



HAL
open science

Rapport intermédiaire 2024 du Programme Collectif de Recherche (2024-2026) le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR FERAPO)

Alexandre Disser, Gaspard Pagès, Philippe Fernandez, Marie-Claude Jolly-Saad, Jean-Noël Lamiable, Maxime L'Héritier, Alan Le Saout, Jordi Mach, Jean-Charles Méaudre, Florian Téreygeol

► To cite this version:

Alexandre Disser, Gaspard Pagès, Philippe Fernandez, Marie-Claude Jolly-Saad, Jean-Noël Lamiable, et al.. Rapport intermédiaire 2024 du Programme Collectif de Recherche (2024-2026) le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR FERAPO). CNRS; Ministère de la culture et de la communication; Drac - SRA Occitanie. 2024, pp.141. halshs-04852284

HAL Id: halshs-04852284

<https://shs.hal.science/halshs-04852284v1>

Submitted on 29 Jan 2025

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.

Rapport intermédiaire 2024
Programme Collectif de Recherche (2024-2026)
Le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales
(PCR FERAPO)



Traces d'exploitation de minerai de fer au col de Belh (2150m), crédit : Elsa Lacaze

Par Alexandre Disser, Gaspard Pagès

Avec la collaboration de :

Philippe Fernandez, Marie-Claude Jolly-Saad, Jean-Noël Lamiable, Maxime L'Héritier, Alan Le Saoût, Jordi Mach, Jean-Charles Méaudre, Florian Téreygeol

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
LAPA-IRAMAT UMR 7065 & LAPA-NIMBE UMR 3685
Archéologies et Sciences de l'Antiquité, ArScAn UMR 7041
Association Pyrène

Service Régional de l'Archéologie
Direction Régionale des Affaires Culturelles Occitanie
Ministère de la Culture



Table des matières

Fiche signalétique	9
Najar 02 – mots-clefs thésaurus	10
Intervenants	11
Localisation du site du Najar 02	12
Notice BSR – PCR FERAPO.....	18
Notice BSR – Le Najar 02 SD 2024	19
I. Introduction – positionnement scientifique du programme et rappel des résultats antérieurs...20	
I.1. Méthodologie d'étude mise en place pour une recherche systématisée sur le long terme	20
I.2. Rappel des principaux résultats de la triennale 2021-2023	21
I.3. Objectifs scientifiques de la triennale 2024-2026	22
II. Bilan 2024 de l'acquisition, de la gestion et de l'exploitation des données de terrain, chronologiques et chimiques.....	24
II. 1. Prospections réalisées en 2024	24
I.1.1. Les indices toponymiques sur la commune de Balaguères (INSEE 09035).	24
I.1.2. L'exploitation minière de l'Argentère sur la commune d'Alos (INSEE 09008).....	25
I.1.3. Les sites de la vallée de Siguer	26
I.1.4. La forge d'Unac (numéro projet 09318_1).....	27
I.1.5. La mouline du Pla de Magat (numéro projet 09030_10).....	28
I.1.5. Les indices sidérurgiques sur la commune de Capoulet-et-Junac (INSEE 09077)	29
I.1.6. Le ménié de Génat	29
I.1.7. L'indice toponymique de la Mouline à Saint-Lary.....	29
I.1.8. Un indice sidérurgique sous le village d'Arignac.....	29
I.1.9. Etat de la forge du village de l'Hospitalet	30
II.2. Les dynamiques d'implantation des ateliers de production du fer dans les massifs montagneux de la moitié orientale des Pyrénées françaises	30
II.2.1. Répartition générale	30
II.2.2. Évolution de la métallurgie directe de la Protohistoire à l'Époque moderne.....	34
II.3. La mise en évidence d'une sidérurgie d'époque wisigothique en rapport avec l'exploitation du gisement du Puymorens	42
II.3. Mise en place d'un système de collecte synchronisée de données de terrain	61
II.4. Définition des priorités pour les campagnes analytiques à venir	61
III. La circulation des alliages ferreux produits dans les espaces sidérurgiques des Pyrénées centrales et orientales	70
III.1. Rappel de la méthodologie analytique	72
III.2. Etat d'avancement de l'étude des fers de trait de Quirbajou (Alan Le Saout).....	73

III.3. Etat d'avancement de l'étude des fers architecturaux du Roussillon.....	78
IV. Evaluation du potentiel archéologique et historique du site du Najar 02 (Savignac-les-Ormeaux, Ariège).....	84
IV.1. Historique des recherches menées sur le site du Najar 02.....	84
IV.2. Bilan des recherches effectuées dans les Archives Départementales de l'Ariège (par Philippe Fernandez).....	86
IV.2.1. Interprétation des sources étudiées.....	86
IV.2.2. Transcriptions des documents.....	89
IV.3. Localisation du site.....	91
IV.4. Implantation du système topographique du site et exposé des méthodes de relevé.....	93
IV.4. Stratégie d'implantation et description des sondages.....	95
IV.4.1. Implantation des sondages.....	95
IV.4.1. Sondage 1.....	97
IV.4.2. Sondage 2.....	98
IV.4.3. Sondage 3.....	102
IV.4.4. Sondage 4.....	105
IV.4.5. Sondage 5.....	107
IV.4.6. Sondage 6.....	109
IV.4.7. Sondage 7.....	111
IV.4.8. Observations faites hors des sondages.....	111
IV.5. Mise en perspective des données de terrain par ensemble fonctionnel.....	116
IV.5.1. Le système d'adduction d'eau.....	116
IV.5.2. Le potentiel atelier de la famille Peixie.....	117
IV.5.3. L'amas de scories principal et les activités sidérurgiques médiévales.....	118
IV.6. Plan d'intervention pour la campagne 2025.....	120
V. Références bibliographiques.....	121
VI. Annexes.....	125
VI.1. Inventaire des documents photographiques.....	125
VI.2. Inventaire du mobilier.....	133
VI.3. Inventaire des prélèvements.....	137
VI.3. Inventaire des US.....	140

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation du site du Najar 02 à l'échelle régionale (Fond de carte : SCAN 100 ® de l'IGN).....	13
Figure 2 : Localisation du site du Najar 02 à l'échelle locale (fond de carte : SCAN 25 ® de l'IGN)	13
Figure 3 : Parcelle cadastrale concernée par l'opération de sondage sur le site du Najar 02 (Fond de carte : PCI Vecteur de l'IGN)	13
Figure 4 : Localisation des zones prospectées sur la commune de Balaguères en 2024, ainsi que des vestiges enregistrés comme le site 'Sainte-Catherine 01'	25
Figure 5 : Localisation des pingens repérées sur le secteur de l'Argentère à Alos	26
Figure 6 : Extrait du cahier des plans du cadastre d'Unac ; AD09, 158EDT/CC2, vue AD09 46 ; cliché ; Jean-Noël Lamiable.....	28
Figure 7 : Carte des 150 sites déjà reconnus (noir) et des 550 nouveaux étudiés (rouge) dans le programme FERAPO.....	30
Figure 8 : Les 149 mines ou travaux miniers (triangle) et les 564 sites sidérurgiques étudiés dans le programme FERAPO (carré noir).....	31
Figure 9 : Fourchette de datation des ateliers de réduction du minerai. Les datations proviennent autant de C14, de céramiques que de texte. La fourchette pour les périodes basses est donc bien souvent une séquence d'activité alors que, pour les datations hautes, elles sont un intervalle dans lequel l'atelier a fonctionné.....	31
Figure 10 : Fourchette de datation des ateliers de réduction du minerai avec en bleu ceux utilisant la force hydraulique. Voir la légende précédente au sujet des fourchettes de datation. Ici, la datation protohistorique la plus ancienne n'apparaît pas.....	32
Figure 11 : répartition géographique des ateliers de réduction du minerai avec en bleu ceux utilisant la force hydraulique. Les triangles représentent les principales mines. Les cercles vides noirs sont les sites non hydrauliques non datés.....	33
Figure 12 : répartition des sites de réduction direct non hydraulique par ensemble topographique (polygone marron transparent). Les cercles noirs sont les sites datés et ceux vides sont non datés..	33
Figure 13 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant l'âge du Fer (IV et IIIe s. avant J.-C.).....	34
Figure 14 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire tardo-républicaine (autour des années 125 avant J.-C.). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	35
Figure 15 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire au début du Haut-Empire (autour du changement d'ère). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	36
Figure 16 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire démantèlement de la cité de Ruscino (autour des années 70). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	36
Figure 17 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire à la fin du Haut-Empire (autour des années 200). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	37

Figure 18 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant le Bas-Empire (autour des années 325). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.	38
Figure 19 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant l'époque wisigothique (autour des années 500 en haut des années 610 en bas). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	38
Figure 20 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant la domination omeyyade (autour des années 730). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	39
Figure 21 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire à l'époque carolingienne (autour des années 850). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	40
Figure 22 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant le Moyen Âge central (autour des années 1100). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	40
Figure 23 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire au cours du XIII ^e siècle au moment de l'introduction de la force hydraulique (autour des années 1250). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge. Les points bleus sont les sites utilisant la force hydraulique.	41
Figure 24 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant le bas Moyen Âge central (autour des années 1350). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Les points bleus sont les sites utilisant la force hydraulique, les rouges sont ceux de réduction directe traditionnelle.	41
Figure 25 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant l'Époque moderne (entre les années 1450 et 1550). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.....	42
Figure 26 : Secteur d'étude avec localisation des contextes archéologiques (Pyrénées-Orientales, France). En noir, les sites de réduction ; en rouge, la mine de Puymorens ; en blanc, les autres lieux mentionnés dans le texte (Pagès, Jolly-Saad 2024)	45
Figure 27 : Scorries de réduction révélée par l'érosion sur le site du Pla de les Iules (flèche).....	46
Figure 28: Couche d'accumulation de scorries (US6) sur le site de Pla de les Iules en cours de fouille	48
Figure 29: Ferrier du site du Rec de l'Orri de la Vinyola 1, visible sous la végétation.....	50
Figure 30: Vue en coupe de la couche d'accumulation de déchets métallurgiques (US3) sur le site de Rec d'en Garcia.....	51
Figure 31: Diagramme présentant les dates radiocarbon calibrées en utilisant OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021).	53
Figure 32: Anthracogramme présentant les fréquences relatives des taxons dominants dans les couches de déchets métallurgiques étudiées	56
Figure 33 : Localisation des contextes archéologiques du projet ; les marqueurs colorés représentent les degrés de priorité établis pour la poursuite de la collecte de données chronologiques	65

