fondé sur l'espace mais le plus souvent de manière implicite. Quelle que soit la démonstration, elle fait toujours référence à l'espace, en termes de proximité ou de connexion des objets archéologiques, de relation de ces objets à l'espace géographique, ou en termes de répartition spatiale. Cet argumentaire est trop souvent réalisé sans référence à un corpus théorique qui a pourtant été élaboré pour l'essentiel, en archéologie, par les Anglo-Saxons à la fin des années 1970 (CLARK 1973 ; CLARK 1977 ; HODDER et ORTON 1977) et bien entendu fondées sur les travaux des géographes (HAGGETT 1965, 1973). L'appareillage théorique pour l'utilisation des SIG était déjà largement constitué avant leur arrivée sur le bureau des archéologues. Sans doute n'est-ce donc pas un hasard si les Anglo-Saxons ont adopté ces outils de manière précoce par rapport à la pratique française, en archéologie comme en général en sciences humaines. En revanche, il semble maintenant admis que le recours raisonné aux outils SIG pour le traitement des données archéologiques permet, ou impose, une meilleure structuration des systèmes d'information et peut amener à un renouvellement des problématiques. Le développement de l'archéologie préventive d'une part, et de l'archéologie environnementale d'autre part, ont également contribué à l'accroissement de la modélisation spatiale en archéologie qui a fait l'objet des Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes en 2011 sous le titre *Variabilités environnementales, Mutations sociales. Natures, intensités, échelles et temporalités des changements* (BERTONCELLO et BRAEMER 2012 a).

C'est donc dans un second temps seulement que les capacités des SIG, en tant qu'outils d'analyse spatiale, ont été prises en considération. Ils présentent pourtant des potentialités importantes en termes d'analyse de l'information. En effet, les requêtes ne sont pas effectuées seulement sur la dimension attributaire de l'information mais également sur sa dimension spatiale, ce qui multiplie les champs potentiels d'investigations. Ils permettent le développement de méthodes et d'applications archéologiques spécifiques : analyses multi-scalaires, intégration des dimensions spatiale et temporelle dans les systèmes de définition et d'analyse des objets étudiés.

Bien que ce phénomène suscite des apports incontestables, il s'apparente également à un effet de mode face auquel nous avons cessé de mettre en garde au sein du réseau ISA ([21] BARGE *et al.* 2004 ; Annexe 9 ; [2] RODIER *et al.* 2011 ; Annexe 2). En effet, l'accès à de puissants outils de calcul, facilité par leur disponibilité en micro-informatique avec des interfaces identiques aux logiciels bureautiques courants, donne parfois des résultats qui ne peuvent être produits que par des traitements manifestement incontrôlés. Leur usage ne constitue un progrès que lorsqu'il est maîtrisé, c'est-à-dire quand les fondements des outils utilisés sont compris et qu'il ne s'agit pas d'utilisation «pousse-bouton». Ce n'est pas l'outil qui fait la modernité de la recherche mais la manière dont la recherche exploite les possibilités offertes par l'outil, renouvelant alors ses propres perspectives. Ce constat n'est pas spécifique à l'archéologie et des mises en garde ont déjà été exprimées par des géographes qui ont fait cette expérience bien avant les archéologues (CAUVIN et RIMBERT 1976 : 165 ; RIMBERT 1990 : 13-23). Le rôle de la formation est ici essentiel.

Actuellement, tous les programmes de recherche en archéologie font appel aux SIG pour le traitement et l'analyse des données spatialisées. Plusieurs publications ont fait état des principaux résultats à ce

sujet de manière régulières : en 2004, un numéro thématique de la revue *Histoire & Mesure* intitulé «*Système d'information géographique, archéologie et histoire*» (PIROT et VARET-VITU 2004) ; les actes des Rencontres d'Antibes de 2004, *Temps et espace de l'homme en société, analyse et modèles spatiaux en archéologie* (BERGER *et al.* 2005), le numéro 83 de la revue *M@ppemonde* en 2006 avec l'ouverture du dossier *L'archéologie en cartes* ([4] RODIER 2006), les actes des journées d'informatique et d'archéologie de Paris en 2010 et 2012 (GILIGNY *et al.* 2012 ; COSTA, DJINDJIAN et GILIGNY 2014), le manuel de la collection « Archéologiques » *Information spatiale et archéologie* ([2] RODIER *et al.* 2011 ; Annexe 2) le numéro 2012-4 « Archéologie et géographie » de *L'espace géographique* (ROBERT 2012), les articles des rencontres de jeunes chercheurs 2010 du GdR MoDyS publiés dans les revues *M@ppemonde* et *Cybergeos* (<http://isa.univ-tours.fr/modys/rencontre.php?year=2010>). Le nombre des publications, qui a largement augmenté ces dernières années, traduit les changements dans la pratique des SIG en archéologie. Néanmoins, le nombre de travaux en cours reste bien supérieur à celui des publications. Les équipes françaises sont toujours peu présentes à la conférence annuelle du CAA (Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology) qui constitue un des lieux privilégiés de publication sur le sujet depuis plus de 40 ans (excepté en 2014 quand le CAA a eu lieu à Paris), avec quelques revues comme *Archeologia e Calcolatori*, *Internet Archaeology*, *The Journal of Archaeological Sciences*, par exemple. En outre, les publications méthodologiques sont quasi inexistantes en France et il faut distinguer, parmi les travaux archéologiques mentionnant l'utilisation de la géomatique, ce qui relève de la cartographie automatisée de ce qui est fondé sur des analyses spatiales reposant sur de véritables systèmes d'information. En revanche, on constate la disparition progressive du terme même de SIG dans l'intitulé des travaux universitaires (master, thèse, communications dans les colloques) au profit d'un retour à l'analyse de l'objet d'étude (analyse spatiale, dynamique spatiale, dynamique de peuplement...). Ce constat fait écho à celui de Thierry Joliveau en 2003 pour la géographie (JOLIVEAU 2005). Il révèle un dépassement de l'effet de mode que les incorrigibles sceptiques interpréteront comme un échec mais qui traduit au contraire l'intégration des outils dans les processus de recherche. Il n'est plus besoin de préciser que c'est à l'aide d'un SIG que l'on traite ses données puisque c'est une évidence. A-t-on besoin de préciser que l'on fouille avec une truelle ?

L'utilisation des SIG ne constitue pas pour autant le seul outil de représentation spatiale ou de modélisation des archéologues. La conception de l'espace par les archéologues relève, le plus souvent, de la notion d'«*espace support*» (PUMAIN 1993 : 137-139) sur lequel sont organisées les activités humaines. L'étude des sociétés dans la longue durée semble engendrer de fait la primauté du temps sur l'espace. Néanmoins, l'ambition est bien d'étudier les processus de production d'espace, les dynamiques spatio-temporelles, les trajectoires. Il est donc nécessaire d'envisager une conception relative de l'espace intégrant le temps (PUMAIN 1993 : 155-156). Un certain nombre d'expériences ont montré qu'un travail interdisciplinaire entre archéologues et géographes permet de proposer des modèles tenant compte des propriétés spatiales des objets archéologiques étudiés. Les modélisations mises en œuvre peuvent être graphiques (DUFAY 2002 ; BOISSAVIT-CAMUS *et al.* 2005 ; RODIER, GRATALOUP et GUILLOTEAU dir. 2010) ou quantitatives (DURAND-DASTES *et al.* 1998 ; VAN DER LEEUW, FAVORY et FICHES 2003 ; GARMY *et al.* 2005 ; NUNINGER et SANDERS 2006 ; [11] LE COUEDIC *et al.* 2012 ; Annexe 10 ; [37] RODIER *et al.* 2013). Dans ce cas, les modèles spatiaux sont le plus souvent utilisés pour l'étude des réseaux de peuplement, des échanges, de la construction des territoires.

2.2. ESPACE URBAIN

2.2.1. L'ARCHEOLOGIE URBAINE

La caractéristique de l'archéologie urbaine tient à la fois à la nature de sa source primaire : le dépôt archéologique, et à la définition de son objet d'étude : l'espace urbanisé ancien. La recherche

archéologique urbaine s'inscrit ainsi dans un rapport dialectique constant entre les échelles de la fouille et de la ville (GALINIE 2000). D'une part, les archives du sol impliquent une approche centrée sur la matérialité de la ville, d'autre part, l'approche historique du rapport entre espace et société urbaine passe par le croisement de toutes les sources mobilisables. La finalité est la compréhension des processus de fabrication et de transformation de l'espace urbain par les sociétés. Les méthodes mises en œuvre sont celles des sciences sociales, parmi lesquelles la géographie tient une place particulière par l'influence considérable qu'elle a eue sur la perception du rapport des sociétés à l'espace par les archéologues.

En 1980, le colloque international d'archéologie urbaine de Tours, organisé sous l'égide du ministère de la Culture, réunissait plus de 300 participants autour de l'idée suivante, énoncée dans l'avant-propos des actes : « L'archéologie urbaine apparaît comme la discipline pour laquelle s'impose en priorité la nécessité d'un vaste effort de réflexion, tant en raison de l'intérêt intrinsèque des objectifs nouveaux qu'elle se propose que des problèmes institutionnels et logistiques qu'elle soulève. » (ANONYME 1982). Ce colloque fondateur eut un effet structurant sur la discipline qui s'est traduit, en 1984, par la création, à Tours, du Centre national d'archéologie urbaine (Cnau) par le ministère de la Culture. En 2010, le CNAU a été intégré dans le bureau de l'élaboration et de l'utilisation des inventaires archéologiques de la sous-direction de l'archéologie. Il est aujourd'hui très fragile et par conséquent peu actif. Les multiples efforts de l'ensemble de la communauté scientifique nationale et internationale, auxquels j'ai activement contribué, ont tous échoué face à l'obstination de la Sous-Direction de l'Archéologie (SDA) qui semble avoir décidé de tout mettre en œuvre pour laisser disparaître le centre dans une lente agonie.

Le Cnau est un organe de recherche unique en Europe à l'interface de l'archéologie, de l'histoire, de la géographie, de l'urbanisme et des métiers du patrimoine. C'est un centre de réflexion méthodologique et d'information contribuant à résoudre les problèmes posés par l'érosion du patrimoine archéologique des villes et à diffuser les résultats de la recherche en France. Il remplit à la fois les fonctions de centre de ressources thématiques et d'observatoire de la recherche archéologique urbaine auprès de la communauté scientifique. À ce titre, le Cnau a mis en place un réseau d'échanges avec les archéologues français et étrangers, professionnels ou bénévoles : services de l'État (Culture, Recherche et Enseignement : DRAC/SRA, Inrap, Universités, CNRS), services de collectivités territoriales, associations, particuliers. Le Cnau et ses agents collaborent également à des travaux de recherche sur le milieu urbain mis en place par d'autres organismes. Il est fréquemment sollicité pour fournir des informations sur des thématiques précises et contribue au dialogue entre archéologues et aménageurs. Il offre un pôle de documentation et d'information et un pôle de recherche et de formation. Outre les nombreuses publications d'ordre méthodologique, le Cnau publiait chaque année *l'Annuaire des opérations de terrain en milieu urbain* et le *Bulletin bibliographique d'archéologie urbaine* et assurait la coordination scientifique et l'édition de la collection des Documents d'évaluation du patrimoine archéologique des villes de France, série d'études monographiques constituant des synthèses comparables de l'état des connaissances archéologiques (CNAU 1990-2012). Sa spécialisation thématique sur l'espace urbain, à l'interface disciplinaire entre archéologie, histoire et géographie, confère au Cnau un rôle central dans la recherche en archéologie et histoire urbaines. Les enjeux scientifiques portent sur l'apport de connaissances sur l'espace urbain dans la longue durée et les réseaux de villes ; sur les outils et méthodes d'analyse des villes ; sur l'inscription du patrimoine dans les politiques d'aménagement et le développement urbain. Seule une structure fédératrice comme le Cnau est en mesure de contribuer au maintien de la cohérence de la recherche en archéologie urbaine et de faire émerger de nouvelles pistes de recherche fondamentale. Par exemple, depuis 2001, le Cnau a animé l'atelier de chrono-chorématique urbaine réunissant archéologues, historiens et géographes qui a permis de proposer une démarche innovante de modélisation de l'espace urbain des origines à

nos jours ([44] BOISSAVIT-CAMUS *et al.* 2005 ; Annexe 11 ; [3] RODIER, GRATALOU et GUILLOTEAU 2010 ; BOISSAVIT-CAMUS, CHAOUI-DERIEUX et GUILLOTEAU 2012).

Le Comité des Travaux Historiques et Scientifiques (CTHS), a choisi de tenir son congrès 2012 à Tours sur le thème Composition(s) urbaine(s). Ce fut l'occasion de s'interroger à nouveau sur l'archéologie urbaine, plus de trente ans après le colloque fondateur. Au sein de ce congrès, avec Élisabeth Lorans, nous avons organisé un colloque « archéologie urbaine », clôturé par une table ronde sur les enjeux de l'archéologie urbaine. Il ne s'agissait pas de tirer un quelconque bilan, ni de comparer les situations à 30 ans d'écart, mais plutôt de s'appuyer sur les résultats de travaux récents pour dégager des perspectives de recherche en archéologie urbaine. L'objectif était de mettre en évidence les apports de l'archéologie urbaine à la connaissance et à la compréhension du fait urbain, tel que défini en 1980, dans la longue durée ([1] LORANS et RODIER 2013 ; Annexe 1).

Les avancées dans la pratique de l'archéologie urbaine ont été considérables depuis une trentaine d'années, tant sur le plan méthodologique qu'en matière de connaissance et de compréhension des espaces urbanisés anciens. Pour autant, certains enjeux identifiés lors du colloque de 1980 sont toujours d'actualité même si cela peut être pour des raisons différentes. Du point de vue stratégique par exemple, la question des choix revient sur le devant de la scène, imposée par le contexte législatif et économique de l'archéologie préventive. Les modalités de prescription et d'intervention orientées vers la conservation des archives du sol concentrent les moyens sur la fouille de structures reconnaissables dans les niveaux les mieux identifiés. La multiplicité des acteurs implique d'articuler leurs interventions complémentaires dans l'intérêt de la programmation de la recherche archéologique et d'une meilleure prise en compte de ses résultats dans la ville d'aujourd'hui. Les recherches engagées sur la ville durable amènent à de nouvelles politiques d'aménagement privilégiant la concentration de l'espace urbain et son développement en sous-sol dont les conséquences pourraient entraîner une forte activité d'archéologie préventive. La question de l'évaluation du potentiel archéologique des villes est de fait elle aussi toujours d'actualité avec des méthodes et des outils qui ont progressé de manière significative (LAURENT et FONDRILLON 2010). Les programmes d'évaluation du potentiel archéologique (BORDERIE, DELAHAYE, *et al.* 2013 ; FONDRILLON *et al.* 2013) montrent, s'il en était encore besoin, la pertinence de la démarche comparée au protocole systématique des diagnostics en tranchées quidans le cas de villes ayant fait l'objet d'un bilan des connaissances, sont, il faut le répéter, trop souvent plus destructeur que porteur d'informations tant celles qu'ils permettent d'obtenir sont tronquées et par là même difficiles à interpréter. En outre, puisqu'ils n'atteignent quasiment jamais le niveau naturel dans des contextes de stratification importante et complexe, ils ne répondent pas à l'objectif principal de fournir une épaisseur stratigraphique. Des études d'impact préalables, complétées par des moyens non ou peu destructeurs, le tout inscrit dans des programmes de recherche urbaine, sont le seul moyen d'intégrer l'archéologie dans une planification stratégique de l'aménagement urbain. Ces études sont la clef de l'anticipation nécessaire à la mise en œuvre de la connaissance dans les projets urbains et relève de la responsabilité des archéologues.

Avec la multiplication des opérations depuis trente à quarante ans, l'accumulation de données fait progresser l'état des connaissances, renouvelle la connaissance intrinsèque des villes et les questionnements. En multipliant les interventions, on cherche à engranger le maximum d'informations sur tout l'espace occupé par la ville ancienne avant la destruction du sous-sol par les aménagements actuels. Cependant, si dans plusieurs cas la multiplication sans précédent des opérations a livré des masses considérables de données, leur mise en ordre et en relation pour atteindre une meilleure compréhension des transformations de l'espace urbain semble bien difficile (JOLY 2013). En outre, on peut s'interroger sur la capacité des archéologues à mettre en œuvre les quantités de données ainsi

accumulées dans les années à venir. Trop souvent, l'objectif recherché est de restituer l'histoire de la ville depuis ses origines sans hiatus dans le récit et l'on mesure alors le poids de l'historiographie locale sur les interprétations ou tout du moins la manière dont elle pèse sur la capacité à émettre de nouvelles hypothèses. Le déclin de la ville de Marseille au haut Moyen Âge, par exemple, se caractérise par l'identification d'un abandon, alors que la stratigraphie montre un exhaussement important qui mériterait d'être questionné (MELLINAND, PAONE et SILLANO 2013). Certes, ces niveaux ne sont pas noirs, mais il est intéressant de constater sur la carte (Fig. 16) des études de terres noires (BORDERIE, FONDRILLON, *et al.* 2013) combien la France est coupée en deux selon une diagonale nord-ouest/sud-est laissant Marseille et une large partie du midi de la France à l'écart de ces interrogations. L'objectif principal doit rester l'explication des rapports sociétés-espaces urbains qui impliquent une approche diachronique. Certaines thématiques ont fait l'objet d'un renouvellement récent des connaissances comme par exemple la ville avant la ville, les *oppida*, dont le caractère urbain est désormais admis mais dont les modalités de leur définition et leur mise en perspective avec les modèles de villes postérieurs restent encore à préciser (BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2009) ; la ville entre le 4^e et le 10^e siècles, dont on cerne encore bien mal les formes et qui nécessite de nouvelles approches du sol urbain (FONDRILLON 2009 ; FONDRILLON 2012) ; l'accumulation importante de données sur le mobilier devraient permettre d'appréhender la caractérisation des sociétés urbaines, mais ces approches restent encore trop rares (HENNIGFELD *et al.* 2013) ; enfin, le changement de perspective opéré entre la juxtaposition d'états urbains établis à partir de la topographie historique et l'étude des dynamiques de transformation de l'espace urbain, amène à changer de focale pour comprendre les systèmes urbains dans leur ensemble (GARMY 2012 ; [50] MATHIAN, RODIER et SANDERS 2013 ; Annexe 1).



Fig. 16 : Principales villes en Europe où l'étude interdisciplinaire des terres noires a été conduite (BORDERIE, FONDRILLON, *et al.* 2013).

D'autres questions restent à approfondir. En premier lieu, celle de la connaissance des niveaux anciens, rarement atteints ou très partiellement, qui permettent de répondre à la question des origines de la ville comme à celle de la reconnaissance d'occupations antérieures d'une autre nature. Il s'agit de la ville avant la ville, de la ville protohistorique. Si l'exemple de Bourges est sans ambiguïté (AUGIER 2013),

celui de Reims, où les indices sont très faibles, semble plus discutabile (BERTHELOT, POIRIER et ROLLET 2013) et dans le cas de Tours, où aucune continuité n'est assurée, dans l'état actuel des connaissances, entre l'occupation protohistorique du site de Clocheville et la fondation de Caesarodunum, l'observation plus systématique sur de grandes surfaces des niveaux les plus anciens permet néanmoins de réinterpréter les modalités d'implantation de la ville antique (Fig. 17) ([51] LORANS *et al.* 2013 ; Annexe 1). Une seconde question porte sur la ville de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Âge, cette formulation suffisant à elle seule à démontrer qu'il s'agit d'un objet bien mal identifié. Ville du haut Moyen Âge donc, pour laquelle la question des terres noires a considérablement progressé par la mise en place de protocoles d'observation et d'analyse (BORDERIE, FONDRILLON, *et al.* 2013 ; MACPHAIL 2013) permettant de proposer des interprétations fonctionnelles (FONDRILLON 2012). Il reste cependant à poursuivre en ce sens en multipliant les cas d'étude insuffisamment nombreux à l'échelle européenne avant de considérer la question réglée. En effet la caractérisation fonctionnelle ne permet pas nécessairement de définir les formes de l'occupation. Quels sont ces fameux modes d'habiter qui changent à cette période ? Et pourquoi changent-ils ? Une prise en compte plus systématique de cette question dans les opérations urbaines est donc indispensable. En outre, quand le haut Moyen Âge n'est pas matérialisé par des terres noires, il convient néanmoins de se donner les moyens de comprendre ce qui se passe car nous ne savons toujours pas vraiment à quoi ressemble la ville à cette période, exception faite des lieux de culte et des espaces funéraires dont la diversité est maintenant bien établie. Il n'est donc plus permis de faire l'impasse sur cet enjeu.



Fig. 17 : *Caesarodunum* (Tours) vers 150 (GALINIE 2007).

2.2.2. LA VILLE, LES VILLES

La pratique de l'archéologie urbaine n'a de sens que lorsqu'elle s'inscrit dans une démarche de compréhension de l'espace urbanisé ancien. Il s'agit de passer de la fouille urbaine à l'archéologie de la ville. Dans cette perspective, chaque fouille urbaine est pensée, de sa préparation à l'interprétation de ses résultats, comme une contribution à l'amélioration de la connaissance de la ville. Dans un premier temps, la recherche archéologique urbaine a le plus souvent donné lieu à la publication d'études monographiques, notamment dans des collections (Atlas historique des villes de France, Atlas Topographique des villes de Gaule méridionale, Documents d'évaluation du patrimoine archéologique

des villes de France, pour ne citer que les exemples français) dont les finalités sont parfois divergentes mais qui ont en commun d'être toujours fondées sur la topographie historique, même si elle est abordée avec des granularités différentes. La priorité est la caractérisation et la classification fonctionnelle des éléments constituant le paysage urbain sur un espace support. C'est dans cette perspective que la carte archéologique peut être utilisée en milieu urbain, même si après trente à quarante-cinq ans de recherches archéologiques dans plusieurs villes, la surface fouillée ne représente qu'1,5 à 3 % de l'espace urbanisé ancien ([65] RODIER et LAURENT 2007). Dans un second temps, la prise en compte des propriétés spatiales des éléments de la topographie historique a donné lieu à une approche géographique de l'espace urbain. La perspective est alors la compréhension des dynamiques spatiales et des processus de transformation de l'espace urbain. Nous sommes ainsi passés de la reconnaissance de la topographie historique à la compréhension des dynamiques spatiales de transformation. Parmi les outils et les méthodes empruntés à la géographie, la lecture morphologique des plans de ville et l'utilisation des systèmes d'information géographique ont particulièrement contribué à ce changement de perspective.

Appréhender la ville comme un tout, c'est la considérer comme un système afin de ne pas séparer la matérialité de la ville (la forme), l'espace urbain (la structure) et les acteurs (la société). C'est s'intéresser à la fabrique urbaine (GALINIE 2000) par une démarche, qui est celle des sciences sociales, fondée sur les approches de l'histoire, de la sociologie, de la géographie, de l'anthropologie sociale. Le postulat est qu'il n'y a pas de séparation de la forme urbaine des pratiques sociales, « ville et société ne se comprennent que dans leurs interrelations » (PINOL 2003 : 7). La ville est à la fois un système à l'échelle intra-urbaine (système ville) et l'élément d'un système à l'échelle interurbaine (système de villes) (GARMY 2012). Dans les deux cas, la modélisation de ces systèmes permet de mieux en comprendre le fonctionnement. Il existe un rapport dialectique entre l'organisation des réseaux de villes déterminée par un pouvoir central, "l'administration de l'État est un principe organisateur de réseaux urbains et l'un des moteurs du développement des villes." (LEPETIT 1988 : 201) et l'auto-organisation du système ville à l'échelle intra-urbaine (LEPETIT 1993 : 117-120). Dans la longue durée, la fabrique de l'espace urbain relève également d'une combinaison de planifications et d'aléas qui participent à l'auto-organisation du système. Les acteurs de la fabrique de la ville, même s'ils ont un projet, ne planifient pas le résultat que constitue l'espace urbanisé or « la fabrique tend à expliquer le résultat observable » (GALINIE 2000 : 61). Celui-ci résulte de la combinaison des héritages et des planifications ponctuelles – à l'échelle de l'histoire urbaine – associée à la multiplicité des acteurs de tous les niveaux, de l'État à l'individu. Les cas de planification urbaine portant sur des espaces plus vastes que le lotissement de tel ou tel quartier, sont toujours dépendants des usages qui en sont fait par la suite. La ville est ici considérée comme un produit social dont l'appréhension est fondée sur trois présupposés énoncés par Henri Galinié (2000 : 76) :

« 1- une ville est un pur produit et un pur construit, elle n'existe pas en soi : chaque société la transforme selon ses besoins et la structure selon son organisation propre, sa loi sociale ;

2- un espace urbain est apte à rendre compte des sociétés qui l'ont successivement occupé et transformé : derrière l'espace, les sociétés ;

3- une société est dans l'incapacité de concevoir un projet à sa dimension, de s'assigner une fin collective telle qu'œuvrer à produire de l'urbain. »

Ces pistes de recherche ont déjà été explorées par les géographes mais sont plus récentes en archéologie. Elles font appel à des outils de traitement de données, en particulier avec les SIG. J'y reviendrai dans la troisième partie sur l'analyse des dynamiques intra-urbaines à partir du modèle OH_FET fondé sur cette approche ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12). Cela laisse cependant

perplexes certains archéologues qui s'interrogent sur la pertinence d'un outil complexe face à la nature des résultats produits. En effet, s'il ne s'agit que de produire quelques cartes à partir des masses de données enregistrées dans des systèmes sophistiqués, l'on est en droit de s'interroger. Cependant, il faut bien en passer par là, d'une part pour traiter les masses de données importantes et les travaux menés par exemple à Paris (NOIZET, BOVE et COSTA 2013 ; NOIZET et BOVE 2013) montrent combien les exploitations peuvent être riches et diverses à partir d'une base robuste, d'autre part ces outils sont le passage obligé pour accéder aux niveaux de modélisation plus complexes fondés sur les analyses spatiales qu'ils permettent et ainsi aborder les questions ambitieuses que nous posons régulièrement sur les dynamiques spatiales et les interactions multi-échelles dans l'espace urbain.

Parmi les méthodes d'analyse spatiale élaborées par les géographes, celles fondées sur la loi de la gravitation universelle sont utilisées pour hiérarchiser les réseaux d'agglomérations (GARMY *et al.* 2005 ; NUNINGER et SANDERS 2006 ; FAVORY, NUNINGER et SANDERS 2012 ; GARMY et KADDOURI 2013) (Fig. 18). Cette approche s'intéresse à la structure du système dans son ensemble et à son fonctionnement plutôt qu'à la collection des agglomérations qui le composent. Enfin, l'utilisation d'outils de simulation multi-agents ouvre une nouvelle voie pour analyser les modèles de processus de transformation des villes préindustrielles. À l'échelle de la ville, cela nécessite d'identifier et de caractériser les trajectoires urbaines dans la longue durée, puis de mettre ces trajectoires en perspective à l'échelle des réseaux de villes ([50] MATHIAN, RODIER et SANDERS 2013 ; Annexe 1).

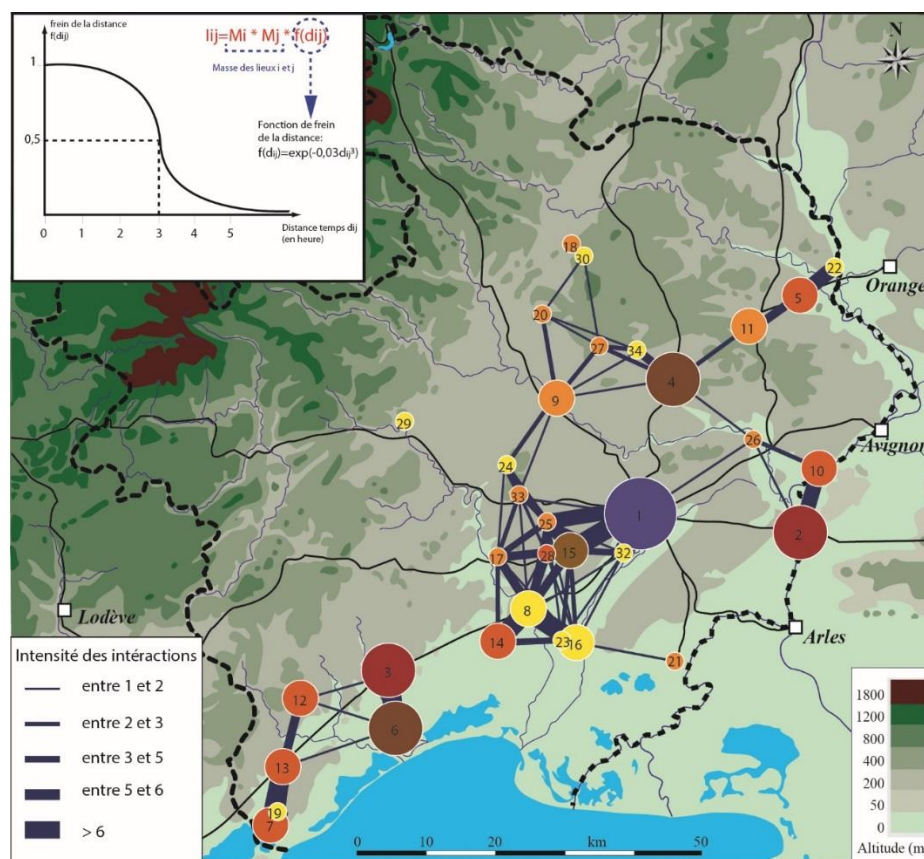


Fig. 18 : Potentiels d'interactions des villes de la cité de Nîmes (GARMY et KADDOURI 2013).

2.2.3. ToTOPI : TOPOGRAPHIE DE TOURS PRE-INDUSTRIEL

La mise en place du système d'information géographique ToTOPI a débuté en 1996 ([28] RODIER 2000). Il ne s'agissait pas de monter un système de gestion du type "carte archéologique urbaine", mais d'utiliser un SIG comme outil de recherche, dans la lignée des Archives du sol à Tours (GALINIE et

RANDOIN 1979), pour la spatialisation des données archéologiques afin de répondre à des questions d'analyse spatiale. Le système devait pouvoir être utilisée par les chercheurs travaillant sur la ville de Tours antique, médiévale et moderne. Ces priorités, fixées a priori, ont eu des implications à la fois sur la structure et la forme du « produit » final. En effet, le système devait intégrer l'ensemble des informations de la topographie historique et permettre de les interroger thématiquement, chronologiquement et spatialement, selon les sujets de recherche sur la ville de Tours. Les outils utilisés devaient être manipulables par les chercheurs sans pour autant développer une application spécifique qui aurait eu pour principal inconvénient de limiter les possibilités d'analyses aux fonctions qui y auraient été implantées.

La première étape a consisté à mettre en place la base de données géographique à partir de données spatiales de référence. Trois couches d'information ont ainsi été intégrées : le cadastre actuel, le cadastre du 19^e siècle et l'emprise des fouilles archéologiques. Elles constituent le référentiel géographique de ToToPI. Toutes les autres couches d'informations sont construites et structurées, tant pour les données graphiques que sémantiques, au fur et à mesure et en fonction des programmes de recherche développés pour l'étude de la ville. La qualité de la saisie (géométrie, précision, échelle de travail et d'analyse) est définie à chaque fois, en fonction des objectifs des programmes qui s'inscrivent dans les quatre axes de recherche retenus :

- La topographie historique articulée autour d'une base de données avec des entrées thématiques et chronologiques à l'échelle de la ville.
- Le traitement et l'interprétation des données archéologiques de terrain, pour lesquels j'ai mis en place un processus de traitement allant de l'enregistrement des données de fouille à leur analyse en laboratoire, c'est-à-dire du géoréférencement à l'analyse spatiale à l'échelle des sites de fouille (cf. 1.1.).
- La morphologie urbaine par le traitement statistique des orientations de la trame parcellaire du 19^e siècle qui a fait apparaître trois gisements majeurs dans le plan (Fig. 19). Deux s'expliquent aisément par la configuration de la ville et son rapport au fleuve. L'orientation ocre est déterminée par l'inertie des réalisations alignées sur le fleuve comme l'orientation verte témoigne dans l'ouest de l'inclinaison de la rive gauche en direction du chenal reliant Cher et Loire. Cette inclinaison ouest se retrouve, à la fois au sud de la zone densément urbanisée où elle correspond à des paléo-chenaux mais aussi, contrariée par des réaménagements successifs, à la limite des trames ocre et bleue. La trame bleue s'inscrit à contresens. On est à peu près assuré qu'il ne s'agit pas d'un artefact car ses limites correspondent à des aménagements identifiés, notamment le castrum de Saint-Martin au sud, l'hypothèse, fondée sur le croisement des sources disponibles, est qu'elle marque une réorganisation importante dans la première moitié du 10^e siècle dont l'initiative reviendrait à Téotolon, doyen de Saint-Martin puis évêque de Tours ([69] GALINIE *et al.* 2003 ; Annexe 5).
- l'évaluation du potentiel archéologique avec la modélisation du sol urbain à l'échelle de la ville. À Tours, le dépôt anthropique varie de 3 à 10 m d'épaisseur (Fig. 20). Il est plus ou moins stratifié et plus ou moins bien conservé. Le croisement des données archéologiques, géotechniques et géologiques a permis la modélisation des niveaux naturels et de l'épaisseur du dépôt anthropique d'abord à l'échelle de l'espace urbanisé ancien dans le cadre de la thèse d'Amélie Laurent (LAURENT 2007 ; LAURENT et FONDRILLON 2010 ; [26] BREYSSE *et al.* 2002 ; [24] RODIER *et al.* 2003 ; Annexe 13), puis étendu à l'agglomération à l'occasion du post-doc d'Eymeric Morin ([9] MORIN *et al.* 2013 ; [8] MORIN *et al.* 2014 ; Annexe 14).

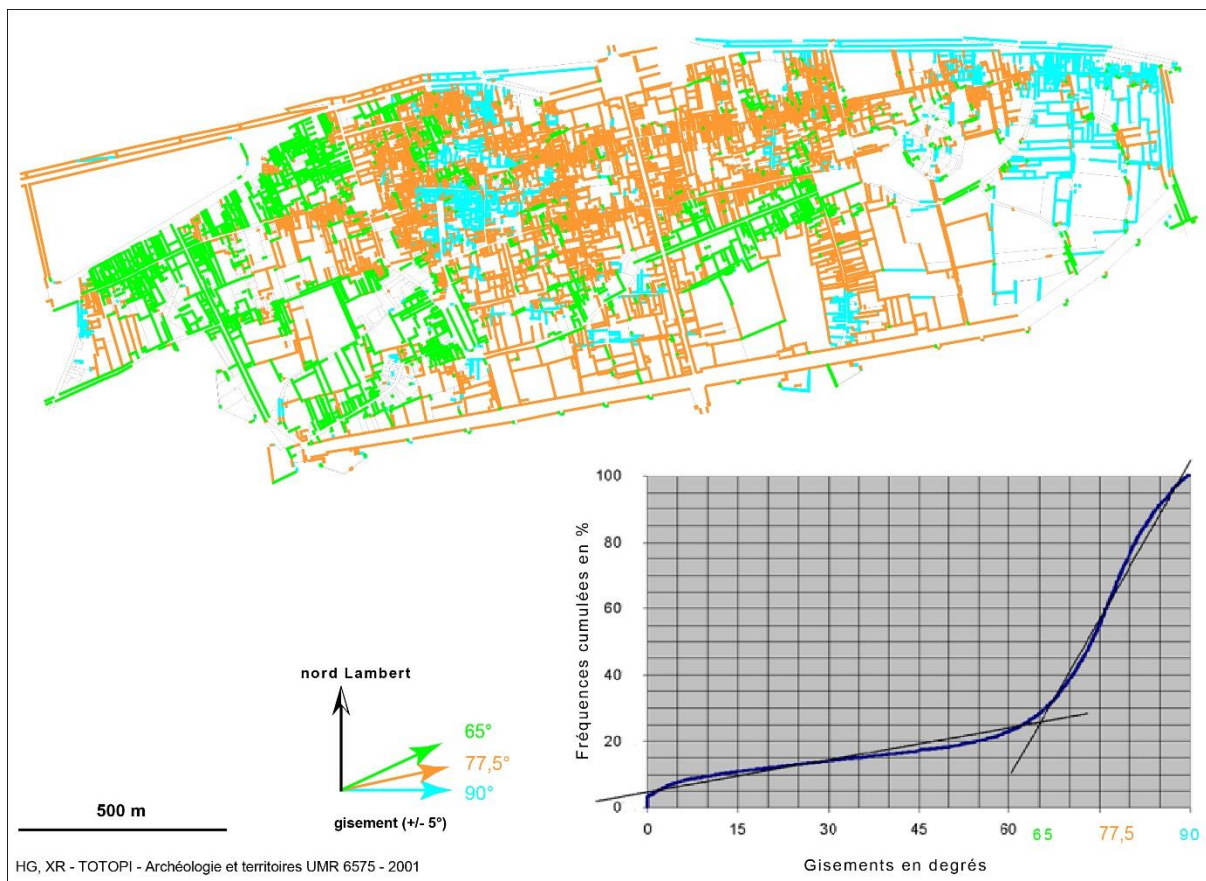


Fig. 19 : Classement des orientations des limites du parcellaire du 19e siècle à Tours ([28] RODIER 2000 ; GALINIE *et al.* 2003 : [69] ; Annexe 5).

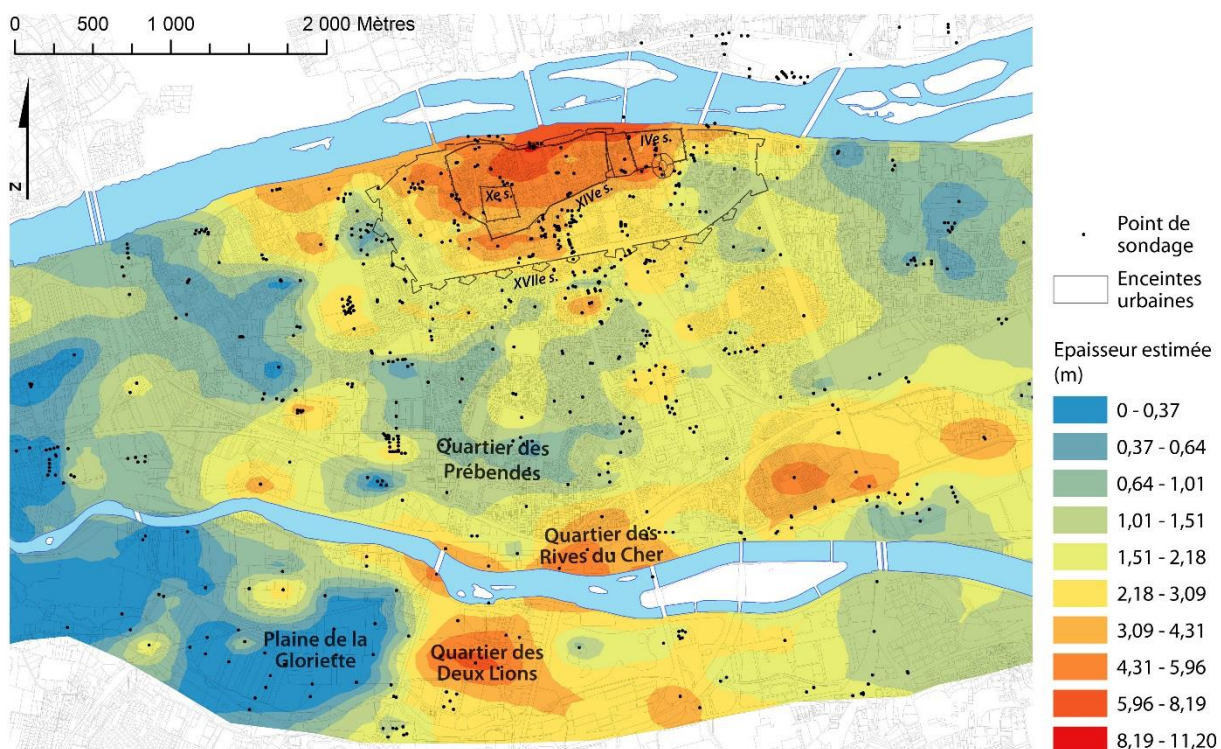


Fig. 20 : Modèle de l'épaisseur du dépôt anthropique dans l'agglomération tourangelle ([9] MORIN *et al.* 2013 ; [8] MORIN *et al.* 2014 ; Annexe 14).

La topographie historique constitue à la fois l'organisation initiale des systèmes documentaires, l'instrument permanent pour traiter de tout autre sujet et l'aboutissement de la démarche pour l'analyse de l'espace urbain. C'est sans aucun doute l'axe qui a nécessité le plus de temps et d'énergie ainsi que celui qui a produit le plus de résultat, en particulier par son apport à la modélisation des données sur laquelle je reviendrai dans la troisième partie.

Dans le domaine de la topographie étudiée dans la longue durée, les renseignements utiles ont trois origines principales :

- les éléments matériels dans le sol ou en élévation,
- les mentions écrites directes ou narratives,
- les représentations graphiques, vues, plans, photographies.

On considère comme unité documentaire ou élément de base de la topographie d'une ville, toute réalisation ou tout élément naturel modifié ou non présent au sol à un moment donné et participant ainsi du paysage urbain ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15). C'est, par exemple, une maison, un atelier, un temple, une église, un château, une halle, une fontaine publique, un hôtel de ville, un quai, un rempart, une rue, une place, une abbaye, un lotissement, mais aussi un verger, un champ, une rivière, un relief... Un même élément peut être documenté de multiples façons. Un état ancien peut avoir été découvert en fouille, un état plus tardif peut être documenté par des mentions écrites et des plans, l'état terminal peut être toujours en élévation ou présent, en totalité ou en partie. Pour chaque élément topographique, l'interprétation fonctionnelle doit être établie à deux niveaux, celui de la signification d'usage, celui de la signification urbaine. Une construction est un atelier (signification d'usage), on en infère l'existence d'un secteur artisanal (signification urbaine). Les éléments de la topographie d'une ville peuvent être regroupés en quelques rubriques fonctionnelles urbaines essentielles. De nombreux exemples de regroupements existent dans la bibliographie archéologique ou historique contemporaine (Heighway 1972 ; Van es, Poldermans et Sarfatij 1982 ; Lepetit 1988), issus de la géographie urbaine. Aucun d'entre eux n'est définitif. Le thésaurus élaboré par le Cnau a fait ses preuves depuis 1990 (Fig. 21). C'est un outil maniable quand il s'agit de trouver des catégories permettant de classer efficacement une *domus*, un couvent, un arsenal ou une gare du chemin de fer. L'objectif fixé est l'étude de la transformation de l'espace urbain dans la longue durée, on procède donc à une sélection des éléments individuels utiles à la connaissance du fonctionnement de la ville et qui sont considérés comme l'unité de base. Ce sera l'édifice et non le mur, la nécropole et non la tombe etc. Leur dénomination, comme souvent, a évolué au fil de la recherche (élément constitutif, entité fonctionnelle, objet urbain, repère urbain). C'est avec l'achèvement de la modélisation (cf. 3.1 OH_FET) que nous avons retenu Objet historique ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).

<p>1. Voirie, aménagements</p> <p>11. voies, rues 12. espaces libres 13. aménagement des berges 14. aménagements du relief 15. franchissements 16. adductions d'eau 17. collecteurs, évacuations 18. monuments, vestiges 19. édifice monumental indéterminé</p> <p>2. Structures défensives et militaires</p> <p>21. système défensif urbain 22. structures fortifiées 23. garnisons, casernements</p> <p>3. Constructions civiles</p> <p>31. espaces publics 32. pouvoir civil, justice 33. éducation, culture 34. santé 35. spectacles, sports 36. bains, thermes 37. habitat privé</p> <p>4. Édifices religieux</p> <p>41. cultes païens 42. édifices culturels catholiques 43. bâtiments conventuels ou monastiques 44. bâtiments ecclésiastiques</p>	<p>45. cultes autres que catholiques 46. églises paroissiales</p> <p>5. Lieux d'inhumation</p> <p>51. aire funéraire 52. cimetière paroissial 53. lieu d'inhumation particulier</p> <p>6. Lieux de commerce, artisanat, production</p> <p>61. commerce, échanges, boutiques 62. artisanat, ateliers 63. agriculture, élevage 64. manufacture, établissement industriel 65. extraction, carrières</p> <p>7. Formations naturelles</p> <p>71. littoral 72. cours d'eau (alluvions) 73. marécage 74. colluvionnements</p> <p>8. Autres</p> <p>81. indéterminé 82. absence d'occupation attestée 83. abandon</p> <p>9. Hors urbain</p> <p>91. établissement complexe sans caractère urbain 92. structure périphérique</p>
---	--

Fig. 21 : Valeurs urbaines (1 à 9) et valeurs d'usage (11 à 92) d'après la grille d'analyse des fonctions urbaines élaborée par le Centre National d'Archéologie Urbaine ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15).

Ainsi la connaissance de la topographie historique d'une ville demande de procéder pour chaque objet historique, tout en garantissant l'accès aux preuves, à :

- son individualisation au niveau pertinent selon l'objectif fixé et l'état des connaissances ;
- la critique des différentes sources le renseignant ;
- l'établissement de sa localisation et de sa durée d'usage.

Pour qu'un élément soit utile à l'établissement de l'état des lieux, il faut que l'information dont on dispose à son sujet permette de répondre à trois questions d'une grande simplicité d'énonciation :

- Qu'est-ce ?
Pour être utile, un objet historique doit être identifié par sa fonction. Il faut pouvoir établir qu'il s'agit d'une maison, d'un atelier, d'un cimetière, d'une église, d'un quai, d'un rempart, d'un fossé, d'une rivière, d'un aménagement du relief, etc. Dans la pratique, ce peut être une partie de la maison, de l'atelier dès que l'interprétation fonctionnelle maison, atelier est établie. En revanche, un mur à la fonction indéterminée, une tombe seule découverte fortuitement, une fosse-dépotoir détachée de tout contexte sont ici dénués d'intérêt. Puisque l'objectif poursuivi ne consiste pas en un recensement de toutes les informations existantes à sélectionner les informations utiles.
- Où se trouve-t-il ?
Pour être utile, un objet historique identifié doit être localisé. À l'échelle de la ville, les objets sont représentés par un point (maison, atelier), un trait (rue, rempart, rivière) ou une surface (place, nécropole, champ, quartier canonial, forum, enclos). La précision de la localisation est relative. Elle varie de l'échelle de l'îlot à celui de la parcelle. Des tracés de fortification, de rues

contiennent souvent des approximations. Les emprises des cimetières ou des nécropoles sont rarement connues avec exactitude. La localisation doit cependant être géoréférençable.

- De quand à quand ?