Figure 34 : Localisation des contextes archéologiques du projet ; les marqueurs colorés représentent les degrés de priorité établis pour la poursuite de la collecte de données chimiques	70
Figure 35 : Localisation des contextes considérés dans le cadre de l'étude des peintures de porte romanes	71
Figure 36 : Fers de trait découverts à Malbézi (photo R. Tréton 2022).....	74
Figure 37 : Localisation du site de Malbézi.....	75
Figure 38 : Modèle type d'un fer de trait retrouvé sur le site de Malbézi	77
Figure 39 : Résultats d'une démarche multivariée exploratoire sur les caractéristiques chimiques des fers architecturaux du Roussillon, d'après rapport de PCR 2022	80
Figure 40 : Comparaison des caractéristiques chimiques des échantillons du groupe 1 et du corpus de référence des Pyrénées-Orientales, d'après rapport de PCR 2022.....	81
Figure 41 : Comparaison des caractéristiques chimiques des échantillons du groupe 1 et du corpus de référence des Pyrénées-Orientales, d'après rapport de PCR 2022.....	82
Figure 42 : Comparaison des caractéristiques chimiques des échantillons du groupe 1 et du corpus de référence des Pyrénées-Orientales, d'après rapport de PCR 2022.....	83
Figure 43 : Extrait de la 'Carte de la Cerdagne française de la Cerdagne espagnole, la vallée de Carol, le Capcir, le Donézan, et partie de la Catalogne, du Valespir, du Conflent, du Languedoc et de la comté de Foix' publiée en 1718-1719 par François de la Blotière et l'ingénieur Roussel.....	85
Figure 44 : Extrait de la feuille 40 de la 'Carte générale de la France' éditée par César-François de Cassini-Thury.....	86
Figure 45 : Localisation du site du Najar 02 dans son contexte régional	91
Figure 46 : Localisation du site du Najar 02 dans son contexte local.....	92
Figure 47 : Localisation de la zone d'intérêt archéologique telle que définie par les prospections pédestres, sur fond de plan cadastral.....	93
Figure 48 : Localisation des points de référence (en rouge) définis à partir de reliefs remarquables extraits d'un MNT calculé à partir de la dalle Lidar HD 601_6180 et des stations intermédiaires utilisés pour le cheminement.....	94
Figure 49 : Localisation des points de référence implantés au cours de la campagne 2024.....	95
Figure 50 : Indication des principaux ensembles fonctionnels repérés et interprétés sur la base des observations de surface	96
Figure 51 : Localisation des tranchées de sondage réalisées au cours de l'opération NAJ24	97
Figure 52 : Coupe stratigraphique nord de la tranchée de sondage 1 (échelle 1:20).....	99
Figure 53 : Coupe stratigraphique nord de la tranchée de sondage 2 (échelle 1:20).....	101
Figure 54 : Coupes stratigraphiques nord et est de la tranchée de sondage 3 (échelle 1:20).....	103
Figure 55 : Cliché de la couronne de blocs [303] en cours de dégagement ; vue vers le sud-est.....	104
Figure 56 : amoncellement de blocs de granite mis en œuvre en bordure du cours du Najar, à environ 60 mètres en amont du sondage 3 ; vue vers le SO.....	104
Figure 57 : Coupe stratigraphique est de la tranchée de sondage 4 (échelle 1:20).....	106
Figure 58 : Coupe stratigraphique est de la tranchée de sondage 5 (échelle 1:20).....	108
Figure 59 : Coupe stratigraphique ouest de la tranchée de sondage 6 (échelle 1:20).....	110
Figure 60 : Sommet du bloc de moraine bordant au sud l'emplacement supposé du réservoir ; prise de vue vers le sud.....	112
Figure 61 : Sommet du bloc de moraine bordant au sud l'emplacement supposé du réservoir ; prise de vue vers l'ouest.....	113
Figure 62 : Aménagement de la prise d'eau du canal d'amenée, état actuel. La prise est matérialisée par deux alignements de blocs de granite (centre du cliché). La vasque d'eau est visible en arrière plan. Prise de vue vers l'ouest.....	113

Figure 63 : Contexte géologique du col de Belh, et localisation des potentielles zones d'exploitation repérées. Fond de carte : feuilles 1087 et 1093 de la carte géologique au 1:50000, ©BRGM.....	114
Figure 64 : Photographie aérienne du supposé secteur d'exploitation 1 du col de Belh.	115
Figure 65 : Cliché in situ d'un bloc interprété comme étant de la sidérite	115
Figure 66 : placages ferrugineux en place dans le secteur 2 du col de Belh.....	116
Figure 67 : Zones d'intervention envisagées pour la campagne de terrain 2025 sur le site du Najjar 02	120

Fiche signalétique

Identité de l'opération

Programme collectif de recherche FERAPO – 'Le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales'

Opération n°14 12461

Arrêté préfectoral DRAC Occitanie n°76-2024-0688

Départements : Ariège et Pyrénées-Orientales

Programme de recherche CNRA : Axe n°12 'Mines et matériaux associés'

Lieu de dépôt temporaire du mobilier archéologique : LAPA-IRAMAT, Bât. 637 CEA – Centre de Saclay 91191
GIF-SUR-YVETTE CEDEX

Identité du site du Najar 02

Commune : Savignac-les-Ormeaux (09283)

Coordonnées Lambert 93 (EPSG :2154) : E 601110 / N 6179400 ; altitude (NGF69) : 1125m

Parcelle cadastrale : Section C parcelle 1187

Propriétaire : Véronique FRETAULT

Type d'opération : Sondages (SD)

Opération n° 14 12462

Arrêté préfectoral DRAC Occitanie n°76-2024-0689

Statut du terrain au regard des législations sur le patrimoine et l'environnement : Néant

Lieu de dépôt temporaire du mobilier archéologique : LAPA-IRAMAT, Bât. 637 CEA – Centre de Saclay 91191
GIF-SUR-YVETTE CEDEX

Responsable scientifique de l'opération : Alexandre Disser CNRS UMR 7065 IRAMAT & CNRS UMR 3685
NIMBE

Dates d'intervention : 4 au 17 août 2024

Najar 02 – mots-clefs thésaurus

Chronologie

- Paléolithique
 - Inférieur
 - Moyen
 - Supérieur
 - Mésolithique et Épipaléolithique
- Néolithique
 - Ancien
 - Moyen
 - Récent
- Protohistoire
 - Chalcolithique
 - Âge du Bronze
 - Ancien
 - Moyen
 - Récent
 - Âge du Fer
 - Hallstatt (premier âge du Fer)
 - La Tène (second âge du Fer)
- Antiquité romaine (gallo-romain)
 - République romaine
 - Empire romain
 - Haut-Empire (jusqu'en 284)
 - Bas-Empire (de 285 à 476)
- Époque médiévale
 - haut Moyen Âge
 - Moyen Âge central
 - bas Moyen Âge
- Temps modernes
- Époque contemporaine
 - Ère industrielle

Sujets et thèmes

- Édifice public
- Édifice religieux
- Édifice militaire
- Bâtiment
- Structure funéraire
- Voirie
- Hydraulique
- Habitat rural
- Villa
- Bâtiment agricole
- Structure agraire
- Urbanisme
- Maison
- Structure urbaine
- Foyer
- Structures en creux
- Fossé
- Sépulture
- Grotte
- Abri
- Mégalithe
- Artisanat
- Argile : atelier
- Atelier

Mobilier

- Industrie lithique
- Industrie osseuse
- Céramique
- Restes végétaux
- Faune
- Flore
- Objet métallique
- Arme
- Outil
- Parure
- Habillement
- Trésor
- Monnaie
- Verre
- Mosaique
- Peinture
- Sculpture
- Inscription
- Meule
- Scories

Études annexes

- Géologie
- Datation
- Anthropologie
- Paléontologie
- Zoologie
- Botanique
- Palynologie
- Macrorestes
- An. de céramique
- An. de métaux
- Numismatique
- Conservation
- Restauration

Intervenants

Intervenants scientifiques

Prénom, nom	Organisme	Spécialité	Tâches affectées à l'opération
Alexandre Dissier	CNRS UMR 7065	Archéologue, archéomètre	Responsabilité des sondages au Najjar 02, traitement et synthèse des données
Gaspard Pagès	IFPO	Archéologue, archéomètre	Synthèse des données archéologiques
Florian Téreygeol	CNRS UMR 7065	Archéologue, archéomètre	Expertise et encadrement des sondages au Najjar 02
Jean-Charles Méaudre	CNRS UMR 7065	Archéologue	Acquisition données 3D (clichés rapprochés et drone), DAO
Jean-Noël Lamiable	Pyrène	Archéologue	Recherches en archives et sur le terrain
Marie-Claude Jolly-Saad	CNRS UMR 7041	Paléobotaniste	Etudes anthracologiques
Florence Guillot	Indépendante, chercheuse associée TRACES UMR 5608	Archéologue, historienne	Topographies souterraines
Jordi Mach	SCOP Perspectives	Archéologue, historien	Gestion des collections, traitement et synthèse des données, recherches en archives
Philippe Fernandez	Les Forges de Pyrène	Guide conférencier, historien	Recherches en archives

Intervenants administratifs

Prénom, nom	Organisme	Fonction	Tâches affectées à l'opération
Léopold Maurel	SRA Occitanie	Conservateur régional	Autorisation et contrôle scientifique
Frédéric Maksud	SRA Occitanie	Ingénieur	Suivi administratif du dossier scientifique et expertise sur le terrain
Christine Dieulafait-Sauvage	SRA Occitanie	Ingénieure	Suivi administratif du dossier scientifique
Béatrice Pic	SRA Occitanie	Ingénieure	Coordination budgétaire
Claude Dubois	Pyrène	Président	Suivi administratif du dossier financier
Martine Audras	Pyrène	Trésorière	Suivi administratif du dossier financier
Alexandre Dissier	CNRS – Pyrène	Chargé de Recherche	Montage des dossiers scientifique et administratif

Equipe de fouille Najar 02 SD 2024

Prénom, nom	Organisme	Spécialité	Tâches affectées à l'opération
Alexandre Dissier	CNRS UMR 7065	Archéologue, archéomètre	topographie, relevés, prélèvements, enregistrement
Florian Téreygeol	CNRS UMR 7065	Archéologue, archéomètre	topographie, relevés, prélèvements, enregistrement
Jean-Charles Méaudre	CNRS UMR 7065	Archéologue	Acquisition données 3D (clichés rapprochés et drone), DAO, gestion du mobilier, inventaires
Jean-Noël Lamiable	Pyrène	Archéologue	Fouille, préparation du terrain, prélèvements, suivi terrassement
Elsa Lacaze	Pyrène	Etudiante archéologie	Fouille, relevés, prélèvements
Dorian Brossier	Pyrène	Etudiant archéologie	Fouille, relevés

Localisation du site du Najar 02



Figure 1 : Localisation du site du Najar O2 à l'échelle régionale (Fond de carte : SCAN 100 ® de l'IGN)

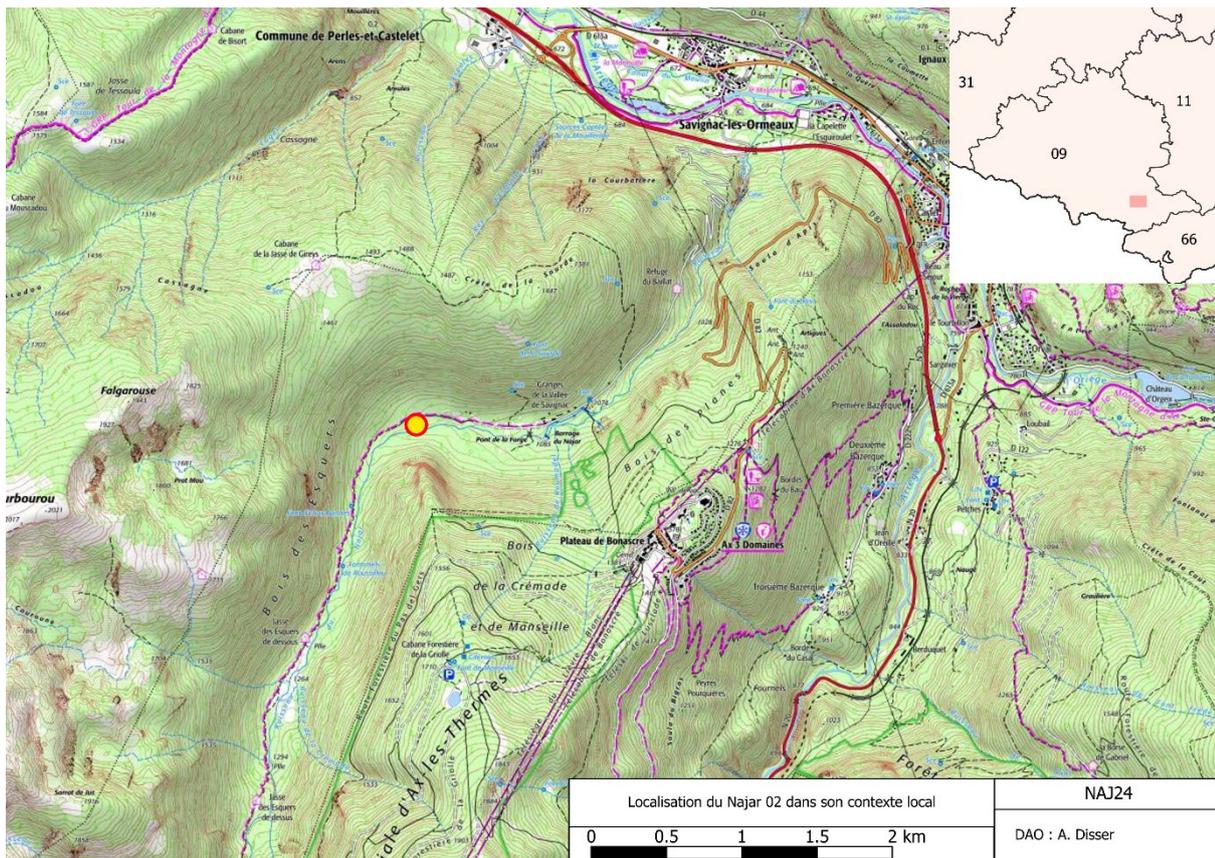


Figure 2 : Localisation du site du Najar O2 à l'échelle locale (fond de carte : SCAN 25 ® de l'IGN)

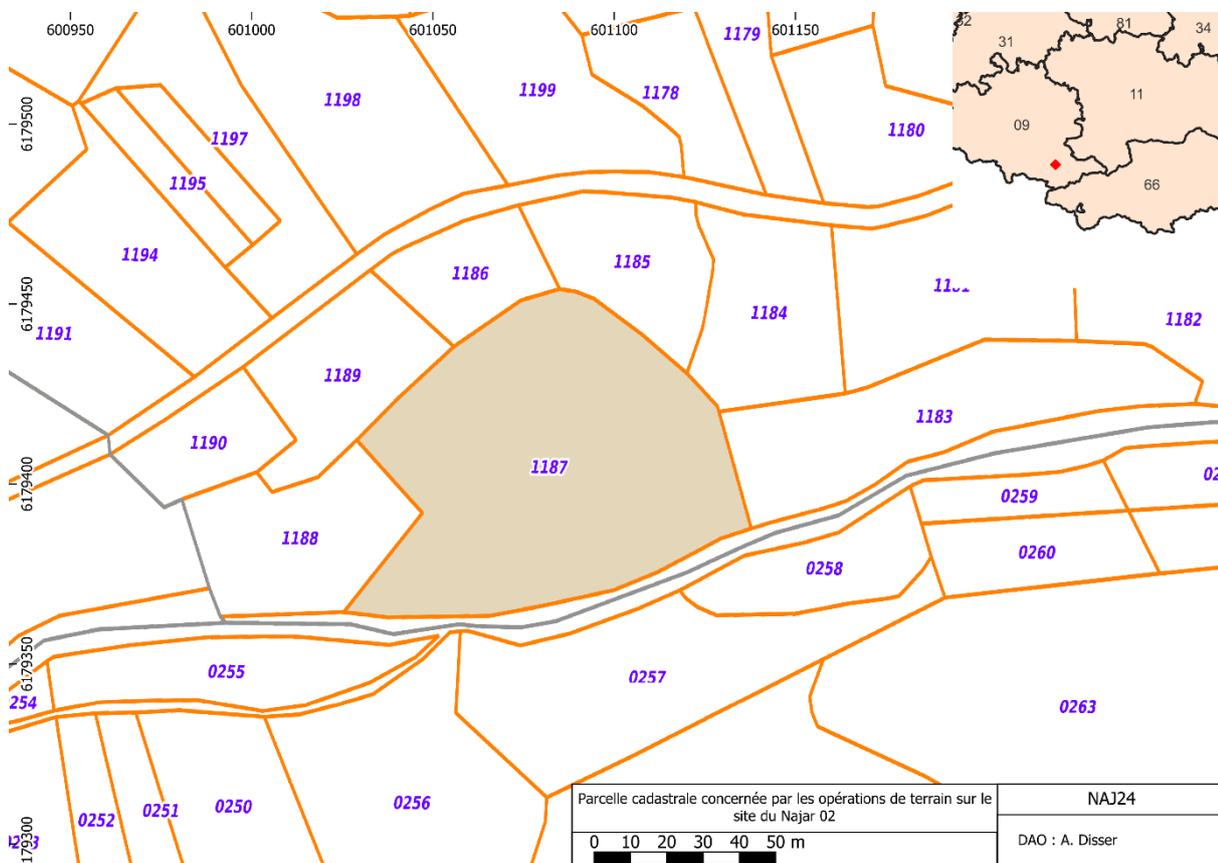


Figure 3 : Parcelle cadastrale concernée par l'opération de sondage sur le site du Najar O2 (Fond de carte : PCI Vecteur de l'IGN)



**PRÉFET
DE LA RÉGION
OCCITANIE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction régionale
des affaires culturelles**

Arrêté n° 76-2024-0688 du 13 juin 2024

portant autorisation de projet collectif de recherches.

Le Préfet de région,
Préfet de la Haute-Garonne,
Officier de la Légion d'honneur,
Commandeur de l'ordre national du Mérite ;

Vu le code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté préfectoral n° R76-2023-03-03-00024 du 3 mars 2023 portant délégation de signature à M. Michel ROUSSEL, Directeur régional des affaires culturelles ;

Vu l'arrêté modificatif n°76-2023-03-21-00003 du 21 novembre 2023 portant subdélégation de signature aux agents de la Direction régionale des affaires culturelles (compétences régionales et ordonnancement secondaire) ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR762024000142, de demande d'opération archéologique arrivé le 8 janvier 2024 ;

Vu l'avis de la CTRA, session de mai 2024

ARRÊTE

Article 1 - Monsieur Alexandre DISSER est autorisé(e), en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de projet collectif de recherches à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2026, sise en :

RÉGION : OCCITANIE

- DEPARTEMENTS : ARIEGE, PYRENEES-ORIENTALES

Intitulé de l'opération : **FERAPO, Le Fer en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales PCR 2024-2026.**

Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.

Code de l'opération : **14 12461**

Article 2 - prescriptions générales

Les recherches sont effectuées sous la surveillance du conservateur régional de l'archéologie territorialement compétent et conformément aux prescriptions imposées pour assurer le bon déroulement scientifique de l'opération.

Le responsable scientifique de l'opération informe régulièrement le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signale immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier. Il revient au préfet de région de statuer sur les mesures définitives à prendre à l'égard des découvertes.

À la fin de l'année civile, le responsable scientifique de l'opération adresse au conservateur régional de l'archéologie, en triple exemplaire papier plus un exemplaire au format pdf, un rapport accompagné des plans et coupes précis des structures découvertes et des photographies nécessaires à la compréhension du texte. L'inventaire de l'ensemble du mobilier recueilli est annexé au rapport d'opération. Il signale les objets d'importance notable. Il indique les études complémentaires envisagées et, le cas échéant, le délai prévu pour la publication.

Article 3 - destination du matériel archéologique découvert

Le responsable prend les dispositions nécessaires à la sécurité des objets mobiliers. Le mobilier archéologique est mis en état pour étude, classé, marqué et inventorié. Son conditionnement est adapté par type de matériaux et organisé en fonction des unités d'enregistrement. Le statut juridique et le lieu de dépôt du matériel archéologique découvert au cours de l'opération sont fixés conformément aux dispositions légales et réglementaires et aux termes des conventions passées avec les propriétaires des terrains concernés.

Article 4 - versement des archives de fouilles

L'intégralité des archives accompagnée d'une notice explicitant son mode de classement et de conditionnement et fournissant la liste des codes utilisés avec leur signification, fait l'objet de la part du responsable de l'opération d'un versement unique. Ce versement est détaillé sur un bordereau récapitulatif établi par le responsable de l'opération, dont le visa par le préfet de région vaut acceptation et décharge. Le lieu de conservation est désigné par le préfet de région.

Article 5 - Mouvements et prélèvements sur les objets

Pendant la durée d'étude du mobilier archéologique (maximum 5 ans) l'État est responsable de la sécurité des biens et de la réalisation des opérations d'étude scientifique nécessaires dans l'intérêt public de la recherche archéologique. Ainsi, tout mouvement des collections à des fins d'étude, d'expertise ou d'analyse, doit faire l'objet d'un accord préalable du Conservateur régional de l'archéologie. La demande à lui adresser à l'adresse sra.drac.occitanie@culture.gouv.fr, doit être accompagnée d'un inventaire des pièces concernées par ce déplacement et indiquer la durée du mouvement.

Par ailleurs, si ce transfert temporaire pour étude ou analyse induit une sortie du mobilier hors du territoire national, le responsable de l'opération doit adresser une demande spécifique d'autorisation au Conservateur régional de l'archéologie (à l'adresse sra.drac.occitanie@culture.gouv.fr, formulaire [Cerfa n°02-0083](https://www.culture.gouv.fr/Media/Thematiques/Circulation-des-biens-culturels/Files/Informations-pratiques-procedures-d-exportation/Formulaire-de-demande-d-autorisation-de-sortie-temporaire-AST-d-un-bien-culturel-Cerfa-n-02-0083), <https://www.culture.gouv.fr/Media/Thematiques/Circulation-des-biens-culturels/Files/Informations-pratiques-procedures-d-exportation/Formulaire-de-demande-d-autorisation-de-sortie-temporaire-AST-d-un-bien-culturel-Cerfa-n-02-0083>,).

Toute analyse impliquant la destruction partielle ou complète de restes humains ou animaux (prélèvement, forage, découpe) ou leur irradiation devra impérativement faire l'objet au préalable d'une demande d'autorisation spécifique au Conservateur régional de l'archéologie.

Article 6 - prescriptions particulières

Aucune.

Article 7 - Le directeur régional des affaires culturelles est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Monsieur Alexandre DISSER.

Fait à Toulouse, le 13 juin 2024

Pour le Préfet de la région Occitanie,
et par délégation,
Pour le Directeur régional des affaires culturelles,
et par subdélégation
Le conservateur régional de l'archéologie

Léopold MAUREL



**PRÉFET
DE LA RÉGION
OCCITANIE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction régionale
des affaires culturelles**

Arrêté n° 76-2024-0689 du 13 juin 2024

portant autorisation de sondage.

Le Préfet de région,
Préfet de la Haute-Garonne,
Officier de la Légion d'honneur,
Commandeur de l'ordre national du Mérite ;

Vu le code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté préfectoral n° R76-2023-03-03-00024 du 3 mars 2023 portant délégation de signature à M. Michel ROUSSEL, Directeur régional des affaires culturelles ;

Vu l'arrêté modificatif n°76-2023-03-21-00003 du 21 novembre 2023 portant subdélégation de signature aux agents de la Direction régionale des affaires culturelles (compétences régionales et ordonnancement secondaire) ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR762024000143, de demande d'opération archéologique arrivé le 8 janvier 2024 ;

ARRÊTE

Article 1 - Monsieur Alexandre DISSER est autorisé, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de sondage à partir du 1^{er} août et jusqu'au 31 août 2024, sise en :

RÉGION : OCCITANIE

- DEPARTEMENT : ARIEGE
COMMUNE : SAVIGNAC-LES-ORMEAUX

Cadastre : Section : C, Parcelle : 1187

Intitulé de l'opération : **Le Najar 02 SD 2024**.
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **14 12462**

Article 2 - prescriptions générales

Les recherches sont effectuées sous la surveillance du conservateur régional de l'archéologie territorialement compétent et conformément aux prescriptions imposées pour assurer le bon déroulement scientifique de l'opération.

Le responsable scientifique de l'opération informe régulièrement le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signale immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier. Il revient au préfet de région de statuer sur les mesures définitives à prendre à l'égard des découvertes.

À la fin de l'année civile, le responsable scientifique de l'opération adresse au conservateur régional de l'archéologie, en triple exemplaire papier plus un exemplaire au format pdf, un rapport accompagné des plans et coupes précis des structures découvertes et des photographies nécessaires à la compréhension du texte. L'inventaire de l'ensemble du mobilier recueilli est annexé au rapport d'opération. Il signale les objets d'importance notable. Il indique les études complémentaires envisagées et, le cas échéant, le délai prévu pour la publication.

Article 3 - destination du matériel archéologique découvert

Le responsable prend les dispositions nécessaires à la sécurité des objets mobiliers. Le mobilier archéologique est mis en état pour étude, classé, marqué et inventorié. Son conditionnement est adapté par type de matériaux et organisé en fonction des unités d'enregistrement. Le statut juridique et le lieu de dépôt du matériel archéologique découvert au cours de l'opération sont fixés conformément aux dispositions légales et réglementaires et aux termes des conventions passées avec les propriétaires des terrains concernés.

Article 4 - versement des archives de fouilles

L'intégralité des archives accompagnée d'une notice explicitant son mode de classement et de conditionnement et fournissant la liste des codes utilisés avec leur signification, fait l'objet de la part du responsable de l'opération d'un versement unique. Ce versement est détaillé sur un bordereau récapitulatif établi par le responsable de l'opération, dont le visa par le préfet de région vaut acceptation et décharge. Le lieu de conservation est désigné par le préfet de région.