Pour être utile, un objet historique identifié et localisé doit être situé dans le temps. Il faut établir le début et la fin de la fonction identifiée. La durée est exprimée par des dates calendaires de début et de fin pour chaque objet. Une valeur de précision ou d'incertitude est affectée à chaque date. On donne par exemple une date exacte pour la tombe de Martin (397) alors que 301 signifie 4^e siècle pour le début de la nécropole qui accueille sa tombe.

Tout objet historique doit donc être identifié, localisé, daté. Cette formalisation élémentaire servira de base à la modélisation proposée par la suite (cf. 3.1). Il ressort de l'association identification-localisation-datation qu'un changement de fonction ou de forme équivaut à un changement d'objet. Un monastère transformé en église paroissiale au même endroit doit être considéré comme un nouvel objet. L'information utile est double : création d'une église paroissiale, disparition d'un monastère. Dans ce cas, fonction et datation changent, seule la localisation reste identique. Un changement de forme ou d'emprise peut ou doit selon les cas donner lieu à un changement d'objet. Une cathédrale attestée par la présence d'un évêque à un concile, puis par un vestige de chevet roman puis par l'édifice complet du 13^e siècle sera décomposée en trois objets distincts. Le 1^{er} est supposé se trouver à l'emplacement des suivants, l'emprise du 2^e est inconnue, le 3^e est précisément connu.

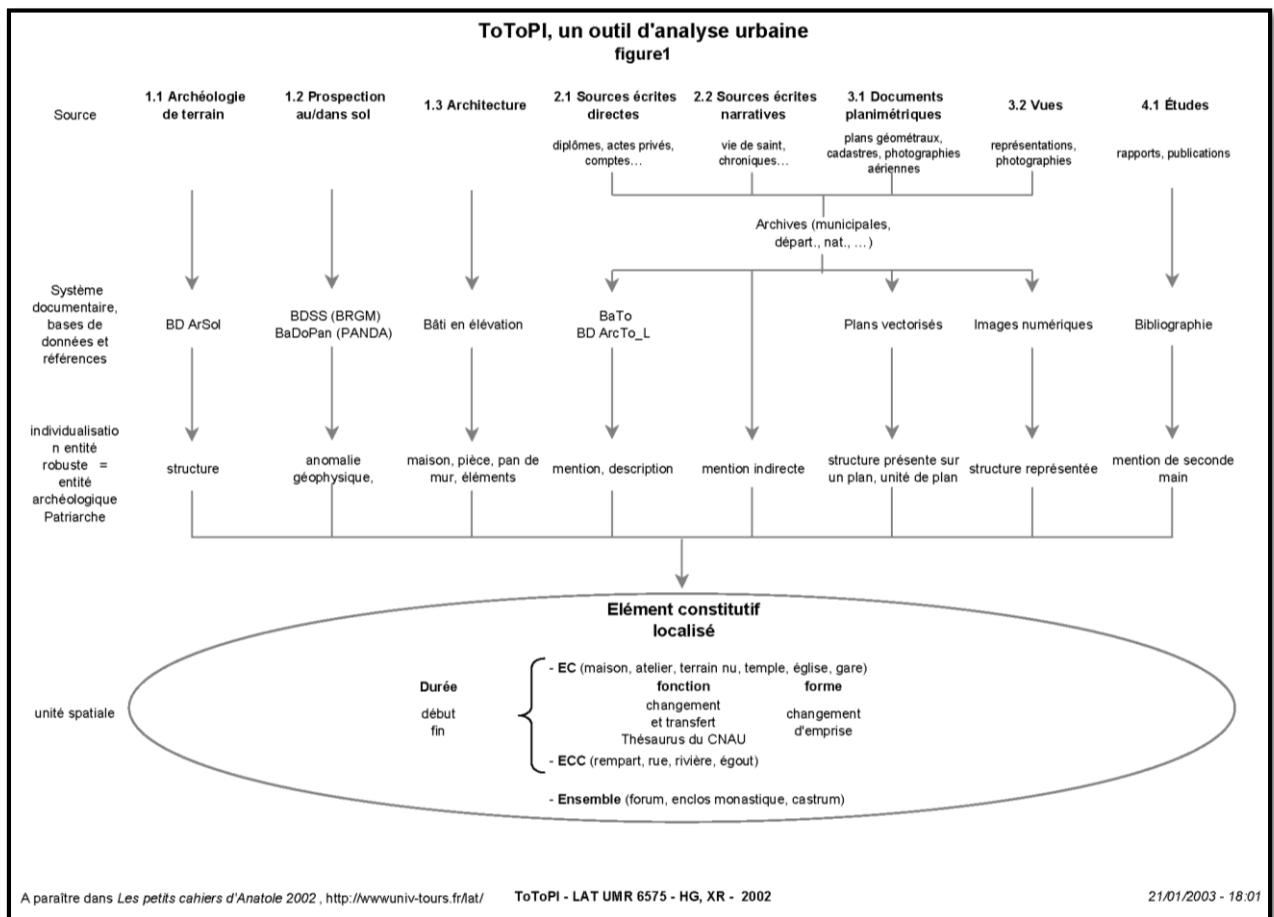


Fig. 22 : L'organisation des informations et les étapes de leur traitement dans ToToPI ([25] GALINIE et RODIER 2002 ; Annexe 6).

Le système documentaire comporte quatre niveaux en interaction ([25] GALINIE et RODIER 2002 ; Annexe 6) (Fig. 22) :

- les sources
- les systèmes documentaires transformant les sources en références après critique,
- la confrontation des sources pour l'individualisation de l'objet historique
- l'objet historique localisé défini comme unité spatiale robuste entrant dans ToToPI.

ToToPI est devenu l'outil de base des travaux de recherche sur Tours. Il a permis par exemple de produire l'information topographique pour le bilan de 40 ans d'archéologie urbaine à Tours en 2006 (GALINIE 2007) et a été utilisé pour les thèses d'archéologie portant sur la ville dirigées par Henri Galinié (Fig. 23), puis Élisabeth Lorans : Amélie Laurent (2007), *Évaluation du potentiel archéologique du sol en milieu urbain* ; Bastien Lefebvre (2008), *Formation d'un tissu urbain dans la cité de Tours : du site de l'amphithéâtre antique au quartier canonial (5e-18e s.)* ; Émeline Marot (2013), *Morphologie urbaine et architecture civile au Moyen Age : le quartier de la collégiale Saint-Martin de Tours de la fin du 10e siècle au 14e siècle*. C'est également le système d'information de référence pour la thèse en cours de Lucie Nahassia, *Dynamique des fonctions intra-urbaines dans la longue durée. Application à la ville de Tours*, que je co-encadre avec Lena Sanders. Cette thèse en cours adopte une démarche qui place la ville dans le paradigme des systèmes complexes pour s'intéresser aux processus de changements qui président aux dynamiques spatiales de l'espace urbain dans le temps long. L'objectif est de proposer un modèle des dynamiques fonctionnelles intra-urbaines et de le mettre en œuvre à l'aide d'un modèle de simulation pour observer les processus entre la structure globale et les interactions locales.

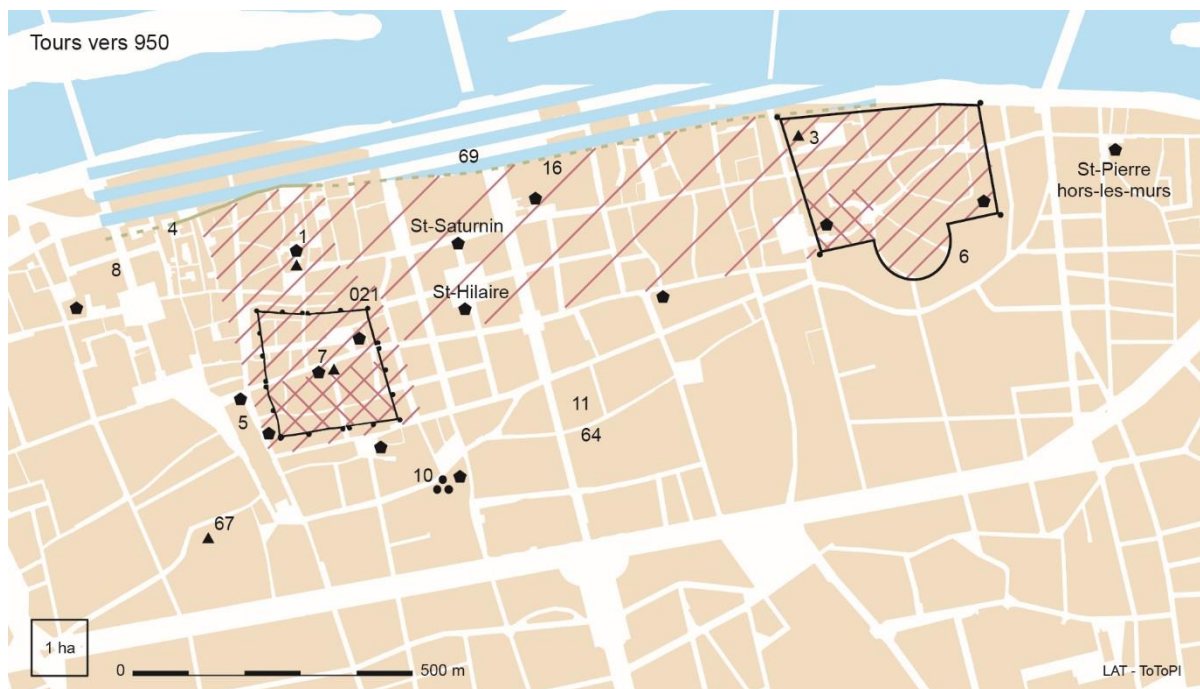


Fig. 23 : Topographie de Tours vers 950 (GALINIE 2007).

2.2.4. LA CHRONO-CHOREMATIQUE URBAINE

La chorématique est une méthode de modélisation des structures élémentaires de l'espace géographique inventée par le géographe Roger Brunet, en s'inspirant de la linguistique structuraliste (BRUNET 1980). Elle permet la description de l'espace en le décomposant en éléments structurants, les chorèmes. La chrono-chorématique s'attache à modéliser l'espace en dégagant ses structures

élémentaires dans la longue durée (THERY 1990 ; GRATALOUP 1996). Les logiques socio-spatiales qui se combinent dans la ville à une époque donnée ont ainsi été modélisées afin de proposer une synthèse en image des connaissances en histoire urbaine. La première utilisation de la chorématique en archéologie porte sur les petites villes des Yvelines (DUFAY 2002). Il existe quelques autres exemples (NOIZET 2002 ; LEFEBVRE 2011 ; GARMY 2011 ; LEFEBVRE 2013) qui pour une bonne part gravitent autour de l'application de la démarche à des villes françaises par des géographes, historiens et archéologues dans le cadre d'un atelier initié par le Cnau.

À partir des villes pour lesquelles l'état des connaissances est établi, la modélisation graphique constitue une approche complémentaire pour la compréhension de l'espace urbain. Elle consiste à repérer pour une ville donnée la combinaison de structures élémentaires qui rend le mieux compte de son organisation spatiale. Ces structures élémentaires, identifiées par Roger Brunet (1980 ; 1986) sous forme de chorèmes (Fig. 24), représentent un langage permettant « une écriture du monde ». La carte-modèle d'une ville donne ainsi à voir comment différents éléments et forces génériques sont assemblés pour produire un espace particulier. La démarche chrono-chorématique, en ajoutant la dimension temporelle, a pour double ambition de rendre compte de l'histoire spécifique de telle ou telle ville et d'offrir la possibilité de comparer les villes entre elles selon des critères typologiques et chronologiques (DJAMENT et GRATALOUP 2010). En pratique, l'approche est d'une part inductive, fondée sur la connaissance de la ville élaborée à partir de la mise en œuvre des données historiques, d'autre part hypothético-déductive à partir de la position supposée de la ville dans une frise théorique pour en déduire l'inscription spécifique du cas étudié.

	POINT	LIGNE	AIRE	RESEAU
maillage				
	chef-lieu	limite administrative	Etat, région...	centres, limites et polygones
quadrillage				
	tête de réseau carrefour	voies de communication	aire de desserte irrigation, drainage	réseau
attraction				
	points attirés satellites	lignes d'isotropie orbites	aire d'attraction	liaisons préférentielles
contact				
	point de passage	rupture, interface	aires en contact	base tête de pont
tropisme				
	flux directionnel	ligne de partage	surfaces de tendance	dissymétries
dynamique territoriale				
	évolutions ponctuelles	axes de propagation front	aires d'extension	tissu du changement
hiérarchie				
	semis urbain	relation de dépendance limites administratives	sous-ensemble	réseau maillé

Fig. 24 : La table des chorèmes de Roger Brunet (1986).

Les travaux de l'atelier de chrono-chorématique urbaine ont donné lieu à la production d'un langage graphique commun. Plus qu'une simple légende, c'est l'une des clés d'entrée dans la démarche. Elle est le résultat d'une réflexion diachronique sur l'organisation spatiale fondée sur une caractérisation fonctionnelle des composantes urbaines (LEPETIT 1988 ; GALINIE 2000). Le postulat est que le caractère urbain d'une agglomération s'évalue par les types de fonction qu'elle concentre, sa taille et l'attraction qu'elle exerce au sein d'un réseau d'habitats hiérarchisés ([44] BOISSAVIT-CAMUS *et al.* 2005 : 69 ; Annexe 11). La structure du langage graphique élaboré (Fig. 25) articule quatre grandes fonctions : politique, militaire, économique et religieuse, avec une hiérarchie à trois niveaux : banal, développé et d'autorité (GALINIE 2000 : 35-36).

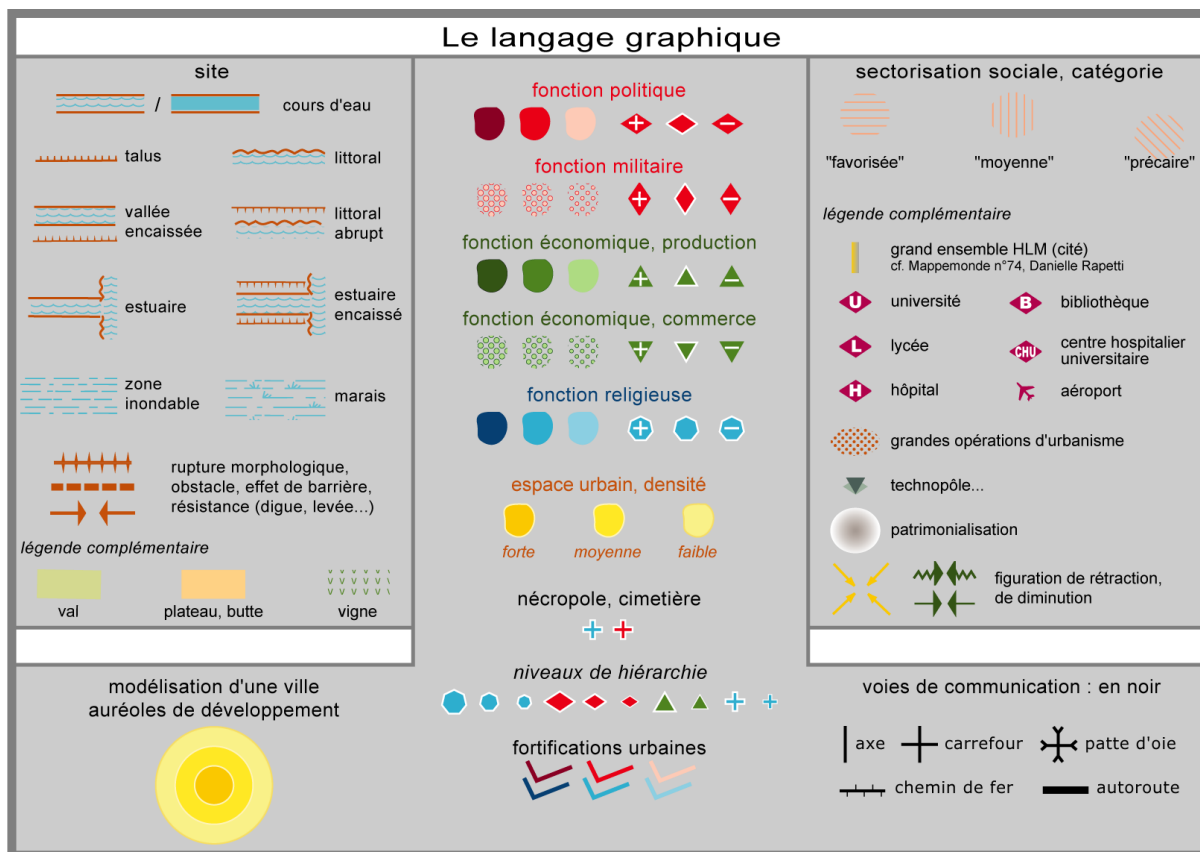


Fig. 25 : Le langage graphique de l'Atelier de chrono-chorématique urbaine du Cnau (DESACHY et DJAMENT 2013).

En assumant le va et vient entre général qui efface la diversité spatiale et temporelle, et particulier, où rien n'est semblable, l'ambition de la démarche est de se donner les moyens de comparer les épisodes d'une même ville permettant de formaliser sa trajectoire urbaine (DJAMENT et GRATALOUP 2010). À ce jour, neuf villes ont fait l'objet d'une étude chrono-chorématique selon cette grille commune : Aix-en-Provence (BOISSAVIT-CAMUS, GUILLOTEAU et GRATALOUP 2010), Angers (LEFEVRE 2010), Bordeaux (LAVAUD *et al.* 2014), Le Mans (MEUNIER 2013), Limoges (QUERU 2012), Poitiers (BOISSAVIT-CAMUS, GUILLOTEAU et ROYUOX 2010), Reims (PICHARD 2013), Tours ([14]RODIER, GALINIE et BRUNET 2010 ; Annexe 16), Vendôme (SIMON 2010). Le corpus est encore insuffisant pour répondre à la vocation de comparaisons synchroniques entre plusieurs villes afin de dégager des types de villes. La démonstration a cependant été faite dès le début de ces travaux avec l'exemple de Tours et Poitiers au 10^e siècle qui aboutit au chorotype de la ville double ([44] BOISSAVIT-CAMUS *et al.* 2005 : 73-75 ; Annexe 11). Ce nouveau modèle, topo-fonctionnelle, rend compte des cas de Tours et Poitiers mais est susceptible de s'appliquer à d'autres cas. À termes, si le corpus d'études de cas est complété, des confrontations spatio-temporelles entre plusieurs villes permettraient de comparer leurs trajectoires urbaines et de réaliser ainsi des familles de chrono-chorotypes.

Au-delà des études de cas, huit épisodes successifs ont été définis pour étudier la trajectoire urbaine sur le temps long, constituant ainsi une frise théorique (Fig. 26). Chaque épisode est identifié par un titre, sans bornes chronologiques, et décrit par une planche et par un texte explicatif. Les planches, toutes sur le même modèle, présentent le chrono-chorotype de l'épisode précédent, les principales transformations urbaines sélectionnées pour la construction du nouveau chrono-chorotype, le modèle de l'épisode étudié. Je présente ici l'épisode de la ville multiple qui constitue ma contribution à cette frise.

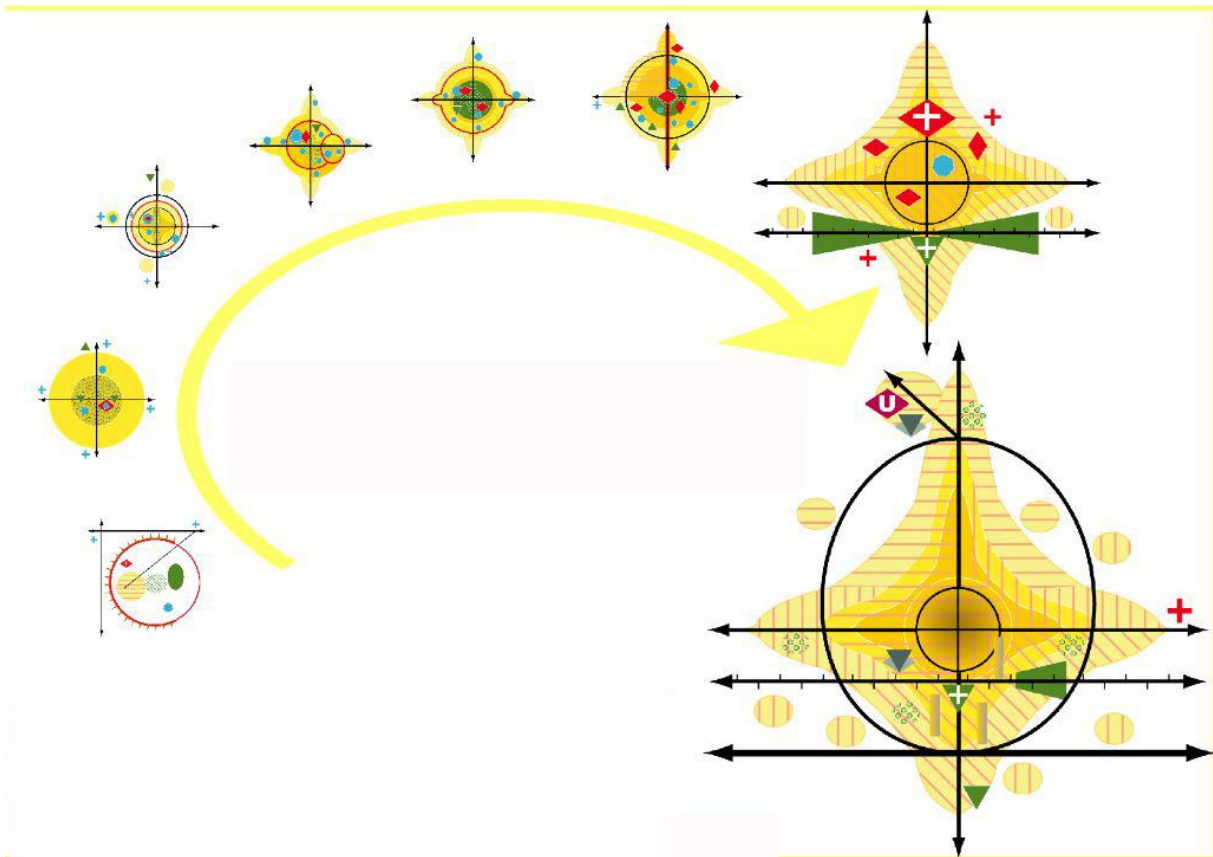
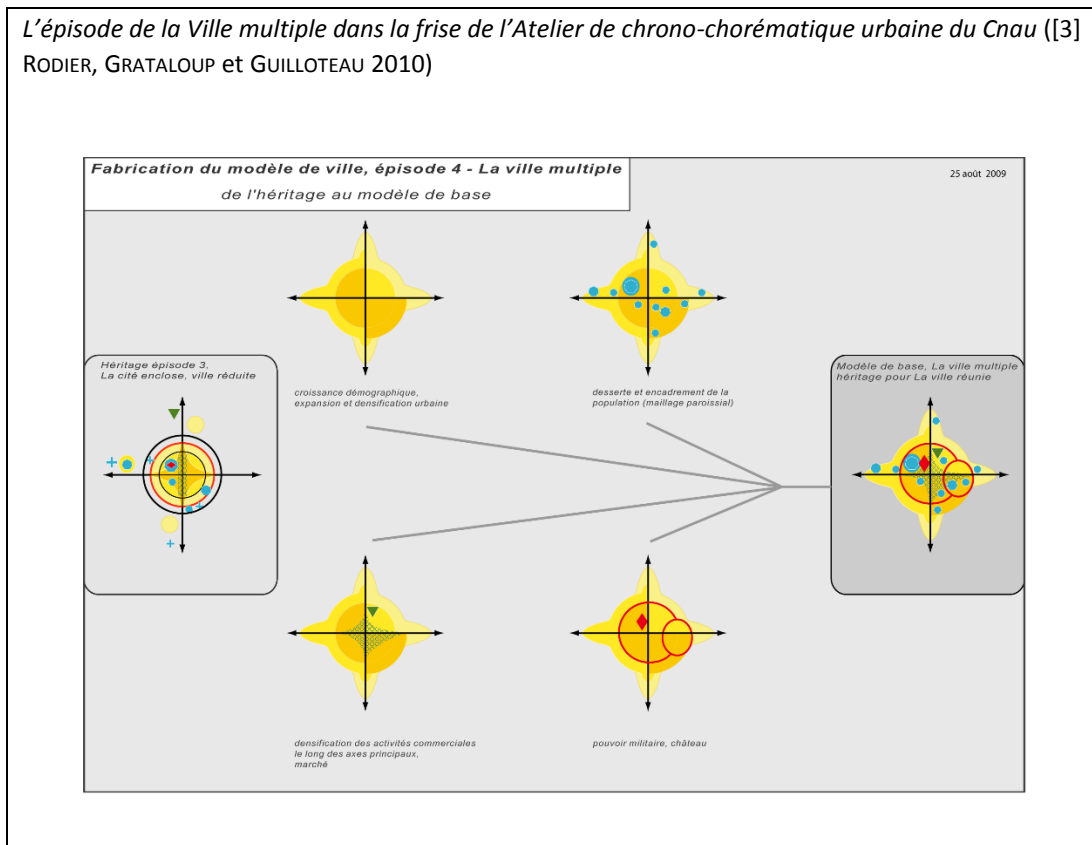


Fig. 26 : La trajectoire-type d'une ville de France selon la frise de l'Atelier de chrono-chorématique urbaine du Cnau (DESACHY et DJAMENT 2013).

L'épisode de la Ville multiple dans la frise de l'Atelier de chrono-chorématique urbaine du Cnau ([3] RODIER, GRATALOU et GUILLOTEAU 2010)



L'héritage d'une ville centrée et enclose ne vole pas en éclats. Il structure le paysage et la forme urbaine. Mais l'apparition de plusieurs pouvoirs concurrents sans unité urbaine donne lieu à une ville multiple autour du château, de la cathédrale, du cloître canonial, des monastères, des marchés. Chacun de ces lieux de pouvoir marque durablement l'espace urbain. Le modèle de cette ville multiple est assez simple. Il se caractérise par :

- une croissance démographique qui va de pair avec une densification et une expansion de l'espace urbanisé ;
- une densification des activités économiques avec la présence de marchés et le développement du commerce concentré le long des axes principaux (soit à l'intérieur d'un pôle soit entre deux pôles) ;
- l'affirmation du pouvoir des chapitres avec l'organisation des quartiers canoniaux aux abords de la cathédrale ou de collégiales ;
- l'organisation de la desserte et de l'encadrement de la population avec la mise en place du maillage paroissial ;
- la disparition des espaces funéraires spécialisés avec l'entrée des morts en ville ;
- la matérialisation du pouvoir civil et militaire du seigneur par le château ou le palais.

La réalité est plus complexe car la juxtaposition de ces marqueurs met également en évidence les contradictions entre l'unité spatiale de la ville et la diversité sociétale des pouvoirs en présence.

Le développement des villes qui caractérise cet épisode, avec la densification d'un espace urbain à nouveau en expansion, traduit une reprise de la croissance démographique et la multiplication des fonctions urbaines, économiques, religieuses, civiles et militaires. Pour autant, il faut là encore y voir le signe d'une restructuration urbaine progressive accompagnée d'un nouveau changement de la manière de vivre en ville. En d'autres termes, s'il n'y a pas de déprise urbaine dans l'épisode précédent, il n'y a pas de reprise dans celui-ci.

Le pouvoir croissant de l'évêque, des chapitres, la montée en puissance de grands monastères et la structure seigneuriale de la société civile donnent lieu à une production d'espaces urbains que l'utilisation croissante de la pierre contribue à pérenniser. On assiste à un nouveau changement des modes de construction traduisant une manière de vivre et de fabriquer l'espace urbain dont les traces matérielles resteront plus lisibles.

Du point de vue morphologique, les voies de contournement sont toujours présentes mais ne sont plus caractéristiques du changement de la trame urbaine. Les enceintes marquent les polarités autour des résidences du seigneur laïc et/ou de l'évêque, de monastères. Il peut y avoir autant d'enceintes seigneuriales ou religieuses qu'il se constitue de lieux d'exercice du pouvoir suffisamment forts. La ville est polynucléaire dans sa morphologie et elle est multiple par la coexistence des pouvoirs en présence. Chacun d'entre eux est producteur d'espaces imbriqués parfois superposés qui, réunis, constituent l'espace urbain. C'est l'équilibre entre ces pôles qui fait l'unité urbaine. Chacun développe sa propre activité économique, parfois en concurrence. Chaque pôle, château, cathédrale, abbaye, augmente son emprise sur la population tant dans le registre administratif et politique que dans le registre économique.

La ville épiscopale est polarisée par le développement du quartier canonial autour de la cathédrale et structurée par la desserte et l'encadrement systématique de la population avec la mise en place du maillage paroissial. La paroisse est le lieu ordinaire de déroulement de la vie civile, cadre des levées financières quelle que soit leur destination.

Les abbayes, comme les châteaux, concurrencent les cités épiscopales en devenant sièges du pouvoir et de la richesse. Elles constituent des centres cristallisant les activités, au rôle économique considérable. Le développement de nouvelles centralités, qu'elles soient juxtaposées, intérieures ou extérieures à la cité épiscopale, entraîne un essor économique concurrentiel notable qui marque à la fois le paysage urbain (urbanisation, expansion et densification) et le rang des villes

dans leur inscription dans un réseau. Ce rôle économique donne un nouveau sens au phénomène urbain alors que les cités sont concurrencées dans leur rôle religieux et militaire.

Les marqueurs de cet épisode coexistent paradoxalement :

- la multipolarité des pouvoirs qui se traduit dans les formes urbaines ;
- le maillage paroissial qui structure l'espace social ;
- la densification et l'expansion de l'espace urbain ;
- les enceintes, militaire ou monastique, qui sont un élément symbolique de la ville médiévale.

Pour autant, si l'unité urbaine est probablement en construction, l'espace urbain n'en est pas moins multipolaire. La ville multiple est à la fois chacun de ces pôles et tous à la fois.

L'ultime étape de la démarche consiste à proposer une seule figure représentant la trajectoire de la ville depuis son origine, ce que Hervé Théry (1990 : 54) désigne par le terme de paléochorème. La principale difficulté consiste à représenter la rétraction urbaine en même temps que la croissance dans une image fixe. Le résultat ne devant bien entendu pas être le cumul de toutes les images précédentes. La représentation des enceintes est indispensable pour signifier les moments où la ville est close bien qu'elles ne coexistent pas nécessairement. De la même manière, la surface jaune, qui matérialise l'occupation urbaine de l'espace selon différentes densités, n'occupe pas tout l'espace durant toute la fourchette chronologique considérée. C'est pourquoi elle est décomposée en auréoles représentant à la fois les phases d'extension et celles de rétraction de l'espace urbanisé. La figure 27 ainsi construite pour Tours ([17] RODIER et GALINIE 2006), en dehors de son aspect suggestif, représente la ville ouverte implantée à un carrefour le long d'un fleuve ; une phase de rétraction dans une enceinte ; la ville double ; la réunion dans une enceinte commune ; la croissance au-delà des murs et du fleuve. Elle n'est pas compréhensible seule et ne représente pas l'histoire de Tours mais traduit en quelque sorte la trajectoire de la ville.

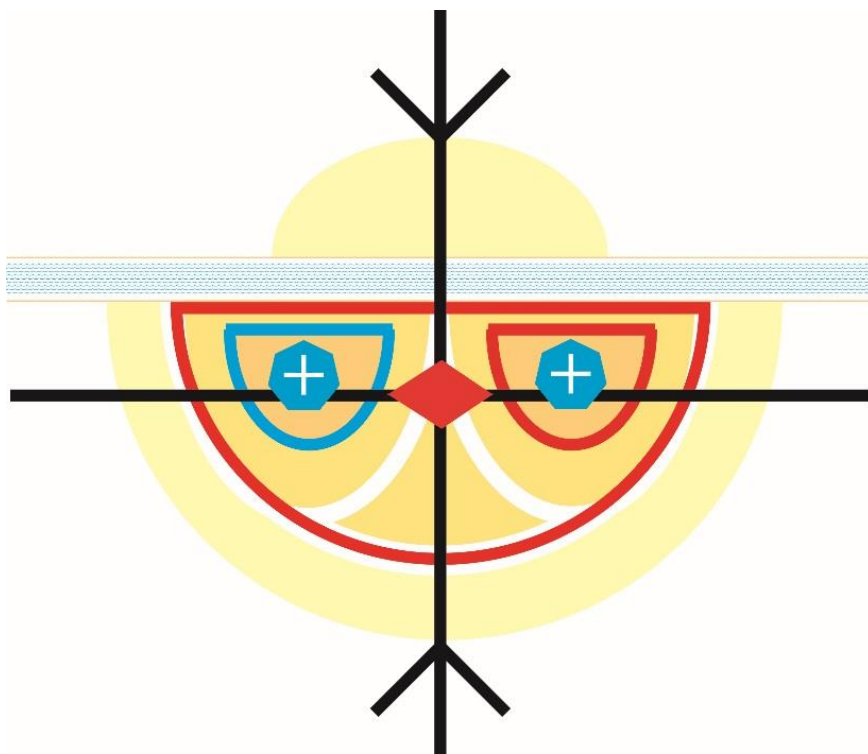


Fig. 27 : Proposition de chrono-chorotype de la ville de Tours ([17] RODIER et GALINIE 2006).

La chrono-chorématique procède d'une démarche de simplification qui semble éloigner de l'utilisation répandue de systèmes d'information de plus en plus sophistiqués. Les deux approches ne sont

pourtant ni antinomique, ni si éloignée l'une de l'autre qu'il pourrait y paraître. Elles partagent une démarche combinatoire qui consiste à décomposer de manière analytique la connaissance fine des villes étudiées, préalable indispensable, avant de les assembler en différentes couches d'informations spatiales. Si les méthodes sont différentes, les simplifications nécessaires à la construction chrono-chorématique et à la modélisation conceptuelle des systèmes d'information impliquent les mêmes questionnements. En effet, dans les deux cas il s'agit d'expliquer l'implicite, « d'ouvrir les boîtes noires de ce qui fait la ville, synchroniquement et diachroniquement » (DESACHY et DJAMENT 2013 : 237). Dans les deux cas, la phase d'élaboration est sans conteste d'une grande portée heuristique sur lesquels s'accordent les auteurs des bilans critiques réalisés de manière introspective par Bruno Dufaÿ et Christian Grataloup (DUFAYÿ et GRATALOUP 2013), ainsi qu'à l'extérieur de l'atelier par Roger Brunet (BRUNET 2010) inventeur de la chorématique, avant qu'il ne contribue à nos travaux sur Tours, et par Pierre Garmy (GARMY 2012 : 140-149).

2.3. TERRITOIRES

Si les méthodes de terrain sont identiques lors de la fouille, une distinction s'impose entre les milieux urbain et rural dès lors que l'on change de niveau d'interprétation. En effet, l'identification des structures mise au jour par l'archéologie urbaine s'inscrit implicitement dans le modèle historique de la ville pour la période considérée, ce qui permet de ramener à un niveau d'organisation commun toutes les informations quelles que soient leur source. En milieu rural, l'insertion des traces d'occupations observées dans un modèle historique ne va pas de soi et elle est même le plus souvent difficile à déterminer. L'individualisation univoque d'un objet renseigné par des sources différentes est plus difficile à établir sans doute parce que les repères topographiques sont plus diffus, l'amplitude de variation d'échelles de perception des phénomènes est plus vaste et la granularité spatio-temporelle se différencie davantage selon l'origine des données. La distinction que je fais ici entre urbain et rural, entre ville et territoire, est donc du registre de la structure et de la modélisation de l'information mais en aucun cas thématique. Il va de soi que la ville n'est pas sans territoire, que le territoire est structuré par des réseaux d'agglomérations. Les travaux que je présente ici relèvent d'une archéologie spatiale qui, dépassant l'évidence de la spatialité des données archéologiques, s'intéresse à la fois à l'espace des sociétés du passé et aux relations de ces sociétés à l'environnement. Il s'agit d'étudier l'inscription spatiale des sociétés dans leur environnement afin de comprendre la manière dont elles produisent de l'espace. J'ai sélectionné deux programmes achevés et l'un en cours pour illustrer comment les méthodes de traitement et d'analyse des données spatiales, en offrant la possibilité de manipuler de grandes séries de données, produisent des résultats à même de renouveler les questionnements.

2.3.1. PAROISSES ET COMMUNES DE TOURAINE

Les objectifs du programme paroisses et commune de Touraine, dirigé par Élisabeth Zadora-Rio, étaient d'analyser la construction des territoires paroissiaux en Touraine en cherchant à identifier les facteurs d'ordre historique, géographique ou pédologique qui ont influencé leur morphologie (ZADORA-RIO 2008). Les communes actuelles représentent un maillage homogène et continu de l'espace qui résulte d'un long processus de remodelage territorial. La mise en place du réseau paroissial ne résulte pas d'un plan préétabli mais de la coalescence progressive d'une multitude de cellules individuelles qui après s'être multipliées, subdivisées, concurrencées, ont fini par constituer un maillage continu. La chronologie de ce processus, la diversité morphologique des territoires paroissiaux et communaux, le degré de pérennité de leurs limites sont au centre de cette recherche.

Le parti pris de l'étude a été, d'une part de fonder l'analyse morphologique, non sur des exemples choisis, mais sur l'ensemble du réseau paroissial à l'échelle du département d'Indre-et-Loire, qui correspond à peu près au diocèse de Tours ; d'autre part de prendre pour point de départ, non la carte des communes actuelles, mais la reconstitution des limites de communes de 1790. Faire porter

l'analyse sur l'ensemble de la Touraine n'aurait pas été possible sans le recourt aux systèmes d'information géographique pour acquérir et manipuler les données afin d'effectuer les calculs nécessaires aux analyses. Si l'étude a pu se fonder sur l'état des limites communales à leur origine en 1790 c'est grâce au précieux et minutieux travail de reconstitution que Jean-Michel Gorry (2008) a effectué au 1/25 000^e d'après les procès-verbaux de délimitation et qui n'a pas d'équivalent en dehors de la Touraine.

Ma contribution ([20] CHAREILLE, RODIER et ZADORA-RIO 2004 ; Annexe 17 ; [45] CHAREILLE, RODIER et ZADORA-RIO 2005 ; [59] RODIER 2008 ; Annexe 18) a porté sur la modélisation spatiale du processus de formation des territoires paroissiaux, fondée sur le calcul de maillages théoriques, afin de répondre à deux objectifs : mesurer si les paramètres utilisés pour conditionner le modèle ont une influence dans la détermination des données réelles, en l'occurrence les limites de communes en 1790 et actuelles (Fig. 28) ; appliquer le modèle à des données antérieures. L'élaboration d'un modèle théorique s'est déroulée en trois temps : le calcul du modèle, sa confrontation aux données puis son utilisation rétrospective.

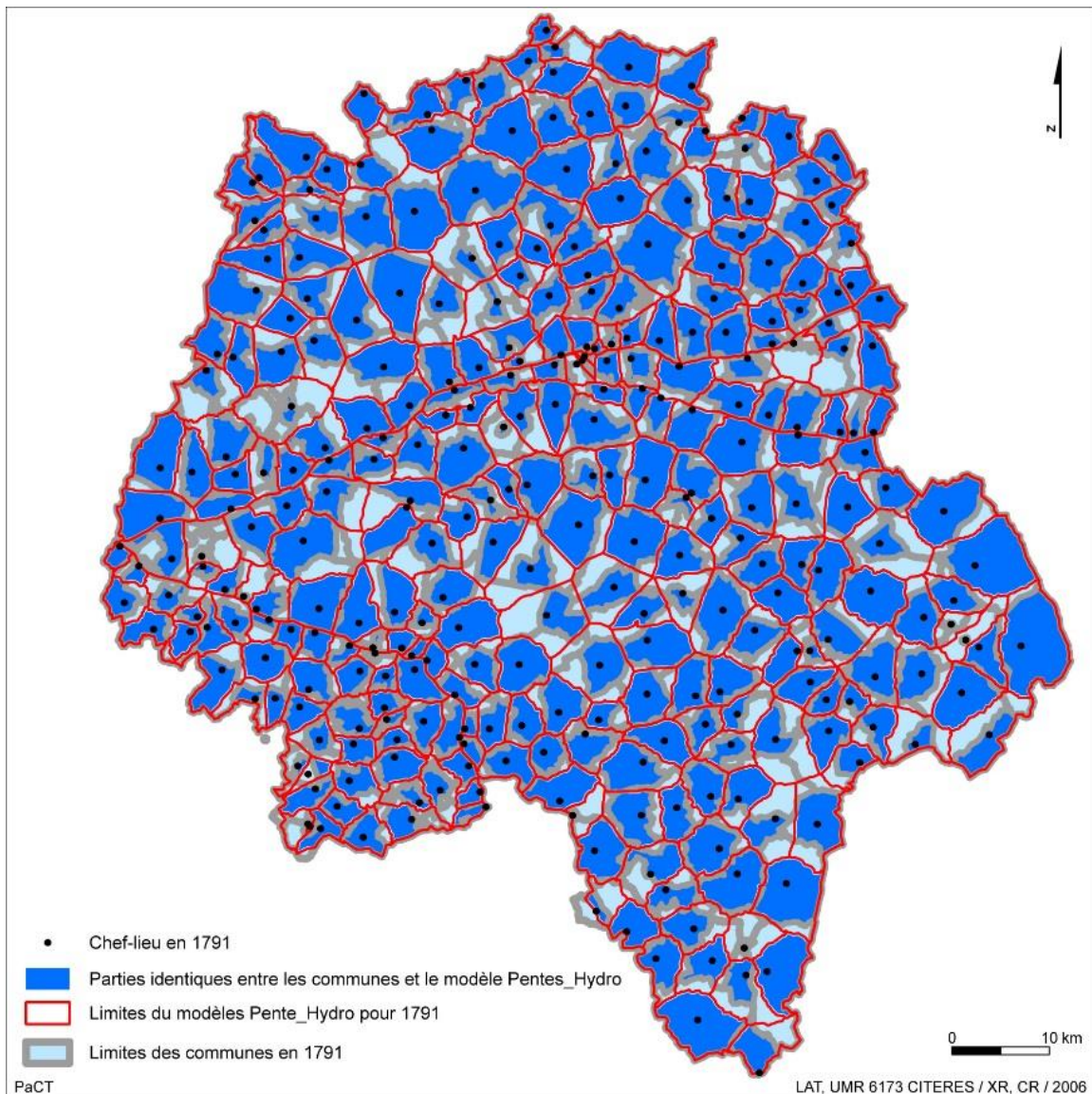


Fig. 28 : Comparaison des limites de communes de Touraine en 1791 avec les limites modélisées ([59] RODIER 2008 ; Annexe 18).

- Lors de la première étape, le principe des modèles utilisés repose sur le calcul de la distance à partir des chefs-lieux de commune. Tous les algorithmes permettant de générer des surfaces à partir d'un semis de points font intervenir la distance entre les points. Cela permet de définir un maillage continu dans lequel chaque entité est la surface d'une commune théorique selon le modèle utilisé. Les paramètres retenus pour contraindre cette distance sont le relief sous forme de valeurs de pentes et le réseau hydrographique en fonction de la largeur des cours d'eau. Différentes pondérations des valeurs de pentes et de l'influence du réseau hydrographique ont été testées pour valider la pertinence des hypothèses de prise en compte de ces paramètres.
- La deuxième étape est la phase de validation du modèle. Des indices de comparaison sont calculés pour évaluer l'écart de la réalité à chaque modèle. Cela permet, d'une part de tester l'influence des paramètres de contraintes sur la définition des limites pour répondre au premier objectif et, d'autre part de choisir le modèle le plus pertinent pour la dernière étape.
- La troisième étape consiste à appliquer le modèle retenu, que j'ai appelé Pentes_Hydro, de manière rétrospective à des séries de données antérieures à 1791, afin de simuler des maillages.

Les résultats obtenus mettent en évidence, d'une part une bonne corrélation entre le modèle et les données réelles, d'autre part l'influence déterminante de la distance dans la définition des territoires paroissiaux puis communaux. Les simulations rétrospectives, fondées sur le poids de la distance dans la définition du maillage (Fig. 29), mettent en évidence des zones de vide qui constituent autant de résidus à étudier. La comparaison du modèle aux limites réelles est valide à l'échelle départementale de mise en œuvre des données. L'analyse des résidus, toujours à cette échelle, permet de proposer des hypothèses comme l'ancienneté d'espaces forestiers mais, dans la plupart des cas, c'est à l'échelle communale qu'il faut chercher à expliquer les écarts au modèle. Un des résultats du programme est d'avoir fait la démonstration de la permanence des limites communales à l'échelle départementale alors qu'elles subissent de grandes variations à l'échelle communale. La modélisation des territoires et la confrontation des modèles avec les données réelles ont montré que la distance entre les chefs-lieux, indépendamment de leur poids hiérarchique, était le facteur déterminant dans la définition du maillage à l'échelle départementale.