Article 5 - Mouvements et prélèvements sur les objets

Pendant la durée d'étude du mobilier archéologique (maximum 5 ans) l'État est responsable de la sécurité des biens et de la réalisation des opérations d'étude scientifique nécessaires dans l'intérêt public de la recherche archéologique. Ainsi, tout mouvement des collections à des fins d'étude, d'expertise ou d'analyse, doit faire l'objet d'un accord préalable du Conservateur régional de l'archéologie. La demande à lui adresser à l'adresse sra.drac.occitanie@culture.gouv.fr, doit être accompagnée d'un inventaire des pièces concernées par ce déplacement et indiquer la durée du mouvement.

Par ailleurs, si ce transfert temporaire pour étude ou analyse induit une sortie du mobilier hors du territoire national, le responsable de l'opération doit adresser une demande spécifique d'autorisation au Conservateur régional de l'archéologie (à l'adresse sra.drac.occitanie@culture.gouv.fr, formulaire [Cerfa n°02-0083](https://www.culture.gouv.fr/Media/Thematiques/Circulation-des-biens-culturels/Files/Informations-pratiques-procedures-d-exportation/Formulaire-de-demande-d-autorisation-de-sortie-temporaire-AST-d-un-bien-culturel-Cerfa-n-02-0083), <https://www.culture.gouv.fr/Media/Thematiques/Circulation-des-biens-culturels/Files/Informations-pratiques-procedures-d-exportation/Formulaire-de-demande-d-autorisation-de-sortie-temporaire-AST-d-un-bien-culturel-Cerfa-n-02-0083>,).

Toute analyse impliquant la destruction partielle ou complète de restes humains ou animaux (prélèvement, forage, découpe) ou leur irradiation devra impérativement faire l'objet au préalable d'une demande d'autorisation spécifique au Conservateur régional de l'archéologie.

Article 6 - prescriptions particulières

Aucune.

Article 7 - Le directeur régional des affaires culturelles est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Monsieur Alexandre DISSER.

Fait à Toulouse, le 13 juin 2024

Pour le Préfet de la région Occitanie,
et par délégation,
Pour le Directeur régional des affaires culturelles,
et par subdélégation
Le conservateur régional de l'archéologie

Léopold MAUREL

Notice BSR – PCR FERAPO

Numéro d’OA : 12461

Responsables scientifiques de l’opération : Alexandre Disser (LAPA-IRAMAT UMR 7065 & LAPA-NIMBE UMR 3685), Gaspard Pagès (IFPO, UMIFRE 6)

Auteur : Alexandre Disser

Nature de l’opération : Programme Collectif de recherche

Couverture géographique : Occitanie, départements de l’Ariège et des Pyrénées-Orientales

Chronologie : Antiquité, Moyen Âge, époque moderne, époque contemporaine

Les recherches archéologiques et historiques menées actuellement sur la partie orientale des Pyrénées françaises sont structurées depuis 2021 sous la forme du PCR FERAPO ‘Le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales’. Les objectifs de ce programme sont de renouveler les connaissances sur les dynamiques sidérurgiques, ainsi que les stratégies d’approvisionnement en minerai mises en œuvre par le passé au sein de cet espace de montagne présentant plusieurs gisements importants de ressources ferrifères. D’un point de vue opérationnel, ce programme repose sur la mise en œuvre de prospections pédestres complétées par des sondages archéologiques ponctuels sur les sites perçus comme étant les mieux conservés. Le mobilier collecté fait l’objet d’analyses en laboratoire pour établir la chronologie des contextes sidérurgiques, ainsi que pour définir les caractéristiques physico-chimiques des matières premières, des déchets et des produits métalliques.

Au cours de la dernière année de la triennale 2021-2023 et cette première année de la nouvelle programmation, nous avons consolidé l’harmonisation des données, particulièrement les données chronologiques et chimiques. Nous disposons désormais d’un référentiel de données chimiques de plus de 300 analyses chimiques globales qui permettent de définir de façon fiable les domaines chimiques associés à l’exploitation des principaux gisements ferrifères de la zone d’étude. Un travail programmatique a par ailleurs été réalisé en 2024 afin de définir les priorités analytiques pour les années à venir. Une fois complété, ce programme analytique devrait fournir une base solide pour la reconstitution des dynamiques sidérurgiques et des modalités de circulation des minerais, qui s’avèrent particulièrement complexes étant donné l’intrication forte de facteurs économiques, politiques et géographiques dans cet espace montagnard. Dans le cadre de nos recherches sur la circulation du métal, nous avons initié une étude de cas réalisée sur des fers de trait découverts sur un site de hauteur localisé à Quirbajou (Aude), en bordure immédiate de la zone d’étude. Ce travail, qui fait l’objet d’un Master en archéologie médiévale, a mis en évidence le recours à plusieurs procédés thermo-chimiques destinés à modifier les propriétés des alliages initiaux. Le travail sera poursuivi pour tenter de déterminer quels minerais ont été utilisés pour produire le métal qui constitue ces objets. Sur la commune de Savignac-les-Ormeaux (Ariège), le potentiel archéologique d’un site métallurgique polyphasé, ayant fonctionné au Moyen Âge et à l’époque moderne, a également été évalué par une opération de sondages archéologiques.

Notice BSR – Le Najar 02 SD 2024

Numéro d’OA : 12462

Responsables scientifiques de l’opération : Alexandre Disser (LAPA-IRAMAT UMR 7065 & LAPA-NIMBE UMR 3685), Florian Téreygeol (LAPA-IRAMAT UMR 7065 & LAPA-NIMBE UMR 3685)

Auteur : Alexandre Disser

Nature de l’opération : Sondages archéologiques

Couverture géographique : Occitanie, Ariège (09), Savignac-les-Ormeaux (09283)

Chronologie : bas Moyen Âge, époque moderne

Dans le cadre des recherches menées dans le PCR FERAPO, il a été décidé d’évaluer le potentiel archéologique d’un site métallurgique (Najar 02), localisé à Savignac-les-Ormeaux. Nous avons découvert ce site en prospection en 2021 et avons réalisé de premiers sondages localisés afin d’établir la chronologie du site. Les deux secteurs sondés seraient respectivement associés à des phases d’occupation au t à la fin du xvi^e siècles. Plusieurs tranchées de sondages ont donc été réalisées afin de préciser l’organisation de ce site. En parallèle, une étude en archives a été menée, qui a fourni des informations précises sur la phase de fonctionnement la plus récente.

Les sondages ont permis d’étudier la stratigraphie du principal amas de déchets sidérurgiques du site. Celle-ci suggère une accumulation régulière, sans remobilisation conséquente des scories. La hauteur totale de ces déchets atteint localement 2,20 mètres. Une autre tranchée a été réalisée dans la partie supérieure du site, sur le tracé supposé d’un canal d’amenée d’eau. Ce sondage a permis d’établir la façon dont ce canal a été bâti. Deux autres tranchées de sondages ont mis en évidence la présence d’un espace qui semble dévolu à une activité sidérurgique. Cet espace est bordé à l’ouest par un canal qui a probablement servi à alimenter des mécanismes hydrauliques. Un pan de mur a été mis au jour, qui borde probablement cet espace de travail au sud. Les sources historiques étudiées mentionnaient par ailleurs l’exploitation d’un minier situé dans le secteur du col de Belh (ou Beil), situé en tête de la vallée du Najar, à environ 8 kilomètres du site à vol d’oiseau. Des prospections pédestres ont été réalisées, à l’occasion desquelles deux secteurs ayant pu faire l’objet d’une exploitation minière de faible ampleur ont été découverts. Des prélèvements de minéralisations ferrifères ont été effectués à cette occasion.

Des datations radiocarbone seront réalisées après étude anthracologique pour préciser la chronologie des différents ensembles fonctionnels. Des analyses chimiques sont également en cours afin d’identifier les minerais employés, et disposer de premières informations sur les conditions opératoires de la réduction du minerai. Il est envisagé de poursuivre les recherches par une fouille archéologique sur les deux ateliers sidérurgiques supposés. Cette fouille permettrait de documenter les techniques métallurgiques (morphologie des structures de chauffe, ventilation, organisation des espaces de travail) à deux moments de l’histoire sidérurgique ariégeoises : dans le premier élan d’installation des moulins au xiv^e siècle, et au moment de la domination de ce type d’installation sidérurgique près de deux siècles plus tard.

I. Introduction – positionnement scientifique du programme et rappel des résultats antérieurs

Ce premier rapport intermédiaire d'une nouvelle triennale du PCR FERAPO 'Le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales' est l'occasion de rappeler brièvement les principaux résultats issus des travaux effectués dans le cadre de la précédente triennale, mais aussi de présenter les réflexions que notre équipe souhaite développer plus spécifiquement au cours de ces trois nouvelles années.

I.1. Méthodologie d'étude mise en place pour une recherche systématisée sur le long terme

L'initiative de ce PCR est née des différentes collaborations qui se sont progressivement formalisées au cours des recherches de terrain menées sur les deux départements des Pyrénées-Orientales et de l'Ariège. Gaspard Pagès a donné la première impulsion en proposant un programme de prospections thématiques dans les Pyrénées-Orientales en 2014. L'idée était alors de repartir des données référencées dans la carte archéologique, et des observations de terrain de plusieurs chercheurs locaux, pour réévaluer l'importance des vestiges archéologiques liés à l'exploitation des minerais de fer, principalement dans les massifs du Canigou et des Albères, ainsi qu'en plaine du Roussillon. En menant son enquête de terrain, il a mis en évidence de nombreux sites métallurgiques inédits. L'idée est alors née de renouveler en profondeur la carte archéologique des sites miniers et métallurgiques liés au fer dans la partie orientale des Pyrénées françaises. Dans cette optique, un autre programme de prospections thématiques a vu le jour en 2017 dans le département de l'Ariège, coordonné par Alexandre Disser. Sur la base des premiers acquis, un programme FEDER coordonné par Gaspard Pagès et Catherine Verna a permis de poursuivre la collecte des données archéologiques sur le terrain mais également de mener plusieurs missions dans les archives départementales de l'Ariège et des Pyrénées-Orientales, mais également dans les archives de la Couronne d'Aragon à Barcelone. Une synthèse des recherches historiques et archéologiques, insistant sur les apports de l'analyse croisée des sources matérielles et textuelles sur une sélection de sites, est prévue sous la forme d'une monographie.

Faisant suite à ce programme, il a été décidé de structurer nos recherches sous la forme d'un PCR à partir de 2021. Le principal objectif de ce programme était d'ébaucher une trame historique renouvelée de la métallurgie du fer sur le temps long. En effet, malgré plusieurs travaux archéologiques et historiques de très grande qualité, les connaissances étaient marquées par de très profondes disparités, tant du point de vue spatial que chronologique. Si, à partir du Moyen Âge central, la documentation disponible permettait de présenter les formes d'organisation de la production et ses débouchés, les périodes antérieures restaient très largement méconnues. La période antique n'était documentée que par la fouille d'un site, et la reconnaissance d'une quinzaine d'autres par prospection. Aucune information ne se rapportait aux époques tardo-antique et altomédiévale. La question de l'exploitation précoce des ressources ferrifères avant la colonisation romaine restait également complètement ouverte. L'approche extensive a donc été privilégiée pour cette triennale, prolongeant les méthodologies d'étude mises en place à l'occasion des programmes de prospection thématique précédents. La collecte en surface de mobilier a été systématisée et orientée selon 3 axes : 1) la collecte de minerai en contexte de réduction du minerai ; 2) la collecte de scories de réduction présentant un faciès de scorie fayalitique grise dense et une morphologie écoulee pour la définition de la

signature chimique caractéristique de l'atelier ; 3) la collecte de mobilier datant, en particulier céramique. Si ce type de mobilier venait à faire défaut, des scories susceptibles de contenir des fragments de charbon de bois ont été prélevées en vue de réaliser une datation radiocarbone. Cette approche extensive a été complétée par une campagne de sondages de faible emprise (environ 1 m²) réalisés sur les sites qui paraissaient le mieux conservés à l'occasion des prospections. Au total, 64 sites ont été sondés de cette manière depuis le début des opérations, dont 53 au cours de la précédente triennale du PCR FERAPO. Ces sondages ont été mis en œuvre selon un protocole systématique. Après retrait des niveaux superficiels, des prélèvements en masse (scories, minerai, sédiments) d'un volume de 10L ont été réalisés dans les niveaux d'accumulation en place. Plusieurs prélèvements ont été réalisés dans chaque cas afin d'évaluer la représentativité des mesures. Un tri a été effectué afin de peser séparément scories, fragments de minerai et pierres. La masse de scories a été systématiquement relevée, afin de déterminer la masse volumique de scories dans les ferriers. Il est apparu que la plupart des ferriers observés présentaient une masse volumique de scories d'approximativement 1,2 à 1,4 kg.dm⁻³ (Pagès et al., 2021; Pagès, Disser, et al., 2022). Les sédiments ont quant à eux été traités par flottation afin d'isoler les fragments de charbon de bois. Ces lots de charbon ont ensuite été confiés à Marie-Claude Saad dans l'objectif de réaliser des identifications de taxons sur une population statistiquement représentative (100 individus si possible), et pour isoler des fragments de brindilles ou des fragments comportant encore l'écorce ou le cambium. Ces éléments ont servi de support à des datations radiocarbone en s'affranchissant de l'effet vieux bois. Pour certains sites d'intérêt, il a été impossible de réaliser des sondages et des prélèvements en masse de sédiments. Nous avons pris le parti dans ce cas de réaliser des prélèvements de charbons de bois au sein même de certaines scories. Les fragments ainsi prélevés sont généralement difficilement identifiables, rendant plus délicate l'appréciation de la qualité de la mesure. Néanmoins, les datations franchement aberrantes sont peu nombreuses. Pleinement conscients des biais d'interprétations potentiels, nous souhaitons mener des réflexions plus poussées sur la qualité de ces mesures, en mettant en œuvre une étude spécifique, qui pourra d'ailleurs servir de référence à une échelle dépassant largement le cadre de notre programme de recherche. Cette initiative sera détaillée plus loin dans le présent rapport.