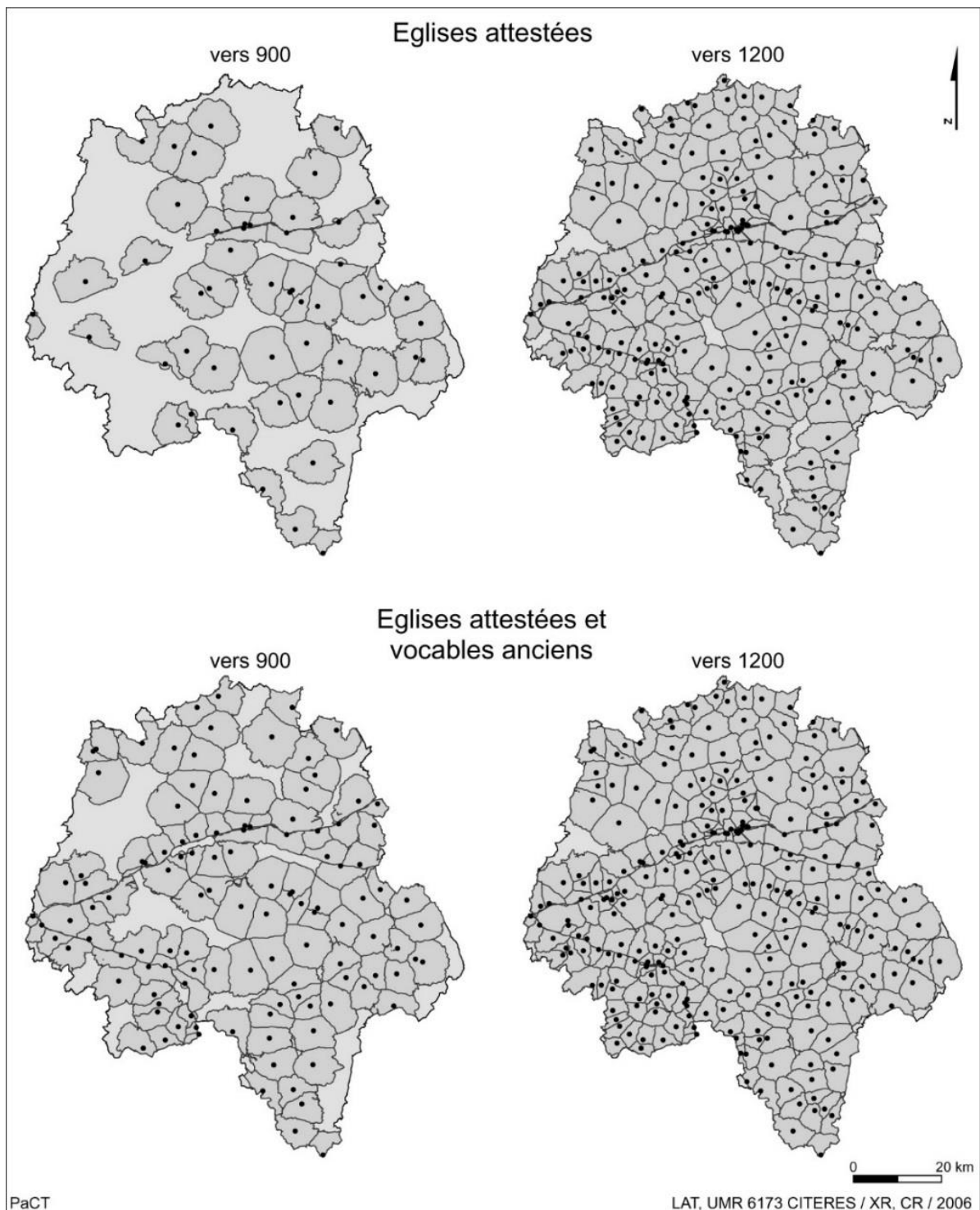


Fig. 29 : Simulations rétrospectives des limites paroissiales de Touraine fondées sur le modèle Pentes_Hydro vers 900 et vers 1200 ([59] RODIER 2008 ; Annexe 18).

2.3.2. MODELESPACE

Le programme ANR Modelespace (<http://modelespace.univ-tlse2.fr>), dirigé par Florent Hautefeuille à Toulouse, porte sur l'étude des transformations spatiales à travers les sources fiscales préindustrielles. Les documents fiscaux médiévaux et modernes (terriers, compoix, cadastres...) présentent une information spatiale très riche sur l'organisation des espaces ruraux. Ils prennent couramment la forme de listes de parcelles détaillant le nom du propriétaire, la superficie, l'utilisation, les confronts et la localisation. Ces centaines de parcelles, renseignées et localisées les unes par rapport aux autres,

permettent d'analyser l'organisation spatiale des territoires villageois. De plus, on dispose souvent pour un même territoire d'une série de documents successifs, ce qui offre la possibilité de comparer différents états de ce territoire. Toutefois, cette potentialité est restée très peu exploitée et jusque-là : les historiens ne sont jamais parvenus à corréliser ces informations spatiales dans la longue durée, d'autant qu'on ne dispose d'aucun plan parcellaire avant les 17^e-18^e siècles. Le traitement de l'information spatiale des terriers et compoix est ainsi restée le plus souvent limitée à des initiatives ponctuelles, développant des solutions « artisanales », dans lesquelles le caractère dynamique était peu présent (CLAVEIROLE et PELQUIER 2001 ; BRUNEL, GUYOTJEANNIN et MORICEAU 2002). Le colloque de Rome de 1985 (BIGET, HERVE et THEBERT 1989) constitue sur cette thématique un jalon pionnier et essentiel de la recherche. Les constats à l'origine du programme Modelespace y sont déjà présents, mettant l'accent sur la nécessité de créer un outil capable de gérer la masse des données spatiales présentes dans les cadastres urbains médiévaux. Un article envisage même, dès cette époque, la possibilité de l'utilisation d'un objet mathématique, les graphes, pour accélérer le processus de reconstitution des parcellaires urbains médiévaux à partir des compoix (MONTPIED et ROUALT 1989). Ce projet était déjà exprimé dans un court article de la revue *Le médiéviste et l'ordinateur* (MONTPIED et ROUALT 1982). L'expérience proposée s'est alors essentiellement limitée à la construction du graphe (les parcelles sont réduites à un point et deux parcelles voisines correspondent à deux sommets voisins dans le graphe), puis aux repérages simplement visuels « d'accidents topologiques » sur le graphe. Par la suite, aucune avancée concernant la mise en place de méthodes de ce type n'a été proposée pour la « reconstruction » de parcellaires anciens depuis ces travaux du milieu des années 1980, bien que les recherches les plus récentes soulignent cette carence (LETURCQ 2007 ; TRUEL 2007 ; CONESA 2007 ; POIRIER 2010).

Pour dépasser cette difficulté, nous avons proposé de reprendre l'idée d'utiliser la théorie des graphes (Berge 1958) pour modéliser les parcellaires anciens décrits dans les documents fiscaux. L'objectif est de mesurer les dynamiques spatiales qui existent entre plusieurs états de la documentation pour un même territoire. Le principe consiste à transformer l'information spatiale, issue d'une part des registres, d'autre part des plans parcellaires anciens, en graphes où chaque parcelle correspond à un sommet et chaque relation de voisinage (adjacence) – visible sur un plan ou décrite dans les documents par la mention des confronts – correspond à une arête. Il s'agit en fait du graphe dual (BERGE 1958) du parcellaire. L'expérimentation de la méthode a été effectuée sur le territoire de la commune d'Odars dans la Haute-Garonne pour laquelle nous disposons d'une documentation riche : quatre compoix sans plan (1476, 1497, 1551, 1598 puis un terrier de 1759 avec son plan et le cadastre dit « napoléonien » réalisé en 1811. Le travail a été mené selon deux approches complémentaires : la première s'attache à la construction d'une base de données permettant de traiter les registres sans plan ([37] RODIER, HAUTEFEUILLE, *et al.* 2013). Ce travail a été mené par Florent Hautefeuille. La seconde, que nous avons prise en charge à Tours, consiste à extraire le graphe des plans parcellaires anciens dans un système d'information géographique. Le processus (Fig. 29) consiste à extraire le graphe dual des plans parcellaires anciens dans un SIG ([35] RODIER, LE COUEDIC, *et al.* 2013). À partir des plans originaux, il s'agit d'abord de vectoriser le plan selon une structure topologique de manière à obtenir le graphe planaire topologique du parcellaire. Les sommets de ce graphe sont les points d'intersection des frontières des parcelles et les arcs sont les frontières des parcelles. De ce graphe, on extrait le graphe dual dans lequel chaque parcelle est représentée par un sommet et deux parcelles voisines sont reliées par un arc. Dans ce graphe dual, on affecte les attributs des parcelles aux sommets qui les représentent afin d'obtenir ce que nous appelons le graphe d'adjacence des parcelles.

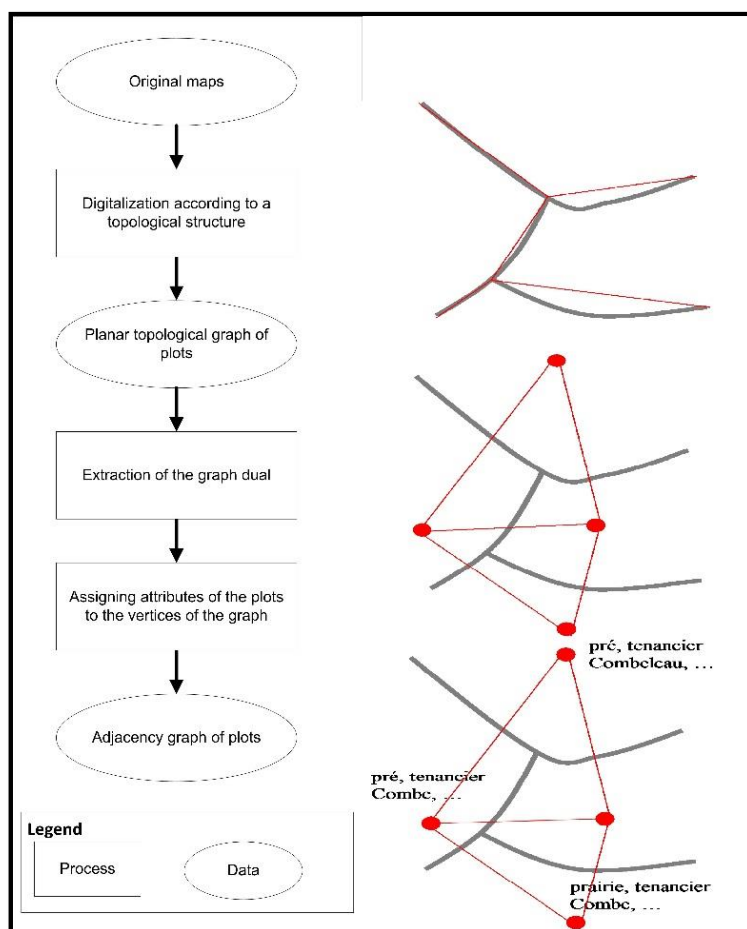


Fig. 30 : Processus de d'élaboration du graphe dual du parcellaire ([35] RODIER, LE COUEDIC, *et al.* 2013).

Chaque état de la documentation est transformé en graphe. La comparaison des graphes, à partir de laquelle on peut envisager de mesurer les dynamiques spatiales, nécessite toutefois de parvenir à les ajuster spatialement. Les graphes issus du plan cadastral de 1811 et du plan-terrier de 1759 ne posent aucun problème d'ajustement, dans la mesure où le support cartographique de l'information autorise une géolocalisation précise de chaque graphe. Il n'en va pas de même pour les graphes construits à partir de l'information récoltée dans les registres qui ne sont accompagnés d'aucun plan pour lesquels il est nécessaire d'identifier des points d'ancrage invariants pour l'ensemble ou partie de la période concernée par la documentation mise en œuvre. Nous avons mis en place un protocole permettant de générer des graphes selon des modalités comparables, que ce soit depuis un plan ou depuis un registre. Les problèmes d'ajustement spatial des graphes issus de registres sans plan ont ainsi été analysés par le biais d'une expérience menée sur les graphes issus du cadastre de 1811 et du plan-terrier de 1759 ([11] LE COUEDIC *et al.* 2012 ; Annexe 10). Les matrices d'adjacence de ces deux graphes parfaitement ancrés dans l'espace ont été exportées dans un logiciel de traitement de graphe (YED), afin de les délivrer de toute information spatiale, c'est-à-dire dans une situation similaire aux graphes issus des registres sans plan. Ces graphes « aspatiaux » ont ensuite été calés par ajustement spatial à l'aide des points invariants disponibles. Il en résulte des graphes manifestement déformés (Fig. 31) qui donnent la mesure de la difficulté de cette phase d'ajustement spatial. Les graphes aspatiaux possèdent des déformations topologiques qui rendent le travail de comparaison délicat même si des paramètres comme la surface des parcelles, lorsqu'elle est connue, et l'orientation des liens d'adjacence entre deux parcelles peuvent compléter la mise en relation de deux états. Cependant l'objectif n'est pas la spatialisation des données mais de pouvoir apparier les graphes produits selon

ces deux approches afin d'aborder l'analyse des transformations et des dynamiques spatiales par la comparaison des graphes, à défaut de pouvoir le faire par les plans ou les registres eux-mêmes.

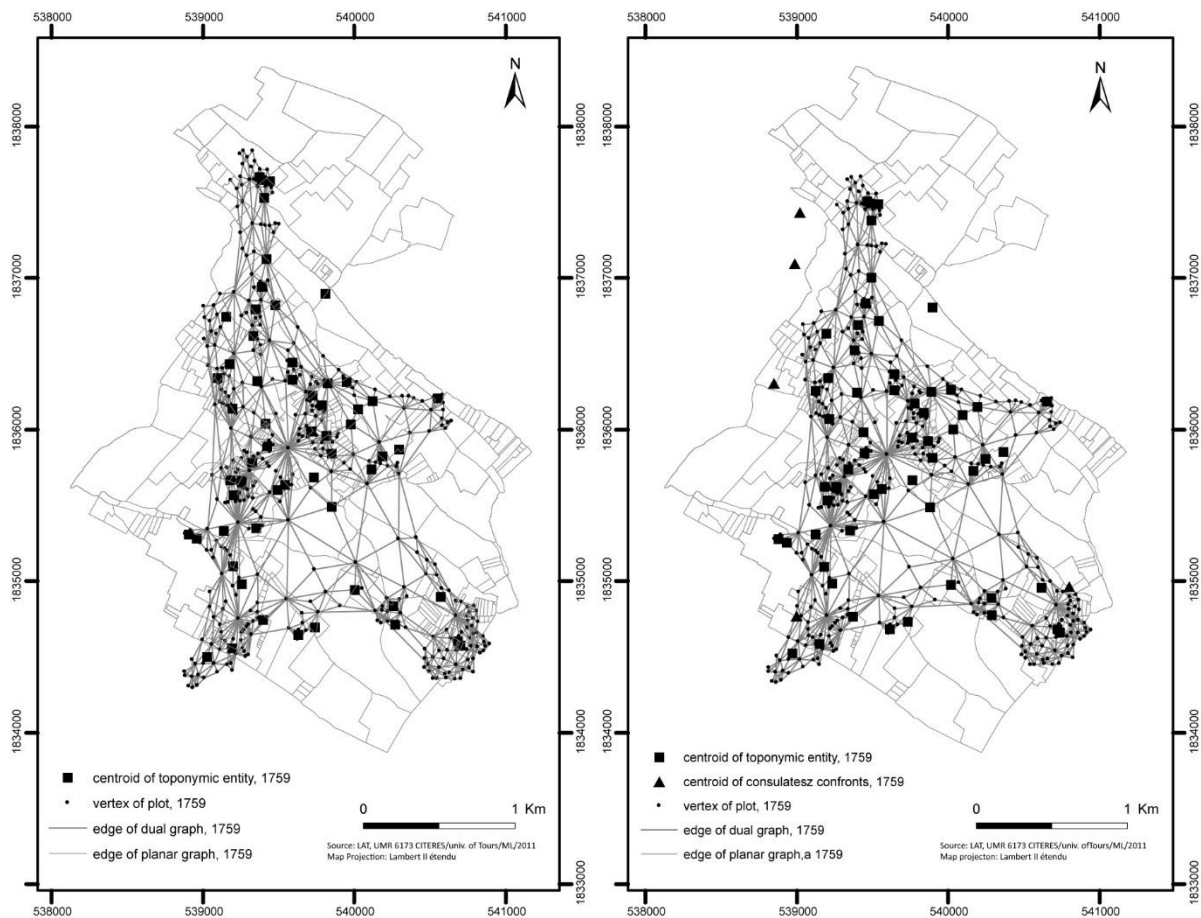


Fig. 31 : Test d'ajustement d'un graphe aspatial sur un plan parcellaire à l'aide de points invariants ([11] LE COUEDIC *et al.* 2012 ; Annexe 10).

La comparaison des graphes de deux états successifs a été envisagée à l'aide du SIG en s'intéressant aux transformations spatiales elles-mêmes ([35] RODIER, LE COUEDIC, *et al.* 2013). Il s'agit de mettre en évidence, à partir des graphes, les recompositions parcellaires à l'œuvre (divisions, regroupements...), c'est-à-dire reconnaître, dans le passage d'un graphe à l'autre, les opérateurs spatio-temporels de changements pertinents dans le cas des parcellaires : création, stabilité, disparition, dilatation, contraction, déformation, fission, fusion. La difficulté réside dans le dépassement de la comparaison statique de deux états pour aller vers une représentation diachronique ; l'adoption d'un graphe temporel permettrait d'identifier des trajectoires et de caractériser les changements ([37] RODIER, HAUTEFEUILLE, *et al.* 2013).

De manière simple, on peut rencontrer les cas suivants (Fig. 32) :

- la stabilité : pas de changement perceptible entre t1 et t2 ;
- la fission (ou division) : une parcelle en t1 est divisée en n fragments en t2 ;
- la fusion (ou regroupement) : plusieurs parcelles en t1 n'en font plus qu'une en t2 ;
- la combinaison fission/division débouchant sur une relative stabilité du parcellaire : des parcelles en t1 connaissent un remembrement qui aboutit en t2 à un déplacement des limites sans changement majeur de la structure du parcellaire ;

- la combinaison complexe de fissions et fusions qui transforment fortement le parcellaire : des parcelles en t_1 connaissent un remembrement qui aboutit en t_2 à un déplacement des limites tel que le parcellaire est complètement transformé.

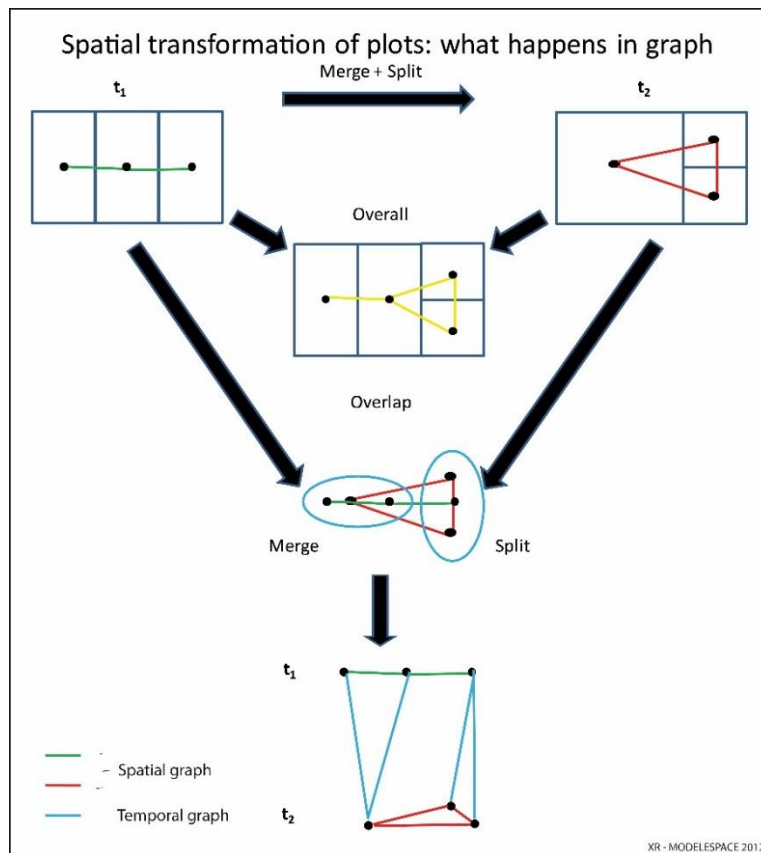


Fig. 32 : Principe d'indentification des divisions et des fusions dans les graphes duaux des parcellaires ([37] RODIER, HAUTEFEUILLE, *et al.* 2013).

Une première méthode de comparaison consiste à construire, en cumulant les données des deux graphes t_1 et t_2 , un troisième graphe t' susceptible d'être le support d'une interprétation des transformations entre t_1 et t_2 . Cette méthode est basée sur le principe de la division de l'espace en autant d'entités qu'elle a produit lorsque plusieurs états de plans ont été combinés en un seul graphe synthétique. Ce principe donne de bons résultats lorsque l'analyse des transformations spatiale est faite à partir de plans. En revanche, des tests réalisés à partir des graphes duaux sur les plans parcellaires ont montré que l'identification des changements sur les graphes synthétiques était un exercice beaucoup trop complexe. Les protocoles étant maintenant fixés, la recherche sur les moyens de comparaison des graphes se poursuit en collaboration avec des informaticiens et des mathématiciens.

2.3.3. SOLIDAR

La télédétection LIDAR est une technique non destructive, permettant d'acquérir des mesures de la topographie et du couvert végétal en haute définition, particulièrement utiles en archéologie ou en géologie de sub-surface, sans destruction ni dégradation des sols ou de la végétation sur les superficies concernées. Il s'agit d'un système laser aéroporté qui fournit une information altimétrique de haute résolution (jusqu'à plus de 10 points par m^2) (ACKERMANN 1999). Associé au système de localisation par satellite (GPS), il offre une précision de localisation de l'ordre de 10 cm (WEHR et LOHR 1999), voire moins, qui permet de produire des modèles numériques de terrain (MNT) (HODGSON *et al.* 2005). L'avantage du LIDAR est sa capacité à pénétrer la couverture végétale pour enregistrer des points au

sol. Le modèle 3D obtenu permet la détection des microreliefs sous couvert forestier révélant des structures archéologiques ou naturelles invisibles à l'œil (GEORGES-LEROY *et al.* 2009 ; OPITZ et COWLEY 2013 ; KAMERMANS, GOJDA et G. POSLUSCHNY 2014). Le LIDAR fournit également des données pour l'analyse du couvert végétal : modèle numérique de la canopée, hauteur des arbres, taille des troncs. De nombreux projets LiDAR sur la thématique archéologique ont été conduits dans l'Est de la France : Alsace (Saverne et Sainte-Marie-Aux-Mines), Lorraine (Forêt de Haye (GEORGES-LEROY *et al.* 2009)), Bourgogne (Mont Beuvray et Saint-Martin-du Mont) Franche-Comté (Besançon, Mathay-Mandeure (LAPLAIGE 2012), forêt de Chailluz (FRUCHART 2014)) ; et dans d'autres régions (Auvergne, Limousin, Bretagne, etc.). De même, des expérimentations ont été menées en Bade-Wurtemberg (SITTLER 2004 ; SITTLER et HAUGER 2007), sur la reconnaissance de parcelles disparues, ou encore aux Pays-Bas (KOOISTRA et MAAS 2008). L'archéologie en forêt recouvre deux types de recherches aux objectifs très différents (DUPOUEY *et al.* 2007). Le premier concerne une archéologie en milieu forestier qui porte sur les vestiges de toutes natures, fossilisés en relief sous le couvert forestier : tumulus, murs d'habitat ou de clôture, fortifications de terre, etc. Le second, véritable archéologie forestière, porte sur la forêt elle-même en s'intéressant à la reconstitution de l'histoire récente des bois anciens par l'examen des arbres et de la strate herbacée, l'analyse des pratiques sylvicoles (âges d'abattage des arbres, mode de sélection, utilisation dans la construction, etc.), l'identification de vestiges archéologiques liés à l'exploitation sylvicole, cynégétique et industrielle de la forêt (ZADORA-RIO 1986 ; JACQUET 2000 ; JACQUET 2003). La télédétection LiDAR présente l'avantage de fournir des informations pour ces deux approches archéologiques de la forêt, contribuant ainsi à l'histoire du paysage et de l'occupation du sol (WEHR et LOHR 1999). Le programme SOLiDAR s'inscrit dans cette double démarche en proposant l'étude diachronique de l'occupation du sol, à l'aide de la télédétection LiDAR, en forêt Chambord, Boulogne, Russy, Blois, soit sur une surface de 270 km² (Fig. 33). J'ai monté le programme SOLiDAR (<http://citeres.univ-tours.fr/spip.php?article2133>) en réponse à l'appel à projet de recherche de la Région Centre-Val de Loire qui le finance pour trois ans. Il est également soutenu par le Domaine national de Chambord et la DRAC Centre-Val de Loire. Il regroupe des partenaires dans une double perspective interdisciplinaire et interinstitutionnelle. D'une part, il couvre les sciences historiques, les sciences environnementales et les compétences nécessaires au traitement des données LiDAR, d'autre part il réunit les organismes ayant en charge la gestion des patrimoines naturels et culturels concernés par le projet, dont l'implication permettra d'articuler la production de connaissances avec la gestion des espaces patrimoniaux concernés. Les données LiDAR ont été acquises durant l'hiver 2015, livrées au début de l'été et contrôlées dans la foulée. Leur analyse démarre au moment de la correction de ce texte mais la richesse de l'information recueillie a d'ores et déjà pu être observée. Les principaux objectifs du projet SOLiDAR sont les suivants :

- Élaborer les protocoles de traitements et d'analyses des données à partir de secteurs test répartis dans les quatre forêts afin de révéler les anomalies micro topographiques permettant de détecter des paléoreliefs naturels et anthropiques constitutifs de l'histoire des paysages : paléochenaux, anciens aménagements, traces d'anciennes occupation du sol sous couvert forestier ;
- Constituer une base de données spatiale dans un système d'information géographique en croisant l'ensemble des sources à disposition avec les données LiDAR ;
- Conduire des analyses fines de quelques secteurs-tests pour comprendre les modalités de transformation des paysages par l'étude de la géomorphologie, des occupations et des relations sociétés-milieus ;
- Dégager les perspectives de recherche par l'exploitation des données acquises sur l'ensemble de la zone et mettre en places les conditions de leur réalisation ;
- Définir un prototype de médiation des résultats pour le public.

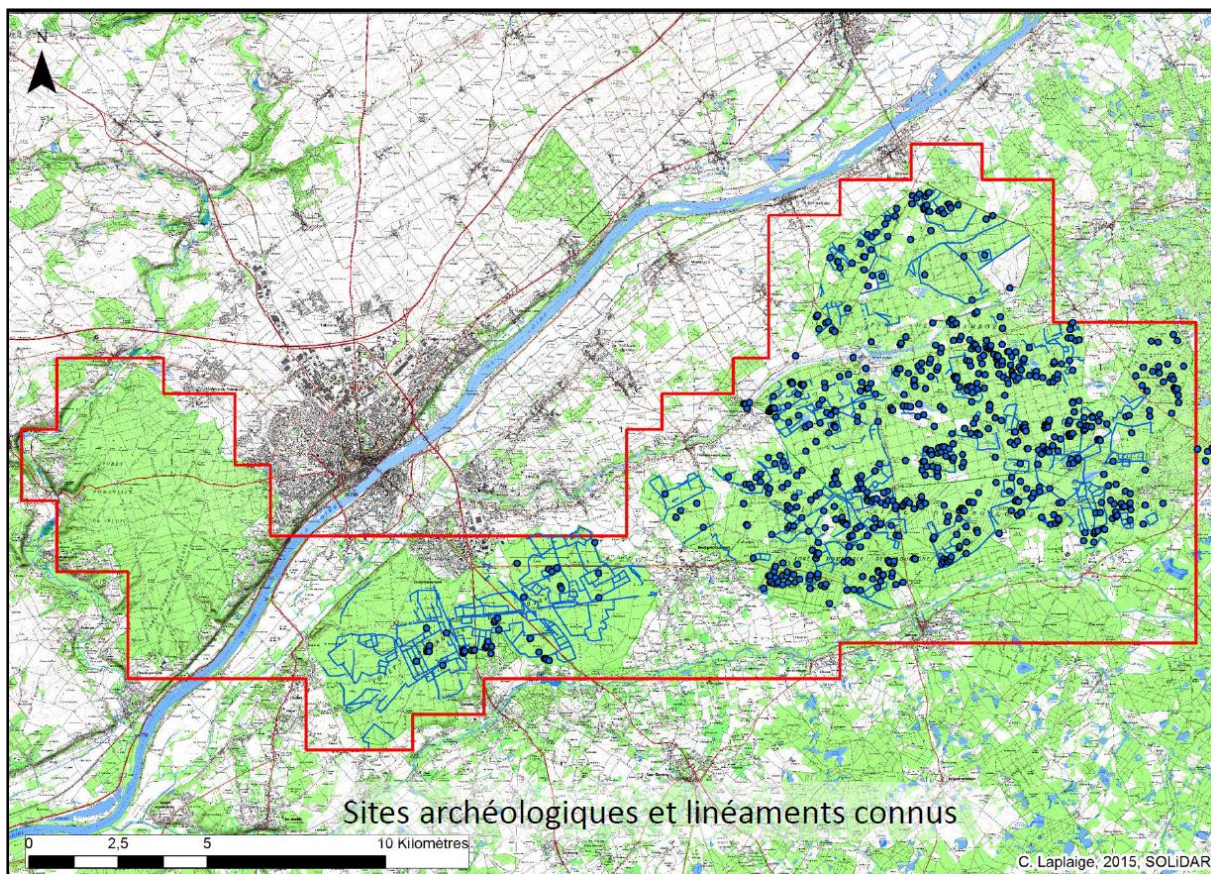


Fig. 33 : Programme SOLIDAR, emprise de l'acquisition LiDAR et données de la prospection pédestre effectuée par Louis Magiorani.

Le projet SOLIDAR a pour ambition, dans l'espace couvert, d'établir les protocoles de traitements adaptés pour la compréhension des dynamiques environnementales et culturelles afin de permettre l'étude diachronique de l'occupation du sol en croisant les données de télédétection et les sources archéologiques, écrites, géomorphologique et écologique. Les résultats attendus sont la découverte de structures susceptibles de révéler les dynamiques des activités agricoles (parcellaires, enclos, chemins...) (ZADORA-RIO 2010), forestières (cynégétique, charbonnage...) et du peuplement (habitats, tertres) ainsi que l'identification de témoins paléoenvironnementaux. L'analyse diachronique de ces structures permettra de mieux comprendre les transformations du paysage dans la longue durée par l'apport de connaissances sur l'histoire des paysages et des peuplements, l'impact de l'utilisation ancienne des sols sur l'état et le fonctionnement des écosystèmes forestiers actuels, les interactions entre l'hydrosystème et l'implantation du domaine de Chambord.

Les forêts domaniales de Blois, au nord de la Loire, et de Chambord, Boulogne et Russy, entre la Loire et le Cosson, forment un massif de près de 25 000 ha au sein duquel le domaine de Chambord a été créé entre 1522 et 1650. Le Cosson a été canalisé tout au long de la traversée du domaine de Chambord. Des prospections archéologiques de surface, menées par Louis Magiorani pendant dix ans dans les forêts de Chambord et Boulogne et Russy, ont livré des traces d'occupation du néolithique au Moyen Âge et permis l'enregistrement de près de 700 entités archéologiques par le Service Régional de l'Archéologie. Elles couvrent un éventail chronologique très ouvert : de la découverte isolée du Paléolithique ancien (biface) jusqu'à l'époque contemporaine en passant par le Néolithique, la Protohistoire, les époques antique, médiévale (du haut Moyen Âge au bas Moyen Âge) et moderne. Les sites concernent une grande diversité d'occupations et d'activités : les structures défensives

(mottes castrales, enceintes, camps militaires ?), les édifices culturels (fanums, prieurés, chapelles), les attestations funéraires (qui semblent très nombreuses nécropoles tumulaires, tumulus isolé et petites tombelles ?), les habitats groupés ou isolés (hameaux, plates-formes fossoyées ou non, anciennes métairies, loges de charbonniers ou de bûcherons, etc.), les installations artisanales (sites d'extraction et ateliers métallurgiques, moulins, tuileries, briqueteries, etc.), l'eau et les équipements hydrauliques (digues et étangs, puits, etc.), les voies de communication, les aménagements de la rivière, les franchissements (ponts), la trame parcellaire, auxquels s'ajoutent de nombreuses anomalies d'origine anthropique (amas de pierres de type cairn, signalés spécifiquement en forêt de Russy).

L'objectif du programme est d'améliorer la connaissance et la compréhension des dynamiques d'occupation du sol de cette espace dans la longue durée. Le partenariat pluridisciplinaire constitué pour le projet permettra d'étudier la géomorphologie et l'anthropisation de cet espace. La télédétection LiDAR sera mise en œuvre pour repérer les marqueurs naturels et anthropiques de l'histoire du paysage sous le couvert forestier. Toutes les autres sources disponibles (écrites, iconographiques, archéologiques) seront mobilisées et confrontées pour interpréter les microreliefs révélés. La prospection géophysique sera utilisée en complément pour affiner la compréhension de tels ou tels éléments naturels ou anthropiques.

Le domaine de Chambord et les trois forêts domaniales offrent quatre cas de figure permettant d'interroger le paysage de manière différente. Chaque ensemble présente des singularités qui peuvent être significatives de la formation du paysage actuel. Le domaine de Chambord et les forêts de Boulogne et Russy ont fait l'objet de prospections archéologiques pédestres similaires par Louis Magiorani, celle de Blois n'a pas été prospectée. Les nombreux témoignages archéologiques repérés en forêt de Boulogne et de Chambord signalent une emprise anthropique très forte, contrastant très nettement avec l'occupation assez lâche de la forêt de Russy dont les prospections renvoient une image sans cesse divergente, alors même que la méthodologie employée se révèle rigoureusement identique. Boulogne et Chambord forment un seul massif attesté depuis le 11^e siècle comme propriété des comtes de Blois. En outre, la nature de l'occupation et de l'utilisation du sol semble faire de la forêt de Boulogne un meilleur conservatoire que celle de Chambord. Enfin, la clôture du domaine de Chambord au 17^e siècle est un élément important car la gestion de la forêt a été différente de part et d'autre de ce mur. Les conditions d'exploitation de ces forêts et l'état des connaissances sur les vestiges archéologiques qu'elles abritent amènent à s'interroger sur les raisons d'une occupation distincte de l'espace ou sur une possible conservation différentielle due à des phénomènes taphonomiques à expliquer et peut-être liée à des faciès géologiques différents. Cette configuration présente un intérêt méthodologique fort sur la capacité du LiDAR à renseigner les raisons d'éventuelles conditions de conservation différentes des vestiges. Les quatre forêts se distinguent par leur environnement, par l'état des connaissances historiques et par leur exploitation.

- Chambord : domaine royal puis national clos depuis le 17^e siècle avec une grande densité animale, est lié à d'importantes activités cynégétiques. Des exploitations agricoles sont bien localisées et documentées par les sources écrites ; ces métairies ont été abandonnées, voire détruites, au profit de la chasse à partir du 16^e siècle. La forêt abrite de nombreux vestiges archéologiques majoritairement modernes dont des charbonnières.
- Boulogne : forêt domaniale séparée du domaine de Chambord par le mur de clôture mais constituant au préalable un même ensemble. Les prospections archéologiques ont également révélé quelques exploitations agricoles similaires mais surtout des occupations médiévales et antérieures constituées d'activités métallurgiques (ferriers, fosses d'extractions) attestées dès l'Antiquité et de nombreux tertres interprétés comme des tumulus.

- Russy : forêt domaniale prolongeant à l'ouest le massif de Chambord et Boulogne, dans une formation géologique différente. Les prospections archéologiques identiques ont révélé beaucoup moins de structures qu'en forêt de Boulogne.
- Blois : forêt domaniale en rive droite, qui n'a pas bénéficié de prospections systématiques. Le SRA dispose toutefois de quelques informations disparates. À cet égard, on peut signaler la présence de quelques sites, notamment antiques, ainsi que des aménagements liés au conflit de la première guerre mondiale (camp d'entraînement à Chambon-sur-Cisse ; indications d'Alain Gauthier, association de la Vallée de la Cisse) dont la protection au titre des Monuments historiques est actuellement en cours d'instruction par la DRAC.

SOLiDAR offre donc un cadre de développement méthodologique inédit qu'il sera intéressant de confronter étroite collaboration avec les réseaux de recherche sur l'utilisation du LiDAR en archéologie pilotés, pour la France, par la plate-forme commune aux MSH de Besançon et de Dijon (réseau français ISA et réseau européen ArchaeoLandscape). Bénéficiant de l'expérience des recherches antérieures qui ont, depuis une dizaine d'années, exploité les données LiDAR en archéologie, l'enjeu, face au défi du développement durable des espaces forestiers et de la préservation de la biodiversité, est d'intégrer les connaissances produites sur la compréhension de la fabrique des paysages, depuis les premières occupations à nos jours, dans la gestion des patrimoines naturels et culturels. Les premiers résultats, ou plutôt le premier examen des données pendant leur vérification, font d'ores et déjà apparaître des structures particulièrement intéressantes comme des planches de labours (Fig. 34) inédites dans cette région ou encore un parcellaire totalement inconnu (Fig. 35). Il est cependant trop tôt pour avancer des interprétations. La densité des traces d'aménagements observées dépasse largement la seule reconnaissance de vestiges archéologiques marqueurs d'occupations antérieures à la forêt. Les données produites révèlent les aménagements successifs du paysage et en reflètent les modes d'exploitation par les activités agricoles, sylvicoles, cynégétiques, artisanales et industrielles. C'est l'histoire de la fabrique des paysages qui est en jeu et qui s'inscrit au cœur de la gestion et de l'aménagement des espaces forestiers en préservant la biodiversité. Le programme est renforcé depuis octobre 2015 par le démarrage de la thèse d'Aude Crozet, cofinancée par la région Centre-Val de Loire et le Domaine nationale de Chambord que je co-encadre avec Élisabeth Lorans : *Dynamiques de peuplement, valorisation des patrimoines et gestion forestière dans le domaine de Chambord et les forêts attenantes*.

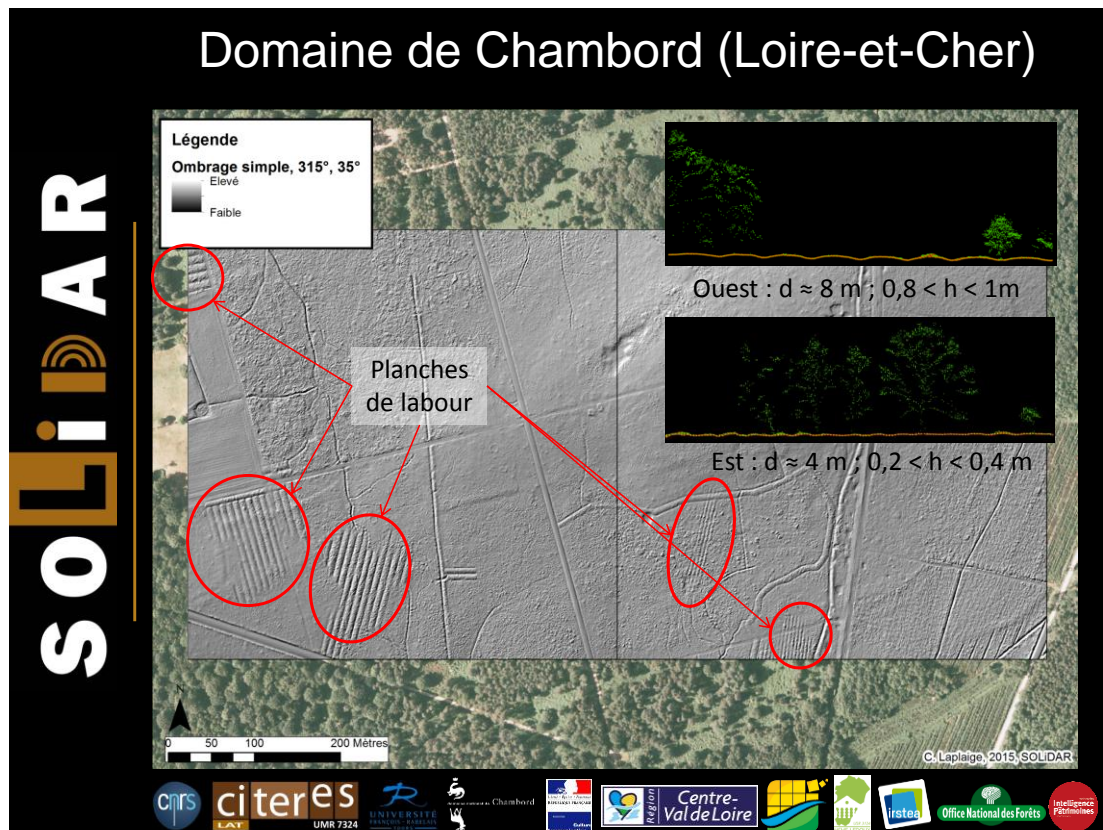


Fig. 34 : Programme SOLiDAR, planche de labour en plan (ombrage azimut 315°, élévation 35°) et en coupe (classes sol et végétation du nuage de points LiDAR) dans le domaine de Chambord (Loire-et-Cher).

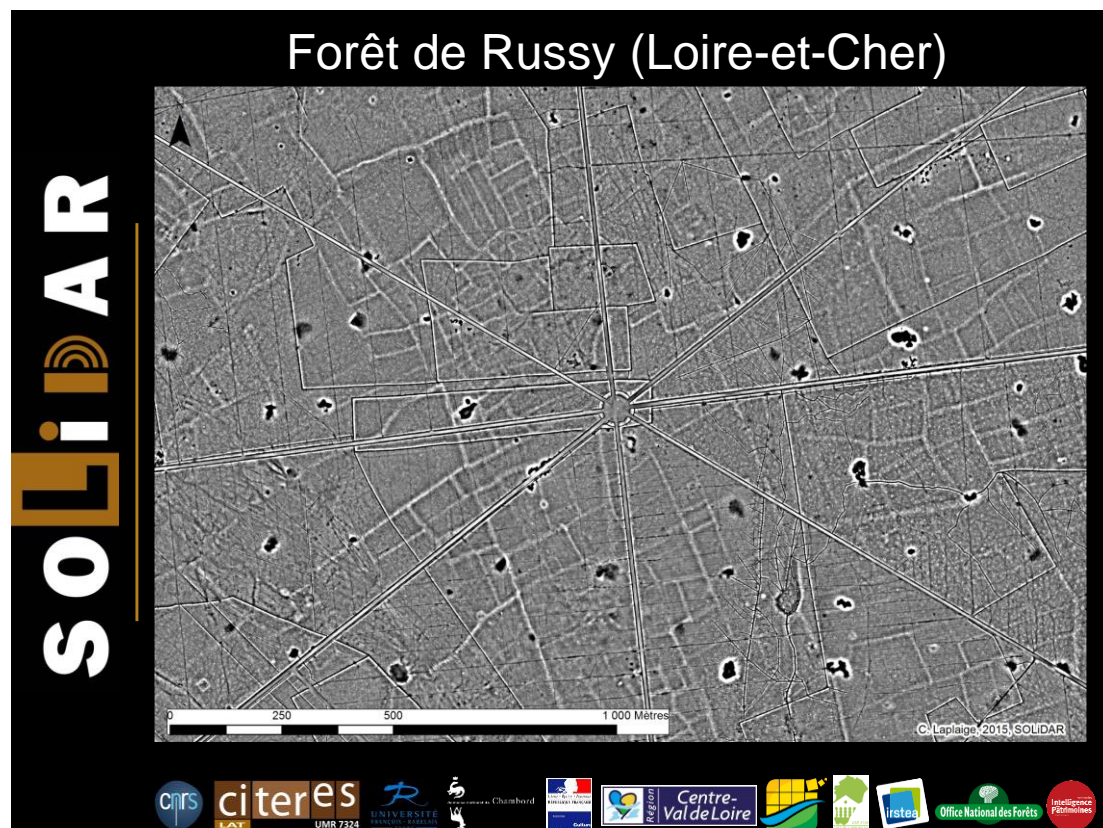


Fig. 35 : Programme SOLiDAR, parcellaire marqué par des talus mis en évidence par le LiDAR (*topographic position index*) dans la forêt domaniale de Russy (Loire-et-Cher)

3. DU TEMPS SUPPORT A LA DYNAMIQUE DES SOCIETES

Les travaux que j'ai menés sur l'utilisation des SIG pour la gestion et la représentation de l'information avaient pour objectif de pouvoir exploiter la dimension spatiale des données à des fins d'analyse pour répondre à des questions d'ordre territorial. Les collaborations avec les géographes ont permis de mettre en œuvre des analyses spatiales sur des corpus archéologiques. Cependant, l'analyse spatiale s'intéresse principalement aux structures mais peu aux dynamiques et d'autant moins si on les considère dans la longue durée. Dans un premier temps, j'ai naturellement privilégié le champ de l'archéologie urbaine, en collaboration avec Henri Galinié, Laure Saligny et Bastien Lefebvre, pour travailler sur la dynamique des transformations spatiales ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15 ; [52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19). Pas à pas, cela a donné lieu au modèle OH_FET (Objet historique, fonction, espace, temps ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12)), utilisé dans différentes thèses au LAT sur l'espace urbain et dont les bases ont été mobilisées pour des recherches doctorales et des programmes sur des territoires ruraux. Avec Laure Saligny, nous avons, par exemple, appliqué les mêmes principes de modélisation pour l'Atlas archéologique de Touraine, dirigé par Élisabeth Zadora-Rio (<http://a2t.univ-tours.fr>), ou encore dans le cadre de l'ANR ArchaeDyn sur la dynamique spatiale des territoires de la préhistoire au Moyen Âge, coordonné par François Favory et Laure Nuninger ([36] SALIGNY *et al.* 2013 ; Annexe 20). *In fine*, ces réflexions sur les dynamiques spatiales, ont mobilisé les disciplines des SHS, au-delà de l'archéologie et de la géographie, à travers le GdR MoDyS. Ils nous ont également permis d'être associés aux travaux de la communauté géomatique française et de l'ANR TransMonDyn ([49] TANNIER *et al.* 2014 ; Annexe 21). Des analyses des configurations spatiales dans un premier temps, à celles des dynamiques ensuite, nous nous intéressons maintenant aux modèles dynamiques.

3.1. OH_FET, DU MODELE A L'APPLICATION

3.1.1. LA MODELISATION

La modèle OH_FET (objets historiques, fonction, espace, temps) que nous avons proposé ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12) est le résultat de trois étapes clefs qui ont rythmé notre démarche.

- La première ([25] GALINIE et RODIER 2002 ; Annexe 6) est celle de la formalisation des objets de la topographie historique (cf.2.2.3.). Il s'agit d'une approche résolument topographique et fonctionnelle de la ville comme on l'a vu (HEIGHWAY 1972 ; BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973 ; VAN ES, POLDERMANS et SARFATIJ 1982 ; LEPETIT 1988 ; GALINIÉ 2000). La priorité est la caractérisation des objets constituant le paysage urbain dans un espace-support (PUMAIN 1993 : 137-139). La méthodologie mise en œuvre est liée aux modes de classification archéologique et à la culture des bases de données relationnelles.

Dans la longue durée, l'étude spatiale d'une ville est fondée sur la connaissance des éléments individuels de la topographie et de leurs relations, des origines de l'établissement humain à nos jours. L'information disponible concernant ces éléments, toujours lacunaire et hétérogène, doit être collectée et organisée de manière à permettre la réalisation d'autant d'états des lieux que nécessaire. Ces états des lieux chronologiques ou thématiques, aussi précis que possible, servent de documentation raisonnée aux études urbaines que l'on souhaite conduire, en topographie, en socio-topographie ou encore en morphologie urbaines.

- La deuxième est la prise en compte des propriétés spatiales des objets historiques. Il s'agit d'une modélisation géographique des entités archéologiques ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15). Elle est fondée sur une approche géographique de l'espace urbain (GALINIE 2000) dans la perspective d'une analyse des dynamiques spatiales. Elle correspond à

l'appropriation par les archéologues de certains concepts de la géographie et de l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG).