Par ailleurs, nous avons mis en place un environnement numérique partagé pour exploiter la spatialisation des données. Nous utilisons ainsi des geopackages communs pour travailler sur QGIS. Nous avons amélioré le protocole d'acquisition de données sur le terrain en exploitant l'application Mergin, qui permet une mise à jour instantanée des couches de données, évitant ainsi les pertes d'informations dues aux mises à jour décalées. La répartition spatiale des sites a fait l'objet de réflexions exposées dans le rapport de synthèse de triennale en 2023, en proposant des ensembles de sites qui paraissent cohérents à l'échelle de micro-territoires en fonction de la chronologie des contextes. Ces ensembles serviront de base de discussion et feront l'objet de révision en fonction des avancées réalisées sur la caractérisation chimique des sites.

1.2. Rappel des principaux résultats de la triennale 2021-2023

Les datations radiocarbone ainsi effectuées ont permis d'établir la chronologie de 68 sites. Ces données s'ajoutent aux autres sources (textes et mobilier céramique), établissant le nombre de sites datés à 260 à l'heure actuelle. Le nombre de sites métallurgiques datés dans la zone d'étude a ainsi plus que doublé grâce aux travaux que nous avons menés. Cette quantité de données inédites a permis de dresser une nouvelle synthèse chronologique à l'échelle des deux départements étudiés, qui a été présentée dans le rapport de synthèse de la précédente triennale (Pagès et al., 2023). Nos connaissances sur les dynamiques de production sidérurgiques s'en sont trouvées considérablement enrichies. Le résultat le plus marquant est la mise en évidence d'activités sidérurgiques au cours des périodes wisigothique et carolingienne, activités qui étaient inconnues jusqu'alors. Nos connaissances sur la production de métaux ferreux au début du Moyen Âge central s'en sont également trouvées renforcées.

Les données chronologiques inédites ont mis en évidence plusieurs éléments qui amènent à rediscuter l'histoire des techniques métallurgiques dans l'espace considéré. Le trait le plus saillant de ce nouvel état des lieux est la démonstration de la persistance des 'forges à bras', entendues comme des ateliers qui n'ont pas employé l'énergie hydraulique pour actionner les systèmes de ventilation. Ces découvertes mettent en exergue le fait que nous ignorons encore beaucoup de choses sur la mise en œuvre des techniques sidérurgiques dans cet espace à l'époque médiévale (sans parler des périodes précédentes). Ces réflexions résonnent avec les résultats des fouilles du site de Castel-Minier, réalisées sous la direction de Florian Téreygeol. Ces travaux ont mis en évidence une succession d'ateliers sidérurgiques datés du XIV^e au XVI^e siècles, et qui de fait constitue un observatoire privilégié des techniques de réduction de l'époque médiévale dans les Pyrénées centrales. Nous partageons le constat que, malgré les apports considérables de la fouille de Castel-Minier pour la compréhension des techniques métallurgiques pyrénéennes ainsi que pour la définition matérielle de la mouline, l'observation d'un seul site n'est pas suffisante, puisqu'il est impossible de savoir dans quelle mesure celui-ci est représentatif des pratiques sidérurgiques dans les Pyrénées centrales et orientales au Moyen Âge. C'est l'une des raisons pour lesquelles nous avons proposé de fouiller un site métallurgique ayant fonctionné *a priori* de façon contemporaine à Castel-Minier, le site du Najar 02 à Savignac-les-Ormeaux (Ariège).

La synthèse de l'année 2023 a également fourni l'occasion de présenter une réflexion méthodologique quant à l'exploitation des données chimiques. Plusieurs méthodes statistiques multivariées ont été employées afin de décrire les caractéristiques chimiques du mobilier (minerais et scories) à l'échelle de la zone d'étude. Ce travail préliminaire a servi à définir les éléments chimiques qui semblaient les plus pertinents dans le cadre spécifique de nos travaux pour définir la signature chimique caractéristique d'ensembles de production associés aux différents minerais exploités. Aux résultats que nous avons acquis sur la zone d'étude, nous avons ajouté des données relatives à une autre zone de production régionalement très importante : la Montagne Noire, dans le nord du département de l'Aude. Les résultats de ces travaux sont particulièrement encourageants car ils suggèrent une distinction chimique satisfaisante des activités métallurgiques associées à l'exploitation des principaux gisements. Il paraît ainsi possible de bien distinguer chimiquement les activités associées à l'exploitation des minerais du gisement de Rancié, la principale source de minerai pour les Pyrénées centrales. L'exploitation des minerais du massif des Albères apparaît également comme chimiquement spécifique. S'il n'est pas possible de distinguer sans ambiguïté l'exploitation des minerais du massif du Canigou de certaines zones métallurgiques secondaires, notamment en Ariège, notons toutefois qu'il est d'ores et déjà possible de distinguer ce qui apparaît en l'état actuel des connaissances comme les trois principaux ensembles de production régionaux : le Vicdessos (Rancié), le massif du Canigou et la Montagne Noire. Ce premier constat ouvre des perspectives tout à fait intéressantes quant aux modalités de circulation des produits en alliages ferreux à l'échelle régionale. C'est un aspect qui sera développé au cours de cette seconde triennale.

1.3. Objectifs scientifiques de la triennale 2024-2026

Cette rapide synthèse des principaux résultats de nos recherches précédentes introduit la programmation scientifique que nous envisageons pour l'actuelle triennale. Alors que la précédente reposait fondamentalement sur la réalisation de prospections pédestres et de sondages ciblés, nous désirons concentrer nos efforts sur la poursuite des synthèses chronologique et chimique engagées au terme du précédent programme. Certains secteurs d'intérêt, tels que le Donezan, n'ont toutefois pas encore bénéficié d'une enquête de terrain systématique. Ces secteurs seront explorés, mais ce n'est pas une priorité pour l'heure. Nous chercherons donc au cours de cette triennale à augmenter la quantité d'informations

chronologiques et chimiques dont nous pouvons disposer sur des secteurs dont l'étude est déjà engagée. D'autre part, nous souhaitons exploiter pleinement le référentiel chimique que nous avons constitué, et dont l'alimentation se poursuit, pour engager des études de provenance sur des corpus ciblés d'objets métalliques. Enfin, nous souhaitons engager une grande partie de nos efforts à la fouille du site du Najar 02 qui se montre intéressant à plus d'un titre, comme nous allons le montrer par après. Nos actions se déclineront ainsi :

- Poursuivre la collecte d'informations chronologiques et chimiques sur les secteurs en cours d'étude. Dans le présent rapport, nous présenterons une nouvelle synthèse des données chronologiques en adoptant une perspective large, à l'échelle de la zone d'étude. Cette synthèse servira de support à la formulation des priorités pour les datations à venir. Dans le cadre de cette action de documentation, nous avons également défini des priorités en ce qui concerne la caractérisation chimique du mobilier prélevé sur les sites miniers et métallurgiques. Nous nous appliquerons à documenter les secteurs qui n'ont pas fait l'objet d'analyses chimiques, ou pour lesquels nous disposons encore de trop peu de données à l'heure actuelle. Cette action permettra de compléter la carte des 'zones de chalandise' des principales exploitations minières.
- Exploiter la synthèse de la fouille de données présentée dans le rapport d'opération 2023 pour mettre en œuvre des études de provenance sur deux corpus d'objets. Le premier est un lot d'une soixantaine de fers de trait qui ont été découverts de façon fortuite sur le site de Malbézi, à Quirbajou. Suite à leur découverte, le site a fait l'objet en février 2024 d'une campagne de sondages archéologiques sous la direction de Florence Guillot, opération qui a permis de préciser le contexte. Il apparaît que ce lot de fers de trait a été remis intentionnellement sur ce site de hauteur, entre la seconde moitié du 12^e et la première moitié du 13^e siècle. Bien qu'administrativement localisé dans le département de l'Aude, la haute vallée de l'Aude, au sein de laquelle se trouve le site de Malbézi, est topographiquement ouverte vers plusieurs espaces de production sidérurgique étudiés dans le cadre de notre programme. Il s'agit notamment du Pays d'Olmes à l'ouest, et des Fenouillèdes à l'est. De plus, nous savons que pour des périodes plus tardives, le minerai du Vicdessos a alimenté les forges de Quillan (Cantelaube, 2005, p. 586), qui se trouvent à 4 kilomètres au nord de Quirbajou à vol d'oiseau. Le second corpus est composé d'éléments de peinture de porte d'églises romanes du Roussillon. Les édifices de cette période sont en effet très souvent richement décorés avec des éléments métalliques, qui se présentent sous la forme d'assemblages de volutes. Treize prélèvements ont été effectués sur 8 édifices de cette période, et ont fait l'objet d'études archéométriques. Ces études ont notamment fourni l'occasion de définir la signature chimique des inclusions non-métalliques piégées dans les alliages ferreux. Pour chaque prélèvement, une douzaine d'inclusions ont été caractérisées, c'est-à-dire que nous avons déterminé les teneurs d'un cortège d'éléments chimiques majeurs et traces. La comparaison de ces signatures chimiques avec les données chimiques de référence que nous avons réunies à l'échelle de la zone d'étude permettra de formuler des hypothèses quant à la provenance du métal employé, et ainsi documenter la circulation du métal dans la partie orientale des Pyrénées françaises au Moyen Âge.
- Approfondir l'étude des techniques de réduction du minerai de fer dans l'espace considéré. La documentation existante souligne déjà le recours à différentes techniques : soufflets actionnés par l'énergie musculaire, utilisation de l'énergie hydraulique pour actionner les soufflets, et usage de la trompe hydraulique. Enrichissant les données disponibles à partir des recherches historiques et archéologiques précédentes, nos recherches ont d'ores et déjà bien mis en évidence certains traits fondamentaux de l'usage des techniques sur le temps long dans l'aire d'étude. Nous avons en particulier mis en évidence une hétérochronie marquée de ces techniques au Moyen Âge et à l'époque moderne, matérialisée par la persistance de l'usage de la force musculaire pour plusieurs sites qui ont fonctionné bien après la diffusion du recours à l'énergie hydraulique à partir de la fin du

xiii^e siècle. L'enjeu actuel est de documenter d'autres aspects des techniques de réduction, que seule la fouille de sites bien conservés peut permettre. Nous nous intéresserons particulièrement à la morphologie des structures de combustion, ainsi que sur les aménagements liés à la ventilation de ces structures au Moyen Âge. Le site du Castel-Minier constitue pour l'heure l'unique référence sur le sujet. Nous souhaitons procéder à la fouille des ateliers sidérurgiques de la vallée de Savignac (Najar 02) pour initier un élargissement du corpus de référence, et mettre en évidence des similarités ou au contraire des différences avec ce qui a été observé à Castel-Minier. La période chronologique d'observation est la même dans les deux cas, à savoir du XIV^e au XVI^e siècle.