L'analyse spatiale d'une ville préindustrielle dans la longue durée nécessite qu'en préalable les données disparates issues de sources diverses soient formalisées comme entités fonctionnelles et traduites en entités spatiales. Nous avons proposé qu'une distinction soit établie entre les entités fonctionnelles historiquement pertinentes et les entités spatiales géographiquement pertinentes qui leur correspondent afin de produire une documentation mieux adaptée à l'étude des dynamiques spatiales.

- La troisième est l'autonomisation du temps dans l'analyse des processus spatio-temporels afin de ne plus l'assujettir à l'espace ([42] RODIER et SALIGNY 2008 ; [16] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2008 ; [41] RODIER *et al.* 2010 ; [52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19). Il s'agit en quelque sorte de la réappropriation du temps par les archéologues/historiens dans l'analyse des dynamiques spatiales. L'objectif est de permettre une analyse distincte du temps et de l'espace. L'approche repose sur une analogie entre la modélisation et le traitement de l'espace et du temps avec comme référence la formalisation de la topologie des intervalles temporels en intelligence artificielle (ALLEN 1984).

Lorsque le travail porte sur les changements intervenus au cours d'une durée souvent bimillénaire, la difficulté réside en ce qu'il faut procéder par une série d'états successifs, comme palliatif, puisque l'on ne peut pas restituer, à proprement parler, le changement d'état. Une faiblesse de la restitution cartographique couramment utilisée en archéologie et en histoire comme résumé du savoir est de figer ces états restitués. L'étude des dynamiques se heurte en permanence à l'écueil des restitutions statiques qui ne peuvent être multipliées et à celui des documentations lacunaires et hétérogènes au cours du temps.

Deux lectures déterminantes dans l'élaboration de nos systèmes d'information fondent notre réflexion sur la modélisation selon trois dimensions, sémantique (quoi ?), spatiale (où ?) et temporelle (quand ?). Il s'agit d'abord des travaux sur « La représentation de l'espace et le temps dans les SIG » publiés dans la Revue internationale de géomatique par le GdR Cassini² (1999), et ensuite de l'article « *It's about time* » de Dona Peuquet (1994). L'auteur y propose un cadre conceptuel pour la représentation des dynamiques temporelles dans les SIG, fondé sur la triade *What, Where, When* dont les différentes combinaisons restituent les états, les changements d'état et le processus de changement d'état (Fig. 36). Cette triade des trois *W* est fréquemment utilisée en géomatique (EGENHOFER et GOLLEDGE 1998 ; LARDON, LIBOUREL et CHEYLAN 1999 ; THERIAULT et CLARAMUNT 1999 ; OTT et SWIACZNY 2001 ; PANOPOULOS, STAMATOPOULOS et KAVOURAS 2003).

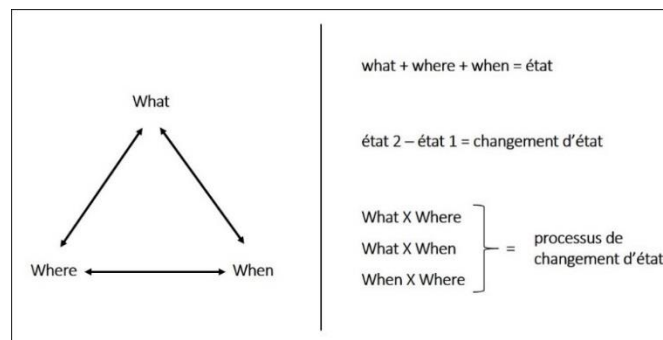


Fig. 36 : La triade de Donna Peuquet (1994) et ses combinaisons ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19).

² Le GdR Cassini, devenu SIGMA et aujourd'hui MAGIS, regroupe la communauté géomatique française.

Le principe de compréhension de l'espace urbain proposé consiste à aborder la ville comme un ensemble d'objets complexes selon une approche systémique. Le système « Espace urbanisé ancien » (Fig. 37) considéré pour étudier la fabrique de la ville dans la longue durée est constitué de trois dimensions dont relèvent les objets historiques depuis l'échelle de la fouille : fonctionnelle (usage social), spatiale (localisation, étendue et morphologie) et temporelle (datation, durée et chronologie). L'objet historique constitue l'unité analytique de l'espace étudié. Il est le produit cartésien des trois ensembles Fonction, Espace, Temps dont il est issu. Il est ensuite déstructuré en trois types d'objets simples, l'entité fonctionnelle (EF), l'entité spatiale (ES) et l'entité temporelle (ET).

- L'approche thématique de l'Objet Historique en milieu urbain est fonctionnelle, organisée selon le thésaurus hiérarchisé du Cnau (cf. 2.2.3.).
- L'espace, ensemble le plus formalisé des trois, est structuré sur le modèle d'un graphe planaire topologique sans isthme.
- Le temps, toujours considéré comme continu et linéaire, sera modélisé par analogie à l'espace en utilisant la topologie temporelle définie en intelligence artificielle (ALLEN 1984).

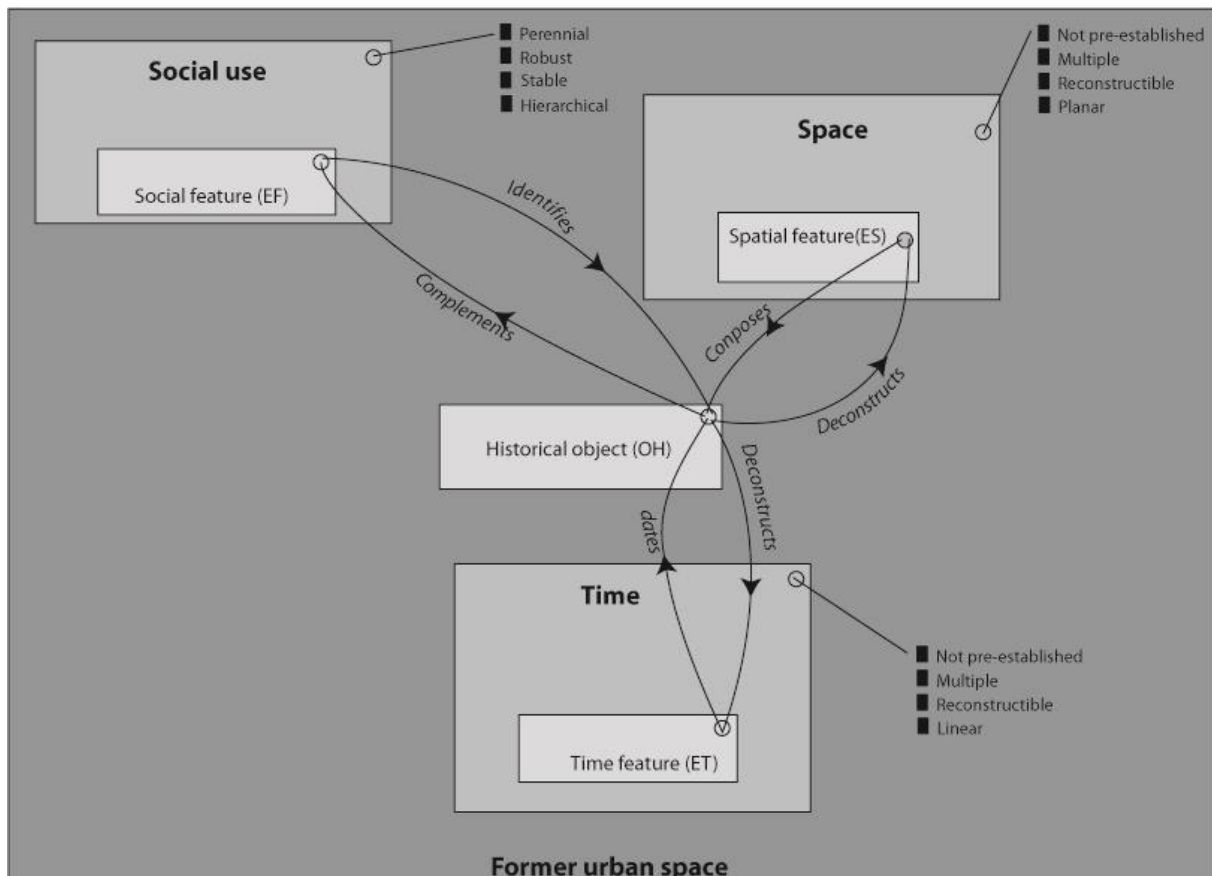


Fig. 37 : Le système « espace urbanisé ancien » ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12), modélisation HBDS (*Hypergraph-Based Data Structure* (BOUILLE et SALIGNY 2011))

Les associations entre les trois ensembles caractérisent chacune une interaction (fonction-espace, fonction-temps, espace-temps ou encore fonction-espace-temps). Elles permettent, au-delà de la reconstruction de l'OH, l'observation des transformations urbaines par l'analyse des distributions et de la cartographie de chacune des entités seule ou deux à deux (Fig. 38).

Produits	Thèmes d'étude
F x E	Espace spécialisé déterminé par un usage : cloître canonial, aire funéraire, zone de production, port...
F x T	Fonction appartenant à une seule phase chronologique : <i>domus</i> , église paroissiale... Changement de fonction : emploi/réutilisation d'un édifice
E x T	Localisation caractéristique d'une phase chronologique : nécropole, système défensif... Mouvement : déplacement d'une fonction (baptistère, atelier monétaire...) Morphologie : changement de forme (passage d'une chapelle à une basilique funéraire...) ou redistribution spatiale (réorganisation des bâtiments d'un couvent...).

Fig. 38 : Thèmes d'études selon l'association deux à deux des dimensions du modèle OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).

Dans le modèle (Fig. 39) l'objet historique, l'unité analytique de base, est situé à l'intersection des trois dimensions : la fonction, l'espace et le temps. Les transformations sont abordées selon trois entrées distinctes qui correspondent chacune à une dimension, et surtout par les six sorties dont chacune renseigne un aspect du phénomène étudié : une série d'analyses fonctionnelles, une série d'analyses temporo-fonctionnelles, une série d'analyses temporelles, une série d'analyses spatio-temporelles, une série d'analyses spatiales, une série d'analyses spatio-fonctionnelles. Chaque catégorie d'analyse documente de manière spécifique mais complémentaire un aspect des transformations. L'originalité de la démarche réside dans une approche qui permet de ne pas partir de la cartographie d'un phénomène à un temps t1 et de la comparer à celle d'un temps t2, mais de l'aborder indifféremment selon une entrée fonctionnelle, spatiale ou temporelle. La valeur heuristique de cette modélisation réside dans le passage de la description (quoi, où, quand) à la compréhension des phénomènes de transformation (comment, pourquoi).

La particularité du modèle OH_FET réside dans la déconstruction spatiale et temporelle des objets historiques qui implique une déconnexion entre les entités spatiale et temporelle et l'interprétation historique. Nous manipulons des fragments d'espace et de temps issus de la déstructuration de l'état des connaissances et qui ne n'ont plus de signification fonctionnelle ou thématique. C'est leur association entre eux, selon toutes les combinaisons possibles qui est porteuse d'information historique.

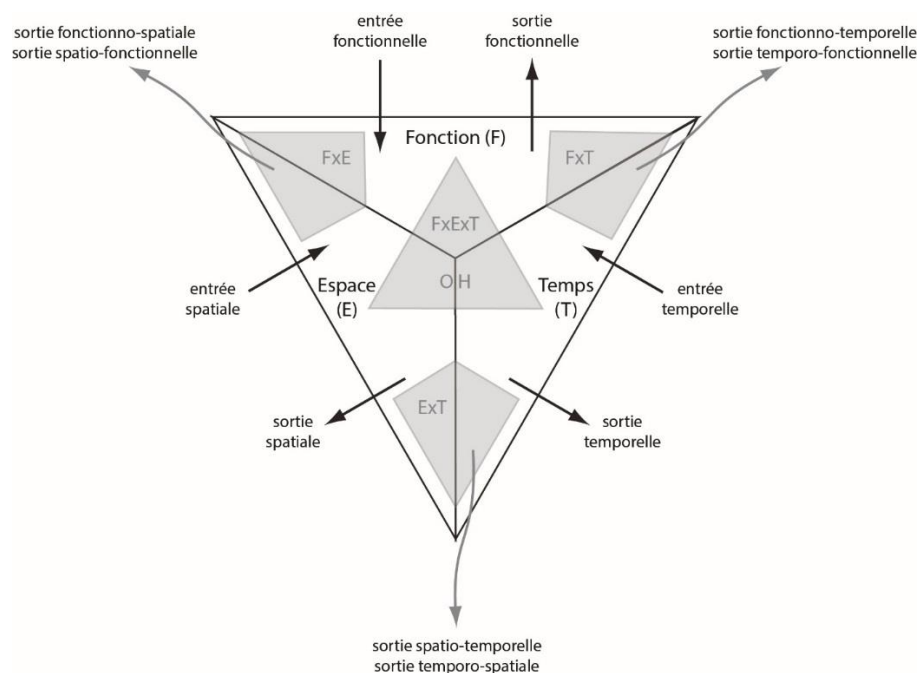


Fig. 39 : schéma général du modèle OH_FET (Objet Historiques, Fonction, Espace, Temps ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12)).

3.1.2. QUELLE MODELISATION DU TEMPS ?

La modélisations de processus spatio-temporels dans les systèmes d'information géographique se traduit par de nombreux travaux en géomatique selon deux approches, une première mathématique et informatique (LE BER, LIGOZAT et PAPINI 2007), une seconde issue des sciences sociales (FRANK, RAPER et CHEYLAN 2001 ; RAPER 2001 ; FRANK 2001 ; MATHIAN et SANDERS 2014). Selon ces deux approches, le temps est associé au mouvement ou au changement d'état, le plus souvent pour des durées courtes. Ces travaux sont utilisés pour gérer l'historique de tracés, de mouvements ou de phénomènes de manière à pouvoir restituer des états successifs ou encore pour proposer des représentations dynamiques sous forme de cartes animées (JOHNSON 2002 ; JOHNSON et WILSON 2003 ; JOHNSON 2004 ; CHEYLAN 2007). Le temps constitue, en général, un élément d'explication des phénomènes spatiaux étudiés malgré l'objectif des géographes de passer d'un espace support aux interactions spatiales puis à l'étude des dynamiques spatiales (PUMAIN 1993 : 155-156), qui a très largement contribué à la formalisation des processus spatio-temporels et à leur méthode d'analyse. Quand les phénomènes sont abordés sous un aspect spatio-temporel, le temps est un des éléments qui structurent l'espace. C'est cette démarche qui est mise en œuvre pour l'explication des processus, des trajectoires, des dynamiques, le plus souvent dans des études portant sur un temps court. La prise en compte du temps est alors tellement liée à l'espace que la question de sa propre modélisation ne se pose pas. Comme pour l'espace auparavant, on peut alors parler de temps support dans lequel s'inscrivent les objets spatiaux complexes en interaction. De même que Denise Pumain et Thérèse Saint-Julien distinguent deux manières d'appréhender l'espace (1997 : 43-44) :

« Comme pour l'espace de la physique, il y a deux manières d'envisager l'espace géographique pour le concevoir et le représenter :

- soit comme un simple contenant, repère immuable dans lequel on situe les objets et analyse leurs relations : c'est l'espace-support ou espace absolu. Il est isotrope et homogène, c'est-à-dire qu'il a les mêmes propriétés dans toutes les directions ;

- soit comme un ensemble de relations dont les propriétés, variables dans le temps et dans l'espace, sont définies par la nature et la forme des interactions entre les objets et les unités spatiales : c'est l'espace relatif ou espace-produit. »,

il y a deux manières d'envisager le temps pour le concevoir et le représenter :

- soit comme un temps absolu qui est le temps immuable isotrope, homogène et irréversible : c'est le temps calendaire, le temps-support ;
- soit comme un temps variable selon la manière dont il est pensé par les acteurs ou par les observateurs à posteriori à partir des sources à sa disposition, c'est-à-dire à partir de la part du passé qui est dans le présent (OLIVIER 2008) : c'est le temps des sociétés, un temps relatif, le temps social (ELIAS 1996 : 129-135).

Comme pour l'espace, l'une est l'autre ne s'oppose pas et sont même indissociables tels l'espace et le temps (ELIAS 1996 : 109-113). Les objets historiques sont positionnés dans le temps-support par leur datation, sorte de coordonnées calendaires. Ils sont également caractérisés par une durée et par les intervalles et autres relations des uns par rapport aux autres qui constituent une chronologie relative.

L'objet Historique (OH) qui nous intéresse est proche des unités spatio-temporelles définies par différents auteurs. Il se distingue par les temporalités dans lesquelles il s'inscrit. Par exemple, les auteurs de *Life and Motion of Socio-economic Units* (FRANK, RAPER et CHEYLAN 2001), définissent une unité spatiale abstraite décrivant un phénomène social ou économique (*socio-spatial economic unit*) dont ils étudient le cycle de vie et les mouvements. Par définition, ils ne prennent pas en compte les changements d'usage de l'espace qui s'inscrivent dans un temps plus long. Notre appréhension de

l'espace étant fondée sur les travaux des géographes, nous avons très naturellement abordé la question des dynamiques spatiales de la même manière. Les résultats obtenus constituent des avancées considérables tant du point de vue méthodologique que de celui de la compréhension des phénomènes archéologiques. Néanmoins, en subordonnant systématiquement le temps à l'espace, il n'est pas possible de rendre compte des multiples temporalités des phénomènes. En sciences historiques, l'omniprésence du temps dans les phénomènes étudiés constitue finalement un frein à sa formalisation et à sa modélisation. Les historiens s'accordent pourtant, en règle générale, sur le fait que le mouvement permanent des objets d'étude dans le temps est incompatible avec son découpage en périodes qui ne sont que des transitions lentes (LE GOFF J. 2014 : 138-145). Dans *Le sombre abîme du temps. Mémoire et archéologie*, Laurent Olivier (2008) montre de manière introspective les ambiguïtés de la notion de temps dans la démarche archéologique, sans toutefois proposer de formalisation plus systématique de la (des) structure(s) du temps. Les archéologues ont peu formalisé leur approche temporelle au-delà de l'échelle de la fouille avec l'analyse stratigraphique (HARRIS 1979 ; DESACHY 2005 a ; DESACHY *et al.* 2005 ; DESACHY 2012) et des questions de datation des artefacts (BELLANGER, HUSI et TOMASSONE 2006 ; BELLANGER et HUSI 2012). En revanche, les formalismes de représentation et de raisonnement sur l'espace et le temps développés dans le domaine de l'intelligence artificielle (LE BER, LIGOZAT et PAPINI 2007) n'ont pas eu d'écho en archéologie.

C'est sur ce constat que reposent les choix de modélisation des données temporelles dans OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12) selon une approche indépendante de l'espace et du temps afin d'observer les processus autant spatio-temporels que temporo-spatiaux. Ce changement de perspective semblant être une étape nécessaire pour fonder l'étude des dynamiques sur des analyses dans lesquelles le temps et l'espace ont une valeur équivalente.

3.1.3. TROIS ECHELLES D'EXPERIMENTATION

Conçu pour contribuer à l'étude de la fabrique urbaine, le modèle OH_FET a été utilisé à l'échelle de la ville ([41] RODIER *et al.* 2010) et a d'emblée trouvé une exploitation à celle d'un quartier (LEFEBVRE 2008). L'échelle intermédiaire du quartier permet en effet d'exploiter complètement les principes de modélisation retenus pour l'espace car c'est seulement à cette échelle que l'enquête permet de documenter l'espace de manière continue par des objets historiques surfaciques. À l'échelle de la ville, l'information est forcément discontinue et une grande partie des objets historiques ne peut être représentée que par un point. L'utilisation expérimentale du modèle à l'échelle de la fouille implique des choix de modélisation pour la déconstruction de l'information initiale qui soulèvent de nouvelles questions ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19). Surtout, Elle offre un nouveau regard sur les données de fouilles stratigraphiques qui interrogent sur la robustesse de leur modalité d'enregistrement. Les variations selon les échelles sont différentes dans chacune des trois dimensions du modèle (Fig. 40).

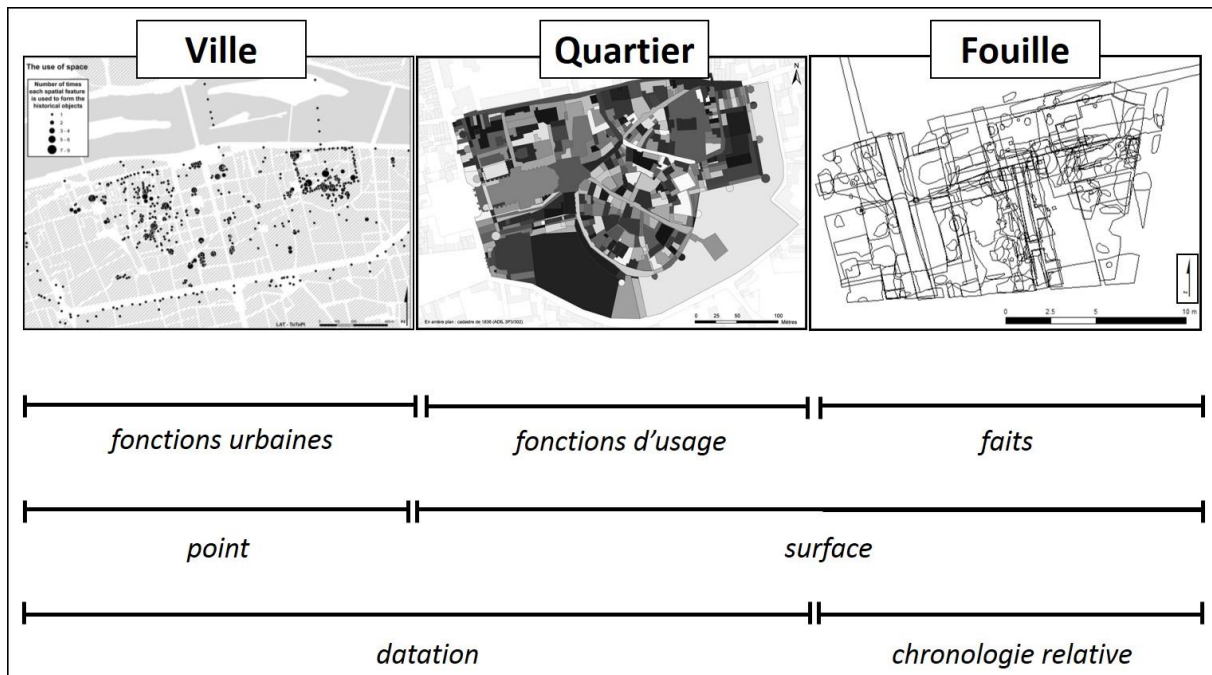


Fig. 40 : Les trois échelles d'analyse auxquelles le modèle OH_FET a été appliqué ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19).

La description fonctionnelle est, aux échelles de la ville et du quartier, fondée sur le thésaurus du Cnau (cf. 2.2.3.) dont les occurrences constituent les entités fonctionnelles (EF). Les valeurs urbaines et les valeurs d'usages sont adaptées à la ville. En revanche, ce sont les valeurs d'usages qui constituent la référence à l'échelle du quartier et il est nécessaire de définir un niveau de descripteur inférieur qui ne s'articule pas de manière strictement hiérarchique avec le niveau supérieur. Pour y remédier, Bastien Lefebvre (2008 : 138) a défini un niveau complémentaire d'éléments constitutifs permettant de décrire l'information pertinente à l'échelle du quartier (chapelle, cloître, clocher, cour, écurie, logis, réfectoire...) pour la documentation qu'il traitait dans le quartier de l'amphithéâtre à Tours. Confronté au même problème pour l'étude de Vendôme, Gaël Simon (SIMON 2012) a modélisé les relations multiscalaires entre ces éléments constitutifs et les entités fonctionnelles définies pour OH_FET. Il met ainsi en évidence les temporalités propres à chaque niveau d'interprétation (entité fonctionnelle et élément constitutif). Cela lui permet de distinguer l'impact des transformations aux échelles distinctes du domaine construit et du tissu urbain. Le croisement de ces informations avec les entités spatiales lui permet d'analyser la variabilité fonctionnelle de l'espace entre ces deux échelles d'analyse. (Fig. 41). À l'échelle de la fouille, les données archéologiques constituent la seule la seule source disponible. Aucun des descripteurs du thésaurus n'est opérationnel puisque les objets historiques considérés sont les Faits archéologiques qui correspondent à la plus petite unité d'enregistrement spatial de l'information en archéologie urbaine. Nous avons donc mobilisé l'interprétation fonctionnelle des Faits telle qu'elle se trouve dans l'enregistrement de terrain : fosse, mur, trou de poteau, foyer, sol... Contrairement aux échelles précédentes, ces termes ne constituent pas les occurrences d'un thésaurus homogène. En effet, un certain nombre d'entre eux correspondent au vocabulaire d'attente développé pour nommer commodément les vestiges mis au jour. Ce vocabulaire est ensuite modifié au fur et à mesure que d'autres sources apportent de nouvelles informations. Certaines fosses peuvent être qualifiées avec plus de précision de latrines ou de puisard une fois les études de mobilier effectué par exemple. Dans tous les cas, l'analyse de la distribution fonctionnelle des Faits met en évidence les faiblesses des modalités d'enregistrement pourtant jugées robustes (cf. 1.4). Sans remettre en cause

le système d'enregistrement, il sera intéressant de poursuivre l'expérience d'analyse avec le modèle OH_FET pour identifier les failles et tenter de les combler.

EF <small>Fonctions urbaines</small>	Forte variabilité fonctionnelle des ES	Faible variabilité fonctionnelle des ES
EC <small>Valeurs fonctionnelles</small>	Forte variabilité fonctionnelle des ES	Faible variabilité fonctionnelle des ES
Forte variabilité fonctionnelle des ES	Forte variabilité aux deux échelles d'analyses	Faible variabilité de la fonction urbaine et forte variabilité des valeurs fonctionnelles
Faible variabilité fonctionnelle des ES.	Forte variabilité de la fonction urbaine et faible variabilité des valeurs fonctionnelles	Faible variabilité aux deux échelles d'analyses

Fig. 41 : Les dynamiques spatio-fonctionnelles multiscalaires entre Entité Fonctionnelle (valeur urbaine à l'échelle de la ville) et Élément Constitutif (valeurs fonctionnelles à l'échelle du quartier) (SIMON 2012).

À l'échelle de la ville, l'espace ne peut être abordé qu'en résumant toutes les entités spatiales à une représentation ponctuelle. C'est en effet le seul moyen d'obtenir un corpus homogène autorisant la comparaison de données. La majorité des objets historiques initiaux n'ont de sens à l'échelle de la ville qu'en les représentant par un point (une maison, les traces archéologiques d'un atelier, la mention d'une église...). En outre, l'information est discontinue. À Tours, comme dans beaucoup de villes, le cadastre du 19^e siècle constitue le document le plus ancien qui couvre l'ensemble de l'espace urbanisé ancien. L'utilisé pour compléter le corpus d'entité spatiale créerait à l'évidence un effet de source qui masquerait les informations antérieures.

Les échelles du quartier et de la fouille sont donc les seules où la modélisation spatiale choisie dans OH_FET trouve pleinement son expression. Elle consiste à découper l'espace selon le principe de non-redondance de l'information, c'est-à-dire qu'en un lieu donné il ne peut y avoir qu'une et une seule entité spatiale (ES) mobilisable autant de fois que nécessaire pour décrire, seule ou avec d'autre, les objets historiques (Fig. 42). Les entités spatiales constituent donc la plus petite unité d'espace obtenue par son découpage selon la superposition de tous les objets historiques. Ce choix permet d'obtenir des cartes d'utilisation de l'espace. Pour l'étude d'un quartier, cela nécessite une enquête documentaire et de terrain approfondi qui relève d'un travail de thèse (LEFEBVRE 2008). À l'échelle de la fouille, nous utilisons la base de données géographique constituée par les relevés de fait. La manipulation des données, une fois le découpage en entité spatiale effectué, est alors tellement éloignée de la logique des unités d'enregistrement stratigraphique, qu'il n'est pas envisageable d'exploiter cette modélisation pendant la fouille. Cela pourrait cependant constituer un puissant outil d'analyse postérieur.

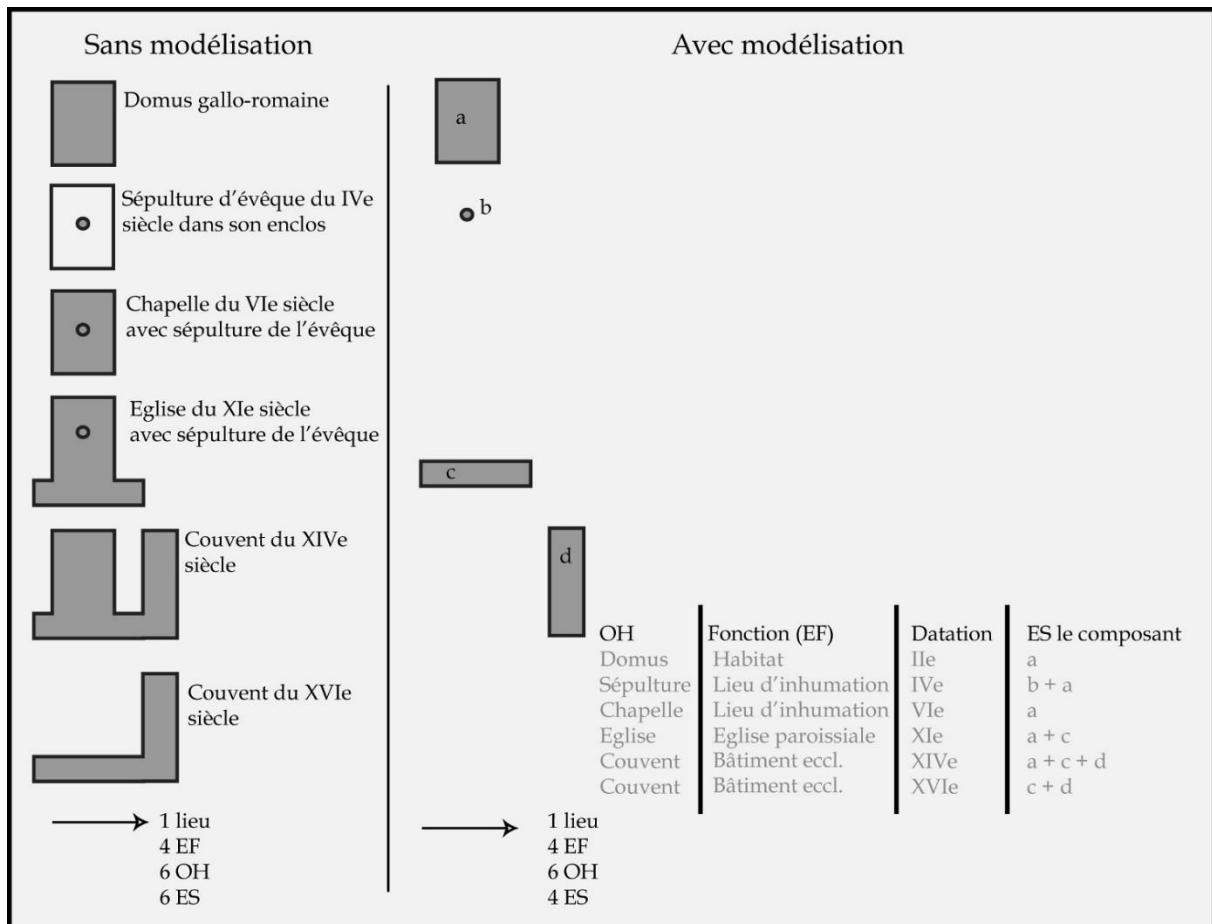


Fig. 42 : Conversion d'Objets Historiques en Entités Spatiales selon le modèle OH_FET ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15 ; [15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).

Le temps, aux échelles de la ville et du quartier correspond aux dates calendaires d'apparition et de disparition des objets historiques. On assume ici le niveau de réduction de l'incertitude nécessaire à l'interprétation calendaire des fourchettes de datation qui documente le plus souvent les objets historiques. Comme pour l'espace, nous avons retenu le principe de non-redondance de l'information comme contrainte initiale. Cela a pour conséquence d'éliminer toute les formes d'intersection entre deux intervalles et nous amène à ne retenir que quatre des treize relations topologique temporelles (*before*, *after*, *meets*, *meet by*, Fig. 43) définies par James Allen (1984) et associées aux relations entre les objets spatiaux par Jean-Paul Cheylan (CHEYLAN 2007).

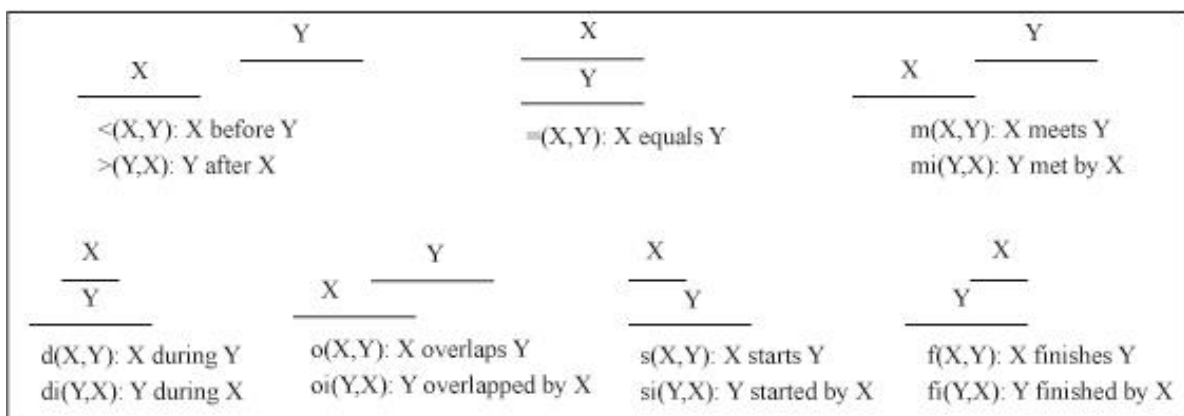


Fig. 43 : Les relations temporelles de James Allen (1984).

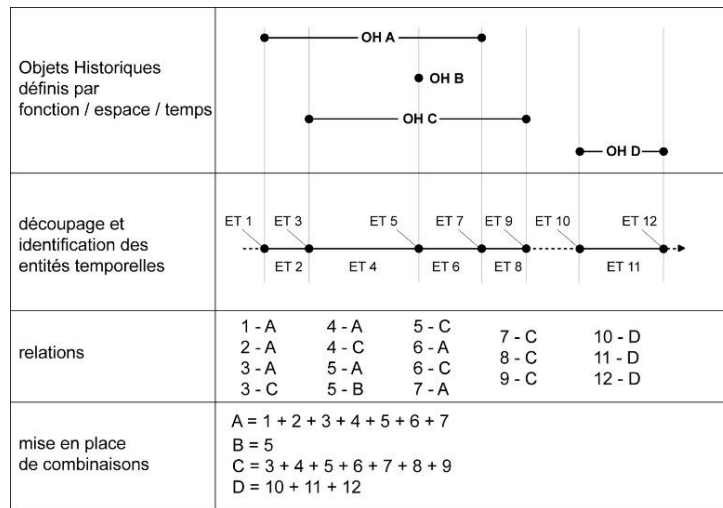


Fig. 44 : Conversion d'Objet Historique en Entités Temporelles selon le modèle OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).

Le temps est alors découpé en entités temporelles (ET) qui sont les plus petites unités obtenues par la projection de tous les objets historiques sur son axe (Fig. 44). L'expérimentation à l'échelle de la fouille nécessite de modéliser la chronologie relative selon une logique équivalente. Il est impossible d'attribuer une date à chaque Fait. L'utilisation de la datation des ensembles dans lesquels ils sont regroupés aurait un effet d'agrégation très réducteur par rapport à la granularité spatiale sans intérêt dans ce cas. C'est donc une projection du diagramme stratigraphique sur un axe temporelle virtuel qui a été utilisé. Le plus petit écart observé sur cet axe, c'est-à-dire la plus petite entité temporelle, détermine la granularité de la résolution relative qui permet d'attribuer aux Faits des coordonnées temporelles relatives (Fig. 45). Ces manipulations, encore une fois très éloignées de la logique d'enregistrement des données, permettent de produire des diagrammes d'apparition/disparition et mettent en évidence le nombre de changement des Faits interprétable en termes de rythme d'occupation (Fig. 46).

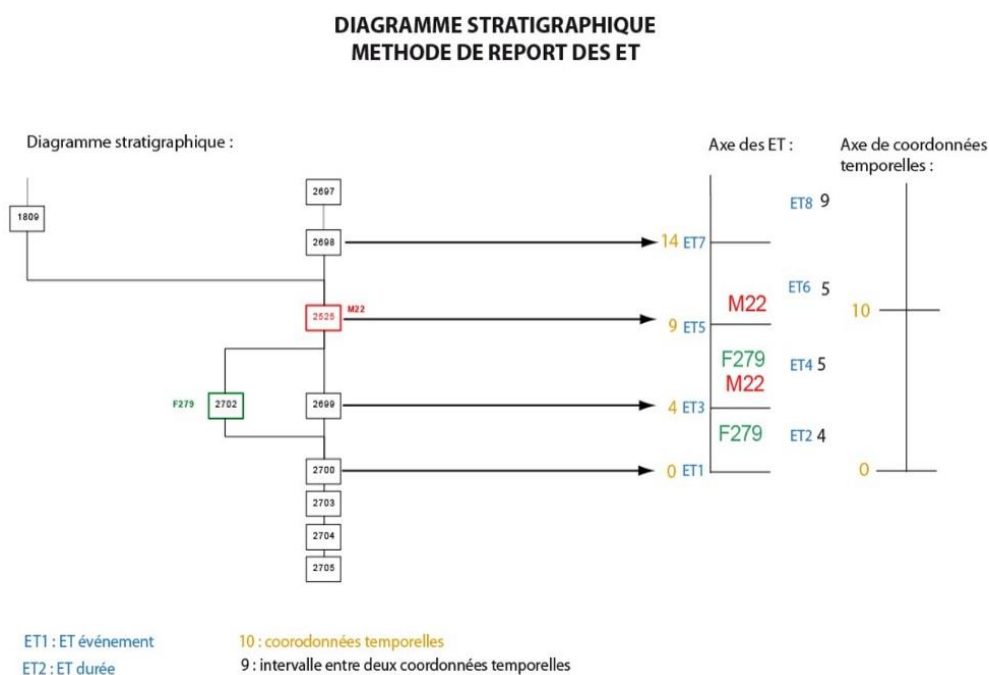


Fig. 45 : Modélisation des éléments d'un diagramme stratigraphique en Entités Temporelles selon le modèle OH_FET ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19).

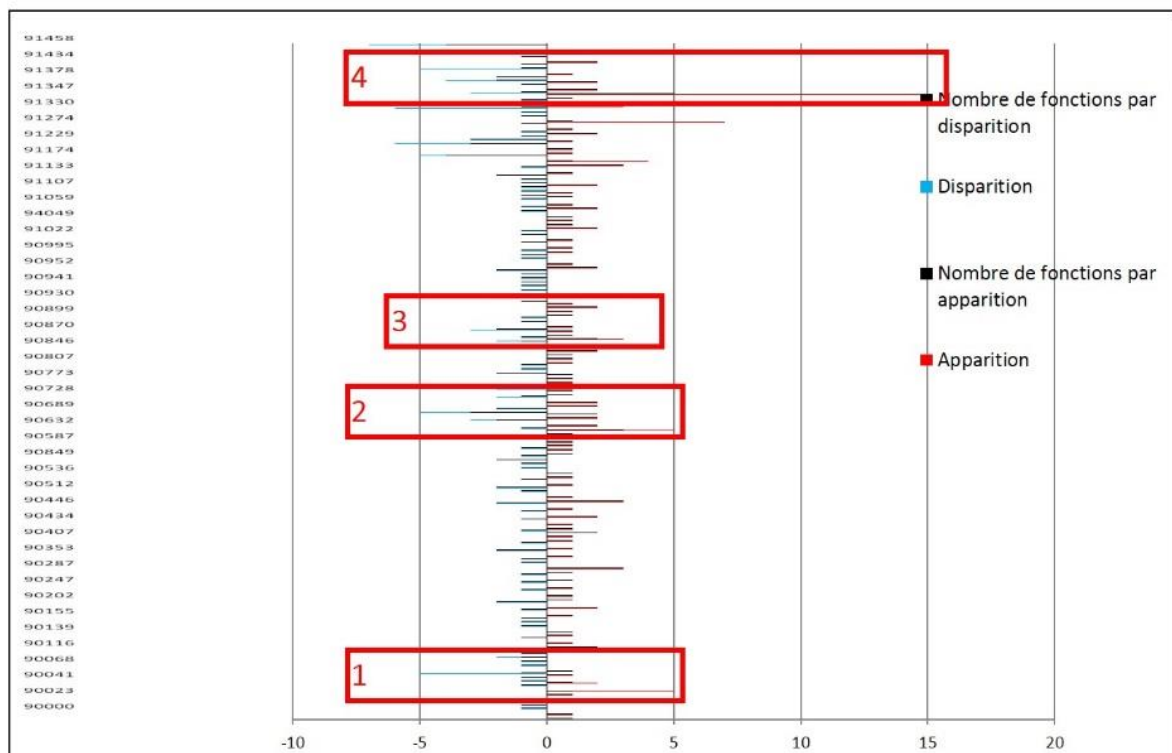


Fig. 46 : Apparitions et disparitions des Faits dans la distribution des Entités Temporelles issues du diagramme stratigraphique de la fouille du site 16 à Tours ([52] LEFEBVRE, RODIER ET SALIGNY 2012 ; Annexe 19). 1, construction d'une structure homogène au début de l'occupation du site. 2, série de traces d'occupation domestique (fosses diverses et trous de poteau) qui pourrait marquer un changement dans le mode d'occupation du site. 3, apparition d'une structure suivie de sa disparition qui traduit sa faible durée de vie. 4, structure peu marquante dans l'histoire du site (double série de trous de poteau correspondant à une haie d'arbres ou une clôture), le pic d'apparitions correspond au nombre important de Faits contemporains.

Aux trois échelles considérées, les croisements des dimensions deux à deux offrent des lectures inédites du corpus d'objet historique mobilisé en permettant d'observer la variabilité fonctionnelle dans l'espace (FxE), fondée sur la fréquence de sollicitation des fonctions par ES et le nombre de fonctions différentes par ES ; la variabilité fonctionnelle dans le temps (FxT), fondée sur la sollicitation des fonctions par ET et le nombre de fonctions différentes par ET ; la variabilité spatiale dans le temps (ExT), fondée sur la sollicitation de ET par ES ainsi que la variabilité temporelle dans l'espace (ExT) fondée sur la sollicitation des ES par ET.

À l'échelle de la ville et du quartier, la sortie temporelle du modèle (Fig. 47) représente la distribution des entités temporelles (ET) selon le nombre de fois où celles-ci sont sollicitées afin de constituer un OH. Le principal phénomène historique révélé par l'interprétation de cette distribution correspond à la fondation de la ville au début de notre ère. D'autres apparaissent également mais sans qu'il soit possible de distinguer l'effet de source du phénomène historique lui-même. L'enceinte du Bas-Empire, par exemple, est visible sur le graphique parce que sa construction a eu une incidence sur la dynamique urbaine, parce qu'elle a laissé beaucoup de traces matérielles et parce qu'elle a fait l'objet d'une étude plus approfondie. L'importance historique et celles des sources entre manifestement toutes les deux en compte. Effet de source et phénomène historique expliquent également le pic formé par le nuage de points au début du 13^e siècle, car celui-ci correspond non seulement à l'étude spécifique menée sur le bâti civil médiéval, mais aussi à une restructuration urbaine progressive qui coïncide précisément avec un changement des modes de vie en ville aux 12^e et 13^e siècles. Dans ces deux cas, l'importance du phénomène et de la source sont intimement liées. La distribution temporelle des objets du corpus

permet d'évaluer le biais dû aux sources et la tendance à accentuer ou à minimiser un phénomène face à d'autres. En revanche, deux dossiers de textes particulièrement riches, Grégoire de Tours à la fin du 6^e siècle et Téotolon au milieu du 10^e, renseignent considérablement la topographie de la ville de Tours mais n'apparaissent pas dans le graphique. En fait, les renseignements qu'ils livrent sont capitaux pour la compréhension de la fabrique de la ville mais d'une part la temporalité des informations n'est pas celles de la source (Grégoire de Tours), d'autre part la granularité des sources ne correspond pas à celle des objets historiques à l'échelle de la ville (Téotolon). S'il est certain que l'augmentation du nombre d'objets historiques reflète la constitution du jeu de données, la mesure de l'effet de source montre que le rapport objet/source n'est pas linéaire.

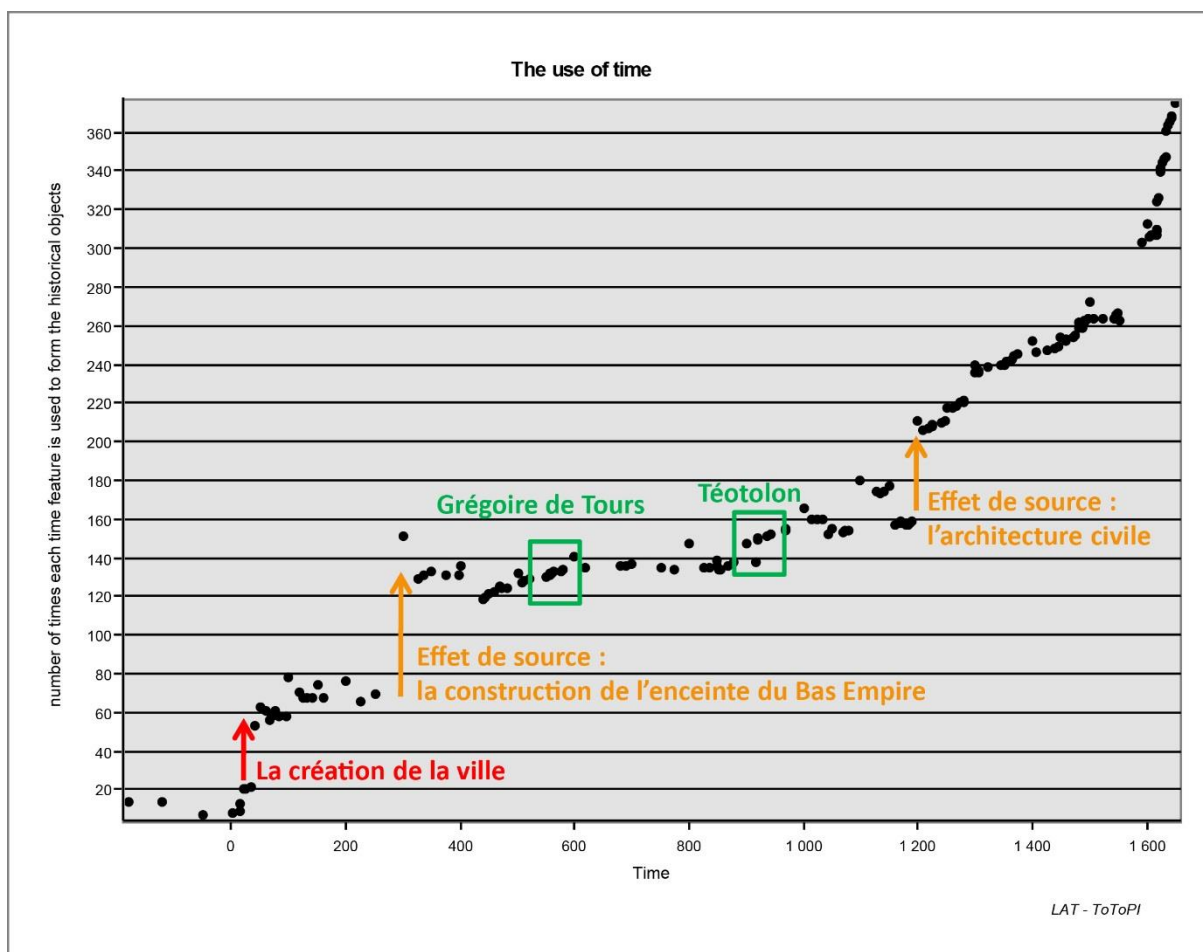


Fig. 47 : Répartition du nombre d'Objets Historiques par Entités Temporelles dans les données de ToToPI ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe19).