II. Bilan 2024 de l'acquisition, de la gestion et de l'exploitation des données de terrain, chronologiques et chimiques

Cette partie est destinée à présenter les actions menées concernant l'acquisition de nouvelles données, et l'exploitation des données acquises dans le cadre de la triennale 2021-2023. Ces données ont notamment permis la rédaction d'un article qui met en évidence l'exploitation ancienne (à l'époque wisigothique) du gisement du Puymorens, et qui change par ailleurs notablement notre perception des dynamiques de mise en exploitation des principaux gisements ferrifères à l'échelle de la zone d'étude. Nous présenterons par ailleurs une synthèse de ces dynamiques à l'échelle de la zone d'étude, qui repose sur l'analyse des données spatiales et chronologiques que nous avons acquises auparavant. Nous exposerons enfin les fruits d'un travail de synthèse des données et de programmation des études de laboratoire, qui a été réalisé dans le cadre d'une réunion de travail qui s'est tenue entre le 26 février et le 1^{er} mars.

II. 1. Prospections réalisées en 2024

Comme nous l'avons annoncé en préambule de ce rapport, nous avons décidé de focaliser nos actions de terrain sur la fouille du site du Najar 02 à Savignac-les-Ormeaux. Néanmoins, un travail de veille documentaire a été effectué, en allant vérifier des indices fournis par des informateurs locaux, mais aussi en reprenant des informations issues de prospections réalisées dans le cadre de la précédente programmation, et enfin en exploitant des informations issues de la consultation des archives. Onze sites ont ainsi été mis en évidence au cours de l'année 2024.

1.1.1. Les indices toponymiques sur la commune de Balaguères (INSEE 09035).

La consultation récente des plans cadastraux et d'une matrice cadastrale de la commune de Balaguères a révélé trois toponymes pouvant révéler l'emplacement d'anciennes activités sidérurgiques. Deux de ces lieux étaient juxtaposés, situés sur le bac de la serre qui clôt au sud l'espace occupé par le village de Balagué et par les exploitations agricoles environnantes. C'est également sur le sommet oriental de cette serre que le château de Sainte-Catherine a été bâti. Les toponymes se trouvent en contrebas du château (Figure 4). Le premier est 'Faourès'. Si cette dénomination pourrait désigner des forgerons plutôt que des métallurgistes (qui seraient désignés préférentiellement par le terme 'fargaire' ou des termes dérivés), le second lieu qui se trouve immédiatement à l'ouest du premier est dénommé 'Hargarus'. Etant donné que le 'H' a été employé en lieu et place du 'F' dans certains dialectes gascons, il était possible que cette dénomination se rapporte à la réduction du minerai. Cette hypothèse était d'autant plus renforcée par la proximité du complexe de la grotte Sainte-Catherine, au sein duquel des minéralisations ferrifères auraient été exploitées. Le troisième toponyme se trouve localisé au pied de la soulane de la serre qui se trouve au nord du village de Balagué. La

relation de ce dernier ('Le Hargäu') avec de potentielles activités métallurgiques apparaissait plus lointaine, mais l'indice méritait d'être vérifié.

Les prospections ont été réalisées le 2 mars 2024. Le bac de la serre de Sainte-Catherine est occupé par une forêt avec un sous-bois dense. Aucun vestige d'activité sidérurgique n'a été repéré lors de la prospection, ni à l'intérieur des parcelles concernées, ni en aval de ces parcelles, puisque le pied de la pente offrait des conditions d'observation plus favorables. Les prospections réalisées sur le secteur du lieu 'Le Hargäu' n'ont pas non plus livré de mobilier associé à la métallurgie. Des minéralisations ferrifères (principalement de l'hématite) ont été observées en quelques points. Il semble toutefois improbable qu'une exploitation minière ait eu lieu en cet endroit.

Les scories découvertes dans le lit du ruisseau du Lachein en 2020 (Disser, Dubois, et al., 2020, p. 65-66) restent ainsi pour l'heure les seuls vestiges métallurgiques connus pour la commune de Balaguères.

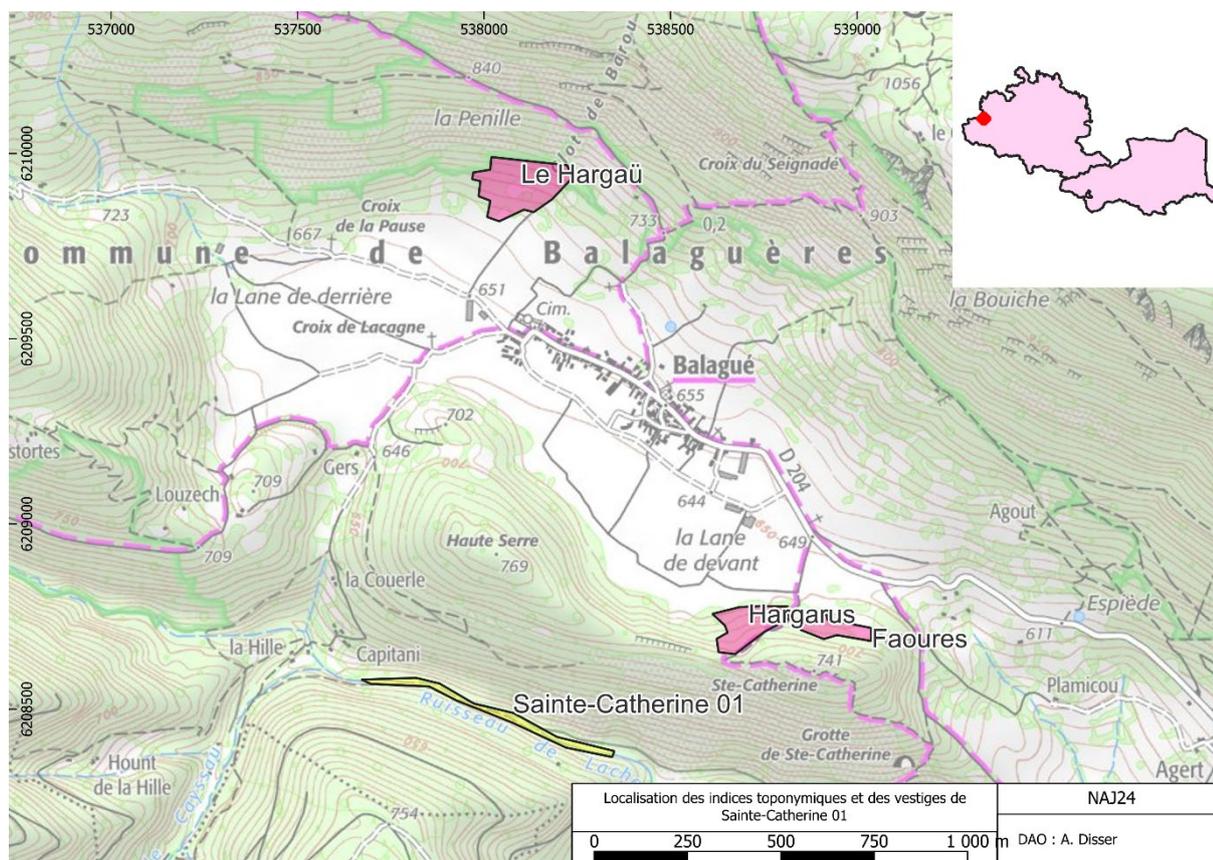


Figure 4 : Localisation des zones prospectées sur la commune de Balaguères en 2024, ainsi que des vestiges enregistrés comme le site 'Sainte-Catherine 01'

1.1.2. L'exploitation minière de l'Argentère sur la commune d'Alos (INSEE 09008).

La commune d'Alos comporte des sites datés de l'époque moderne qui ont fait l'objet de précédentes prospections (Disser, Dubois, et al., 2020, p. 66-67). Il s'agit notamment d'un martinet et d'une forge, dont les emplacements sont encore bien matérialisés aujourd'hui, tant par le bâti encore en élévation que par les aménagements hydrauliques. La consultation des plans cadastraux de la commune d'Alos a révélé trois autres indices toponymiques pouvant se rapporter à des activités minières ou métallurgiques. Le premier est le lieu 'Haurette', situé à environ 1200 mètres à l'OSO du bourg d'Alos. Nous avons interprété ce toponyme comme une forme de 'Faurette', toponyme que nous avons déjà observé dans d'autres contextes. Le lieu est situé en rive droite du ruisseau de l'Artiguenard. Il représente un versant avec une pente relativement forte (environ 20°), fréquemment incisée par de petites ravines. Les replats sont rares, et la partie inférieure du versant, au relief moins marqué, se trouve dans le lit majeur du ruisseau. Aucun vestige lié à des activités

minières ou métallurgiques n'a été observé. Le second indice est nommé 'Fauré' et est situé en rive droite d'un ruisseau dont nous n'avons pas pu déterminer le nom. Le lieu est situé 800 mètres au SSO du bourg d'Alos. L'endroit est localisé sur une pente forte (env. 30°), qui a été en partie aménagée au moyen de murettes. Le lieu est occupé par une forêt au sous-bois clairsemé et le sol est bien visible. Aucun vestige en lien avec des activités métallurgiques n'a été observé. Le troisième lieu porte le toponyme 'Argentère', révélant un lien possible avec une activité minière. Le lieu est situé à environ 1800 mètres au sud du bourg d'Alos. La prospection sur les parcelles correspondantes s'est révélée négative mais, dans le thalweg bordant le lieu au sud, nous avons découvert des minéralisations comportant notamment de l'hématite. La prospection s'est poursuivie sur l'autre versant de ce vallon, sur le lieu de Pouredon. Entre les cotes 860 et 870, nous avons découvert six *pingen*, excavations circulaires de surface (Figure 5). Leur diamètre actuel variait entre 2,5m et 4m. Ces excavations étaient joutées par des cavaliers de faible volume. Ces tas étaient composés majoritairement de fragments d'hématite, qui semblaient présenter un calibre majoritaire d'environ 2-3cm. La présence de ces tas interroge. L'idée qui vient le plus rapidement à l'esprit est que ce ne sont pas les minéralisations recherchées, et qu'ils ont été laissés sur place car considérés comme des déchets de l'extraction. Le nom du lieu fait évidemment penser à l'exploitation de minerais argentifères. La présence d'hématite proche de la surface pourrait révéler une minéralisation de type 'chapeau de fer', qui se forment en surface de gisements de sulfures. Néanmoins, nous n'avons pas observé de minéralisations associée sur le terrain. De même, il n'est pas fait mention de ce type de ressource à cet endroit dans la documentation consultée. Des recherches plus poussées devraient être menées sur ce site pour tenter de préciser l'objet de l'extraction.

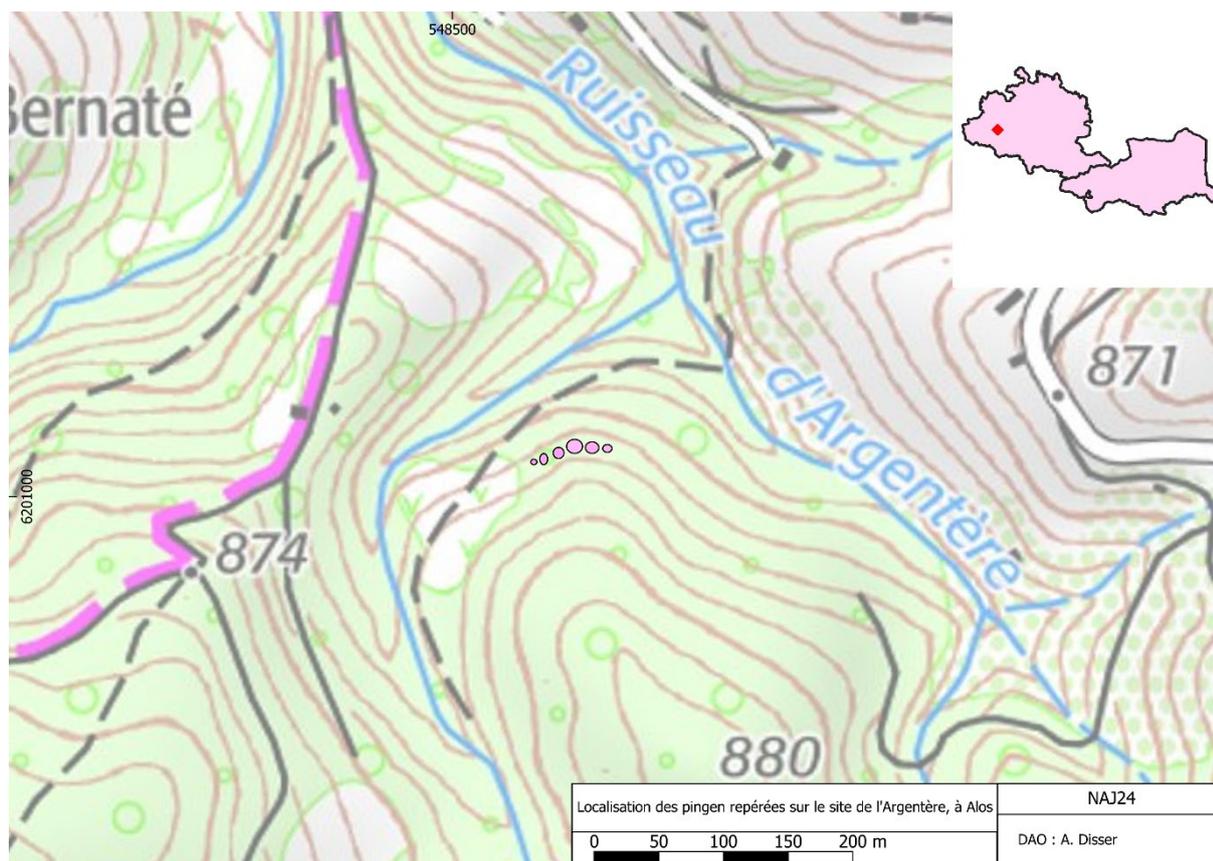


Figure 5 : Localisation des pinges repérées sur le secteur de l'Argentère à Alos

1.1.3. Les sites de la vallée de Siguer

Les recherches effectuées en 2024 sur la commune de Siguer ont mis en évidence plusieurs indices liés à des activités sidérurgiques.

La première concerne les parcelles du lieu dit « planel de la forge », découvert par le biais des recherches effectuées par Jean-Noël Lamiable dans les matrices cadastrales de la commune. Le site (09295_8) est matérialisé par des scories de réduction visibles en surface. La parcelle 1727 présente quelques tertres qui pourraient correspondre à des amas de scories. Le tracé d'un potentiel canal d'amenée d'eau est visible dans les parcelles en amont de ces tertres. La prise d'eau se trouverait dans la parcelle 1704, à environ 200 mètres en amont des scories, sur la rive droite du ruisseau de Siguer. Aucune mention écrite de ce site n'a été découverte à ce jour.

La consultation des matrices cadastrales de la commune de Siguer a également mis en évidence la présence d'un lieu nommé « Carailès », situé à proximité du hameau de Ruslet. La prospection pédestre effectuée par Jean-Noël Lamiable a mis en évidence un amas de scories partiellement remanié par des terrassements effectués dans la parcelle 1033. L'activité sidérurgique correspondante semble être la réduction de minerai de fer en employant l'énergie musculaire ('forge à bras'). Le site s'est vu attribuer le numéro de projet 09295_9.

Des recherches complémentaires ont été effectuées par ailleurs sur la commune de Gestières afin de préciser la localisation d'un indice qui se présentait sous la forme d'un épandage lâche de scories en aval du village, et correspondant au site 09134_1 nommé Viala 01, reconnu en 2023. Des prospections dans le village semblent indiquer que l'origine des scories pourrait se trouver aux environs directs de la parcelle 1065.

Sur les indications de Joël Serny et Eric Daurio, Jean-Noël Lamiable a repéré une recherche minière dite 'le traouc del menié'. Le site se compose d'une excavation de surface circulaire (09134_2), et d'une galerie de recherche pratiquée dans les schistes (09134_3). Aucun fragment pouvant être interprété comme du minerai n'a été aperçu dans la halde associée à cette recherche.

Une autre galerie de recherche de 20 mètres de longueur a également été trouvée par Jean-Noël Lamiable sous le col de Gamel (09134_4). Cette galerie semble correspondre à la mine des 'Crouzilles', mentionnée par J. François et J. Mussy (François, 1843, p. 96; Mussy, 1868, p. 105). La recherche, opérée en 1836, aurait consisté en une reprise de travaux antérieurs, qualifiés d'« anciens » par J. Mussy. Celui-ci mentionne des minéralisations sous la forme d'une « hématite de bonne qualité », mais les minéralisations observées consistent majoritairement en des hydroxydes et carbonates de fer.

1.1.4. La forge d'Unac (numéro projet 09318_1)

La forge a fait l'objet de recherches en archives et sur le terrain par Jean-Noël Lamiable. Le site est localisé en rive droite du ruisseau de Caussou, à l'intérieur d'une épingle que forme la route qui relie le bourg d'Unac au hameau de la Rouane, un espace correspondant aux parcelles cadastrales 248 à 250. Les vestiges se présentent sous la forme des restes d'un tracé de canal, et de scories éparses. Le site a fait l'objet des recherches historiques de Jean Cantelaube (Cantelaube, 2005). La mention la plus ancienne est datée de 1604¹. Cette mention ne se rapportant pas à la construction de la forge, il ne faut pas considérer cette date comme étant le début de l'activité. La forge est mentionnée comme fonctionnant dans un acte notarié daté de 1618, puis dans le Registre de Réformation des Forêts de de Froidour. Un document daté de 1701 laisse à penser que la forge se procure une partie de son charbon de bois sur le territoire d'Ascou (Bonhôte, 1998). La forge est également citée comme fonctionnant dans l'inventaire dressé en 1720 pour l'intendant d'Andrezel, puis dans les sources examinées par C. Fruhauf pour les premières décennies du XVIII^e siècle (Fruhauf, 1984). Son activité semble avoir cessé avant 1772, date d'une enquête de recensement des ateliers sidérurgiques dans les Pyrénées centrales. La mémoire de l'activité semble encore vive dans la mémoire

¹ Cantelaube 2005, p. 80 ; AD09 E282.

topologique en 1780, puisqu'elle est mentionnée comme repère pour plusieurs parcelles portées sur un plan cadastral établi à ce moment-là (Figure 6).

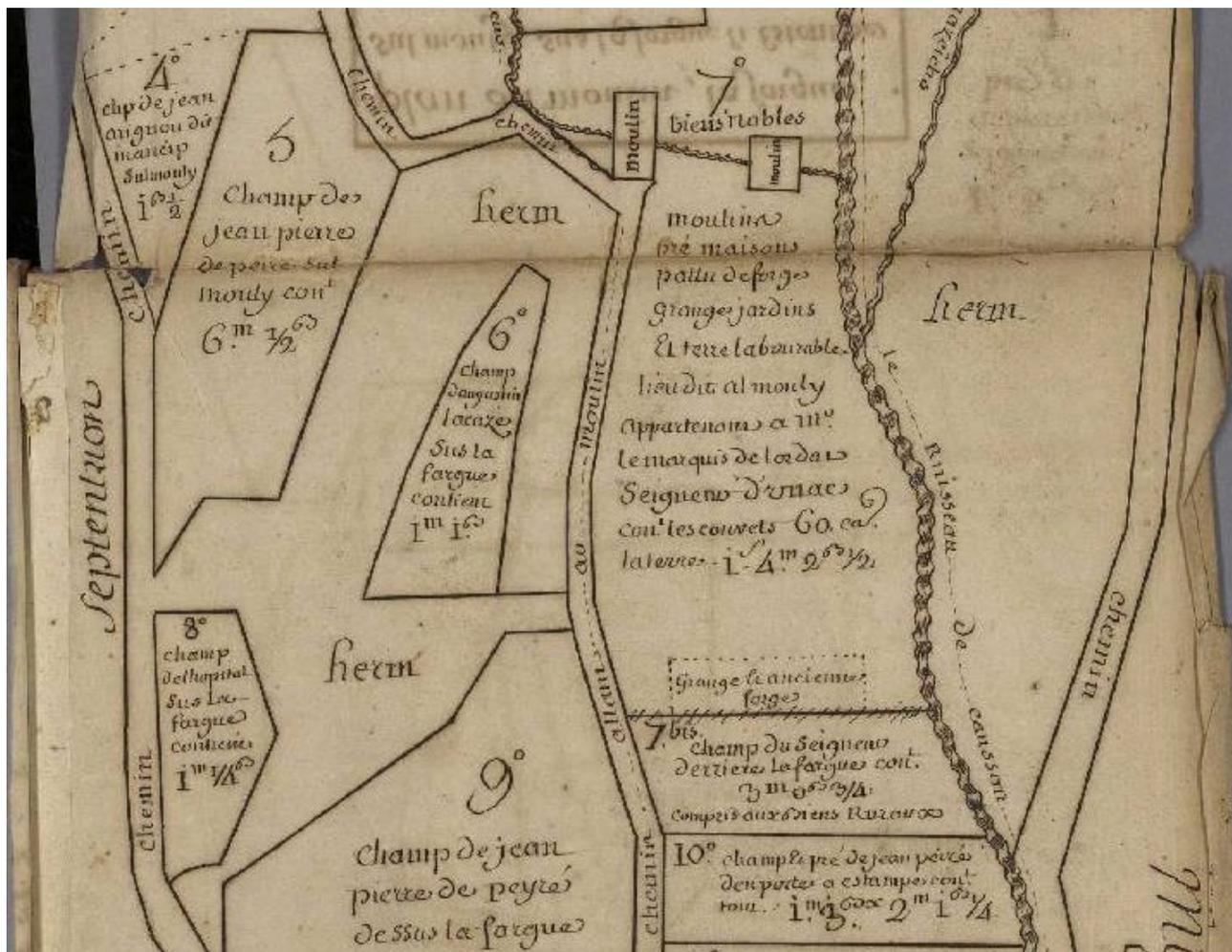


Figure 6 : Extrait du cahier des plans du cadastre d'Unac ; AD09, 158EDT/CC2, vue AD09 46 ; cliché ; Jean-Noël Lamiabie

1.1.5. La mouline du Pla de Magat (numéro projet 09030_10)

La mouline a fait l'objet de recherches en archives et sur le terrain par Jean-Noël Lamiabie. Le site est localisé sur la rive gauche du ruisseau de l'Artigue, sur la commune d'Auzat. Peu de vestiges sont observables sur le terrain. Aucune scorie n'a été découverte, mais le tracé du canal d'amenée d'eau est encore lisible dans la microtopographie. La prise d'eau du canal est située dans la parcelle 698, mais il est probable que l'atelier se soit trouvé dans une parcelle plus en aval, notamment la parcelle 695. Cette mouline est mentionnée dans 4 textes². En recoupant les informations livrées par ces sources, on peut établir que la mouline a été inféodée à Guillaume de Seré³, coseigneur de Château-Verdun, le 9 janvier 1579. On apprend que la mouline peut faire usage des eaux du ruisseau de Versil (Bersil) proche, et de la font Pebre. L'établissement fournit une rente de 5 quintaux de fer. Il est intéressant de noter que cette mouline a pu fonctionner en même temps que celle

² AD09 E8 p301 ; AD09 E6 p460 ; AD09 E6 p523 ; AD09 E8 p320

³ ou Sers ou Serre ou Serré, la graphie du nom étant différente dans chaque texte

du Moulinas (site 09030_1), localisée à environ 1 kilomètre en amont, et inféodée la même année à André Galy, ferrier d'Auzat. Nous ne disposons d'aucune information quant à la durée de fonctionnement de cette mouline.

1.1.5. Les indices sidérurgiques sur la commune de Capoulet-et-Junac (INSEE 09077)

La consultation des matrices cadastrales de la commune de Capoulet et Junac par Jean-Noël Lamiable a mis en évidence la présence de toponymes évoquant des activités sidérurgiques.

Le premier indice est localisé à une centaine de mètres au sud de la bordure du village de Capoulet, en bordure de forêt, en un lieu appelé autrefois 'Careille' (09077_5). Les vestiges matériels sont très peu abondants (une dizaine de fragments de scorie).