À l'échelle de la fouille, l'analyse spatio-temporelle fournit une durée (en chronologie relative) du renseignement que l'on peut croiser avec la variabilité fonctionnelle par ES pour observer les stabilités (pérennités) et les transformations. Par exemple, dans les espaces où la durée cumulée du renseignement est grande, une forte variabilité fonctionnelle traduit la multiplicité des activités alors que nombre de fonctions représente la stabilité de l'occupation. À l'inverse, une faible durée cumulée du renseignement par entité spatiale signifie soit l'importance de la succession des activités, soit l'atomisation de l'information par l'enregistrement archéologique puisqu'il s'agit de durée relative.

La modélisation conceptuelle d'OH_FET (Fig. 48) a permis la création d'une application développée à la MSH de Dijon (Fig. 49) qui propose la plupart de ces analyses ([33] SALIGNY *et al.* 2015 ; Annexe 22). En outre, il facilite considérablement la manipulation des données et leur structuration selon le modèle.

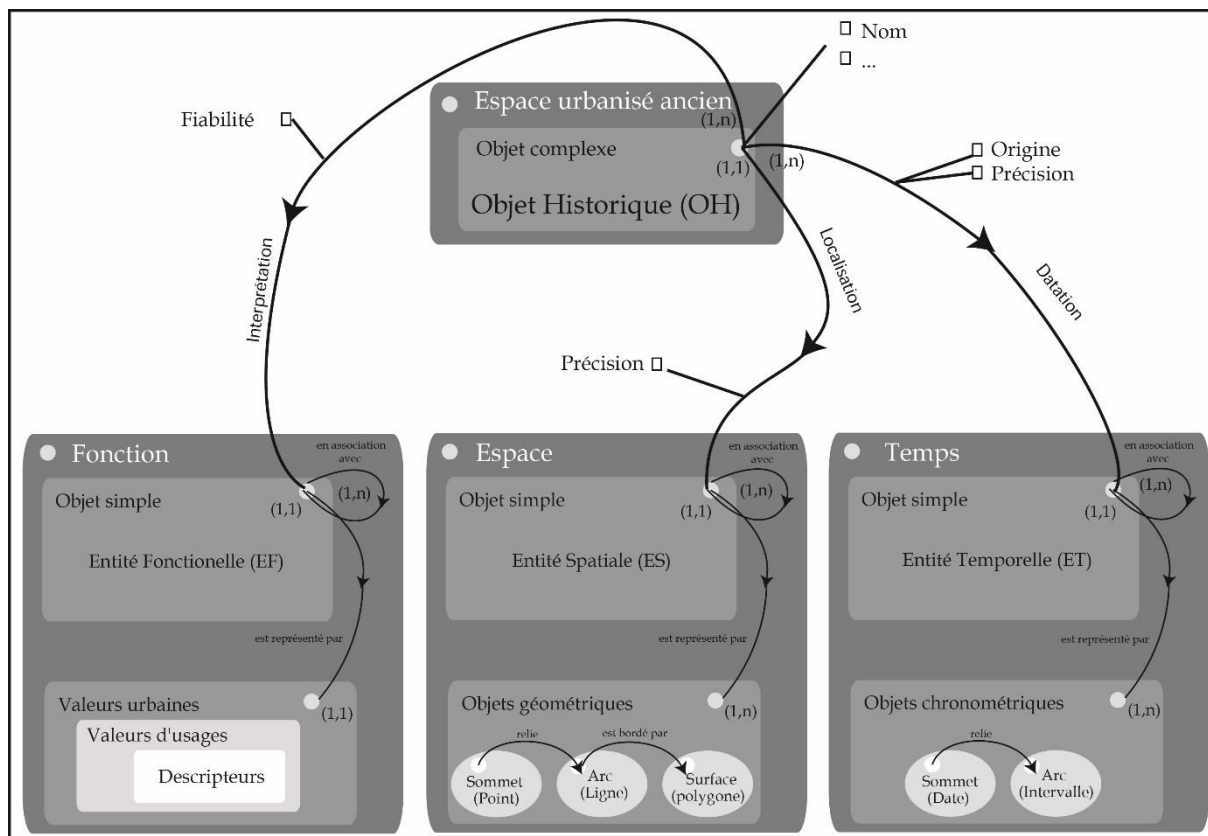
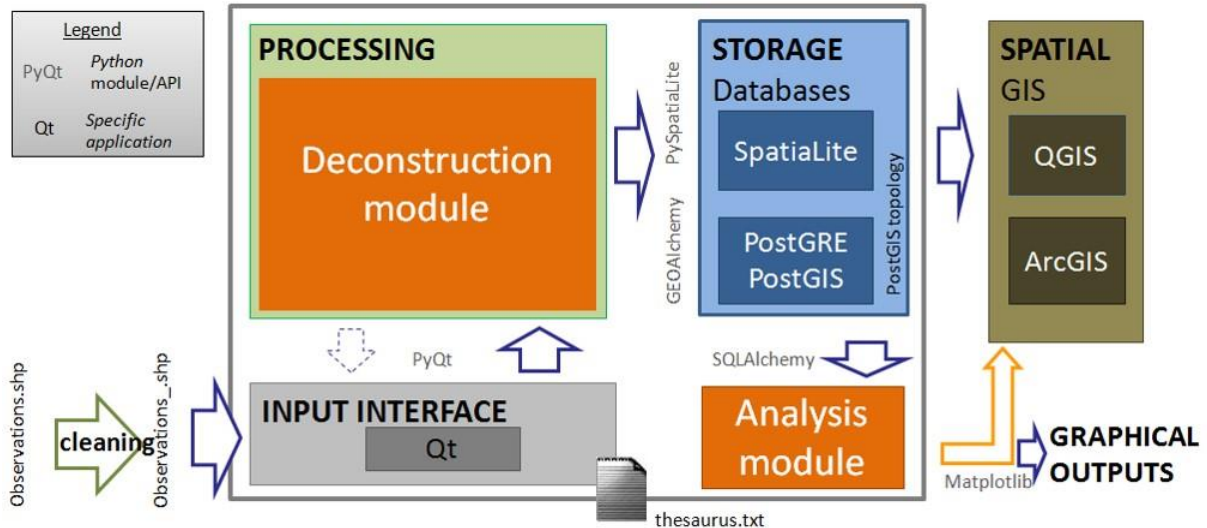


Fig. 48 : Schéma conceptuel de données du modèle OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12), modélisation HBDS (*Hypergraph-Based Data Structure* (BOUILLE et SALIGNY 2011)).

Le modèle OH_FET est l'aboutissement d'une démarche de longue haleine d'intégration et des concepts de représentation de l'espace et du temps proposés par le collectif Cassini (1999) en géomatique. Il s'agissait d'exploiter l'utilisation des SIG en archéologie et plus particulièrement pour l'étude des transformations de l'espace urbain. Il fallait éviter l'écueil de la réinvention au prétexte que la démarche archéologique serait irréductible à quelques principes généraux que ce soit, sans perdre de vue l'objectif de prise en compte du temps long absente de ces travaux. Considérons que l'essai est transformé avec la publication des résultats d'un travail collectif du GdR Magis sur les dynamiques spatiales (SANDERS et RUAS 2015) dans lequel OH_FET est l'un quatre des modèles ([5] PERRET *et al.* 2015 ; Annexe 23) que nous avons comparés pour l'étude des dynamiques d'occupation du sol. Ce numéro de la Revue internationale de géomatique fait écho à celui de 1999 avec les mêmes questionnements initiaux mais dans un contexte méthodologique renouvelé et enrichi, offrant de nouvelles opportunités de traitement de données et de modélisation dans un dialogue interdisciplinaire plus large qui ouvre sur de nouveaux questionnements (RUAS et SANDERS 2015).



T. Huet, L. Granjon, L. Saligny 2010

Fig. 49 : Principes de fonctionnement de l'application OH_FET ([33] SALIGNY *et al.* 2015 ; Annexe 22).

3.2. MODELISER LES DYNAMIQUES SPATIALES EN SCIENCES HUMAINES

Des collaborations récurrentes entre archéologues et géographes ont donné lieu à plusieurs travaux à cette interface disciplinaire depuis plus de vingt ans. Leurs échanges ont livré des formalisations et des travaux de modélisation confrontant espace et temps. Ces différentes expériences ont permis une révision des conceptions et pratiques de recherche et les questions posées ont ainsi gagné en généralité.

À l'échelle inter-urbaine, dans les années 1990, le programme ARCHAEOMEDES a donné lieu à la publication de l'ouvrage *Des oppida aux métropoles* (DURAND-DASTES *et al.* 1998), puis au programme ArchaeDyn dans les années 2000 (GANDINI, FAVORY et NUNINGER 2012). Dans une perspective diachronique, ces programmes portent sur la caractérisation et les transformations des réseaux d'habitats pour mettre en évidence les dynamiques de peuplement ([36] SALIGNY *et al.* 2013 ; Annexe 20). Enfin, dans les années 2010, le programme TransMonDyn (<http://www.transmondyn.parisgeo.cnrs.fr/>), dont la publication est en cours sous la direction de Lena Sanders, a élargi la perspective par une approche fondée sur la modélisation dynamique, avec pour but de comprendre les processus à l'œuvre dans les transformations observées. Douze transitions d'échelles spatiale et temporelle variées, ont fait l'objet d'études de cas allant jusqu'à l'élaboration d'outils de simulation dynamique pour tenter de comprendre les processus à l'œuvre ([49] TANNIER *et al.* 2014 ; Annexe 21).

Dans le même temps, des travaux sont menés à l'échelle intra-urbaine en archéologie urbaine et en particulier à Tours à partir du colloque de 1980 (ANONYME 1982) et de la collection des documents d'évaluation du Cnau (1990-2012) dont le premier avant la lettre fut *Les archives du sol à Tours* (GALINIE et RANDOIN 1979) établi sur le modèle de *The future of London past* (BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973). Partant de l'élaboration de la topographie historique d'une ville à partir de toutes les sources disponibles, ces travaux ont pour finalité la compréhension de l'espace urbain (*cf.* 2.2). Dans les deux cas, sous des formes différentes, les archéologues se sont tournés vers les géographes pour les outils conceptuels et méthodologiques nécessaires à l'étude des espaces considérés. Ces collaborations se sont également multipliées au sein du réseau « Information Spatiale et Archéologie » où la réflexion, à l'interface disciplinaire sciences historiques/sciences géographiques, sur l'appréhension des

transformations c'est ensuite plus largement ouverte à d'autres disciplines avec le GdR MoDyS ([82] RODIER dir. 2014) qui a réuni archéologues, géographes, architectes, historiens, préhistoriens, aménageurs, informaticiens, économistes, écologues).

3.2.1. QUE MODELISE-T-ON ?

Les modèles utilisés, par chacune des disciplines mais aussi en commun, pour étudier la dynamique des espaces urbains, mettent en évidence l'intérêt des transferts méthodologiques. L'approche systémique s'est avérée féconde en géographie comme en archéologie ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4). À l'échelle intra-urbaine elle permet, en introduisant et en spécifiant les différentes relations entre les objets constituant l'espace urbain, de mieux comprendre son fonctionnement. À l'échelle inter-urbaine, elle amène à étudier le rôle structurant des interactions entre habitats, agglomérations et villes sur la constitution et la transformation de réseaux d'habitats et de systèmes de villes. Si le concept de système est ainsi mobilisé dans les deux disciplines, les différences de temporalité des phénomènes étudiés impliquent des approches parfois distinctes de la durabilité et des transitions d'un système à un autre ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4).

L'analyse des dynamiques spatiales dans la longue durée impliquent des outils permettant d'une part de gérer de l'information temporelle, à résolution variée selon les périodes historiques prises en compte mais devant être comparables, et d'autre part de prendre en compte des temporalités différentes inhérentes à chaque phénomène décrit dans un système d'information historique (par exemple : temporalité différente d'une crise démographique et d'une recolonisation forestière, d'une restructuration des pouvoirs et d'une transformation des systèmes de peuplement, d'un système symbolique d'organisation de l'espace et d'un système technique de gestion des ressources). Les questions auxquelles nous sommes confrontés sont d'ordre différent, elles portent d'une part la multi-temporalité et la longue durée, d'autre part l'incertitude et la multi-représentation. Elles nécessitent des développements et des formalisations propres : la longue durée, les temporalités multiples, les échelons d'analyse, le rapport aux sources. La multiplicité et la diversité des sources mises en œuvre, la particularité de leurs modes de production et de conservation, confèrent en effet aux données historiques et archéologiques un caractère hétérogène et lacunaire. S'y ajoute une précision chronologique très inégale. Ces paramètres compliquent particulièrement l'évaluation des rythmes de transformation et l'appréhension des interactions spatiales. Dès lors qu'elle se dévoile, cette complexité du temps, à la fois effet de source et réalité, devient un enjeu ([82] RODIER 2014). Ce constat implique de nouveaux formalismes pour l'analyse et la modélisation des processus. Si l'espace est au cœur du questionnement des analyses spatiales, le temps et ses différentes composantes prévalent dans l'approche historique : il s'agit alors d'aborder la modélisation des dynamiques spatiales en donnant toute sa place au temps, et en s'affranchissant de la prédominance de l'espace, implicite en géographie. Les enjeux sont pour la géographie de projeter les concepts de l'analyse spatiale dans la longue durée en connaissance incertaine, c'est-à-dire avec des données hétérogènes et incomplètes issues de sources multiples, qui peut entraîner des changements sémantiques dans les objets étudiés ; pour les sciences historiques, il s'agit de l'appropriation de l'espace par une approche modélisatrice et systémique et de la formalisation des concepts temporels nécessaires à l'analyse des dynamiques de transformations spatiales. L'objectif est de capitaliser ces avancées afin de définir les nouveaux paradigmes qui émergent à l'interface temps/espace.

La modélisation est utilisée comme outil scientifique de représentation d'une réalité observée, l'abstraction et la simplification qu'elle nécessite contribuant à en comprendre les propriétés. Elle permet de tester les hypothèses par la simulation de scénarios construits sur la base de ces hypothèses. Modéliser nécessite de formaliser ces objets d'études et sa démarche. Cette évidence n'en est pas toujours une dans les disciplines peu modélisatrice qui, lorsqu'elle s'y intéresse, entrent

par l'utilisation et l'adaptation de modèles existants pour ne venir qu'ensuite aux questions modèles plus conceptuelles qui relèvent des paradigmes disciplinaires. C'est dans cette logique qu'avec Laure Saligny nous avons été amenés à proposer, dans le cadre de l'ANR Archaeodyn (GANDINI, FAVORY et NUNINGER 2012), une formalisation des processus scientifique mis en œuvre et une modélisation conceptuelle des phénomènes pour l'étude des dynamiques territoriales ([36] SALIGNY *et al.* 2013 ; Annexe 20). L'objectif est de rendre explicite le passage, en entrée, d'un objet archéologique (un site ou un artefact) ou d'une unité d'enregistrement (zone de prospection), à la caractérisation, en sortie, d'espaces décrivant un système qui constitue notre objet d'étude (finage, système de peuplement ou aire de diffusion) (Fig. 50).

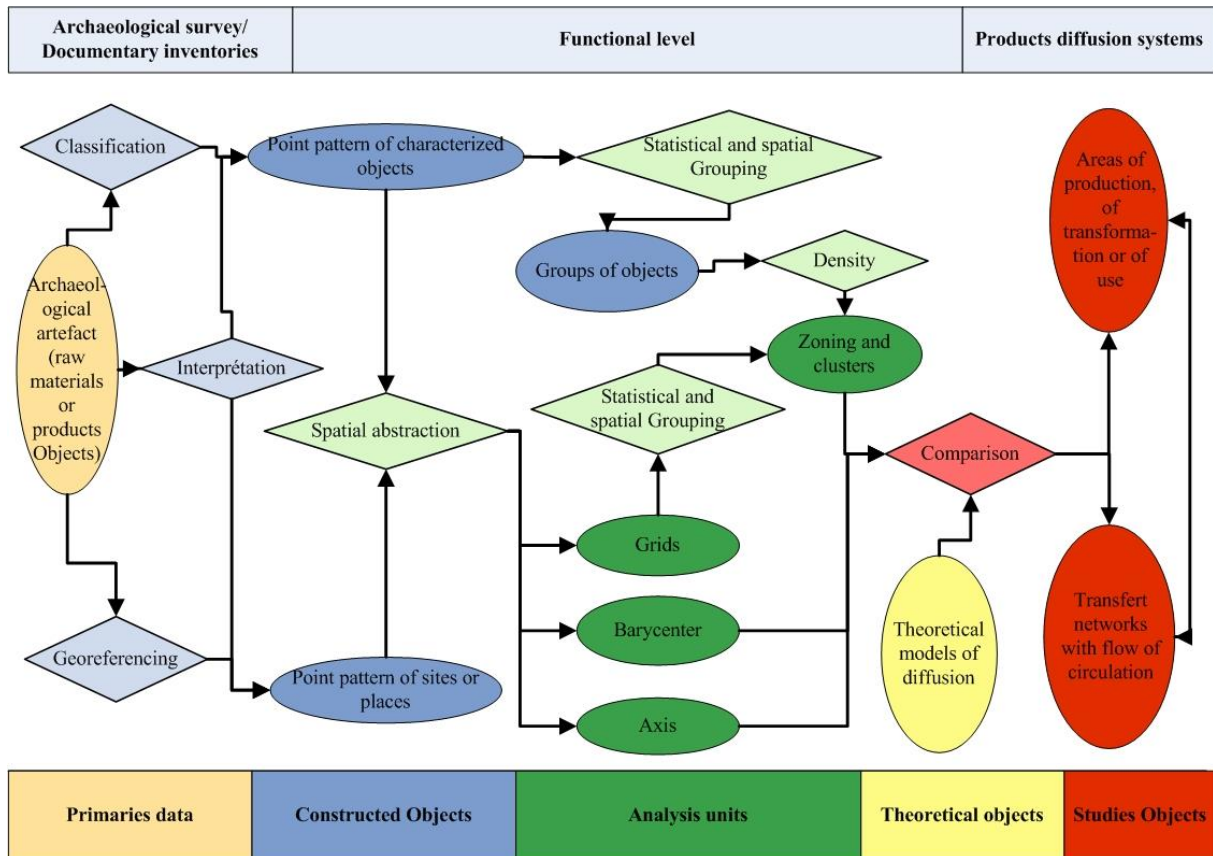


Fig. 50 : ANR ArchaeDyn, formalisation des processus des systèmes de diffusion de produits manufacturés ([36] SALIGNY *et al.* 2013 ; Annexe 20).

La formalisation des objets créés ou mobilisés durant la démarche est un préalable nécessaire à la modélisation conceptuelle. Ces objets peuvent être arbitraires (une unité de collecte de prospection), explicites (un ensemble de vestiges archéologiques interprété comme un établissement ou une aire d'épandage ou un dépôt d'objets, un gîte de ressources naturelles) ou abstraits (un maillage dans lequel pourra être agrégé un certain nombre d'informations archéologiques qualitatives et quantitatives). Les étapes successives de la démarche correspondent à des processus analytiques à la fois sémantiques, spatiaux ou temporels. À chacune de ces étapes est élaborée une série d'indicateurs permettant la construction et la qualification des nouveaux objets. La mise en œuvre et la succession de ces objets et de ces processus constituent le passage du niveau de la prospection, ou du corrélat matériel, au niveau des objets complexes que sont les territoires et les espaces étudiés. Ces objets complexes - l'espace agricole pour le finage, l'espace rural occupé pour le peuplement et les espaces de consommation et de production des objets pour les aires de diffusion - sont des sous-systèmes composant les dynamiques de l'occupation humaine (Fig. 51).

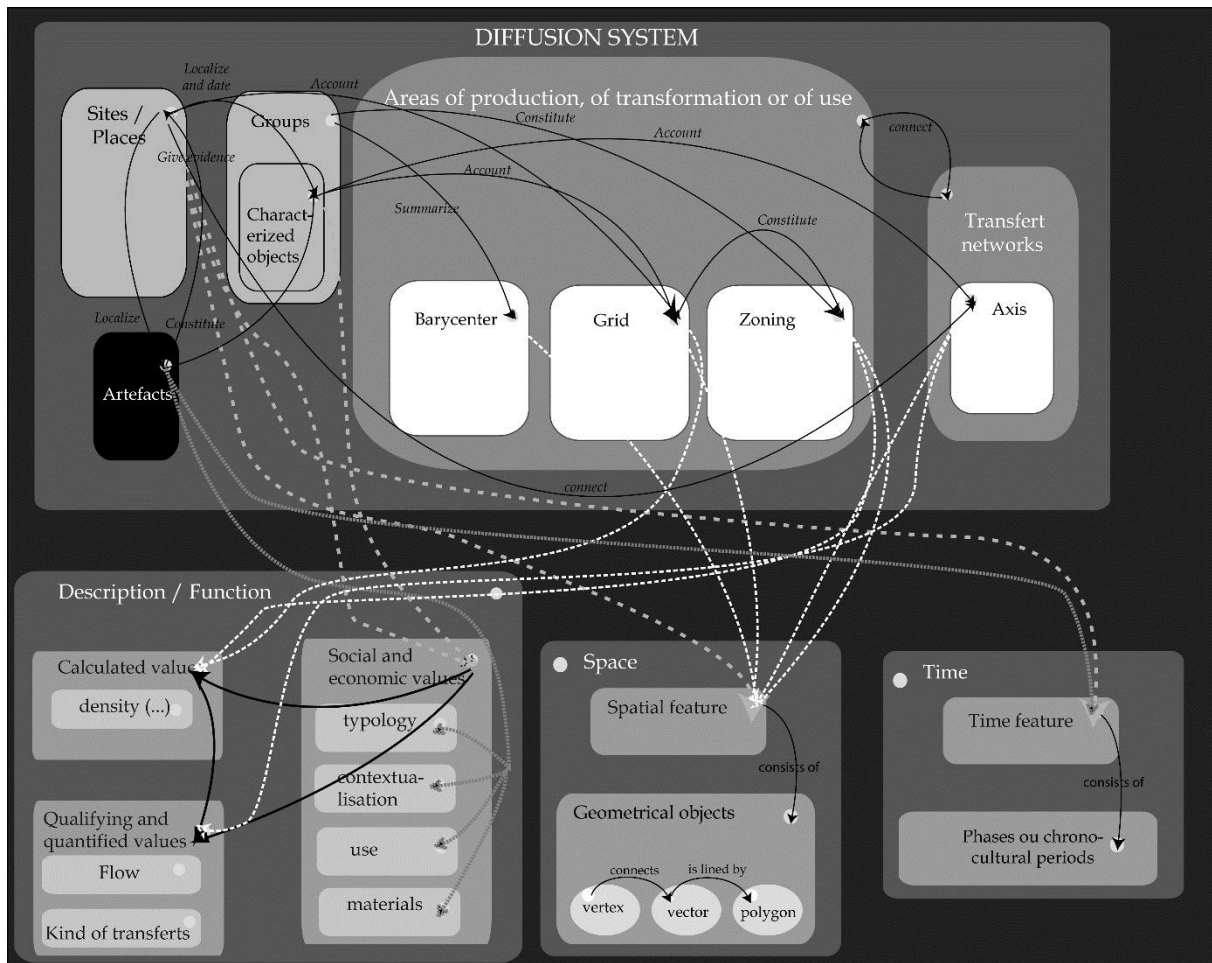


Fig. 51 : Modèle conceptuel du système de diffusion de produits manufacturés ([36] SALIGNY *et al.* 2013 ; Annexe 20), modélisation HBDS (*Hypergraph-Based Data Structure* (BOUILLE et SALIGNY 2011)).

L'apport de cette formalisation est en premier lieu la description synthétique des hypothèses testées et de la démarche mise en œuvre. Au-delà, elle offre à l'équipe de chercheurs une validation collective de son raisonnement.

Les objets mobilisés dans cet exemple sont qualifiés d'archéologiques ou d'historiques. Ils ne diffèrent pas des objets géographiques. En effet, nous manipulons les mêmes dimensions de la société que nous cherchons à modéliser pour tenter de les expliquer, voire de les comprendre. Archéologues, historiens et géographes s'intéressent aux transformations sociales, spatiales et temporelles, aux dynamiques des sociétés, à la fabrique des territoires, à la production d'espace par les sociétés, et rencontrent les mêmes problèmes face au changement d'échelle (de niveau, de granularité), à l'incertitude des données, des phénomènes, des modèles, au temps (court ou long). L'approche archéologique des relations sociétés/espaces est fondée sur la notion de système spatiale (PINCHEMEL et PINCHEMEL 1988 : 185-217) et de production d'espace (BRUNET et DOLLFUS 1990 : 31-45) défini par les géographes, même si pas explicite et encore moins formalisé de manière générale, j'y reviendrai. En revanche, en travaillant sur les dynamiques spatiales, nous avons tenté d'expliquer en quoi les objets sont similaires ou différents selon qu'ils sont géographiques ou historiques, selon qu'ils relèvent d'un temps court ou d'un temps long. C'est sans aucun doute la nature des sources et plus précisément leur mise en œuvre, c'est-à-dire la manière dont on en extrait les éléments de construction de nos objets d'études, qui détermine les différences. Leur vie et leur généalogie diffèrent aussi considérablement selon les modes de raisonnements disciplinaires ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4).

L'objet historique (Fig. 52) est le plus souvent déterminé par la mise en œuvre de plusieurs sources (écrites, matérielles, iconographiques), par définition hétérogènes. Cette hétérogénéité se retrouve dans les corpus d'objets. L'objet géographique est en général issu d'une source unique, ou si ce n'est pas le cas, de sources homogènes. Il est donc plus difficile d'établir strictement la caractérisation du premier que celle du second : dans un corpus d'objets géographiques, les individus sont décrits selon les mêmes paramètres. Pour les objets historiques, les sources de natures différentes renseignent potentiellement tous les états alors que pour les objets géographiques, une source équivaut en général à un état. Les états de ces corpus mobilisés à différents temps ($t_1, t_2... t_n$) permettent de suivre la trajectoire des objets. Les objets d'un corpus historiques à un temps t_1 se retrouvent rarement de manière univoque à un temps t_2 . La vie et la généalogie des objets ne se caractérisent pas de la même manière et les modalités d'observation des changements entre t_1 et t_2 ne peuvent donc pas être strictement les mêmes. Pour pallier cet obstacle il est indispensable de définir explicitement le niveau d'abstraction admissible pour définir les objets. Il s'agit de choisir le seuil à partir duquel un objet est considéré comme suffisamment renseigné pour être comparable aux autres. Cette évidence constitue un crève-cœur pour les archéologues qui acceptent difficilement de se défaire du moindre indice même s'il n'est pas transformable en objet d'étude à l'échelle d'analyse retenue. L'enjeu est de travailler sur les règles qui interviennent dans la définition d'un objet univoque et la quantification de l'incomplétude de l'information spatio-temporelle de manière à envisager la construction de processus explicite de réduction de l'incertitude.

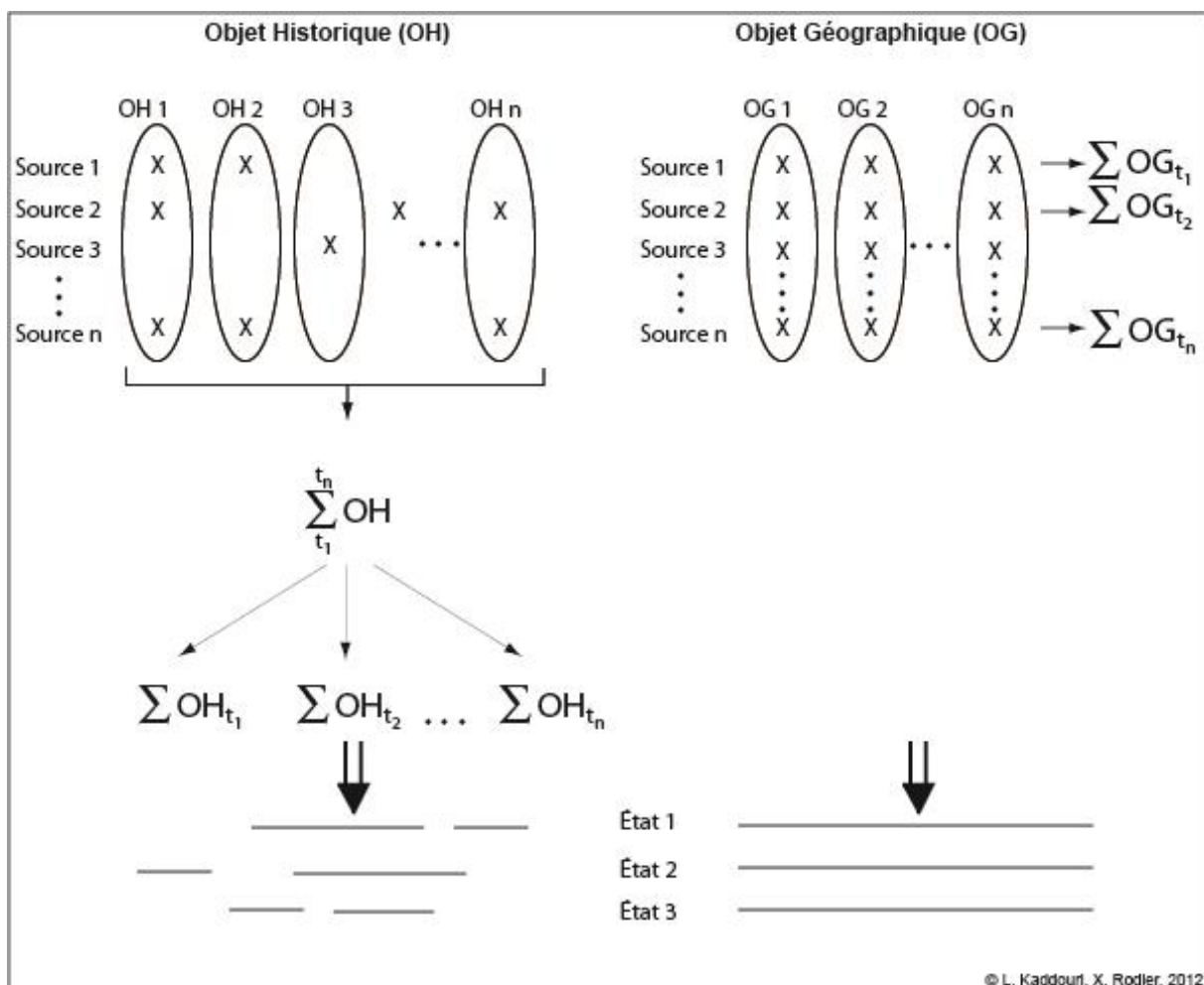


Fig. 52 : Différence entre Objet Historique et Objet Géographique ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4).

3.2.2. QUELS MODELES ?

La place de la modélisation spatiale dans les différentes disciplines des SHS est évidemment fonction du lien plus ou moins fort qu'elles entretiennent avec l'espace. Les géographes, qui sont les concepteurs de l'essentiel des outils et qui animent les débats méthodologiques, y jouent naturellement un rôle de premier plan. L'appropriation par les archéologues et les historiens des méthodes de l'analyse spatiale développées dans le domaine de la géographie constitue un changement de perspective dans les modalités de construction des connaissances. L'objectif est la compréhension des transformations sociales, spatiales et temporelles ; des dynamiques des sociétés ; de la fabrique des territoires et des paysages, c'est-à-dire des modalités de production d'espace par les sociétés telles que définies par les géographes (PINCHEMEL et PINCHEMEL 1988 ; BRUNET et DOLLFUS 1990). Les deux définitions complémentaires retenues par Hélène Mathian et Lena Sanders (MATHIAN et SANDERS 2014 : 10) reflète bien la diversité des approches modélisatrices dans les sciences humaines :

- « Le modèle est une représentation schématique de la réalité élaborée en vue de la comprendre et de la faire comprendre » (HAGGETT 1973 ; DURAND-DASTES 1992) ;
- « To an observer B, an object A* is a model of an object A to the extent that B can use A* to answer questions that interest him about A » (MINSKY 1965).

Les objectifs de la modélisation peuvent également répondre à des objectifs très différents, ce qui constitue souvent une source de malentendu. Dans tous les cas, il s'agit de produire de la connaissance sur le phénomène observé les modèles se distinguent par leur nature, leur finalité et leur niveau d'abstraction ([50] MATHIAN, RODIER et SANDERS 2013 ; Annexe 1). À chacune des étapes de la recherche sont mobilisées différentes formes de modèle : modèle discursif (un récit structuré), modèle graphique (chorématique ou modèle sagittal par exemple), modèle conceptuel, modèle de donnée, modèle statistique, modèle exploratoire, modèle mathématique, modèle de simulation. La finalité de la modélisation relève quant à elle de deux catégories : les modèles descriptifs et les modèles explicatifs. Les premiers servent à représenter un objet ou un phénomène, à le formaliser, c'est-à-dire de construire un objet de recherche à partir d'une observation. Ils permettent de reconstituer un état, de rendre compte d'une organisation – une configuration spatiale par exemple – ou encore de mettre l'accent sur un changement ou une trajectoire. Ils offrent une description structurée et cohérente du phénomène d'intérêt qui assure la comparabilité des objets de recherche et la reproductibilité des processus de leur étude. Les seconds s'intéressent à la nature du changement ou de la trajectoire d'une configuration, observée ou reconstituée. Il s'agit de comprendre le fonctionnement d'une transformation : augmentation/diminution, concentration/dispersion, apparition/disparition. Ces modèles permettront de tester des hypothèses explicatives. Avec les premiers, descriptifs, il s'agit souvent de modéliser les données, alors que les seconds portent sur les faits thématiques. En archéologie et en histoire cependant, la distinction est moins catégorique que dans les autres sciences humaines, puisque que l'on peut être amenés à utiliser des modèles explicatifs pour compléter une information nécessaire à la description, par exemple par l'utilisation de connaissances archéologiques sur les successions, sur les co-existences pour compenser des données incomplètes ([50] MATHIAN, RODIER et SANDERS 2013 ; Annexe 1). Enfin, les modèles relèvent de degrés d'abstraction différents selon qu'ils sont empiriques, systémiques, analogiques, théoriques et que les faits sont plus ou moins stylisés.

3.2.3. QUELLE DEMARCHE ?

Quelles que soient la nature, la finalité et le degré de généralisation d'un modèle, la démarche comprend les mêmes étapes. Modéliser c'est simplifier, schématiser, styliser, c'est-à-dire précisément ce que reprochent ses opposants à la modélisation. Pourtant le discours historique lui-même est déjà

une forme de modélisation même quand il s'apparente au récit. François Durand-Dastès (1992), dans un article sur la relation entre le particulier et le général en géographie, démontre que la modélisation n'exclue pas le spécifique, bien au contraire. En effet, c'est en observant les résidus d'un modèle, c'est-à-dire les données incompressibles à la généralisation à laquelle elles sont soumises, que l'on met en évidence les cas particuliers à expliquer. Il s'agit des cas marginaux qui sont souvent écartés des études car ils n'entrent pas dans le discours. Le modèle, en plus de les mettre en exergue, est alors un des éléments de l'explication puisque ses paramètres sont ceux auxquels les résidus ne correspondent pas.

« Parce qu'ils s'intéressent au spécifique, les géographes portent une attention spéciale aux résidus ; mais ceux-ci n'apparaissent que par référence à un "général" modélisé. »
(DURAND-DASTES 1992)

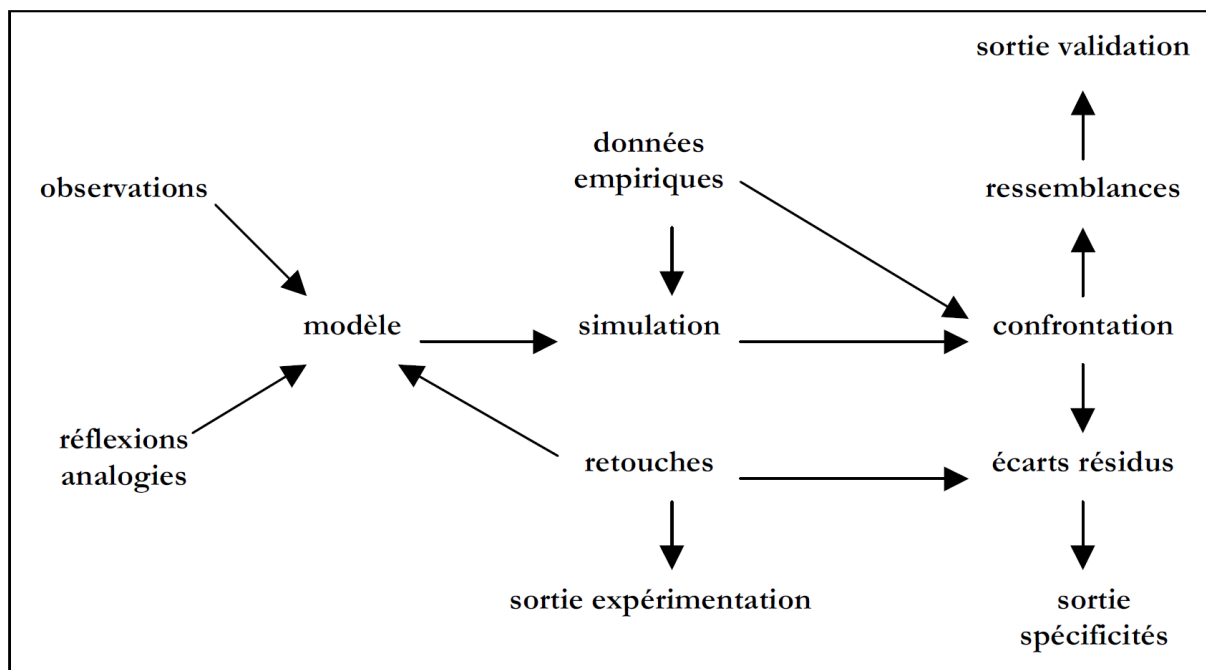


Fig. 53 : Modèle de la modélisation proposé par François Durand-Dastès (1992).

Au-delà de la géographie, cela s'applique parfaitement aux archéologues, à qui le spécifique est si cher (cf. *supra*), et plus généralement aux sciences sociales. Bien entendu, François Durand-Dastès a étayé sa démonstration par un modèle qui est celui de la modélisation (Fig. 53). Il y décrit les étapes de la modélisation montrant l'élaboration du modèle à partir d'observations et de comparaisons ; la possibilité de tester des hypothèses offerte avec le modèle (simulation) à partir de données empiriques ; la confrontation des simulations avec la réalité observée. Deux sorties sont ensuite possibles : celle qui valide les hypothèses et donc les critères généraux du modèle ; celle des écarts au modèle, les résidus à expliquer, qui peuvent donner lieu à des retouches du modèle et constituent ainsi un laboratoire d'expérimentation. Toutes les étapes de la modélisation des dynamiques spatiales sont décrites par Hélène Mathian et Lena Sanders (2014) dans leur ouvrage récent où elle parte du point de vue des philosophes pour s'intéresser à la conception et la construction des objets, en amont même de leur formalisation. Elles abordent ensuite la modélisation puis l'analyse spatio-temporelle, avant d'explorer les processus de changements.

Dans la très grande majorité des cas la modélisation intervient à un niveau d'analyse donnée auquel sont définis les objets manipulés. Ceux-ci ne sont pas tous signifiants au même niveau et ils peuvent en outre entretenir des relations multi-niveaux. C'est alors les processus d'interactions entre niveaux qu'il faut formaliser. Les questions portent alors sur les interactions entre les phénomènes intra-

système et inter-système ([50] MATHIAN, RODIER et SANDERS 2013 ; Annexe 1). Là encore, les différences entre les approches géographique et historique sont notables. Les caractéristiques des objets géographiques autorisent le passage d'un niveau à l'autre par agrégation ou par généralisation. Il n'en va pas de même pour les objets historiques dont la quantification à un niveau donné n'est pas directement comparable à celle d'un autre niveau. Le passage d'un niveau à l'autre relève soit d'une nouvelle quantification soit d'une réinterprétation ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4). Toutefois, une fois intégrées ces distinctions, la co-construction disciplinaire permet d'aborder de manière plus robuste la modélisation des dynamiques spatiales. L'enjeu, au-delà de la richesse de la confrontation des approches disciplinaires, est d'identifier et de définir des types de transformations génériques mobilisables pour interroger les dynamiques.

La confrontation interdisciplinaire autour des dynamiques spatiales favorise les analogies entre les notions utilisées pour travailler sur l'espace et sur le temps. Cela ne signifie pas pour autant qu'espace et temps ont des structures équivalentes ni qu'ils seraient symétriques. La position de Jacques Levy (LEVY 1998 : 20) qui consiste à opposer le temps et l'espace comme des contraires est bien plus satisfaisante que le concept parfois un peu mou d'espace-temps. Le couple espace-temps, même décliné en processus spatio-temporel, est une notion générique, fondées sur l'interdépendance de l'espace et du temps, le plus souvent de manière implicite sans en énoncer la portée. La relation disciplinaire à cette notion relève quant à elle du temps de la recherche. Le géographe post-moderne Edward Soja militait pour une plus forte prise en compte de l'espace selon lui trop longtemps assujéti au temps (SOJA 1989). Cependant, l'espace et le temps sont des construits sociaux qui ne sont que relativités par rapport aux seules choses « réelles » : le mouvement ou la durée des objets spatiaux. Michel Lussault plaide pour la pluralité des temps et des rythmes, adoptant une position épistémologique s'émancipant de la conception physique selon laquelle le temps est linéaire et univoque (LEVY et LUSSAULT 2003 : 900-904). Il reconnaît cependant au temps ses propriétés d'irréversibilité et de non commutativité en s'appuyant sur la proposition de Jacques Levy de considérer l'espace comme l'inverse du temps plutôt que son symétrique (LEVY 1998). Michel Lussault (LEVY et LUSSAULT 2003) propose en quelque sorte d'intégrer de l'historicité dans l'espace mais d'inverser la proposition, mettre de la spatialité dans le temps, ne va pas de soi. La distance-temps, par exemple, réduit le temps à « être de l'espace ». On peut être au même endroit, dans le même espace à des temps différents – l'archéologie permet même de faire l'expérience de se trouver aujourd'hui sur de sol médiéval ou antique, voire bien antérieur - mais il est impossible d'être en même temps en plusieurs endroits. Il convient cependant de s'interroger sur l'immutabilité de l'inscription des objets historiques dans une longue durée peuplée d'évènements (BRAUDEL 1958). L'existence de plusieurs temps, de plusieurs rythmes, de plusieurs temporalités obligent l'introduction de différentes « métriques » du temps dans les modèles pour révéler ces pluralités, à la manière de ce qui se fait pour l'espace. Nous avons donc d'un côté les sciences historiques, pour qui le temps est intrinsèque, qui calque leur approche spatiale sur celle des géographes, de l'autre les sciences géographiques qui s'intéressent au temps sans en exploiter le potentiel à en croire le géographe Bernard Elissalde (2000) qui montre « si ce n'est le blocage, du moins la sous-utilisation des potentialités de la réflexion sur le temps dans les travaux géographiques quand ils restent prisonniers d'une utilisation calquée sur celle des travaux historiques ». C'est, en quelque sorte, introduire de la relativité temporelle dans l'étude des dynamiques spatiales. « La relativité est universelle, l'assumer trace le chemin de l'universalité. » (GRATALOUP 1998 : 15). L'analogie entre les vocabulaires du temps et de l'espace ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4) est un moyen d'alimenter la réflexion sur l'étude des dynamiques spatiales (Fig. 54).

Espace	Temps
Espace support	Temps support
Lieu/Localisation	Instant/Datation
Distance	Durée
Position relative	Chronologie relative
Granularité spatiale	Granularité temporelle
Résolution spatiale	Pas de temps
Échelle spatiale	Échelle temporelle
Niveau	Temporalité
Interaction spatiale	Trajectoire temporelle
Organisation spatiale	Rythme
Dynamiques spatiales	

Fig. 54 : Analogie entre les vocabulaires de l'espace et du temps pour l'étude des dynamiques spatiales ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4).

3.3. DYNAMIQUES DES MODELES, MODELES DYNAMIQUES

3.3.1. ÉTATS, CHANGEMENT D'ÉTAT, PROCESSUS

L'étude des dynamiques spatiales est passée de constats figés dans le temps et dans l'espace à l'analyse spatio-temporelle des changements et enfin à celles des processus de transformations ([5] PERRET *et al.* 2015 ; Annexe 23). Il s'agit de passer des états aux changements d'état et aux processus de changements d'état tel que nous les avons identifiés à partir de la triade de Peuquet (1994) (*cf.* 3.1.1). L'observation de la dynamique relève de la compréhension du processus de changement d'état plutôt que de la comparaison d'états successifs (FRANK 2001 : 51). En règle générale, l'étude des dynamiques à partir des diverses sources historiques est fondée sur la réalisation d'états à plusieurs temps donnés (tn), puis sur la comparaison de ces états. Plusieurs méthodes sont alors utilisées comme la comparaison visuelle, comme les plans de topographie historique pour les études urbaines (BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973 ; GALINIE et RANDOIN 1979 ; CNAU 1990) ou l'algèbre de carte après généralisation de l'information (NUNINGER et SANDERS 2006 ; NUNINGER, TOURNEUX et FAVORY 2008 ; GAUTHIER 2008). Dans tous les cas, il s'agit de la différence entre un état à t1 et un état à t2 (FRANK 2001 : 22). Un corpus homogène constitué de la juxtaposition de l'ensemble des objets, sur l'espace et dans la durée considérée pour le constituer, peut être interrogé horizontalement pour obtenir des états successifs et verticalement pour observer les changements qui interviennent en un même lieu ([46] GALINIE, MOREAU, *et al.* 2005 ; Annexe 24 ; [19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15 ; [15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12). Dans le premier cas la soustraction état à t2 – état à t1 donne les changements intervenus. Le résultat prend la forme d'une cartographie des changements qui représente la disparition, la stabilité et l'apparition. Dans le second cas, c'est la somme de tout ce qui est présent de t1 à tn en un même lieu.

Sur la base des mêmes composantes que celles de la triade de Peuquet (état, espace, temps), Hélène Mathian et Lena Sanders (2014 : 84-85), proposent une matrice d'exploration des données et des processus spatio-temporelles (Fig. 55). La distribution des états dans le temps traduit les trajectoires, les changements d'état sans référence spatiale. La représentation des états sur l'espace-support,

montre les configurations spatiales. Les positions successives dans le temps-support permettent de lire le mouvement, quand il s'agit de séries continues et le plus souvent de temps court. Dans le temps long, d'une part les données sont lacunaires, d'autre part la granularité d'enregistrement de l'information permet rarement d'observer le mouvement. Les dynamiques spatiales sont à l'intersection de ces trois dimensions dans le volume du cube, où l'on observe le mouvement des objets dans le temps ([82] RODIER 2014).

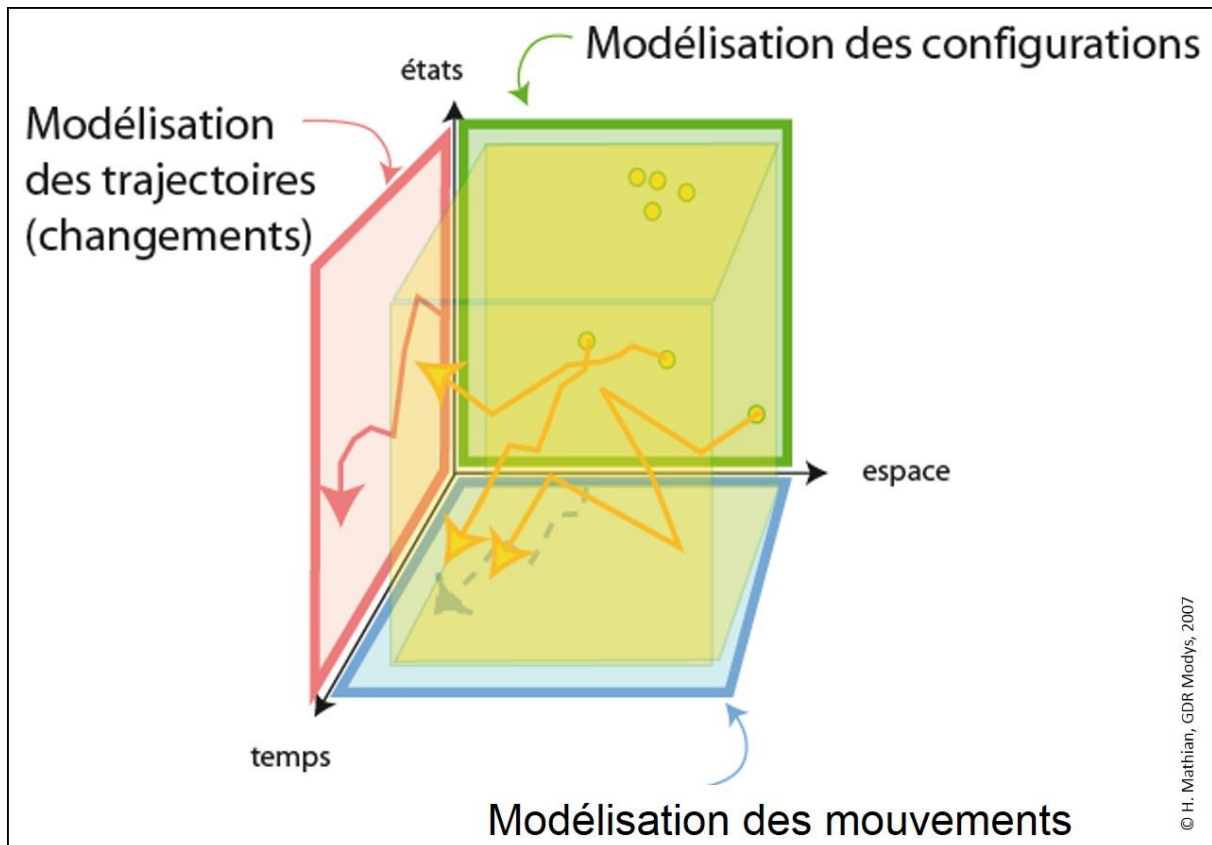


Fig. 55 : Matrice d'exploration des données et des processus spatio-temporelles proposée par Hélène Mathian (rencontre du GdR MoDyS 2007 (MATHIAN et SANDERS 2014 : 84-85)).

3.3.2. LES DYNAMIQUES DES SYSTEMES SPATIAUX

Les systèmes spatiaux, ou systèmes de production d'espace ont été définis par les géographes (PINCHEMEL et PINCHEMEL 1988 : 185-217) comme étant composés de cinq sous-systèmes correspondant à des fonctionnalités universelles que l'on peut représenter par des actions (BRUNET et DOLLFUS 1990 : 31-45) : habiter (lieux centraux : construction pour résidence et activités), approprier (unités d'appropriation : cadastre, droit d'usage), exploiter (utilisation du sol : production), échanger (réseaux de relations : commerce) et gérer (unités d'administrations : politique, administratif, culturel). Le sous-système administratif est transversal et coordonne l'ensemble du système dans les domaines culturel, politique, social, économique. Les cinq sous-systèmes sont interdépendants et leurs couples sont à l'origine d'autres actions à dimension spatiale : la production foncière et immobilière, les réseaux de villes, la production de biens, la circulation des biens. Ils s'inscrivent dans quatre structures spatiales : les lieux de travail et d'habitat, le maillage et le treillage (Fig. 56). Deux constats s'imposent : 1) le système de production d'espaces s'applique à toutes les sociétés présentes et passées quelles que soient leurs différences, 2) la fabrique de l'espace urbain (GALINIE 2000) ou des territoires, s'inscrit précisément dans ce système. Cependant, même si la dynamique des systèmes spatiaux est envisagée, il ne s'agit que des transformations internes d'un système cohérent dans un temps court. L'analyse

ayant toutefois montré la dynamique propre de chacun des sous-systèmes (PINCHEMEL et PINCHEMEL 1988 : 204-213).

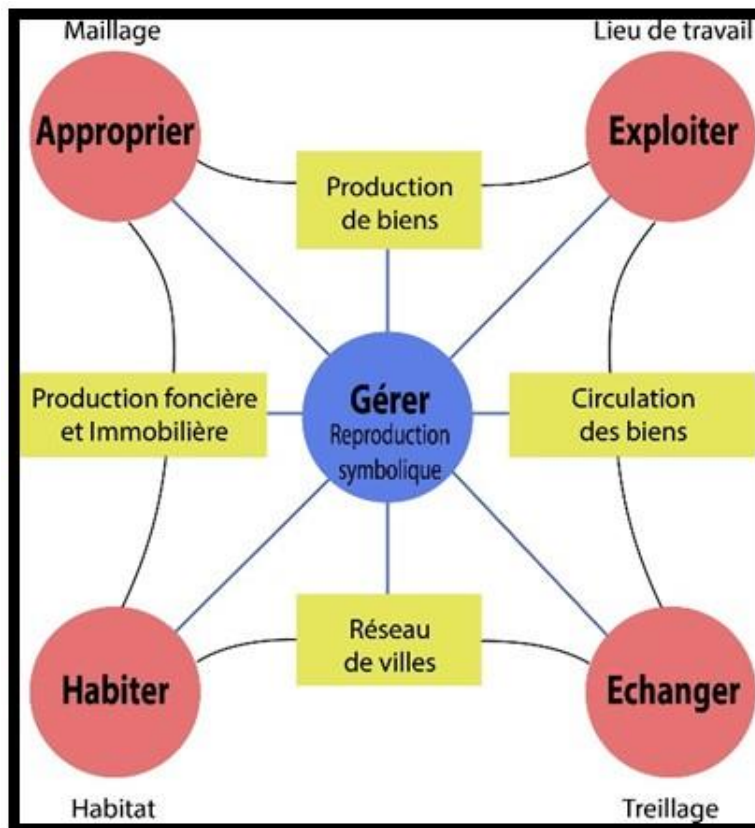


Fig. 56 : Le système de production d'espace (BRUNET et DOLLFUS 1990 : 32).

Je propose de transférer ce modèle afin d'examiner les dynamiques des sociétés dans le temps long. Cela implique d'ajouter aux transformations internes du système ses relations avec des systèmes antérieurs. La démarche est en effet nécessairement régressive puisqu'il n'existe pas d'état initial à partir duquel on élaborerait une succession de systèmes. La situation est donc similaire à celle à laquelle doit faire face l'archéologue à micro échelle lorsqu'il aborde une fouille : démêler la succession des faits qui ont laissé des traces en partant de l'état le plus récent. On comprend très rapidement, lorsque l'on fouille des lieux qui ont connu une occupation continue pendant plusieurs millénaires, qu'il n'existe quasiment pas d'état où tous les éléments mis au jour sont chronologiquement parfaitement cohérents, la transformation de l'espace est continue dans le temps. La méthode de reconstitution par l'analyse stratigraphique des événements enregistrés lors de la fouille restitue l'information sous forme d'arbres aux branches de différentes longueurs avec plus ou moins de ramifications. Ces diagrammes stratigraphiques ou leur assemblage en tableaux plus synthétiques présentent des entités de durées différentes qui peuvent glisser, ou flotter, les unes par rapport aux autres (cf. par exemple la publication de la fouille du site 3 de Tours : <http://citeres.univ-tours.fr/rt9>). L'application des principes de la méthode d'analyse stratigraphique pour l'interprétation des données de fouille à l'échelle des systèmes spatiaux géographiques constitue alors une approche archéologique des relations sociétés-espace.

La proposition consiste à projeter le système de production d'espace dans le temps en partant de l'actuel. La première solution, dont on a vu les limites (cf. *supra*), consiste à le dupliquer autant de fois que nécessaire selon les moments pour lesquels la documentation autorise à proposer un état globalement homogène (Fig. 57). Il est alors possible d'observer les changements entre deux états

pour tenter d'expliquer les processus de transition de l'un à l'autre. Cependant, ce découpage en tranches ne rend pas compte des dynamiques internes à chacune des dimensions du modèle initial.

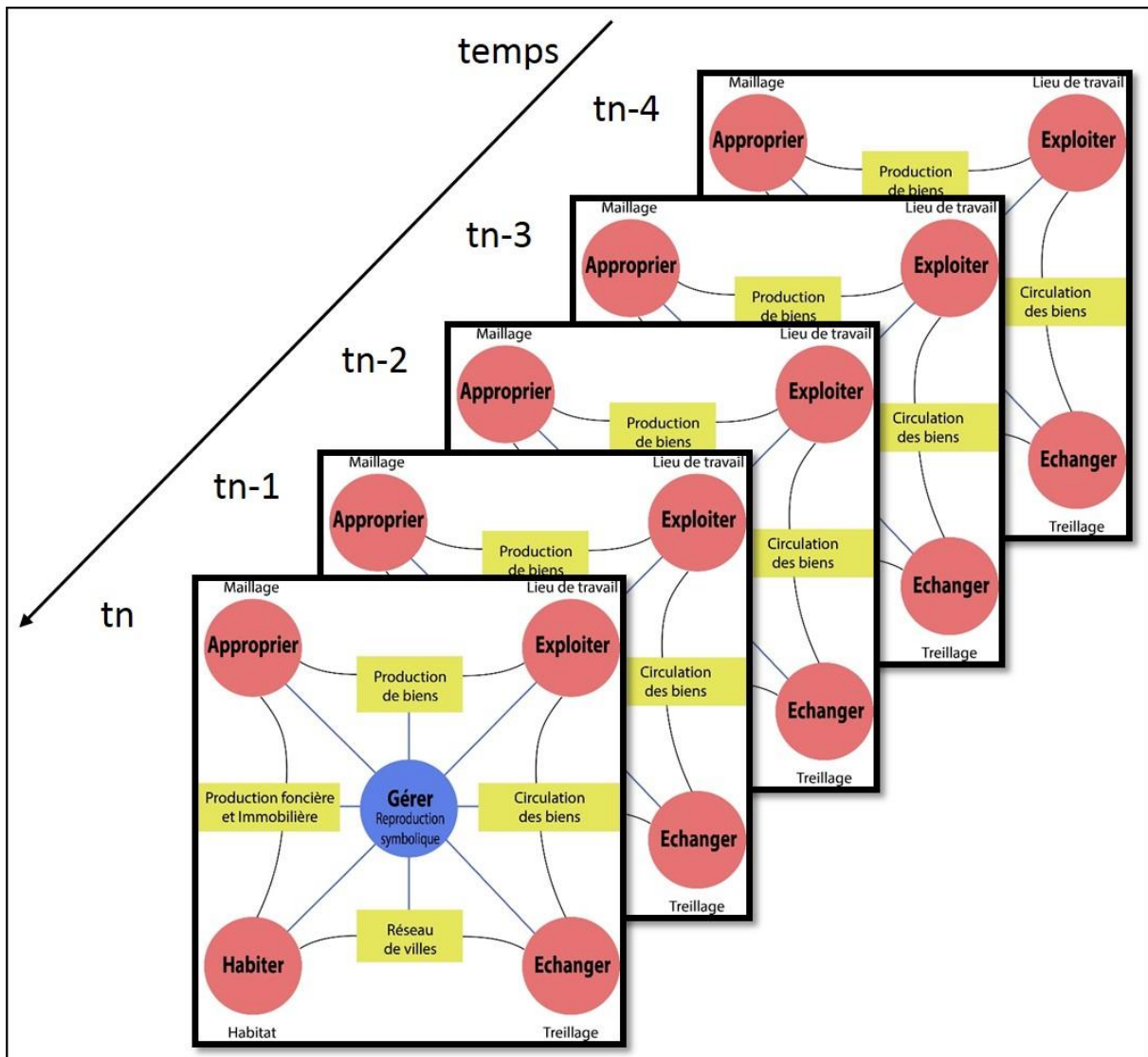


Fig. 57 : Succession dans le temps d'états du système de production d'espace.

Le modèle des temporalités de l'espace géographique (Fig. 58) proposé par Bernard Elissalde (2000) et appliqué aux espaces des temps préhistoriques par Michel Rasse (2010 : 182-186) tient compte des temporalités internes des systèmes et de la durée des structures spatiales mais il reste contraint par la notion de systèmes spatiaux successifs.

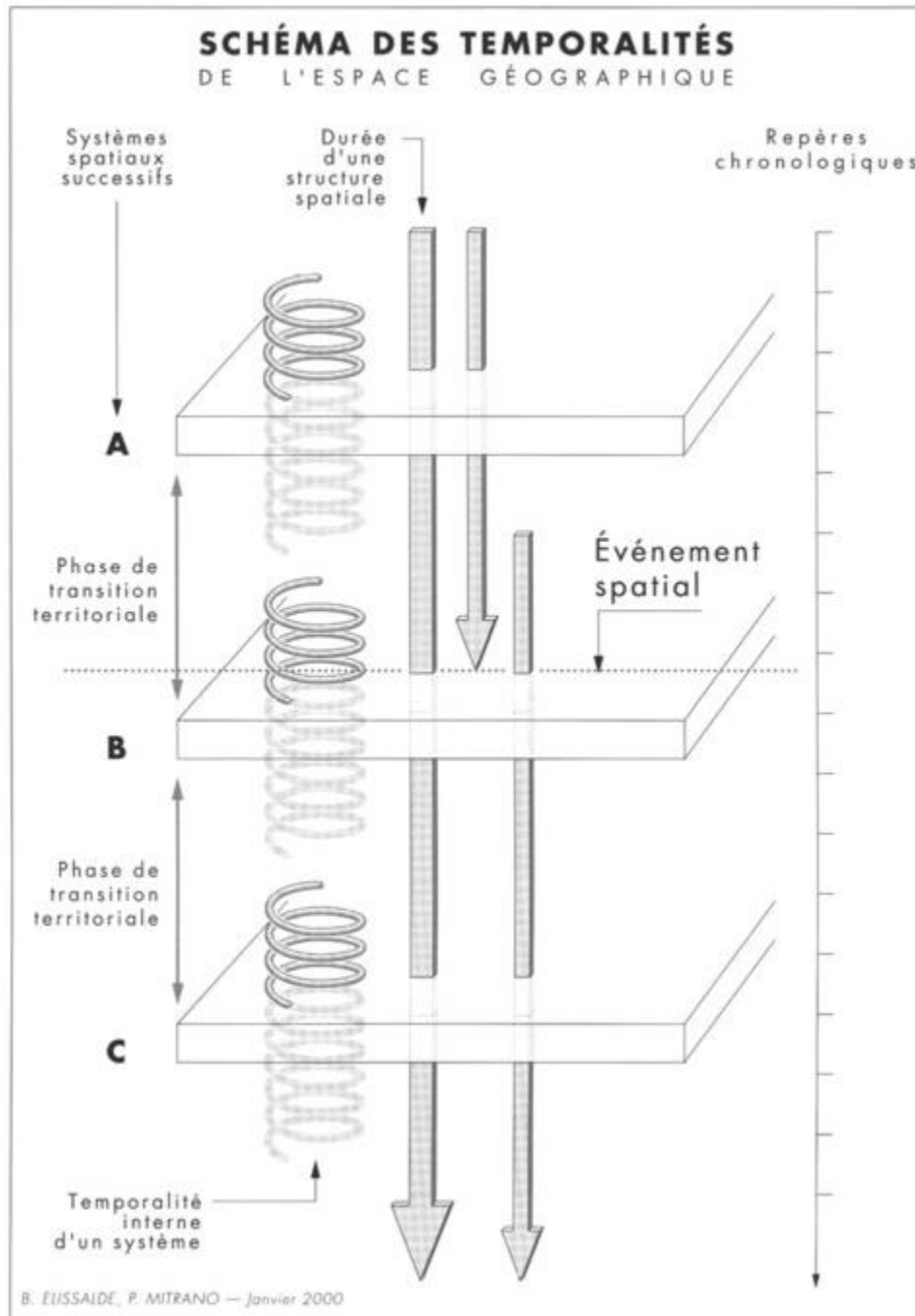


Fig. 58 : Schéma des temporalités de l'espace géographique (ELISSALDE 2000).

Afin d'aborder la compréhension des dynamiques des systèmes spatiaux, il convient de changer de perspective en précisant la dimension temporelle au modèle. Pour cela il faut chercher la durée de chacune des composantes du système qui n'est pas identique (LE GOFF 2014 : 173-186). Il s'agit de déterminer l'origine de l'état actuel de chaque élément du modèle. Depuis la surface plane actuelle, chaque sous-système a une profondeur différente (Fig. 59a).

Poursuivant la démarche régressive, on observe que chaque composante du système change selon son propre rythme sans que jamais l'on atteigne une nouvelle surface plane (Fig. 59b). Le nombre de changement n'est pas nécessairement le même pour tous les éléments. Tous les états que l'on pourra obtenir en coupant une tranche dans le modèle (« *Faut-il vraiment découper l'histoire en tranche ?* »

(LE GOFF 2014)), sera le résultat d'un compromis considérant que le moment en question est le moins hétérogène.

Une transformation dans une composante influe bien entendu sur les autres et en particulier sur celles avec qui elle est en relation directe. Cependant les relations elles-mêmes changent à leur propre rythme (Fig. 59c). Il est donc encore plus difficile d'obtenir un compromis d'état si l'on s'intéresse aux relations entre les entités du système (Fig. 59d).

Cette proposition consiste à considérer que les transformations de chacune des dimensions du système ont leur propre rythme et s'il peut y avoir des durées de stabilité, il n'y a jamais d'état figé. Des événements, bifurcations, peuvent impacter une ou plusieurs dimensions voire l'ensemble du système. En revanche, les changements ou ruptures ne sont pas considérés *a priori* comme le passage d'un système à un autre. Cela signifie que pour s'intéresser aux rythmes il faut entrer par les dynamiques plutôt que de chercher à comprendre les transformations à partir d'états supposés stables. Considérons en entrée que tout est toujours en mouvement à des rythmes différents. Le rythme de transformation d'une dimension peut-être indépendant des autres ou, au contraire, influencer – ou être influencé – par celui d'une des autres dimensions. Il pèse également sur les liens entre les dimensions : nature, flux, échanges. Chacune des dimensions et de leurs relations étant soumises à des inerties variables selon leur rythme propre et l'équilibre du système au temps *t*. Chaque état du système est alors plus un instantané qu'un régime stabilisé. Les frottements et les interactions entre les temporalités sont sources de décalages, de rémanences, d'effacements, de réactivations. Lors de nos collaborations, les géographes-modélisateurs ont pour habitude de nous interroger sur ce qui bouge dans nos modèles (RUAS et SANDERS 2015 ; [5] PERRET *et al.* 2015 ; Annexe 23), ici tout bouge. Si l'on projette sur ce modèle l'état des connaissances, on obtient une représentation lacunaire dans laquelle les relations sont difficiles à établir (Fig. 59e).

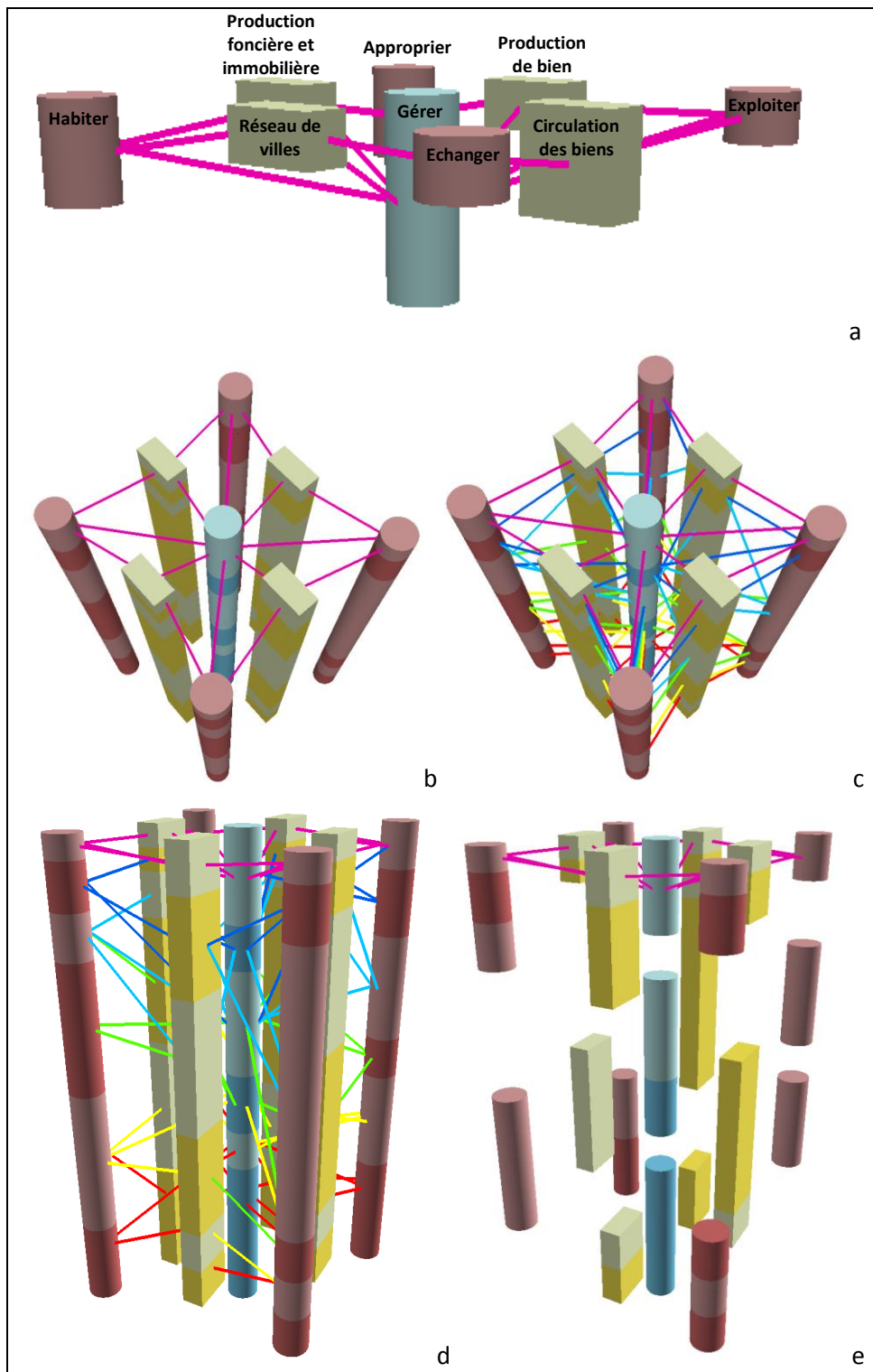


Fig. 59 : Projection régressive du modèle de production d'espace ; a, chaque composante du modèle a une durée (profondeur) depuis l'état actuel observé ; b, les transformations suivent un rythme propre à chaque composante ; c et d, les relations entre les composantes ont leur propre rythme de transformation ; e, l'état lacunaire des connaissances rend particulièrement difficile l'établissement des relations dans le temps long.

Le découpage du temps relève de la question de la périodisation sur laquelle les historiens se sont penchés parfois exclusivement et souvent au fil de leur publication. Elle a donné lieu récemment à un ouvrage collectif dans la revue *ATALA*, sur les problèmes et les enjeux des opérations de périodisation dans la communauté des sciences historiques (GIBERT, LE BIHAN et MAZEL 2014). Pour les historiens le

découpage du temps est toujours associé à la périodisation, quelle qu'en soit la granularité (GIBERT 2014). Qu'il s'agisse d'un découpage culturel comme celui dit de La Tène, par exemple, avec toutes ses subdivisions ou bien de scissions précisément datées par des événements symboliques, les historiens restent attachés aux périodes canoniques qui structurent la discipline (LEDUC 2014) et dont ils ont du mal à se défaire même lorsqu'ils les transgressent (LE BIHAN et MAZEL 2014). Dans tous les cas, c'est toujours la société dans son ensemble qui est considérée que les périodes soient déterminées par une histoire politique, économique, sociale ou culturelle. Pour le Moyen Âge par exemple, académiquement divisé en haut Moyen Âge, Moyen Âge central et bas Moyen Âge, Jacques Le Goff dans une approche fondée sur l'observation de phénomènes sociaux, lui substitue un long Moyen Âge englobant la Renaissance (LE GOFF J. 2014). En tentant de s'émanciper de l'histoire, Joëlle Burnouf (2008) et Isabelle Catteddu (2009) proposent un découpage culturel en premier et second Moyen Âge, fondé sur la lecture de la culture matérielle que propose l'archéologie. Le passage d'une période à une autre correspond alors à un effet de seuil qui, sans renoncer à la périodisation, s'appuie sur un ensemble de processus ayant chacun son propre rythme et dont l'accumulation entraîne une transition. Florian Mazel (2014), tout en reconnaissant que cette approche tient mieux compte des temporalités des phénomènes historiques, lui oppose le concept de rupture associé à une accélération et une plus grande intensité des changements qui s'identifie mieux dans les dimensions politiques et sociales. Il y voit, au-delà de l'historiographie, une différence dans le rapport au temps et au rôle des acteurs. À mon sens, ses différentes propositions reflètent d'abord la nature des sources mises en œuvre par leurs auteurs. Pour chacune d'elle, la périodisation propose une approche macroscopique qui ne traduit pas les temporalités propres aux différentes dimensions des sociétés. L'inscription de l'étude des sociétés du passé dans le paradigme des systèmes complexes selon une approche diachronique, permet de mettre en relation les rythmes de transformation de chaque composante comme autant de sous-systèmes. Il faut s'affranchir du carcan des périodes prédéfinies, quelles qu'elles soient, pour tenter de comprendre les dynamiques de transformations socio-spatiales.

La modélisation d'un système spatiale dans la longue durée porte rarement sur l'intégralité de ses composantes. C'est cependant le cas en archéologie urbaine lorsque l'on interroge la fabrique de l'espace urbain pour les périodes préindustrielles depuis les origines de l'occupation humaine. L'établissement de ce modèle lacunaire du système spatiale est alors nécessaire pour faire la part de ce qui est étudiable ou non, pour poser les questions pertinentes en fonction de l'état des connaissances et concevoir les modèles à mettre en œuvre pour tenter d'approcher les dynamiques du système. La démarche ne peut être qu'hypothético-déductive étant donné les lacunes du corpus. La mise en œuvre de modèles dynamiques est une piste de recherche pour simuler des hypothèses afin d'établir les raisons potentielles des transformations dans chacune des dimensions.

3.3.3. VERS DES MODELES DYNAMIQUES

Le paradigme des systèmes complexes et les modèles multi-agents sont de plus en plus fréquemment utilisés en tant que nouvelles approches des sciences sociales. Ces méthodes permettent à la fois de donner un nouvel éclairage à des faits connus, mais aussi de tester de nouvelles hypothèses sur les dynamiques sociales. Leur utilisation est particulièrement intéressante pour les études des interactions entre les sociétés et leur environnement. En sciences sociales, et particulièrement en géographie (SCHMITT et PUMAIN 2013), l'utilisation de la modélisation par des systèmes multi-agents est en pleine expansion, comme en témoigne le nombre grandissant d'articles, de livres consacrés à ce type de travaux, la parution de revues spécialisées (comme le *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk>) et les sessions sur ce thème dans les colloques internationaux comme le CAA. En effet, l'approche multi-agents s'avère être un outil très puissant pour tester la caractérisation et la compréhension de systèmes sociogéographiques complexes (BANOS 2010). La simulation des interactions entre les entités élémentaires d'un système est une méthode utilisée pour

résumer et illustrer des faits établis par les spécialistes (archéologues, historiens, géographes, économistes, sociologues, écologues...) ou pour tester la plausibilité d'hypothèses plus générales sur les dynamiques socio-environnementales (SANDERS 2007). Les systèmes multi-agents simulent le comportement d'agents (programmes informatiques correspondant à un ou plusieurs algorithmes ayant des fonctions plus ou moins élaborées) qui interagissent entre eux dans le cadre d'un environnement possédant des règles (principes de fonctionnement, moteur des processus), une métrique (définit l'espace et sa résolution) et des attributs (caractéristiques déterminés au préalable, en fonction des connaissances thématiques).

L'utilisation des modèles de simulation en archéologie est, en France, également une démarche qui vient de la géographie. Les travaux en cours de publication de l'ANR TransMonDyn qui porte sur les grandes transitions dans l'évolution des systèmes de peuplement, seront, à ce titre au moins, novateurs. Dans un des groupes de travail de TransMonDyn réunissant des géographes, des modélisateurs, des historiens et des archéologues, nous nous sommes concentrés sur la question de la transition des années 800-1100 en Occident ([49] TANNIER *et al.* 2014 ; Annexe 21). L'objectif est d'expérimenter, par le biais d'un système multi-agents (SMA), l'influence des processus historiques sur la dynamique de l'occupation du sol telle que les données textuelles et matérielles permettent de les appréhender. L'approche est résolument géographique car ce sont les implications spatiales des changements sociaux que l'expérience se propose de révéler. La modélisation ne porte pas sur les transformations politiques et sociales elles-mêmes, mais sur leur impact sur le système de peuplement qui s'est profondément transformé au cours de la transition. Le questionnement réside dans l'examen de la combinaison des facteurs ayant permis, entre 800 et 1100, la formation d'agrégats de foyers paysans dans une forme hiérarchisée et durable, polarisée par des châteaux ou des églises. Il s'agit d'analyser les conditions d'émergence du maillage villageois. Pour cela, le SMA a été conçu afin d'effectuer des simulations permettant d'analyser les conditions de l'influence de la société seigneuriale sur la répartition du peuplement, mais aussi la part qu'occupe l'émergence des communautés paysannes dans l'évolution des structures de peuplement observées par les archéologues. La modélisation est effectuée selon le principe de parcimonie, c'est-à-dire une simplification reposant sur une analyse fine des facteurs ayant permis le passage d'un régime initial vers 800, à un régime final vers 1100 au cours duquel a lieu la transformation spatiale. La parcimonie répond aux exigences méthodologiques et techniques. Il est illusoire de vouloir comprendre et modéliser une société en perpétuelle transformation. Seuls les éléments et facteurs fondamentaux, considérés comme génériques, sont isolés afin de comprendre leurs interactions dans le cadre de processus systémiques. Par ailleurs, l'implémentation informatique dans un SMA impose une certaine sobriété. Des pans très importants de la société des années 800-1100 sont donc écartés parce qu'ils n'ont pas ou très peu d'impact sur les dynamiques spatiales. La nécessaire simplification des phénomènes observés en faits stylisés est limitée à ce qui se révèle acceptable sans rendre le modèle simpliste.

Les entités sociales et spatiales nécessaires pour modéliser les processus à l'origine de la fixation et de la polarisation de l'habitat entre 800 et 1100, ont été définies à trois niveaux d'analyse :

- Microscopique, pour les entités élémentaires (unité d'exploitation, foyer paysan, ressort seigneurial, église...);
- Mésoscopique, qui permet d'agréger les entités élémentaires en unité de peuplement (communauté agraire, village, ville);
- Macroscopique, qui en agrégeant les entités du niveau méso, représente le système de peuplement dans son ensemble.

La définition des entités est associée aux relations de composition, de dépendance, d'inclusion et d'intersection qu'elles entretiennent (Fig. 60).

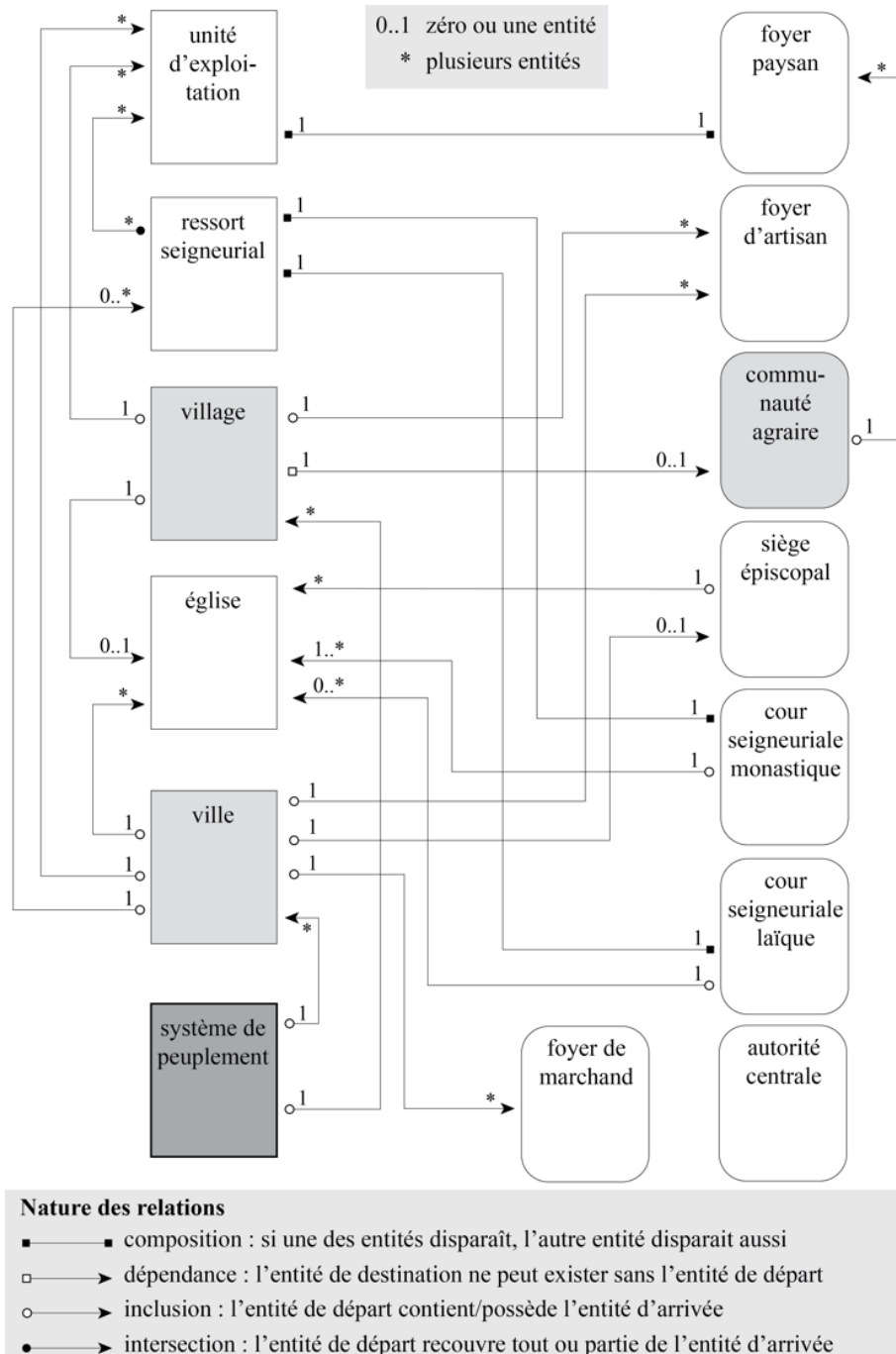


Fig. 60 : ANR TransMonDyn, définition des entités du modèle de la transition 800-1100 ([49] TANNIER *et al.* 2014 ; Annexe 21).

Dans un second temps, ce sont les actions effectuées par chaque entité qui ont été modélisées afin d'identifier les processus à l'œuvre (Fig. 61). Les actions sont représentées ainsi que les changements d'attributs durant la période considérée, dès lors qu'ils impliquent, directement ou non, une modification de la configuration spatiale du peuplement. On distingue les attributs des entités sociales qui évoluent au cours de la transition (en orange), les actions des entités sociales qui impliquent la création ou le déplacement d'une entité spatiale élémentaire (en rouge) et les modifications des attributs des entités spatiales résultant des actions des entités sociales (en vert).

Enfin, les règles de comportement sont décrites pour chaque entité sociale et spatiale en précisant les déclencheurs, les conditions et les modalités de l'action, puis le résultat de l'action. Sur cette base un modèle multi-agents a été développé par Robin Cura dans une version simplifiée sans distinction entre les seigneurs laïcs et ecclésiastiques, par exemple, considérant que leur impact sur les configurations spatiales était du même ordre. L'environnement virtuel est constitué d'un carré de 100 km représentant une région lambda de l'Europe du Nord-Ouest en 800. Les agents sont les foyers paysans, les seigneurs, les zones de prélèvement, les agrégats de foyers paysans, les châteaux et les églises. Leurs comportements sont implémentés selon un pas de temps de 20 ans représentant une génération. Le calibrage du modèle en cours nécessite de nombreux tests et ajustements ce qui ne permet pas encore de présenter des premiers résultats discutables.

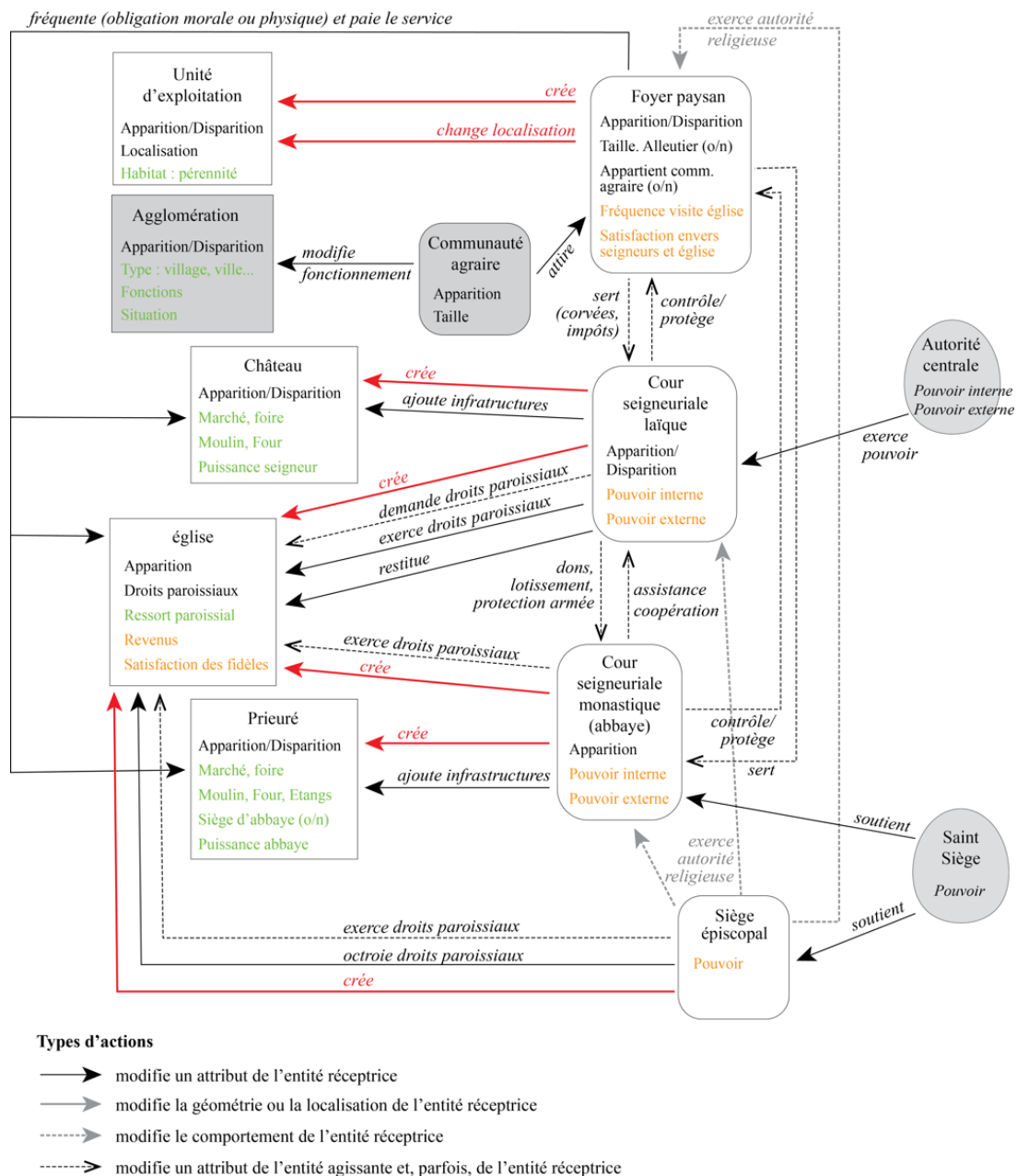


Fig. 61 : ANR TransMonDyn, Schéma simplifié des dynamiques des entités sociales et spatiales du modèle de la transition 800-1100 ([49] TANNIER et al. 2014 ; Annexe 21).

Tout en s'inscrivant dans le paradigme des systèmes complexes, la modélisation multi-agents procède par décomposition des problèmes et constitution d'une série de modèles plus simples. Elle contribue

ainsi à simplifier la compréhension des systèmes. Son utilisation dans l'étude des dynamiques spatiales permet de modéliser des parties des systèmes à l'œuvre afin d'en examiner les interactions (PHAN 2014). C'est dans cette logique que s'inscrit la thèse de Lucie Nahassia qui porte sur les dynamiques spatiale des fonctions intra-urbaines dans la longue durée à Tours et que je co-encadre avec Lena Sanders. Elle propose une nouvelle approche de l'espace urbanisé ancien en abordant de nouvelles questions sur les interactions spatio-temporelles entre les fonctions (permanence, attraction, répulsion). Les modèles de simulation dynamique ouvrent de nouvelles voies de recherches : l'étude de l'espace-temps des sociétés du passé.

4. PERSPECTIVES DE RECHERCHE ET POUR LA RECHERCHE

4.1. UNE RECHERCHE METHODOLOGIQUE ET THEMATIQUE

Mes travaux de recherches sont situés à l'interface disciplinaire entre sciences historiques, sciences géographiques et informatiques (Fig. 62). Il s'agit par essence d'une recherche méthodologique dont les mots clés sont temps, espace, modélisation. La ligne directrice est l'appréhension de l'espace-temps des sociétés du passé comme un système complexe. Les objets que je manipule relèvent de trois niveaux d'organisations produit par les sociétés : les unités fonctionnelles (habitat, production...); l'espace urbain et les systèmes de villes; les territoires. L'archéologie renseigne principalement la culture matérielle, la géographie est mobilisée pour la compréhension de l'espace et l'informatique pour la modélisation et la dématérialisation de l'information. L'approche systémique de l'analyse de la fabrique des territoires par les sociétés implique des définitions strictes et robustes des objets archéologiques/historiques étudiés et des phénomènes observés. La compréhension des transformations spatiales et temporelles dans la longue durée passe par leur formalisation et leur modélisation afin d'aborder les interactions spatiales et les rythmes temporels. J'ai identifié plusieurs thèmes que je considère comme des enjeux pour l'avenir de la recherche archéologique. D'ordre méthodologique, ils relèvent directement des questions thématiques auxquelles la recherche archéologique est susceptible d'apporter des éléments de réponse.

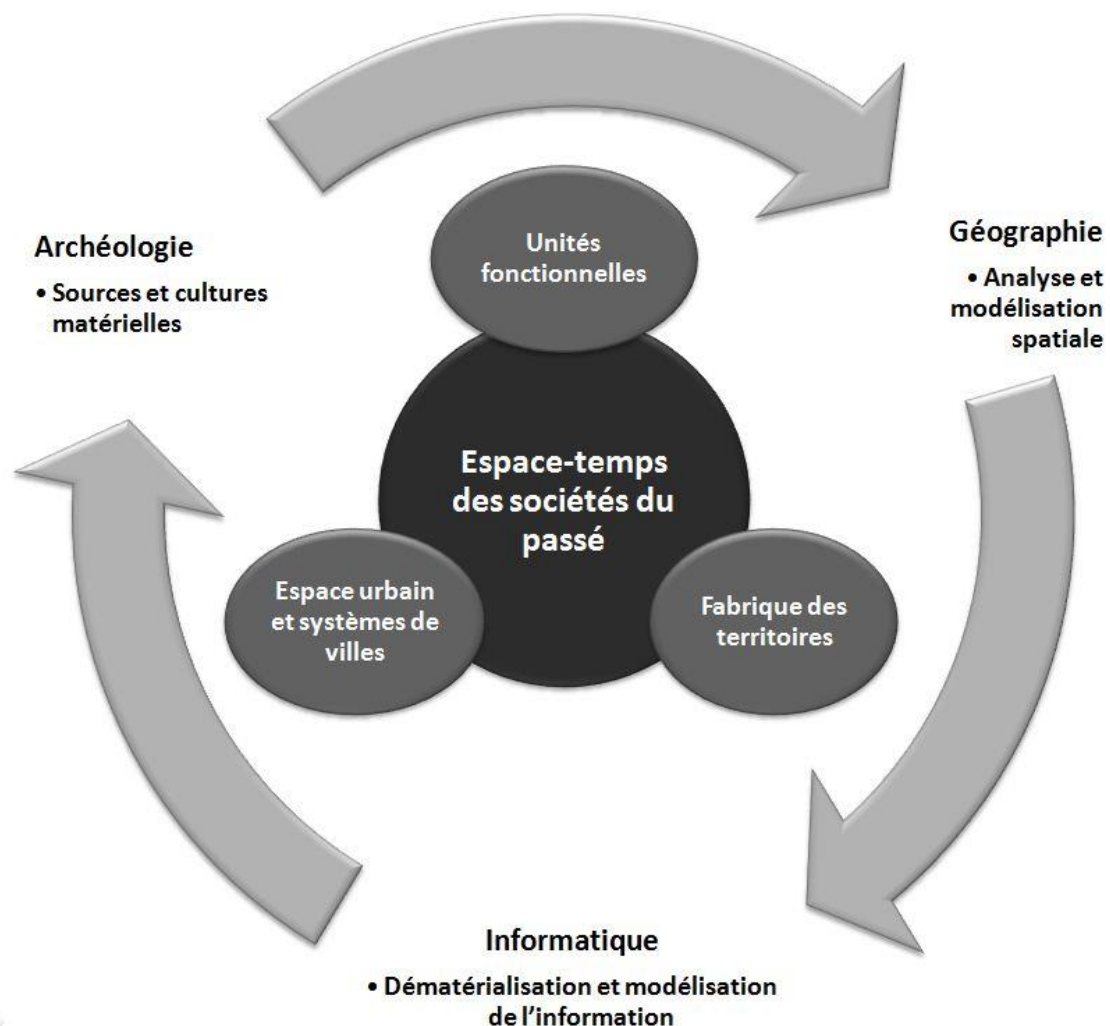


Fig. 62 : Schéma synthétique de mes travaux et perspectives de recherche.

L'archéomatique, comprise comme l'informatisation des processus archéologiques de la fouille à la publication, nécessite une réflexion fondamentale sur les implications de la dématérialisation des données dans la production de connaissances archéologiques.

La poursuite du développement d'ArSol correspond à plusieurs enjeux qui relèvent de l'archéomatique. Parmi ceux-ci, nous allons engager, au LAT le développement nécessaire au transfert du système sur des tablettes numériques de terrain afin de pouvoir dématérialiser la totalité de l'enregistrement stratigraphique dès la fouille. Au-delà des aspects techniques, l'objectif est d'intégrer au plus tôt les données dans le système d'information afin de bénéficier des contrôles de cohérence et de la mise en relation avec l'ensemble des données de la fouille sur le terrain. Les résultats attendus sont bien sûr de faciliter la mise en œuvre des données pour l'étude post-fouille ainsi que l'administration de la preuve depuis les publications, mais surtout, cette démarche devrait permettre de disposer sur le terrain de l'ensemble des données utiles à l'interprétation. L'impact devrait donc porter sur le processus d'interprétation lors de la fouille, autrement dit sur le raisonnement archéologique.

La numérisation des corpus d'archives de fouille contribue à leur conservation et surtout à leur mise à disposition. De ce point de vue le champ qu'ouvre le web des données, en proposant l'interconnexion des informations, est immense. Il permet d'envisager des solutions à la question récurrente de l'interopérabilité des systèmes d'information archéologique. L'expérience de développement que nous menons avec ArSol afin de publier les données via l'ontologie du CIDOC-CRM ([34] LE GOFF É. *et al.* 2014 ; Annexe 8) doit être étendue à d'autres systèmes afin de concevoir un outil d'interrogation via cette ontologie. La proposition de nouveaux modes de publication fondés sur l'association d'articles de synthèse répondant aux standards internationaux et de la mise à disposition des preuves sous d'autres formats, est un impératif pour l'avenir de la discipline. Les systèmes d'information, leur interopérabilité, la publication des données sur le web, sont autant d'éléments qui contribuent à cette nécessaire transformation de la publication archéologique.

Pour l'archéologie préventive en particulier, l'archéomatique permet un traitement des données recueillies sur le terrain et ouvre des possibilités d'analyse inexplorées. Les diagnostics archéologiques en tranchées mécaniques sont effectués pour fournir au service de l'État les éléments tangibles d'aide à la décision en vue de la prescription. Les surfaces concernées par ces diagnostics sont considérables et livrent des informations diachroniques sur l'occupation du sol dont l'exploitation est souvent limitée au cadre des fouilles prescrites par la suite. Sylvain Badey a évalué l'apport de l'analyse spatiale, d'une part à la lecture des résultats du diagnostic, d'autre part à la compréhension de l'occupation sol dans le secteur couvert ([6] BADEY et RODIER 2015 ; Annexe 25). L'utilisation de méthodes d'analyse spatiale exploratoire montre que, sans remplacer l'analyse archéologique indispensable, il est possible de tester des hypothèses interprétatives sur la répartition des vestiges en s'affranchissant du découpage imposé par les tranchées. Les résultats obtenus sont utiles à l'interprétation des vestiges. Au-delà cela pourrait constituer un outil d'aide à la décision pour le prescripteur. L'enjeu est l'amélioration de la pertinence du diagnostic. De ce point de vue, il dépasse largement le cadre d'un projet de recherche et concerne tous les partenaires de la recherche archéologique et en premier lieu les services de l'État et les commissions interrégionales de la recherche archéologique (CIRA).

La multiplication des opérations d'archéologie préventive durant les 30 dernières années et la systématisation des protocoles d'intervention depuis les lois de 2001 et 2003 avec la création de l'Inrap en 2002, sont à l'origine d'apports majeurs en particulier pour la protohistoire et le haut Moyen Âge. En effet, la reconnaissance par la pratique des diagnostics et les grands décapages (fouille de grande surface en milieu rural) ont fait croître de manière exponentielle le nombre de sites représentés par des structures en creux alors que les niveaux d'occupation ont le plus souvent été détruits. Le savoir-

faire développé pour l'archéologie préventive sur la fouille de structures fugaces avec peu ou pas de stratigraphie implique un raisonnement par comparaison à des référentiels établis sur des sites stratifiés, en particulier pour la datation. Cependant, dans le même temps, le rythme de renouvellement des référentiels n'est pas le même étant donné le temps nécessaire à l'étude de grand corpus de mobilier. De même, avec la croissance des corpus de sites, l'archéologie renouvelle complètement la connaissance de l'occupation du sol pour la protohistoire et le haut Moyen Âge en particulier. Cependant, le plus souvent, la mise en œuvre des données consiste en des inventaires réfléchis mais dont on ne tire pas de modèles. L'enjeu, avec l'utilisation de l'analyse spatiale et de la modélisation, est de rendre intelligible les masses de données détaillées en proposant des schématisations, des modèles utiles à l'étude des dynamiques socio-environnementales (BERTONCELLO et BRAEMER 2012 b) .

L'étude des dynamiques spatiales implique une attention particulière à la dimension temporelle pour laquelle les outils de représentation et d'analyse sont à élaborer à l'instar de ceux de l'analyse spatiale. Si l'on poursuit l'analogie espace/temps et géographie/archéologie, la géographie a su écrire des lois qui fixent les paradigmes fondamentaux de la discipline. Les géographes semblent toujours plus enclins à dégager des modèles généraux, explicatifs et réutilisables que les historiens ou les archéologues. Si l'on applique cela au temps, peut-on dire, par exemple, à l'instar de la première loi de Waldo Tobler (1970) qui dit en substance que tout interagit avec tout mais que deux objets proches ont plus de chance de le faire que deux objets éloignés, que tous les événements sont en relation mais que plus deux événements sont proches plus ils ont de chance d'être en relation. Ne pourrait-on pas alors chercher à mettre en évidence des réseaux temporels en pondérant la distance temporelle par des analyses multicritères comme pour l'espace. Cela offrirait une autre lecture de la hiérarchisation des établissements, par exemple, en combinant réseaux spatiaux et réseaux temporels. De la même manière, cette approche aurait du sens avec le temps embranché comme par exemple celui des diagrammes stratigraphiques : on pourrait envisager la mise en relation d'unités dans le diagramme en fonction de la distance temporelle soit en utilisant une distance topologique, soit en prenant en compte la durée de vie (d'utilisation) des unités. Il faudrait trouver un moyen de la caractériser et de l'enregistrer. Ces pistes de réflexion nécessitent d'élaborer les analyses temporelles nécessaires mais surtout elle montre l'ampleur du champ ouvert sur les dynamiques spatiales ([82] RODIER 2014). L'enjeu est d'examiner les modèles de peuplement et les formes d'occupation de l'espace, en termes de connexions spatiotemporelles entre les objets ou les établissements à partir de leurs trajectoires.

Le passage de modèles statiques à des modèles dynamiques permet de simuler des hypothèses d'interaction entre les objets historiques. Mais quels modèles de changement implémenter dans les simulations ? En effet, chacune des propositions émises dans nos études va potentiellement au-delà de la caractérisation de changement d'état inscrit dans un temps-support. Lorsque l'on décrit les transformations ou des transitions, il ne s'agit plus des états mais de l'instant du changement. Cela contribue à l'identification des éléments perturbants les régimes établis, ou du moins reconnus comme tels. Il devrait donc être possible de constituer une sorte de grammaire des changements/perturbations, à l'instar des chorèmes (BRUNET 1986), complètement, ou presque, déconnectée du temps calendaire, comme des structures élémentaires du temps. Ainsi les éléments de changement, les processus, pourront être mobilisés quels que soit le temps auquel on s'intéresse afin de recomposer des configurations et des trajectoires, voire de définir des règles de transformation.

Système complexe par excellence, alimenté par la relation dialectique entre les diversités matérielles de l'espace urbain et symbolique de l'action de ses habitants, la ville est bien plus que la somme des objets qui la composent. La transformation permanente des villes depuis leur origine se traduit par

une stratification du sous-sol et des architectures qui est à la fois génératrice et destructrice de patrimoine. La diversité des patrimoines urbains est en partie la source de leur vulnérabilité. La nécessaire densification de l'espace des villes du futur se traduit par des perspectives de développement vertical, en élévation ou en sous-sol. Au-delà de l'impact direct sur le patrimoine matériel et sur les modes de sociabilité, le caractère innovant de ce projet de recherche est de fonder la durabilité des villes dans la profondeur historique. Le patrimoine n'est plus à considérer selon les approches antinomiques de sa protection et de la contrainte qu'il constitue, mais comme un élément majeur du projet. L'approche croisée de tous les regards disciplinaires sur le patrimoine a pour ambition de projeter la production de connaissances sur les villes d'hier dans la construction des villes de demain.

La relation entre la recherche archéologique, la valorisation du patrimoine et enfin l'aménagement de l'espace ne se limite évidemment pas à la ville. La prise en compte des connaissances sur les sociétés du passé et des patrimoines dans l'aménagement du territoire est un enjeu pour l'actuel et un gage de durabilité. En effet, la compréhension de la fabrique des territoires est l'une des clés pour concevoir leur futur. Cet objectif est au cœur du programme SOLiDAR sur les forêts autour de Blois et de Chambord. La prise en compte du patrimoine archéologique dans la gestion des forêts est également un des objectifs de la thèse d'Aude Crozet qui démarre en partenariat avec le Domaine de Chambord.

4.2. TRANSMETTRE LA RECHERCHE

La transmission des résultats de la recherches est un enjeu fondamental surtout lorsqu'il s'agit de méthodologie car c'est ce qui conditionne la manière dont se pratiquera l'archéologie dans 10 ou 20 ans. Notre responsabilité est de fournir les bases de ce que l'on imagine que seront les pratiques archéologiques futures. La formation initiale est bien entendu le principal vecteur de transmission mais la formation continue est tout aussi importante dans un contexte où la professionnalisation est encore récente pour l'archéologie préventive. Pour avoir contribué à l'élaboration de la maquette du master de Tours et à son projet de renouvellement, j'ai conscience des contraintes imposées. Je pense cependant qu'une formation d'archéologie doit répondre à quelques principes élémentaires.

- La pratique du terrain est indispensable et doit être encadrée sur des chantiers-écoles.
- Les enseignements doivent s'appuyer sur les compétences développées en recherche par les équipes qui l'ont en charge afin d'assurer la transmission des résultats de la recherche et de ne pas standardiser les formations.
- L'offre de formation doit être en adéquation avec les attentes du marché de l'emploi, à la fois quantitativement et en fonction des compétences attendues.
- La formation doit permettre aux étudiants d'acquérir des compétences complémentaires correspondant à leur projet professionnel.

La formation initiale doit être plus robuste sur les processus analytiques de traitement et d'analyse des données pour stabiliser le fondement méthodologique de la discipline et couper court à leur réinvention permanente à l'occasion de chaque nouvelle fouille ou projet de recherche. Plusieurs éléments sont susceptibles de favoriser cela :

- Le déploiement progressif d'outils et de méthodes communs dans l'archéologie préventive avec au premier rang le rôle fondamental de l'Inrap. En effet, même si la progression est lente, la diffusion des SIG à l'échelle des opérations d'archéologie préventive au sein de l'Inrap va nécessairement entraîner des changements organisationnels profonds qui correspondent à la mise en place d'un processus d'analyse des données plus robuste et plus standardisé parce que reproductible.

- L'arrivée progressive sur le marché de l'emploi de nouvelles générations d'archéologues rompus à l'utilisation des outils informatiques appliqués à l'archéologie.
- La multiplication des travaux méthodologiques et leur publication. Il est en effet nécessaire de favoriser les publications méthodologiques issues de travaux de recherche spécifique en la matière ou de développement réalisés à l'occasion de programmes de recherche.

Enfin, si l'homogénéisation des enseignements de base en archéologie peut sembler nécessaire, une mutualisation des compétences entre les différents pôles de formation m'apparaîtrait plus utile. En effet, la mise en perspective des formations existantes avec le marché de l'emploi montre qu'il serait plus efficace de proposer une formation en réseau entre les universités qui offrent une formation appuyée sur les compétences des centres de recherche archéologique qu'elles abritent. Une telle formation permettrait de rassembler des effectifs suffisamment important d'une part et cohérents avec les débouchés d'autre part. Sur la base d'un socle commun robuste, elle offrirait aux étudiants le bénéfice des recherches les plus récentes enseignées par les chercheurs qui les mènent. Il n'est pas raisonnable de penser pouvoir maintenir autant de formations d'archéologie généralistes au regard du nombre d'étudiants que chacune attire et surtout de l'état du marché de l'emploi. Une formation en archéomatique devrait même être européenne. Les contacts que j'ai pu établir en particulier à l'occasion de colloque annuel du CAA, nous ont amenés à participer en ce sens à un projet Erasmus + « *Digital Approaches in Teaching Archaeology* » coordonné par des collègues de Pise, en partenariat avec La Haye et Liège.

4.3. NE PAS CHERCHER SEUL

Il existe une tension disciplinaire quand on se trouve à une interface qui me donne parfois l'impression de m'éloigner de l'archéologie. Dans le même temps, c'est justement cette tension qui m'y ramène quand c'est nécessaire, cela permet de ne pas se perdre. Cette tension révèle également la difficulté qu'a le monde académique à accepter l'interdisciplinarité qu'il prône pourtant. Ce constat est partagé par tous ceux qui ont fait l'expérience du développement de programme de recherche à des interfaces disciplinaires même uniquement entre disciplines des sciences humaines. C'est extrêmement décourageant pour les jeunes chercheurs qui s'y engagent avec enthousiasme et qui doivent se confronter à des carcans disciplinaires une fois qu'ils ont surmonté toutes les difficultés d'une recherche interdisciplinaires : développement de compétences dans au moins deux champs disciplinaires, adaptation au langage de chaque discipline... C'est là encore une évidence mais cela signifie qu'il est préférable dans l'état actuel pour un jeune chercheur d'être bien identifié dans sa discipline. Je suis fermement convaincu que l'avenir de la recherche est interdisciplinaire en particulier pour l'archéologie. Il faut donc rester archéologue tout en ayant des pratiques interdisciplinaires. Les archéologues généralistes, qui se raréfient, sont ceux qui doivent être le plus interdisciplinaires possible. Au-delà de la pratique qui consiste à faire appel à d'autres disciplines comme à des prestataires de service, la pratique de l'interdisciplinarité est d'un enrichissement sans équivalent pour la recherche lorsqu'elle est menée à son terme. C'est-à-dire en s'interrogeant sur ce que change l'apport des autres disciplines sur notre perception des objets du passé que l'on questionne. Les interfaces disciplinaires sont les lieux d'émergences de nouveaux objets d'étude - non pas pour autant de nouvelles disciplines - à chacune de ces intersections. Ce sont les savoirs disciplinaires qui nourrissent l'interdisciplinarité et c'est l'interdisciplinarité qui fait progresser la connaissance disciplinaire.

L'interdisciplinarité conduit à travailler dans des programmes collectifs et en réseau. Considérant que la recherche ne peut se faire seul, je m'efforce d'inscrire mon activité dans une dynamique collective. Avec de nombreux collègues, français et étrangers, nous avons fait la preuve, depuis plusieurs années, de notre capacité à travailler en réseau, national et international, et en interdisciplinarité. En outre, les

résultats, associant archéologie, histoire et géographie, issus de nos réseaux se traduisent par des publications collectives, des projets de recherche, des thèses soutenues et le recrutement des jeunes docteurs dans les universités et les laboratoires de recherche. Cela s'inscrit dans l'importance prise par la modélisation spatiale dans les sciences humaines ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4) à laquelle je participe au sein du réseau ISA depuis sa création en 2001 et avec le GdR MoDyS que j'ai dirigé de 2010 à 2013 ([82] RODIER 2014). Ces réseaux ont un rôle d'animation de la recherche fondamentale, en particulier auprès des jeunes chercheurs. Pour ma part, ils m'ont permis de faire progresser mes travaux à un rythme beaucoup plus soutenu et en bénéficiant des compétences complémentaires des collègues. J'espère avoir contribué en retour à cette recherche collective, si ce n'est autant, au moins un peu au regard du bénéfice que j'en ai tiré.

BIBLIOGRAPHIE

ACKERMANN 1999

Ackermann F. - Airborne laser scanning—present status and future expectations, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 2–3 : 64-67.

AGACHE 1979

Agache R. - Nouveaux apports des prospections aériennes en archéologie préromaine et romaine de la Picardie. Résultats archéologiques, *Cahiers archéologiques de Picardie*, 6, 1 : 33-90.

ALLEN 1984

Allen J. F. - Towards a general theory of action and time, *Artificial Intelligence*, 23, 2 : 123-154.

ANDREUSSI et FELICETTI 2008

Andreussi M. et Felicetti A. - The CIDOC CRM Encoding of the “Fontes ad Topographiam Veteris Urbis Romae Pertinentes” by Giuseppe Lugli, in : Posluschny A., Lambers K. et Herzog I. (dir.), *Layers of Perception Proceedings of the 35th CAA Conference, Berlin, Germany, 2-6 April 2007*, Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, 6 p.

ANONYME 1982

Anonyme - *Archéologie urbaine, Actes du colloque international de Tours (1980)*, Ministère de la Culture, Paris.

ARROYO-BISHOP et LANDATA ZARZOZA 1990

Arroyo-Bishop D. et Landata Zarzoza M. - L'informatisation des grandes fouilles urbaines et des chantiers archéologiques de sauvetage, *Bulletin de recherche sur l'informatisation en sciences économiques, humaines et sociales*, 15 : 5-15.

AUGIER 2013

Augier L. - Modélisation de la topographie de Bourges aux âges du Fer, in : Krausz et al. S. (dir.), *L'Âge fer en Europe, Mélanges Offerts à Olivier Buchsenschutz*, Mémoires, Ausonius-Éditions, Bordeaux, p. 181-196.

BACHIMONT 2000

Bachimont B. - Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en Ingénierie des connaissances, in : Charlet J., Zacklad M., Kassel G. et Bourigault D. (dir.), *Ingénierie Connaiss. Évolutions Récent. Nouv. Défis*, Paris, 16 p.

BADEY et RODIER 2015

Badey S. et Rodier X. - Exploitation des données de diagnostics en tranchées mécaniques par l'analyse spatiale, *RACF*, 53.

BANOS 2010

Banos A. - La simulation à base d'agents en sciences sociales : une « béquille pour l'esprit humain »?, *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 5, 2 : 91.

BARGE *et al.* 2004

Barge O., Rodier X., Davtian G. et Saligny L. - L'utilisation des Systèmes d'Information géographique appliquée à l'archéologie française, *Revue d'archéométrie*, 28 : 15-24.

BATARDY, BUCHSENSCHUTZ, DUMASY 2000

Batardy C., Buchsenschutz O. et Dumasy F. (dir.) - *Le Berry Antique. Atlas 2000*, 21^e suppl. à la RACF, Paris, 192 p.

BELLANGER, HUSI et TOMASSONE 2006

Bellanger L., Husi P. et Tomassone R. - Statistical Aspects of Pottery Quantification for the Dating of Some Archaeological Contexts, *Archaeometry*, 48, 1 : 169–183.

BELLANGER et HUSI 2012

Bellanger L. et Husi P. - Statistical tool for dating and interpreting archaeological contexts using pottery, *Journal of Archaeological Science*, 39, 4 : 777-790.

BERGE 1958

Berge C. - *Théorie des graphes et ses applications*, Dunod, Paris, 276 p.

BERGER *et al.* 2005

Berger J.-F., Bertoncetto F., Braemer F., Davtian G. et Gazenbeek M. - *Temps et espaces de l'homme en société. Analyses et modèles spatiaux en archéologie*, APDCA, Antibes, 536 p.

LE BER, LIGOZAT et PAPINI 2007

Le Ber F., Ligozat G. et Papini O. - *Raisonnements sur l'espace et le temps des modèles aux applications*, Hermès, Lavoisier, Paris, 419 p.

BERTHELOT, POIRIER et ROLLET 2013

Berthelot F., Poirier M. et Rollet P. - L'analyse de la composition urabine de Reims entre la fin de la période gauloise et le IV^e siècle : apport de trente ans de fouilles préventives, *in* : Lorans E. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 51-65.

BERTONCELLO et BRAEMER 2012 a

Bertoncello F. et Braemer F. (dir.) - *Variabilités environnementales, mutations sociales. Nature, Intensités, Échelles et Temporalités des changements*, XXXII^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, Éditions APDCA, Antibes, 356 p.

BERTONCELLO et BRAEMER 2012 b

Bertoncello F. et Braemer F. - Introduction, *in* : Bertoncello F. et Braemer F. (dir.), *Variabilités environnementales, mutations sociales. Nature, Intensités, Échelles et Temporalités des changements*, APDCA, Antibes, p. 11-13.

BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973

Biddle M., Hudson D. et Heighway C. - *The Future of London's Past: a survey of the archaeological implications of planning and development in the nation's capital*, (Rescue Publication, 4). Rescue: a Trust for British Archaeology, Londres.

BIGET, HERVE et THEBERT 1989

Biget J.-L., Hervé J.-C. et Thébert Y. - *Les cadastres anciens des villes et leur traitement par l'informatique*, École française de Rome, Rome, 120 p.

LE BIHAN et MAZEL 2014

Le Bihan J. et Mazel F. - Aux frontières des quatre périodes canoniques. Premier bilan d'une enquête, *ATALA*, 17 : 233-247.

BISSON, RODIER et THOMAS 1995

Bisson D., Rodier X. et Thomas F. - *À propos d'archéologie urbaine à Tours - Site 13, Rue Blaise Pascal La chapelle de la Léproserie St-Lazare, Site 033, Rue Émile Zola. Un temple antique et une tour d'enceint du 15e s.*, Adeaut, Tours, 44 p.

LE BOEUF 2009

Le Boeuf P. - Modélisation conceptuelle de l'information bibliographique et muséologique : CIDOC CRM et FRBROO, *Doc. Bibliothèques*, 55, 4 : 209-214.

LE BOEUF 2012

Le Boeuf P. - *De la sémantique des inventaires aux musées en dialogue : la modélisation CIDOC CRM*, 2012.

BOISSAVIT-CAMUS *et al.* 2005

Boissavit-Camus B., Djament G., Dufaÿ B., Galinié H., Grataloup C., Guilloteau C. et Rodier X. - Chrono-chorématique urbaine : figurer l'espace / temps des villes, *in* : Berger *et al.*, *Temps et espaces de l'homme en société, analyses et modèles spatiaux en archéologie*, APDCA, Antibes, p. 67-79.

BOISSAVIT-CAMUS, CHAOUI-DERIEUX et GUILLOTEAU 2012

Boissavit-Camus B., Chaoui-Derieux D. et Guilloteau C. - La chrono-chorématique : modélisation de la dynamique urbaine, *in* : Lavaud S. et Schmidt B. (dir.), *Représenter Ville*, Scripta Mediaevalia, 20, Ausonius, Bordeaux, p. 264-277.

BOISSAVIT-CAMUS, GUILLOTEAU et GRATALOU 2010

Boissavit-Camus B., Guilloteau C. et Grataloup C. - Aix-en-Provence: étude chrono-chorématique, *M@ppemonde*, 100.

BOISSAVIT-CAMUS, GUILLOTEAU et ROYOUX 2010

Boissavit-Camus B., Guilloteau C. et Royoux D. - Poitiers: étude chrono-chorématique, *M@ppemonde*, 100.

BOISSINOT 2011

Boissinot P. - De la pratique, des objets et des agents, *in* : Boissinot P. (dir.), *L'archéologie comme discipline ?*, Le genre humain, Seuil, Paris, p. 9-22.

BORDERIE, DELAHAYE, *et al.* 2013

Borderie Q., Delahaye J., Desachy B., Gravier J. et Pinhède A. - Les synthèses archéologiques urbaines, un projet en cours, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 263-276.

BORDERIE, FONDRILLON, *et al.* 2013

Borderie Q., Fondrillon M., Nicosia C., Devos Y. et Macphail R. I. - Bilan des recherches et nouveaux éclairages sur les terres noires : des processus complexes de stratification aux modalités d'occupation des espaces urbains, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 235-250.

BOUILLE et SALIGNY 2011

Bouillé F. et Saligny L. - La méthode HBDS : Hypergraph-Based Data Structure, *in* : Rodier X. (dir.), *Information spatiale et archéologie*, Archéologiques, Errance, Paris, p.62-65.

BRAUDEL 1958

Braudel F. - Histoire et Sciences Sociales : la longue durée, *Ann. Econ. Sociétés Civilis.*, 13, 4.

BREYSSE *et al.* 2002

Breysse D., Rodier X., Niandou H., Galinié H. et Laurent A. - Le pénétromètre et l'hétérogénéité des sols archéologiques urbains, *Revue française de Géotechnique*, p. 43-58.

BRUNEL, GUYOTJEANNIN et MORICEAU 2002

Brunel G., Guyotjeannin O. et Moriceau J.-M. - *Terriers et plans-terriers du XIIIe au XVIIIe siècle. Actes du Colloque de Paris (23-25 septembre 1998)*, Association d'Histoire des Sociétés Rurales et École Nationale des Chartes, Bibliothèque d'Histoire Rurale, 5 et Mémoires et Documents de l'École des Chartes, 62, Paris.

BRUNET 1980

Brunet R. - La composition des modèles dans l'analyse spatiale, *Espace Géographique*, 9, 4 : 253-265.

BRUNET 1986

Brunet R. - La carte-modèle et les chorèmes, *M@ppemonde*, , 86/4 : 2-6.

BRUNET 2010

Brunet R. - Comprendre la ville par la chrono-chorématique: un essai prometteur, *M@ppemonde*, 100.

BRUNET et DOLLFUS 1990

Brunet R. et Dollfus O. - *Mondes nouveaux*, (La géographie universelle). Hachette/Reclus, Paris/Montpellier.

BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2009

Buchsenschutz O., Chardenoux M.-B., Krausz S. et Vaginay M. (dir.) - *L'âge du Fer dans la boucle de la Loire. Les Gaulois sont dans la ville. XXXIIe colloque de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Bourges 2008*, FERACF, Tours, 464 p.

BUCHSENSCHUTZ, GANDINI et MAUSSION 2004

Buchsenschutz O., Gandini C. et Maussion A. - L'archéologie à la conquête de l'espace : les « cartes à pois » et le poids des cartes, de la carte archéologique au système d'information géographique, *Revue d'archéométrie*, 28, 1 : 5-13.

BURNOUF *et al.* 2003

Burnouf J., Carcaud N., Garcin M., Giot D., Galinié H., Rodier X., Blin C., Taberly C. et Marlet O. - Fluvial metamorphosis of the Loire river during the Holocene: variability of natural factors and the answers of the societies (Tours case study, France), *in*, *Alluvial archaeology in Europe, Colloque de Leeds 2000*, Balkema, Rotterdam, p. 163-171.

BURNOUF 2008

Burnouf J. - *Archéologie médiévale en France. Le « second Moyen Âge » (XIIIe-XVIe siècle)*, coédition La Découverte et Inrap, Paris, 180 p.

CASSINI 1999

Cassini. - Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, *Revue Internationale de Géomatique*, 9, 1, 121p.

CATTEDDU 2009

Catteddu I. - *Archéologie médiévale en France. Le « premier Moyen Âge » (Ve-XIe siècle)*, (Archéologies de la France). Coédition Inrap-La Découverte, Paris, 180 p.

CAUVIN et RIMBERT 1976

Cauvin C. et Rimbert S. - *La lecture numérique des cartes thématiques, les méthodes de la cartographie thématique fascule 1*, Ed Universitaires de Fribourg Suisse, Fribourg, 172 p.

CHAREILLE, RODIER et ZADORA-RIO 2004

Chareille P., Rodier X. et Zadora-Rio É. - L'analyse des transformations du maillage paroissial et communal en Touraine à l'aide d'un SIG, *Histoire & Mesure*, XIX : 317-343.

CHAREILLE, RODIER et ZADORA-RIO 2005

Chareille P., Rodier X. et Zadora-Rio É. - La construction des territoires paroissiaux en Touraine : modélisation à l'aide d'un SIG, in : Berger *et al.*, *Temps et espaces de l'homme en société. Analyses et modèles spatiaux en archéologie, XXVe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, APDCA, Antibes, p. 175-187.

CHAREILLE, RODIER et ZADORA-RIO 2008

Chareille P., Rodier X. et Zadora-Rio É. - Dynamiques morphologiques et échelles d'analyse des territoires, in : Zadora-Rio É. (dir.), *Des paroisses de Touraine aux communes d'Indre-et-Loire : la formation des territoires*, 34^e suppl. à la RACF, Tours : 260-263.

CHEYLAN 2007

Cheyland J.-P. - Les processus spatio-temporels: quelques notions et concepts préalables à leur représentation, *M@ppemonde*, 2007/3, 87.

CHOUQUER 1987

Chouquer G. - Le paysage révélé: l'empreinte du passé dans le paysage contemporain, *M@ppemonde*, , 87/4 : 16-21.

CHOUQUER et WATTEAUX 2013

Chouquer G. et Watteaux M. - *L'Archéologie des disciplines géohistoriques*, Errance, Paris, 397 p.

CLARK 1977

Clark D. L. - *Spatial Archaeology*, London Academic Press, London.

CLARKE 1973

CLARKE D. (dir.) - *Models in Archaeology*, London.

CLAVEIROLE et PELAQUIER 2001

Claveirole A. et Pélaquier É. - *Le compoix et ses usages. Actes du Colloque de Nîmes - 26 et 27 novembre 1999*, Publications de l'Université Paul Valéry-Montpellier 3, Montpellier, 303 p.

CNAU 1990

Cnau. - *Documents d'évaluation du patrimoine archéologique des villes de France, 22 volumes de 1990 à 2012*, Ministère de la Culture et de la Communication, Tours.

CONESA 2007

Conesa M. - Capbreu et paysage. Remarques sur l'utilisation d'une source notariale dans l'étude des paysages des Pyrénées de l'est. (Cerdagne, XVIe-XVIIIe siècle), *LIAME Bulletin du centre d'histoire moderne et contemporaine de la Méditerranée et de ses périphéries*, 14 : 97-124.

COSTA et ROBERT 2008

Costa L. et Robert S. - *Guide de lecture des cartes anciennes*, éditions errance, Paris, 104 p.

COSTA L., DJINDJIAN et GILIGNY 2014

Costa L., Djindjian F. et Giligny F. - *Actes des 3èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2012 (Paris, 1-2 juin 2012)*, 5^e suppl. à *Archeologia e Calcolatori*.

LE COUEDIC *et al.* 2012

Le Couédic M., Leturcq S., Rodier X., Hautefeuille F., Fieux É. et Jouve B. - Du cadastre ancien au graphe. Les dynamiques spatiales dans les sources fiscales médiévales et modernes, *ArchéoSciences Revue d'archéométrie*, 36 : 71-84.

DELHON *et al.* 2003

Delhon C., Moutarde F., Tenberg M. et Thiébault S. - Perceptions et représentations de l'espace à travers les analyses archéobotaniques, *Études Rurales*, 167-168 : 285-294.

DENTAMARO *et al.* 2007

Dentamaro F., De Luca P. G., Genco L., Perrino G., Cannito C., Stufano M. A. et Sibilano M. G. - A CIDOC CRM-Based Ontology System, in : Jeffrey C. et Hagemester T. and E. M. (dir.), *Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage, Proceedings of the 34th CAA Conference, Fargo, United States, April 2006*, Fargo, p. 437-444.

DESACHY 2005 a

Desachy B. - *Formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Tèse, Université de Paris 1, Paris.

DESACHY 2005 b

Desachy B. - Du temps ordonné au temps quantifié : application d'outils mathématiques au modèle d'analyse stratigraphique d'Edward Harris, *Bull. Société Préhistorique Française*.

DESACHY *et al.* 2005

Desachy B., Berger J.-F., Bertoncello F. et Braemer F. - Du terrain au temps archéologique, vers un système d'information stratigraphique, in : Berger *et al.*, *Temps et espaces de l'homme en société. Analyses et modèles spatiaux en archéologie, XXVe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, APDCA, Antibes.

DESACHY 2006

Desachy B. - La carte archéologique: une mesure de l'activité des archéologues, *M@ppemonde*, 83.

DESACHY 2012

Desachy B. - Formaliser le raisonnement chronologique et son incertitude en archéologie de terrain, *Cybergeog : European Journal of Geography*.

DESACHY et DJAMENT 2013

Desachy B. et Djament G. - Visualiser et interroger la composition urbaine par la chrono-chorématique, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 235-239.

DESACHY et DJINDJIAN 1990

Desachy B. et Djindjian F. - Sur l'aide au traitement des données stratigraphiques des sites archéologiques, *Histoire & Mesure*, 5, 1 : 51-88.

DJAMENT et GRATALOUP 2010

Djament G. et Grataloup C. - E pluribus urbibus una: Modéliser les trajectoires de villes, *M@ppemonde*, 100.

DOERR 2003

Doerr M. - The CIDOC Conceptual Reference Module: An Ontological Approach to Semantic Interoperability of Metadata, *AI Magazine*, 24, 3 : 75.

DUFAÏ 2001

DufaÏ B. - Quel avenir pour la carte archéologique urbaine ?, *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 85 : 37-49.

DUFAÏ 2002

DufaÏ B. - De la topographie à l'histoire : comprendre l'évolution des villes anciennes, *M@ppemonde*, 67, 2002/3 : 32-37.

DUFAÏ et GRATALOUP 2013

DufaÏ B. et Grataloup C. - Des villes à la ville, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 383-384.

DUPOUEY *et al.* 2007

Dupouey J.-L., Dambrine E., Dardignac C. et Georges-Leroy M. - *La mémoire des forêts. Actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement » 14-16 décembre 2004*, ONF/INRA/DRAC Lorraine, Nancy, 294 p.

DURAND-DASTES 1992

Durand-Dastès F. - Le particulier et le général en géographie, *in* : Audigier F. et Baillat G. (dir.), *6^e colloque de didactique de l'histoire, de la géographie et des sciences sociales, Analyser et gérer les situations d'enseignement-apprentissage. La notion de chaos. Quelques réflexions*, Paris, p. 207-216.

DURAND-DASTES *et al.* 1998

Durand-Dastès F., Favory F., Fiches J.-L., Mathian H., Pumain D., Raynaud C., Sanders L. et Van der Leeuw S. - *ARCHAEOMEDES. Des oppida aux métropoles. Archéologues et géographes en vallée du Rhône*, Paris.

ECKKRAMMER, FELDBACHER et ECKKRAMMER 2011

Eckkrammer F., Feldbacher R. et Eckkrammer T. - Cidoc CRM in Data Management and Data Sharing. Data Sharing between Different Databases., in : Erzsébet J., Redó F. et Szeverényi V. (dir.), *On the Road to Reconstructing the Past, Proceedings of the 36th CAA Conference, Budapest, 2-6 April 2008*, Archaeologia, Budapest, p. 153-158.

EGENHOFER et GOLLEDGE 1998

Egenhofer M. J. et Golledge R. G. - *Spatial and temporal reasoning in geographic information systems*, Oxford University Press, New York, Oxford, 276 p.

ELIAS 1996

Elias N. - *Du temps*, Paris, Fayard, réédition Librairie Arthème Fayard/Pluriel, Paris, 2014, 226 p.

ELISSALDE 2000

Elissalde B. - Géographie, temps et changement spatial, *Espace Géographique*, 29, 3 : 224-236.

VAN ES, POLDERMANS et SARFATIJ 1982

Van es W. Z., Poldermans J. M. et Sarfatij H. - *Het bodemarchief bedreigd. Archéologie en planologie in de binnensteden van Nederland*, Amersfoort.

FAVORY, NUNINGER et SANDERS 2012

Favory F., Nuninger L. et Sanders L. - Intégration de concepts de géographie et d'archéologie spatiale pour l'étude des systèmes de peuplement, *L'Espace Géographique*, Tome 41, 4 : 295-309.

FERDIERE 1989

Ferdière A. - Fouilles de « sauvetage », fouilles de « recherche », l'impossible opposition, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 86, 10 : 299-300.

FONDRILLON 2009

Fondrillon M. - À propos des recherches sur les terres noires urbaines : dépasser le concept d'attente, *Archéologie Médiévale*, 39 : 1-16.

FONDRILLON 2012

Fondrillon M. - Formation des sols et usages sociaux, les terres noires urbaines en France, in : Archambault de Beaune S. et Francfort H.-P. (dir.), *L'archéologie à découvert*, CNRS Éditions, Paris, p. 145-151.

FONDRILLON *et al.* 2013

Fondrillon M., Augier L., Laurent A. et Rolland X. - Évaluation et modélisation du potentiel archéologique urbain à Bourges, in : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 277-291.

FRANK 2001

Frank A. - Socio-Economic Units: Their Life and Motion, in : Frank A., Raper J. et Cheylan J.-P. (dir.), *Life and Motion of Socio-economic Units*, Taylor & Francis, London New York, p. 21-34.

FRANK, RAPER et CHEYLAN 2001

Frank A., Raper J. et Cheylan J.-P. - *Life and Motion of Socio-economic Units*, Taylor & Francis, London, New York, 353 p.

FROMENTIN, LAUZANE et ROPARS 2006

Fromentin F., Lauzane S. et Ropars A. - L'inventaire archéologique national, *in* : Dabas M. (dir.), *La prospection*, Archéologiques, Errance, Paris, p. 8-12.

FRUCHART 2014

Catherine Fruchart. - *Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) de l'Antiquité à nos jours*, Thèse. Université de Franche-Comté, ED Langage, Espace, Temps, Société, Besançon.

GAFFNEY et STANCIC 1991

Gaffney V. L. et Stancic Z. - *GIS approaches to regional analysis : a case study of the island of Hvar*, Ljubljana.

GALINIE 1979

Galinié H. - L'archéologie urbaine, *Les nouvelles de l'archéologie*, 0.

GALINIE 1980

Galinié H. - De la stratigraphie à la chronologie, *in* : Alain Schnapp - *L'archéologie aujourd'hui*, p. 63-85.

GALINIE 2000

Galinié H. - *Ville, espace urbain et archéologie*, (Sciences de la Ville, 16). Maison des Sciences de la Ville, de l'Urbanisme et des Paysages, Tours, 128 p.

GALINIE *et al.* 2003

Galinié H., Chouquer G., Rodier X. et Chareille P. - Téotolon, doyen de Saint-Martin, évêque de Tours au Xe siècle, et urbaniste ?, *in* Gauthiez B., Zadora-Rio É. et Galinié H. (dir.) : *Village et ville au Moyen Age : les dynamiques morphologiques*, PUFR, Tours.

GALINIE, HUSI, *et al.* 2005

Galinié H., Husi P., Rodier X., Theureau C. et Zadora-Rio É. - ARSOL. La chaîne de gestion des données de fouilles du Laboratoire Archéologie et Territoires, *Les petits cahiers d'Anatole*, 17, Tours.

GALINIE, MOREAU, *et al.* 2005

Galinié H., Moreau A., Rodier X. et Zadora-Rio É. - Utilisation des SIG en archéologie : application à la topographie historique en Indre-et-Loire, *in* : Fotsing J. M. (dir.), *Apport des SIG à la recherche, Actes du colloque international de géomatique appliquée N°1, 13-14 Mars 2003 Orléans*, p. 166-184.

GALINIE 2007

Galinié H. (dir.) - *Tours antique et médiéval. Lieux de vie, temps de la ville : 40 ans d'archéologie urbaine*, 30^e Supp. à la *RACF*, numéro spécial de la collection Recherches sur Tours, FERACF, Tours, 440 p.

GALINIE 2011

Galinié H. - Glossaire de l'association AMAVIVA : <http://www.vinaviva.fr/>.

GALINIE 2013

Galinié H. - Les clefs du sol, *Les petits cahiers d'Anatole*, 25, Tours.

GALINIE, HUSI et MOTTEAU 2014

Galinié H., Husi P. et Motteau J. - *Des Thermes de l'Est de Caesarodunum au Château de Tours. Le site 3*, Recherche sur Tours 9, FERACF, Tours, 180 p.

GALINIE et RANDOIN 1979

Galinié H. et Randoin B. - *Les archives du sol à Tours. Survie et avenir de l'archéologie de la ville.*, SAT/LAU, Tours, 63 p.

GALINIE et RODIER 2002

Galinié H. et Rodier X. - ToToPi, un outil d'analyse urbaine, *Les petits cahiers d'Anatole*, 11, Tours

GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004

Galinié H., Rodier X. et Saligny L. - Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée, *Histoire & Mesure*, XIX-3/4 : 223-242.

GALLAY 1986

Gallay A. - *L'Archéologie demain*, Paris.

GANDINI, FAVORY et NUNINGER 2012

Gandini C., Favory F. et Nuninger L. (dir.) - *Settlement Patters, Production and Trades from the Neolithic to the Middle ages. Archaeodyn, Seven Millennia of Territorial Dynamics. Final Conference, University of Burgundy, Dijon, 23-25 June 2008*, BAR International Series 2370, Oxford, 80 p.

GARDIN 1967

Gardin J. C. - Methods for the descriptive analysis of archaeological material, *American Antiquity*, 32, 1 : 13-30.

GARDIN 1968

Gardin J. C. (dir.) - *Calcul et formalisation dans les Sciences de l'Homme*, CNRS.

GARDIN 1979

Gardin J. C. - *Une archéologie théorique*, L'esprit critique, Paris, Hachette.339 p.

GARDIN et ROUX 2004

Gardin J.-C. et Roux V. - The Arkeotek project: a European network of knowledge bases in the archaeology of techniques, *Archeologia e calcolatori*, XV, 2004.

GARDIN 1958

Gardin J.-C. - *Le Centre d'Analyse Documentaire pour l'Archéologie*, CNRS Éditions, Paris.

GARDIN 1990

Gardin J.-C. - Conclusion, in : Fossier L. (dir.), *Le médiéviste et l'ordinateur*, IRHT, Paris,

GARDIN 1997

Gardin J.-C. - Le questionnement logiciste et les conflits d'interprétation, *Enquête*, 5 : 35-54.

GARDIN et LAGRANGE 1975

Gardin J.-C. et Lagrange M.-S. - *Essais d'analyse du discours archéologique*, CRA, Notes et Monographies, 100 p.

GARMY 1994

Garmy P. - Archéologie de la ville, *Les nouvelles de l'archéologie*, 55.

GARMY *et al.* 2005

Garmy P., Kaddouri L., Rozenblat C., Bouet A. et Verdin F. - Structures spatiales du peuplement antique dans la cité de Luteva, *in* : *Territoires et paysages de l'Âge du Fer au Moyen Âge, Mélanges offerts à Philippe Leveau*, mémoire, Ausonius-Éditions, Bordeaux, p. 83-100.

GARMY 2011

Garmy P. - Le pont et la villes : question d'urbanisme et d'environnement, *in* : Barruol G., Fiches J.-L. et Garmy P. (dir.), *Les ponts routiers en Gaule romaine*, Revue archéologique de Narbonnaise, Montpellier, p. 573-588.

GARMY 2012

Garmy P. - *Villes, réseaux et systèmes de villes. Contribution de l'archéologie*, Éditions Errance, Paris, 329 p.

GARMY et KADDOURI 2013

Garmy P. et Kaddouri L. - Modélisation spatiale d'un réseau urbain antique : à propos de villes de la cités de Nîmes, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 479-493.

GAUTHIER 2008

Gauthier E. - Consumption and circulation of prehistoric products in Europe: characterization of spatial evolutions using map algebra, *in* : Poluschny A., Lambers K. et Herzog I. (dir.), *Layers of Perception, 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2-6 2007*, Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Bonn.

GAUTHIEZ, ZADORA-RIO et GALINIE 2003

Gauthiez B., Zadora-Rio É. et Galinié H. (dir.) - *Village et ville au Moyen Âge : les dynamiques morphologiques*, (Collection Perspectives « villes et territoires », 5). Presses Universitaires François-Rabelais, Tours,

GEORGES-LEROY *et al.* 2009

Georges-Leroy M., Bock J., Dambrine E. et Dupouey J.-L. - Le massif forestier, objet pertinent pour la recherche archéologique. L'exemple du massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle), *Revue géographique de l'Est*, 49, 2-3.

GIBERT 2014

Gibert S. - Les enjeux renouvelés d'un problème fondamental : la périodisation en histoire, *ATALA, Cultures et sciences humaines*, 17, Lycée Chateaubriand de Rennes, Rennes : 7-31.

GIBERT, LE BIHAN et MAZEL 2014

Gibert S., Le Bihan J. et Mazel F. (dir.) - *Découper le temps. Actualité de la périodisation en histoire.*, *ATALA, Cultures et sciences humaines*, 17, Lycée Chateaubriand de Rennes, Rennes, 371p.

GILIGNY *et al.* 2012

Giligny F., Costa L., Djindjian F., Ciezar P. et Desachy B. - *Actes des 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2010 (Paris, 11-12 juin 2010)*, 3^e suppl. à *Archeologia e calcolatori*.

LE GOFF É. *et al.* 2014

Le Goff É., Marlet O., Rodier X., Curet S. et Husi P. - Interoperability of the ArSol (Archives du Sol) database based on the CIDOC-CRM ontology, *in* : Giligny F., Djindjian F., Costa L., Moscati P. et Robert S. (dir.), *CAA2014, 21st Century Archaeology, 42nd International Conference on Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology*, Paris, p. 179-186.

LE GOFF J. 2014

Le Goff J. - *Faut-il vraiment découper l'histoire en tranche ?*, La Librairie du XXI^e siècle, Éditions du Seuil, Paris, 207 p.

GORRY 2008

Gorry J.-M. - La reconstitution des limites communales de 1790 : méthodes et sources, *in* : Zadora-Rio É. (dir.), *Des paroisses de Touraine aux communes d'Indre-et-Loire. La formation des territoires*, 34^e suppl. à la *RACF*, Tours, p. 147-163.

GRATALOUP 1996

Grataloup C. - *Lieux d'histoire : essai de géohistoire systématique*, Reclus, 200 p.

GRATALOUP 1998

Grataloup C. - Singulier/pluriel, *Espace Temps Cahiers*, 68/69 : 6-15.

GUILAINE 2011

Guilaine J. - L'archéologie, une discipline, *in* : Boissinot P. (dir.), *L'archéologie comme discipline ?*, Le genre humain, Seuil, Paris, p. 23-30.

HAGGETT 1973

Haggett Peter - *L'analyse spatiale en géographie humaines*, Armand Colin, Paris, 390 p.

HAGGETT 1965

Haggett P. - *Locational analysis in Human Geography*, Arnold, Londres.

HARRIS 1979

Harris E. C. - *Principles of Archaeological Stratigraphy*, London,

HEIGHWAY 1972

Heighway C. (dir.) - *The erosion of history: archaeology and planning in towns: a study of historic towns affected by modern development in England, Wales and Scotland*, The Council for British Archaeology, Londres.

HENNIGFELD *et al.* 2013

Hennigfeld Y., Husi P., Ravoire F. et Bellanger L. - L'approvisionnement des villes médiévales (XI^e-XVI^e siècles) dans le Nord de la France : analyse comparative de Tours, Paris et Strasbourg à partir de l'étude de la céramique, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 419-431.

HODDER et ORTON 1977

Hodder I. et Orton C. R. - *Spatial analysis in archaeology*, Cambridge University Press, 270 p.

HODGSON *et al.* 2005

Hodgson M. E., Jensen J., Raber G., Tullis J., Davis B. A., Thompson G. et Schuckman K. - An evaluation of lidar-derived elevation and terrain slope in leaf-off conditions, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 71, 7 : 817-823.

HUSI et RODIER 2008

Husi P. et Rodier X. - ArSol: An archaeological data processing system, *in* : Erszébet Jerem V. S. Ferenc Redö. (dir.), *On the road to reconstruct the past, 36th International Conference of the Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Archaeologia, Budapest, Hungary, p. 1-7.

JACQUET 2000

Jacquet G. - L'homme et la forêt au Moyen Âge dans la région de Tours (F 37) : L'approvisionnement en bois des villes tourangelles à la fin du moyen âge, *in* : *Équilibres et ruptures dans les écosystèmes depuis 20 000 ans en Europe de l'Ouest. Actes du colloque international de Besançon 18-22 septembre 2000* p. 447-454.

JACQUET 2003

Jacquet G. - *La forêt en val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie. L'exemple de l'Indre-et-Loire (Xe-XVIe siècles)*, thèse, Université de Tours, 3 volumes.

JARRY et OGIER 2006

Jarry T. et Ogier B. - *Système d'information géographique et espace rural médiéval : l'utilisation du logiciel MacMap dans la reconstitution du parcellaire de la Plaine de Caen*.

JOHNSON 2002

Johnson I. - Contextualising Archaeological Information Through Interactive Maps, *Internet Archaeology*, 12.

JOHNSON 2004

Johnson I. - Putting Time on the Map: Using TimeMap for Map Animation and Web Delivery, *GeoInformatics*, July/August 2004.

JOHNSON et WILSON 2003

Johnson I. et Wilson A. - The TimeMap Project: Developing Time-Based GIS Display for Cultural Data, *Journal of GIS in Archaeology*, 1 : 135.

JOLIVEAU 2005

Joliveau T. - Les SIG dans la recherche française en géographie. Bilans et questions, *in* : Fotsing J. M. (dir.), *Apport des Systèmes d'information géographiques au monde de la recherche, Actes du colloque international de géomatique appliquée N° 1 Orléans 13 14 Mars 2003*, CEDETE, Orléans, p. 35-55.

JOLY 2013

Joly D. - De la fouille urbaine à l'archéologie de la ville : le cas de Chartres, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie Espace Urbain, Perspectives Villes et Territoires*, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 37-49.

JORDAL, ULEBERG et HAUGE 2012

Jordal E., Uleberg E. et Hauge B. - Was It Worth It? Experiences with a CIDOC CRM-based Database, *in* : Mingquan Z., Romanowska I., Wu Z. et Verhagen P. (dir.), *In Revive the Past, 39th CAA Conference, Beijing, China 12-16 April 2011*, Beijing, p. 255-260.

JOUQUAND *et al.* 1999

Jouquand A.-M., Champagne F., Rodier X., Husi P. et Wittmann A. - La fouilles des « abords de la cathédrale » de Tours (Indre-et-Loire) : Antiquité-haut Moyen Age, *RACF*, 38 : 7-98.

KAMERMANS, GOJDA et G. POSLUSCHNY 2014

Kamermans H., Gojda M. et G. Posluschny A. - *A sense of the past. Studies in current archaeological applications of remote sensing and non-invasive prospection methods*, Archeopress, Oxford, 163 p.

KOEHLER et TUFFERY 2012

Koehler A. et Tufféry C. - Harmonisation des méthodes et outils pour l'information archéologique à l'Inrap: constats, enjeux et perspectives pour un établissement national, *in* : Giligny *et al.* (dir.), *Actes des 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2010 (Paris, 11-12 juin 2010)*, 3^e suppl. à *Archeologia e calcolatori*, p. 229-238.

KOOISTRA et MAAS 2008

Kooistra M. J. et Maas G. J. - The widespread occurrence of Celtic field systems in the central part of the Netherlands, *Journal of Archaeological Science*, 35, 8 : 2318-2328.

KUMMER 2010

Kummer R. - Archaeology and the Semantic – Prospects and Challenges, *in* : Bernard F., Crawford J. W. et Koller D. (dir.), *Making History Interactive, 37th International Conference of the Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology Williamsburg, USA, March 22-26 2009*, Williamsburg, USA, p. 178-190.

LAPLAIGE 2012

Laplaige C. - *Comparaison de signaux (géophysique, LiDAR) utilisés dans l'étude des dynamiques anthropiques et naturelles*, thèse, Université de Franche-Comté.

LARDON, LIBOUREL et CHEYLAN 1999

Lardon S., Libourel T. et Cheylan J.-P. - Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles, *Revue Internationale de Géomatique*, 9, 1 : 45-65.

LAURENT 2007

Laurent A. - L'évaluation du potentiel archéologique, *in* : Galinié H. (dir.), *Tours antique et médiéval. Lieux Vie Temps Ville 40 ans d'archéologie urbaine*, 30^e Suppl. à la *RACF*, numéro spécial de la collection Recherches sur Tours, FERACF, Tours, p. 43-44.

LAURENT et FONDRILLON 2010

Laurent A. et Fondrillon M. - Mesurer la ville par l'évaluation et la caractérisation du sol urbain : l'exemple de Tours, *RACF*, 49.

LAVAUD *et al.* 2014

Lavaud S., Pissoat O., André-Lamat V., Deler J.-P., Fayolle-Lussac B., Jean-Courret E., Leulier R. et Régaldo-Saint Blancard P. - Étude chrono-chorématique: Bordeaux, *M@ppemonde*, 114

LEDUC 2014

Leduc J. - La construction historique des cadres de la périodisation, *ATALA*, 17 : 35-48.

VAN DER LEEUW, FAVORY et FICHES 2003

Van Der Leeuw S., Favory F. et Fiches J.-L. - *Archéologie et systèmes socio-environnementaux*, CRA Monographie n° 27, CNRS Éditions, Paris, 408 p.

LEFEBVRE 2008

Lefebvre B. - *La formation d'un tissu urbain dans la Cité de Tours : du site de l'amphithéâtre antique au quartier canonial (5e-18e s.)*, thèse, Université François Rabelais, Tours, 903 p.

LEFEBVRE 2011

Lefebvre B. - Modèles de réutilisation des amphithéâtres antiques dans la formation des tissus urbains, *M@ppemonde*, 101

LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2008

Lefebvre B., Rodier X. et Saligny L. - Understanding Urban Fabric with the OH_FET model based on Social Use, Space and Time, *Archeologia e calcolatori*, 19 : 195-214.

LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012

Lefebvre B., Rodier X. et Saligny L. - La modélisation de l'information spatio-temporelle, in : Archambault de Beaune S. et Francfort H.-P. (dir.), *L'archéologie à découvert, hommes, objets, temporalités*, Paris, p. 249-258.

LEFEVRE 2010

Lefèvre B. - Angers: étude chrono-chorématique, *M@ppemonde*, 100.

LEFEVRE 2013

Lefèvre B. - La modélisation chrono-chorématique : un outil pour analyser la rétraction urbaine tardo-antique, in : Besson C., Blin O. et Triboulot B. (dir.), *Franges urbaines et confins territoriaux. La Gaule dans l'Empire, Actes du colloques de Versailles 28 Fév - 2 Mars 2012*, Archéologie aujourd'hui, Errance, Paris.

LEPETIT 1988

Lepetit B. - *Les villes dans la France moderne (1740-1840)*, Paris, Albin Michel, 490 p.

LEPETIT 1993

Lepetit B. - Passé, présent et avenir des modèles urbains d'auto-organisation, in : Lepetit B. et Pumain D. (dir.), *Temporalités Urbaines*, Paris, p. 113-134.

LETURCQ 2006

Leturcq S. - À la découverte de la dimension spatiale des terriers. Le SIG, outil d'analyse des terroirs d'exploitation, *Les systèmes d'information géographique. Le Médiéviste et l'ordinateur*, 44.

LETURCQ 2007

Leturcq S. - *Un village, la terre et ses hommes. Toury en Beauce (XIIIe-XVIIe siècle)*, CTHS, Paris, 565 p.

LEVY 1998

Levy J. - Espace et temps : une fausse symétrie, *Espace Temps Cahiers*, 68/69/ : 16-30.

LEVY et LUSSAULT 2003

Lévy J. et Lussault M. (dir.) - *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, 1033 p.

LIARD *et al.* 2002

Liard M., Vivent D., Carcaud N., Zadora-Rio É. et Galinié H. - Étude des interactions Hommes/Milieus dans le vallon de Rigny (Indre-et-Loire) : approches pluridisciplinaires, *in* : Richard H. et Vignol A. (dir.), *Équilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest, Actes du colloque international de Besançon, 2000*, Besançon, p. 255-267.

LORANS 2006

Lorans É. (dir.) - *Saint-Mexme de Chinon, Ve-XXe siècle*, Mémoire de la section d'archéologie et d'histoire de l'art, 22, CTHS, Paris, 572 p.

LORANS *et al.* 2013

Lorans É., Jouquand A.-M., Fouillet N. et Rodier X. - Les rythmes de l'espace urbain à Tours : nouvelles données, nouvelles questions (Ile siècle avant J.-C. - Xe siècle après J.-C.), *in* : Lorans L. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain, Perspectives Villes et Territoires*, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 209-220.

LORANS et RODIER 2013

Lorans É. et Rodier X. (dir.) - *Archéologie de l'espace urbain*, CTHS/PUFR, Tours/Paris, 536 p.

LOURDI et PAPTAEODOROU 2009

Lourdi I. et Papatheodorou C. - Semantic Integration of Collection Description, Combining CIDOC/CRM and Dublin Core Collections Application Profile, *D-Lib Magazine*, 15, 7/8

MACPHAIL 2013

Macphail R. I. - Reconstructing past land use from dark earth: examples from England and France, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain, Perspectives Villes et Territoires*, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 251-261.

MATHIAN, RODIER et SANDERS 2013

Mathian H., Rodier X. et Sanders L. - Système ville et système de villes : modèles dynamiques en archéologie et en géographie, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain, Perspectives Villes et Territoires*, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 495-507.

MATHIAN et SANDERS 2014

Mathian H. et Sanders L. - *Objets géographiques et processus de changement, approches spatio-temporelle*, Systèmes d'information géographiques, ISTE Éditions, Londres, 178 p.

MAZEL 2014

Mazel F. - Un, deux, trois Moyen Âge... Enjeux et critères des périodisations internes de l'époque médiévale, *ATALA*, 17 : 101-113.

MCGUINNESS et VAN HARMELEN 2004

McGuinness D. L. et van Harmelen F. - OWL Web Ontology Language Overview, *World Wide Web Consortium*, 2004.

MELLINAND, PAONE et SILLANO 2013

Mellinand P., Paone F. et Sillano B. - Marseille de la fondation à la « ville nouvelle » de Louis XIV : entre héritages et renouveaux, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain, Perspectives Villes et Territoires*, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 79-92.

MEUNIER 2013

Meunier H. - Le Mans : étude chrono-chorématique (Ier siècle av. J.-C. - XVIIIe siècle), *in* : Lorans E. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 341-352.

MINSKY 1965

Minsky M. L. - Matter, mind and models, *in* : Proceedings of the International Federation of Information Processing Congress , p. 45-49.

MONTPIED et ROUAULT 1982

Montpied G. et Rouault J. - Reconstitution et cartographie d'un parcellaire à partir de cadastres textuels du XVe siècle, *Le médiéviste et l'ordinateur*, 8 : 11-13.

MONTPIED et ROUAULT 1989

Montpied G. et Rouault J. - Du texte au graphe : établissement d'une carte du parcellaire à partir des données de deux cadastres de la fin du Moyen Âge, *in* : Biget J.-L., Hervé J.-C. et Thébert Y. (dir.), *Les cadastres anciens des villes et leur traitement par l'informatique*, coll. de l'École française de Rome, 120, Rome, p. 359-380.

MORIN *et al.* 2013

Morin E., Rodier X., Laurent-Dehecq A. et Macaire J.-J. - Évolution morphologique et sédimentaire de la plaine alluviale d'un espace urbanisé (Tours, Indre-et-Loire, France), *RACF*, 52 : 367-400.

MORIN *et al.* 2014

Morin E., Rodier X., Laurent A. et Macaire J.-J. - Morphological and sedimentary evolution of an alluvial floodplain in an urban area: geoarchaeological approaches and applications (Tours, France), *Journal of Archaeological Science*, 46 : 255-269.

NOIZET 2002

Noizet H. - Une schématisation de la place de Tours dans les représentations spatiales des acteurs, *M@ppemonde*, 76, 4/2004.

NOIZET et BOVE 2013

Noizet H. et Bove B. - Un nouvel outil pour de nouveaux regards sur Paris médiéval : le SIG ALPAGE, *in* : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUFR/CTHS, Tours/Paris, p. 163-177.

NOIZET, BOVE et COSTA 2013

Noizet H., Bove B. et Costa L. (dir.) - *Paris de parcelles en pixels. Analyse géomatique de l'espace parisien médiéval et moderne*, Presses universitaires de Vincennes-Comité d'histoire de la Ville de Paris, Paris, 344 p.

NUNINGER et SANDERS 2006

Nuninger L. et Sanders L. - La modélisation des réseaux d'habitat en archéologie: trois expériences, *M@ppemonde*, 83, 3/2006.

NUNINGER, TOURNEUX et FAVORY 2008

Nuninger L., Tourneux F.-P. et Favory F. - From Archaeomedes to Archaedyn, in : Poluschny A., Lambers K. et Herzog I. (dir.), *Layers of Perception, 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany April 2-6 2007*, Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Bonn.

OLIVIER 2008

Olivier L. - *Le sombre abîme du temps. Mémoire et archéologie*, La couleur des idées, Seuil, Paris, 301 p.

OPITZ et COWLEY 2013

Opitz R. et Cowley D. - *Interpreting Archaeological Topography: Lasers, 3D Data, Observation, Visualisation and Applications*, Oxbow Books, Oxford, 288 p.

OTT et SWIACZNY 2001

Ott T. et Swiaczny F. - *Time-Integrative Geographic Information Systems: Management and Analysis of Spatio-Temporal Data*, Springer Science & Business Media, 258 p.

PALSKY 1999

Palsky G. - Borges, Carrol et la carte au 1/1, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

PANOPOULOS, STAMATOPOULOS et KAVOURAS 2003

Panopoulos G., Stamatopoulos A. et Kavouras M. - Spatio-temporal generalization: the chronograph application, in : *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference, Durban, South Africa, 10-16 August 2003*, International Cartographic Association.

PERRET *et al.* 2015

Perret J., De Runz C., Rodier X., Varet-Vitu A., Dumenieu B., Saligny L., Cristofoli P., Lefebvre B. et Desjardin É. - Études des dynamiques de l'occupation du sol. Questionnements, simplifications et limites, *Revue Internationale de Géomatique*, 25, 3/2015 : 301-330.

PEUQUET 1994

Peuquet D. J. - It's about time. A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems, *Annals of the Association of American Geographers*, 3 : 441-461.

PHAN DENIS 2014

Phan Denis. - *Ontologies et modélisation par SMA en SHS*, Lavoisier, Paris, 558 p.

PICHARD 2013

Pichard C. - Étude chrono-chorématique de Reims pré-industrielle (Ier siècle av. J.-C. - XIXe siècle), in : Lorans É. et Rodier X. (dir.), *Archéologie de l'espace urbain*, Perspectives Villes et Territoires, PUF/CTHS, Tours/Paris, p. 353-354.

PINCHEMEL et PINCHEMEL 1988

Pinchemel P. et Pinchemel G. - *La face de la terre. Éléments de géographie*, Colin, Paris, réédition 1997, 519 p.

PINOL 2003

Pinol J.-L. (dir.) - *Histoire de l'Europe urbaine : I de l'Antiquité au XVIIIe siècle, genèse des villes européennes ; II de l'ancien régime à nos jours. Expansion et limite d'un modèle*, Seuil, Paris.

PIROT et VARET-VITU 2004

Pirot F. et Varet-Vitu A. - Introduction, *Histoire & Mesure*, XIX, 3/4 : 219-222.

POIRIER 2006

Poirier N. - Des plans terriers au cadastre ancien : mesurer l'évolution de l'occupation du sol grâce au S.I.G., *Le médiéviste et l'ordinateur*, 44.

POIRIER 2010

Poirier N. - *Un espace rural à la loupe. Paysage, peuplement et territoires en Berry de la préhistoire à nos jours*, Perspectives historiques, PUFR, Tours, 234 p.

PUMAIN 1993

Pumain D. - L'espace, le temps et la matérialité des villes, *in* : Lepetit B. et Pumain D. (dir.), *Temporalités Urbaines*, Paris, p. 135-157.

PUMAIN 2015

Pumain D. - Adapter le modèle de l'édition scientifique, *Cybergeog : European Journal of Geography*.

PUMAIN et SAINT-JULIEN 1997

Pumain D. et Saint-Julien T. - *L'analyse spatiale, localisation dans l'espace*, Armand Colin, Paris, 167 p.

PY 1997

Py M. (dir.) - *SYSLAT 3.1, Système d'Information Archéologique - manuel de référence*, Lattara 10, Lattes, 384 p.

QUERU 2012

Queru M. - Modélisation chrono-chorématique de Limoges pré-industrielle, *M@ppemonde*, 105, 1-2012.

RANDOIN 1986

Randoin B. (dir.) - *Expériences d'informatisation en archéologie urbaine*, Ministère de la Culture et de la Communication, DP/SDA/CNAU, Tours, 84 p.

RANDOIN 1987

Randoin B. (dir.) - *Enregistrements de données de fouilles urbaines, 1^e partie*, Ministère de la Culture et de la Communication, DP/SDA/CNAU, Tours, 99 p.

RAPER 2001

Raper J. - Defining Spatial Socio-Economic Units: Retrospective and Prospective, *in* : Frank A., Raper J. et Cheylan J.-P. (dir.), *Life and Motion of Socio-economic Units*, Taylor & Francis, London New York, p. 13-20.

RASSE 2010

Rasse M. - *Espaces et Temps des premières sociétés. Pour une approche des sociétés de la préhistoire par l'espace. Volume inédit d'Habilitation à Diriger des Recherches*, Habilitation à diriger des recherches. Université de Rouen, Rouen, 225 p.

RIMBERT 1990

Rimbert S. - *Carto-graphies Traité des Nouvelles Technologies série Géographie assistée par ordinateur*, Hermes, Paris, 176 p.

ROBERT 2012

Robert S. - Les dynamiques spatiales à la croisée de l'archéologie et de la géographie, *L'espace géographique*, 4, 2012/4 : 289-294.

RODIER 1994

Rodier X. - Évaluation du potentiel archéologique de Tours à partir de deux exemples récents, *Les nouvelles de l'archéologie*, 55 : 20-25.

RODIER 2000

Rodier X. - Le système d'information géographique TOTOPI : Topographie de TOurs Pré-Industriel, *Les Petits cahiers d'Anatole*, 4, Tours.

RODIER *et al.* 2003

Rodier X., Galinié H., Laurent A., Breyse D., Houy L., Niandou H. et Breul P. - Utilisation du pénétromètre dynamique du type PANDA en milieu urbain pour l'évaluation et la caractérisation du dépôt archéologique, *Revue d'archéométrie*, 27 : 15-26.

RODIER 2006

Rodier X. - L'archéologue et la carte, *M@ppemonde*, 83.

RODIER 2008

Rodier X. - Modélisation des territoires paroissiaux et communaux, *in* : Zadora-Rio É. (dir.), *Des paroisses de Touraine aux communes d'Indre-et-Loire : la formation des territoires*, 34^e suppl. à la *RACF*, Tours : 251-260.

RODIER *et al.* 2010

Rodier X., Saligny L., Lefebvre B. et Pouliot J. - ToToPI (Topographie de Tours Pré-Industriel), a GIS for understanding urban dynamics based on the OH_FET model (Social Use, Space and Time), *in* : Bernard F., Crawford J. W. et Koller D. (dir.), *Making History Interactive, 37th International Conference of the Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology Williamsburg, USA, March 22-26 2009*, Williamsburg, USA, p. 1-20.

RODIER 2010

Rodier X. - Cartes des vins, compte rendu de Schirmer R., Velasco-Graciet H. - Atlas mondial des vins, Autrement, coll. «Atlas-monde», 80 p., Paris, 2010, *M@ppemonde*, 99

RODIER 2011 a

Rodier X. - Les SIG appliqués à l'archéologie, *in* : Rodier X. (dir.), *Information spatiale archéologie*, Archéologiques, Errance, p. 13-32.

RODIER 2011 b

Rodier X. (dir.), Barge O., Saligny L., Nuninger L. et Bertonecello F. - *Information spatiale et archéologie*, Archéologiques. Errance, 256 p.

RODIER, HAUTEFEUILLE, *et al.* 2013

Rodier X., Hautefeuille F., Couédic M. L., Leturcq S., Jouve B. et Fieux É. - De l'espace aux graphes. Mesurer les dynamiques spatiales des terroirs villageois, *in* : , *XLIIIe Congrès de la Société des Historiens Médiévistes de l'Enseignement Supérieur Public (SHMESP)*, Publication de la Sorbonne, p. 99-118.

RODIER, COUÉDIC, *et al.* 2013

Rodier X., Couédic M. L., Hautefeuille F., Leturcq S., Jouve B. et Fieux É. - From space to graphs to understand spatial changes using medieval and modern fiscal sources, *in* : Earl G., Wheatley D., Sly T., Chrysanthi A., Murrieta-Flores P., Papadopoulos C. et Romanowska I. (dir.), *40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton 26-29 March 2012*, p. 424-431.

RODIER 2014

Rodier X. - *Rapport 2010-2013 du GdR 3359 MoDyS, Modélisation des dynamiques spatiales, Section 39 et 32 du Comité national de la recherche scientifique, CNRS, 98 p.*

RODIER, CIEZAR et MOREAU 2013

Rodier X., Ciezar P. et Moreau A. - Using GIS in French Rescue Archaeology. The Choice of Inrap: a Tool for Research at the Scale of Excavation, *in* : Contreras F., Melero F. J. et Farjas M. (dir.), *38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA2010, Granada, Spain, April 2010*, p. 217-220.

RODIER et GALINIE 2006

Rodier X. et Galinié H. - Figurer l'espace/temps de Tours pré-industriel : essai de chrono-chorématique urbaine, *M@ppemonde*, 83.

RODIER, GALINIE et BRUNET 2010

Rodier X., Galinié H. et Brunet R. - Tours : étude chrono-chorématique, *M@ppemonde*, 100.

RODIER, GRATALOUP et GUILLOTEAU 2010

Rodier X., Grataloup C. et Guilloteau C. (dir.) - Chrono-chorématique urbaine, *M@ppemonde*, 100.

RODIER et KADDOURI 2012

Rodier X. et Kaddouri L. - Modéliser les dynamiques spatiales en sciences humaines, *in* : Bertoncello F., Braemer F. dir., *Variabilités environnementales, mutations sociales. Nature, Intensités, Échelles et Temporalités des changements*, XXXIIe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, éditions APDCA, Antibes, p. 115-126.

RODIER et LAURENT 2007

Rodier X. et Laurent A. - La connaissance archéologique de la ville, *in* Galinié H. (dir.), *Tours antique et médiéval. Lieux Vie Temps Ville 40 ans d'archéologie urbaine*, 30^e Supp. à la RACF, numéro spécial de la collection Recherches sur Tours, FERACF, Tours, p 40-44.

RODIER, MOREAU et CIEZAR 2011

Rodier X., Moreau A. et Ciezar P. - SIG et archéologie préventive, le de l'Inrap : un outil d'aide à la recherche à l'échelle de la fouille, *in* : Rodier X. (dir.), *Information spatiale archéologie, Archéologiques*, Errance, p. 33-38.

RODIER et SALIGNY 2006

Rodier X. et Saligny L. - Utilisation du GPS en prospection, *in* Dabas A. (dir.), *La prospection*, p. 13-19.

RODIER et SALIGNY 2008

Rodier X. et Saligny L. - Social features, Spatial features and Time features: An urban archaeological data model, *in* : Posluschny A., Lambers K. et Herzog I. (dir.), *Layers of Perception Proceedings of the 35th CAA Conference, Berlin, Germany, 2-6 April 2007*, Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn.

RODIER et SALIGNY 2010

Rodier X. et Saligny L. - Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

RODIER et SALIGNY 2011

Rodier X. et Saligny L. - Abstraire : formaliser et modéliser l'information archéologique, in : Rodier X. (dir.), *Information spatiale archéologie*, Archéologiques, Errance, p. 39-55.

RODIER, THEUREAU et BLANCHARD 2007

Rodier X., Theureau C. et Blanchard P. - La fouille de la chapelle Saint-Lazare, in Galinié H. (dir.), *Tours antique et médiéval. Lieux Vie Temps Ville 40 ans d'archéologie urbaine*, 30^e Supp. à la RACF, numéro spécial de la collection Recherches sur Tours, FERACF, Tours, 137-142.

RODIER et TROIN 2004

Rodier X. et Troin F. - Le patrimoine architectural à Héliopolis (Le Caire) : de la cartographie au SIG, in : Bord J.-P. (dir.), *Les cartes de la connaissance, actes du colloque Cartographie, géographie et sciences sociales*, Karthala, Paris, p. 147-161.

RODRIGUEZ-MURO et CALVANESE 2009

Rodriguez-Muro M. et Calvanese C. - Towards an open framework for Ontology Based Data Access with Protégé and DIG 1.1, in : Dolbear C., Ruttenberg A. et Sattler U. (dir.), *Proceedings of the Fifth OWLED Workshop on OWL: Experiences and Directions Collocated with the 7th International Semantic Web Conference (ISWC-2008) Karlsruhe, Germany, October 26-27, 2008*, CEUR-WS.org.

RODRIGUEZ-MURO, KONTCHAKOV et ZAKHARYASCHEV 2013 a

Rodriguez-Muro M., Kontchakov R. et Zakharyashev M. - OBDA with Ontop, in : Gonçalves R., Jiménez-Ruiz E., Kazakov Y., Matentzoglou N. et Parsia B. (dir.), *Proceedings of ORE (Ulm, 22 July)*, CEUR Workshop Proceedings, CEUR-WS.org, p. 101-106.

RODRIGUEZ-MURO, KONTCHAKOV et ZAKHARYASCHEV 2013 b

Rodriguez-Muro M., Kontchakov R. et Zakharyashev M. - Ontop at work, in : Jupp S. et Srinivas K. (dir.), *Proceedings of OWLED (Montpellier, 26-27 May)*. CEUR Workshop Proceedings, CEUR-WS.org.

RUAS et SANDERS 2015

Ruas A. et Sanders L. - Regards croisés sur la modélisation des dynamiques spatiales, *Revue Internationale de Géomatique*, 25, 3/2015 : 275-300.

SALIGNY *et al.* 2013

Saligny L., Rodier X., Gauthier E., Poirier N., Georges-Leroy M., Bertoncello F. et Weller O. - Process Formalization and Conceptual Modelling in the Study of Territorial Dynamics, in : Earl G., Wheatley D., Sly T., Chrysanthi A., Murrieta-Flores P., Papadopoulos C. et Romanowska I. (dir.), *40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton 26-29 March 2012*, Amsterdam University Press, Amsterdam, p. 438-448.

SALIGNY *et al.* 2015

Saligny L., Granjon L., Huet T., Simon G., Rodier X. et Lefebvre B. - OH_FET: a computer application for analysing urban dynamics over long time spans, in : Giligny F., Djindjian F., Costa L., Moscati P. et Robert S. (dir.), *CAA2014, 21st Century Archaeology, 42nd International Conference on Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology*, Paris, p. 381-392.

SANDERS 2007

Sanders L. - Objets géographiques et simulation agent, entre thématique et méthodologie, *Revue Internationale de Géomatique*, 17, 2 : 135-160.

SANDERS et RUAS 2015

Sanders L. et Ruas A. - *Revue Internationale de Géomatique Vol.25 n°3 (2015)*, Lavoisier, Paris, 197 p.

SCHMITT et PUMAIN 2013

Schmitt C. et Pumain D. - Modélographie multi-agents de la simulation des interactions sociétés-environnement et de l'émergence des villes, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

SIMON 2010

Simon G. - Vendôme: étude chrono-chorématique, *M@ppemonde*, 100

SIMON 2012

Simon G. - Modélisations multi-scalaires des dynamiques urbaines dans la longue durée : l'exemple du quartier abbatial de Vendôme (41), *Cybergeo : European Journal of Geography*.

SITTLER 2004

Sittler B. - Revealing historical landscapes by using Airborne Laser Scanning a 3-d modell of ridge and furrow in forests near rastatt (Germany), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.

SITTLER et HAUGER 2007

Sittler B. et Hauger K. - Les apports du laser aéroporté à la documentation de parcellaires anciens fossilisés par la forêt : l'exemple des champs bombés de Rastatt en Pays de Bade, in : Dupouey J.-L., Dambrine E., Dardignac C. et Georges-Leroy M. (dir.), *La mémoire des forêts. Actes du colloque « Forêt, Archéologie et Environnement » 14 - 16 décembre 2004*, p. 155-161.

SOJA 1989

Soja E. W. - *Postmodern geographies: the reassertion of space in critical social theory*, Verso, 276 p.

SZABADOS et LETRICOT 2012

Szabados A.-V. et Letricot R. - L'ontologie CIDOC CRM appliquée aux objets du patrimoine antique, in : Costa L., Djindjian F. et Giligny F. (dir.) - *Actes des 3èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2012 (Paris, 1-2 juin 2012)*, 5^e suppl. à *Archeologia e Calcolatori*.

TANNIER *et al.* 2014

Tannier C., Zadora-Rio É., Leturcq S., Rodier X. et Lorans É. - Une ontologie pour décrire les transformations du système de peuplement européen entre 800 et 1100, in : Phan D. (dir.), *Ontologies et modélisation par SMA en SHS*, Hermès - Lavoisier, p. 289-310.

THERIAULT et CLARAMUNT 1999

Thériault M. et Claramunt C. - La représentation du temps et des processus dans les SIG: une nécessité pour la recherche interdisciplinaire, *Revue Internationale de Géomatique*, 9, 1 : 67-100.

THERY 1990

Théry H. - Chronochorèmes et paléochorèmes : la dimension temporelle dans la modélisation graphique, in : André Y., Bailly A., Clary M., Ferras R. et Guérin J.-P., *Modèles Graph. Représentations Spatiales*, Anthropos/Reclus, Paris/Montpellier, p. 41-61.

VON THÜNEN 1926

von Thünen J. H. - *Der Isolierte Stadt in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Hamburg.

TOBLER 1970

Tobler W. - A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, *Economic Geography*, 46 : 234-240.

TRUEL 2007

Truel Y. - *Représentation fiscale au XVIIIe siècle : le Haut-Ségala quercynois. Le compoix de Saint-Cyrgues (1636)*, Mémoire de Master 2. Université de Paris I Panthéon-Sorbonne.

VINCE 1996

Vince A. - Editorial, *Internet Archaeology*, 1

WEHR et LOHR 1999

Wehr A. et Lohr U. - Airborne laser scanning—an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 2–3 : 68-82.

ZADORA-RIO 1986

Zadora-Rio É. - Parcs à gibier et garennes à lapins : contribution à une étude archéologique des territoires de chasse dans le paysage médiéval, *Hommes Terres Nord*, 2-3, : p. 133-139.

ZADORA-RIO 2008

Zadora-Rio É. (dir.) - *Des paroisses de Touraine aux communes d'Indre-et-Loire : la formation des territoires*, 34^e Suppl. à la RACF, FERACF, Tours, 303 p.

ZADORA-RIO 2010

Zadora-Rio É. - Planification agraires et dynamiques spatio-temporelles, *Agri centuriati. An international journal of landscape archaeology*, 7 : 133-153.

ZADORA-RIO 2014

Zadora-Rio É. (dir.) - *Atlas Archéologique de Touraine*, 53^e Suppl. à la RACF, FERAC, Tours.

ZADORA-RIO et GALINIE 2001

Zadora-Rio É. et Galinié H. - La fouille du site de Rigny, 7e-19e s. : l'habitat, les églises, le cimetière. Troisième et dernier rapport préliminaire (1995-1999), *RACF*, 40 : 167-242.

ZADORA-RIO et GALINIE 2014 a

Zadora-Rio É. et Galinié H. - Rigny-Ussé : les trois églises successives de Rigny (7e /8e s.-1859), in : Zadora-Rio É. (dir.), *Atlas Archéologique Touraine*, 53^e Suppl. à la RACF, FERAC, Tours

ZADORA-RIO et GALINIE 2014 b

Zadora-Rio É. et Galinié H. - Rigny-Ussé : la colonge de Rigny, centre d'exploitation d'un domaine rural de Saint-Martin de Tours aux 7e-8e siècles, in : Zadora-Rio É. (dir.), *Atlas Archéologique Touraine*, 53^e Suppl. à la RACF, FERAC, Tours

ZADORA-RIO et GALINIE 2014 c

Zadora-Rio É. et Galinié H. - Rigny-Ussé: la fouille de l'ancien centre paroissial de Rigny et les transformations du cimetière (milieu 8e s.-1865), in : Zadora-Rio É. (dir.), *Atlas Archéologique Touraine*, 53^e Supp. à la *RACF*, FERAC, Tours

ZADORA-RIO 1994

Zadora-Rio É. - Le système de gestion des données de fouilles de Rigny, *Le médiéviste et l'ordinateur*, 29, p. 31-35.

ZADORA-RIO et GALINIÉ 1995

ZADORA-RIO É. et GALINIÉ H. - La fouille de l'ancien centre paroissial de Rigny (commune Rigny-Ussé, Indre-et-Loire)- Deuxième rapport préliminaire (1992-1994), *RACF*, 34 : 195-249.

ZADORA-RIO, GALINIÉ, *et al.* 1992

ZADORA-RIO É., GALINIÉ H., *et al.* - Fouilles et prospections à Rigny-Ussé (Indre et Loire), rapport préliminaire 1986-1991, *RACF*, 31 : 75-166.

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Fig. 1 : Exemple de relevé d'un trou de poteau par photographie et de son intégration dans un SIG, Tours, site 16.	13
Fig. 2 : L'ancien centre paroissial de Rigny en cours de fouille.	14
Fig. 3 : Transformations des bâtiments de la colonge de Rigny (Indre-et-Loire) aux 7e-8e siècles.	15
Fig. 4 : Les trois églises de Rigny (Indre-et-Loire).	16
Fig. 5 : Les transformations du cimetière de Rigny (Indre-et-Loire) du milieu du 8e siècle à 1865.	17
Fig. 6 : Schéma global du processus SIG proposé à l'Inrap ([55] RODIER, MOREAU ET CIEZAR 2011 ; Annexe 2 ; [38] ; RODIER, CIEZAR ET MOREAU 2013).	19
Fig. 7 : Processus de l'analyse stratigraphique ([18] GALINIE, HUSI, <i>et al.</i> 2005).	22
Fig. 8 : Schéma d'élaboration de la connaissance archéologique ([56] RODIER et SALIGNY 2011 ; Annexe 2).	23
Fig. 9 : Exemple archéologique de changement d'échelle sémantique, spatiale et temporelle ([56] RODIER et SALIGNY 2011 ; Annexe 2).	24
Fig. 10 : Fiche d'aide à la datation développée par Philippe Husi dans ArSol ([40] HUSI et RODIER 2008 ; Annexe 7).	34
Fig. 11 : Interface web d'ArSol.	35
Fig. 12 : Principe de fonctionnement d'ArSol avec sa version Web et l'interrogation via le CIDOC CRM ([34] LE GOFF <i>et al.</i> 2014 ; Annexe 8).	38
Fig. 13 : Portail <i>Archaeology Data Service</i>	42
Fig. 14 : Atlas Archéologique de Touraine.	44
Fig. 15 : Plan de topographie historique de Londres Anglo-Saxon (BIDDLE, HUDSON et HEIGHWAY 1973).	49
Fig. 16 : Principales villes en Europe où l'étude interdisciplinaire des terres noires a été conduite (BORDERIE, FONDRILLON, <i>et al.</i> 2013).	55
Fig. 17 : <i>Caesarodunum</i> (Tours) vers 150 (GALINIE 2007).	56
Fig. 18 : Potentiels d'interactions des villes de la cité de Nîmes (GARMY et KADDOURI 2013).	58
Fig. 19 : Classement des orientations des limites du parcellaire du 19e siècle à Tours ([28] RODIER 2000 ; GALINIE <i>et al.</i> 2003 : [69] ; Annexe 5).	60

Fig. 20 : Modèle de l'épaisseur du dépôt anthropique dans l'agglomération tourangelle ([9] MORIN <i>et al.</i> 2013 ; [8] MORIN <i>et al.</i> 2014 ; Annexe 14).	60
Fig. 21 : Valeurs urbaines (1 à 9) et valeurs d'usage (11 à 92) d'après la grille d'analyse des fonctions urbaines élaborée par le Centre National d'Archéologie Urbaine ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15).....	62
Fig. 22 : L'organisation des informations et les étapes de leur traitement dans ToToPI ([25] GALINIE et RODIER 2002 ; Annexe 6).	63
Fig. 23 : Topographie de Tours vers 950 (GALINIE 2007).	64
Fig. 24 : La table des chorèmes de Roger Brunet (1986).....	66
Fig. 25 : Le langage graphique de l'Atelier de chrono-chorématique urbaine du Cnau (DESACHY et DJAMENT 2013).	67
Fig. 26 : La trajectoire-type d'une ville de France selon la frise de l'Atelier de chrono-chorématique urbaine du Cnau (DESACHY et DJAMENT 2013).....	68
Fig. 27 : Proposition de chrono-chorotype de la ville de Tours ([17] RODIER et GALINIE 2006).	70
Fig. 28 : Comparaison des limites de communes de Touraine en 1791 avec les limites modélisées ([59] RODIER 2008 ; Annexe 18).	72
Fig. 29 : Simulations rétrospectives des limites paroissiales de Touraine fondées sur le modèle Pentes_Hydro vers 900 et vers 1200 ([59] RODIER 2008 ; Annexe 18).	74
Fig. 30 : Processus de d'élaboration du graphe dual du parcellaire ([35] RODIER, LE COUEDIC, <i>et al.</i> 2013).....	76
Fig. 31 : Test d'ajustement d'un graphe aspatial sur un plan parcellaire à l'aide de points invariants ([11] LE COUEDIC <i>et al.</i> 2012 ; Annexe 10).	77
Fig. 32 : Principe d'indentification des divisions et des fusions dans les graphes duaux des parcellaires ([37] RODIER, HAUTEFEUILLE, <i>et al.</i> 2013).....	78
Fig. 33 : Programme SOLiDAR, emprise de l'acquisition LiDAR et données de la prospection pédestre effectuée par Louis Magiorani.	80
Fig. 34 : Programme SOLiDAR, planche de labour en plan (ombrage azimuth 315°, élévation 35°) et en coupe (classes sol et végétation du nuage de points LiDAR) dans le domaine de Chambord (Loire-et-Cher).	83
Fig. 35 : Programme SOLiDAR, parcellaire marqué par des talus mis en évidence par le LiDAR (<i>topographic position index</i>) dans la forêt domaniale de Russy (Loir-et-Cher)	83
Fig. 36 : La triade de Donna Peuquet (1994) et ses combinaisons ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19).....	86

Fig. 37 : Le système « espace urbanisé ancien » ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12), modélisation HBDS (<i>Hypergraph-Based Data Structure</i> (Bouille et Saligny 2011))	87
Fig. 38 : Thèmes d'études selon l'association deux à deux des dimensions du modèle OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).	88
Fig. 39 : schéma général du modèle OH_FET (Objet Historiques, Fonction, Espace, Temps ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12)).....	88
Fig. 40 : Les trois échelles d'analyse auxquelles le modèle OH_FET a été appliqué ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19).	91
Fig. 41 : Les dynamiques spatio-fonctionnelles multiscalaires entre Entité Fonctionnelle (valeur urbaine à l'échelle de la ville) et Élément Constitutif (valeurs fonctionnelles à l'échelle du quartier) (SIMON 2012).....	92
Fig. 42 : Conversion d'Objets Historiques en Entités Spatiales selon le modèle OH_FET ([19] GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004 ; Annexe 15 ; [15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).....	93
Fig. 43 : Les relations temporelles de James Allen (1984).	93
Fig. 44 : Conversion d'Objet Historique en Entités Temporelles selon le modèle OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12).....	94
Fig. 45 : Modélisation des éléments d'un diagramme stratigraphique en Entités Temporelles selon le modèle OH_FET ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19).....	94
Fig. 46 : Apparitions et disparitions des Faits dans la distribution des Entités Temporelles issues du diagramme stratigraphique de la fouille du site 16 à Tours ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe 19). 1, construction d'une structure homogène au début de l'occupation du site. 2, série de traces d'occupation domestique (fosses diverses et trous de poteau) qui pourrait marquer un changement dans le mode d'occupation du site. 3, apparition d'une structure suivie de sa disparition qui traduit sa faible durée de vie. 4, structure peu marquante dans l'histoire du site (double série de trous de poteau correspondant à une haie d'arbres ou une clôture), le pic d'apparitions correspond au nombre important de Faits contemporains.	95
Fig. 47 : Répartition du nombre d'Objets Historiques par Entités Temporelles dans les données de ToToPI ([52] LEFEBVRE, RODIER et SALIGNY 2012 ; Annexe19).	96
Fig. 48 : Schéma conceptuel de données du modèle OH_FET ([15] RODIER et SALIGNY 2010 ; Annexe 12), modélisation HBDS (<i>Hypergraph-Based Data Structure</i> (BOUILLE et SALIGNY 2011)).	97
Fig. 49 : Principes de fonctionnement de l'application OH_FET ([33] SALIGNY <i>et al.</i> 2015 ; Annexe 22).	98
Fig. 50 : ANR ArchaeDyn, formalisation des processus des systèmes de diffusion de produits manufacturés ([36] SALIGNY <i>et al.</i> 2013 ; Annexe 20).	100

Fig. 51 : Modèle conceptuel du système de diffusion de produits manufacturés ([36] SALIGNY <i>et al.</i> 2013 ; Annexe 20), modélisation HBDS (<i>Hypergraph-Based Data Structure</i> (BOUILLE et SALIGNY 2011)).	101
Fig. 52 : Différence entre Objet Historique et Objet Géographique ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4).	102
Fig. 53 : Modèle de la modélisation proposé par François Durand-Dastès (1992).	104
Fig. 54 : Analogie entre les vocabulaires de l'espace et du temps pour l'étude des dynamiques spatiales ([39] RODIER et KADDOURI 2012 ; Annexe 4).	106
Fig. 55 : Matrice d'exploration des données et des processus spatio-temporelles proposée par Hélène Mathian (rencontre du GdR MoDyS 2007 (MATHIAN et SANDERS 2014 : 84-85)).	107
Fig. 56 : Le système de production d'espace (BRUNET et DOLLFUS 1990 : 32).	108
Fig. 57 : Succession dans le temps d'états du système de production d'espace.	109
Fig. 58 : Schéma des temporalités de l'espace géographique (ELISSALDE 2000).	110
Fig. 59 : Projection régressive du modèle de production d'espace ; a, chaque composante du modèle a une durée (profondeur) depuis l'état actuel observé ; b, les transformations suivent un rythme propre à chaque composante ; c et d, les relations entre les composantes ont leur propre rythme de transformation ; e, l'état lacunaire des connaissances rend particulièrement difficile l'établissement des relations dans le temps long.	112
Fig. 60 : ANR TransMonDyn, définition des entités du modèle de la transition 800-1100 ([49] TANNIER <i>et al.</i> 2014 ; Annexe 21).	115
Fig. 61 : ANR TransMonDyn, Schéma simplifié des dynamique des entités sociales et spatiales du modèle de la transition 800-1100 ([49] TANNIER <i>et al.</i> 2014 ; Annexe 21).	116
Fig. 62 : Schéma synthétique de mes travaux et perspectives de recherche.	119