Le second indice est un lieu dénommé 'Prat de la fargue' dans les matrices cadastrales. Les prospections réalisées sur place ont mis en évidence la présence de fragments de scorie relativement abondants visibles dans les parcelles cultivées. Il est très probable que cet atelier ait employé l'énergie hydraulique, puisque le tracé d'un canal se devine encore bien dans la topographie du lieu, ainsi que sur le plan cadastral. La prise d'eau se serait faite sur le ruisseau de Lapiche. Il est possible que ce site soit celui de la forge de Junac possédée par le seigneur de Miglos jusque dans les années 1780 (Cantelaube, 2005, p. 86).

1.1.6. Le ménié de Génat

Le toponyme d'un petit massif qui se trouve au nord-est du village de Génat laissait supposer la présence de vestiges d'activités minières ('Serre Delménier'). Une tranchée de d'une trentaine de mètres de long a en effet été repérée sur la soulane de ce massif (n° projet 09133_4). La tranchée est orientée dans le sens de la pente, et sa largeur maximale est de deux mètres. A la base de la tranchée, on peut observer un tas de stériles issus de l'excavation. Aucune minéralisation pouvant être considérée comme du minerai n'a été observée.

1.1.7. L'indice toponymique de la Mouline à Saint-Lary

A environ 4 kilomètres au sud-ouest du village de Saint-Lary se trouve un lieu dit 'La Mouline'. Ce toponyme est visible à la fois sur les plans cadastraux et sur la carte topographique au 1:25000^e. Le lieu correspond aux parcelles 1286 à 1304. La prospection pédestre réalisée sur ces parcelles s'est révélée négative, aucun fragment de scorie n'ayant été découvert. Aucune des principales sources textuelles ne mentionne par ailleurs une telle installation à cet endroit. Tout au plus sait-on que sur la commune se trouvent des gisements de sulfures. Une petite exploitation de pyrite est mentionnée par Diétrich (Dietrich, 1786, p. 268).

1.1.8. Un indice sidérurgique sous le village d'Arignac

Des scories ont été découvertes par Eric Espagne sur la parcelle 19 du village d'Arignac. Il est impossible en l'état de savoir si ces scories sont en position primaire. Une mouline a fonctionné par ailleurs sur la commune d'Arignac (09015_1). Néanmoins, cette dernière se trouve à plusieurs centaines de mètres de la parcelle 19, et environ 25 mètres en contrebas. Il est peu probable que les scories soient associées au fonctionnement de la mouline.

1.1.9. Etat de la forge du village de l'Hospitalet

Un ferrier encore partiellement en élévation est visible dans la parcelle 509 du village de l'Hospitalet-près-l'Andorre, au pied de pylônes électriques THT. Ce ferrier correspond certainement à la forge du village de l'Hospitalet, dont nous ne connaissons pas la date d'établissement, mais dont l'activité semble cesser en 1736 (Cantelaube, 2005, p. 444). Le bâti et les aménagements hydrauliques ne sont en revanche plus visibles.

II.2. Les dynamiques d'implantation des ateliers de production du fer dans les massifs montagneux de la moitié orientale des Pyrénées françaises

II.2.1. Répartition générale

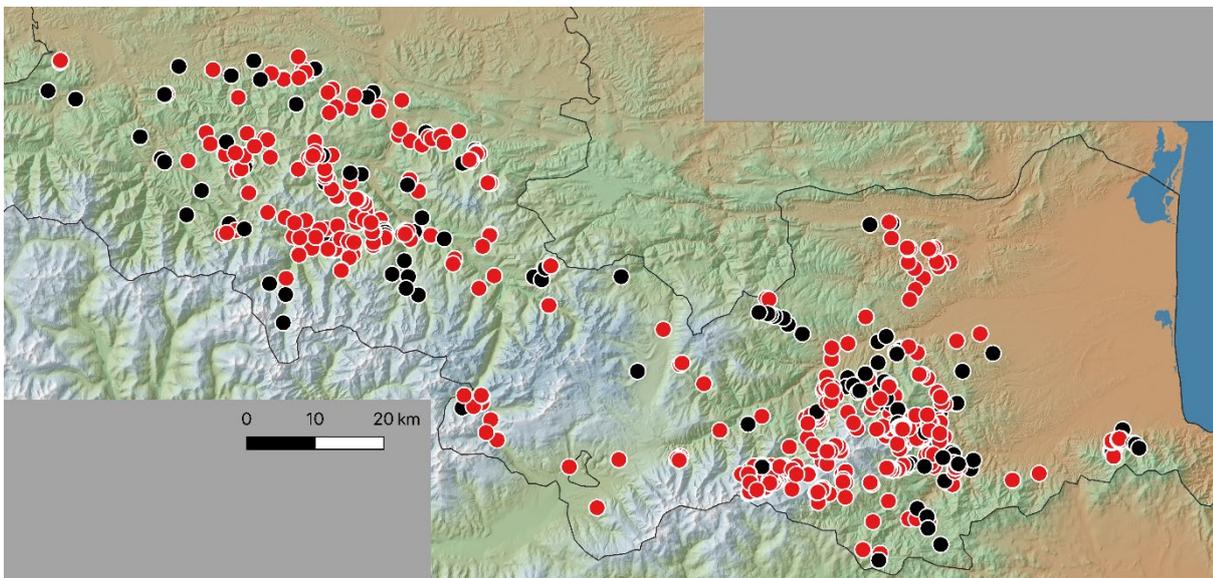


Figure 7 : Carte des 150 sites déjà reconnus (noir) et des 550 nouveaux étudiés (rouge) dans le programme FERAPO.

Depuis leur origine, les recherches menées dans le cadre du programme FERAPO a permis d'inventorier plus de 700 sites métallurgiques (Figure 6). Tous ne sont pas nouveaux, puisque 150 sites ont été déjà reconnus. Leur enregistrement dans une base commune permet d'avoir accès à une documentation harmonisée qui compte aussi plus de 550 nouveaux autres sites. Toute cette documentation est maintenant donc comparable et permet de dresser une première tentative de synthèse sur les dynamiques d'implantation des ateliers de production du fer au sein d'un espace large, la moitié orientale des Pyrénées françaises, tout cela dans la longue durée, depuis les premières mentions de métallurgie du fer jusqu'à l'introduction et la diffusion de la force hydraulique dans la sidérurgie médiévale et moderne. Ce tableau ne tiendra pas compte de la fin de l'époque moderne et de l'époque contemporaine où la sidérurgie est dominée par d'autres enjeux.

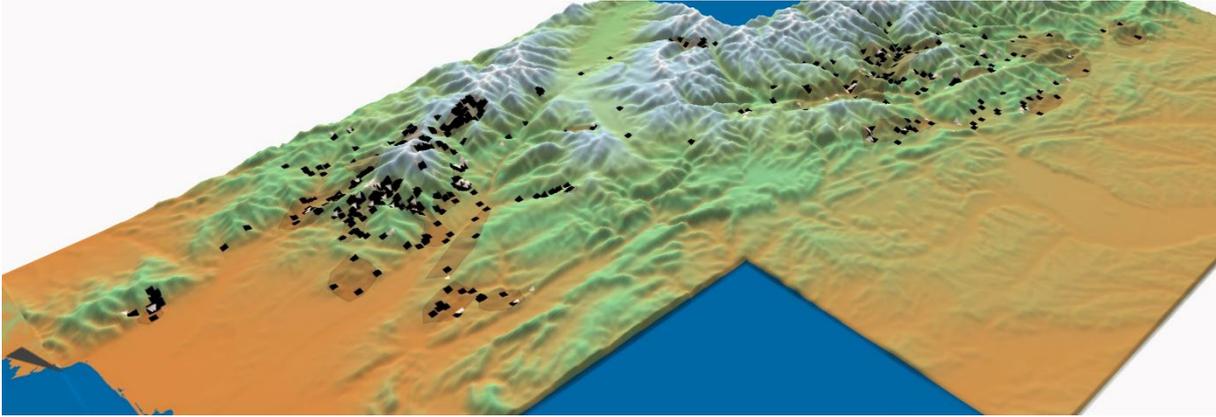


Figure 8 : Les 149 mines ou travaux miniers (triangle) et les 564 sites sidérurgiques étudiés dans le programme FERAPO (carré noir).

Dans ce lot de plus de 700 sites se distinguent 149 sites miniers et 532 sites de réduction du minerai et 32 sites métallurgiques autres (transport du minerai, stockage, etc. Figure 7).

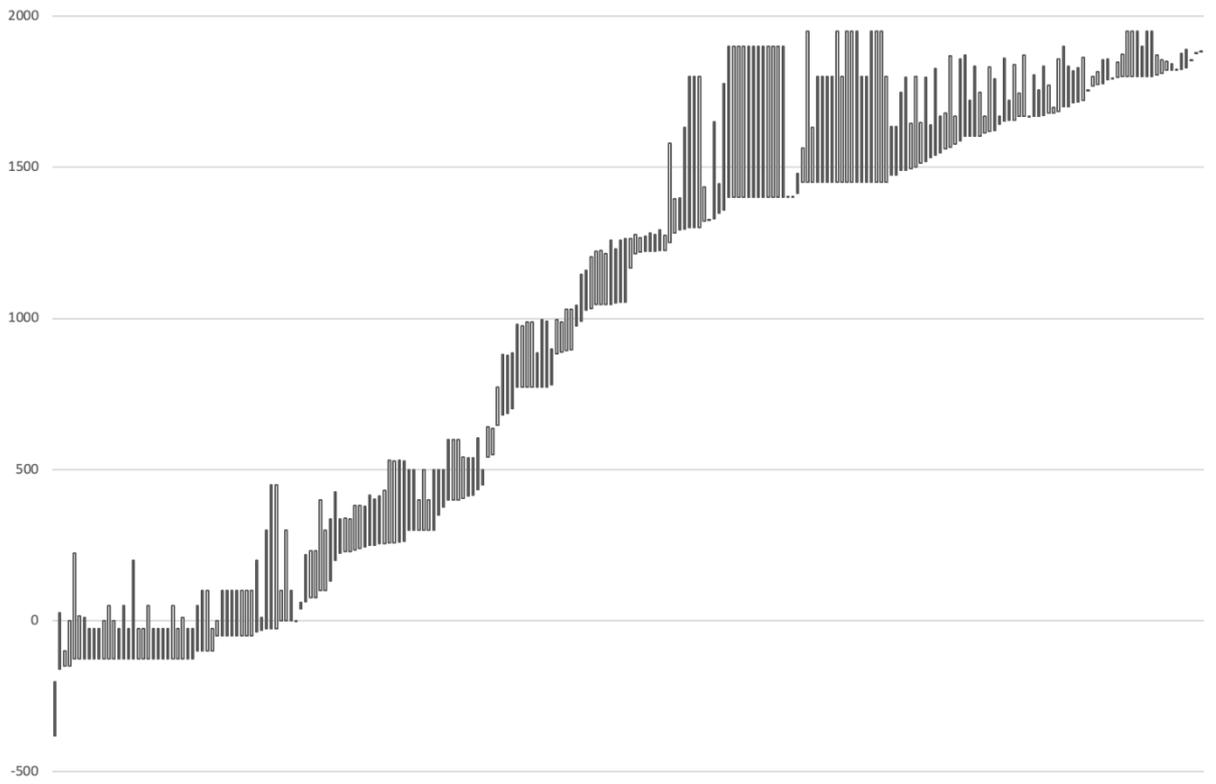


Figure 9 : Fourchette de datation des ateliers de réduction du minerai. Les datations proviennent autant de C14, de céramiques que de texte. La fourchette pour les périodes basses est donc bien souvent une séquence d'activité alors que, pour les datations hautes, elles sont un intervalle dans lequel l'atelier a fonctionné.

Dans ce lot de 532 sites de réduction du minerai, 226 sont datés et 306 sont non datés entre la Protohistoire et l'époque moderne (Figure 8). Il est donc possible d'envisager à partir de ce corpus une restitution des

dynamiques d'implantation des ateliers de réduction. Le corpus semble représentatif de l'ensemble, sauf pour un corpus de 66 sites tous localisés les uns à côté des autres dans la réserve de Py-Mantet des communes du même nom dans les Pyrénées-Orientales. Si l'analyse de cette dynamique est donc amputée d'un espace qu'il faudra prendre en compte prochainement, la représentativité du corpus pour les autres zones est renforcée.

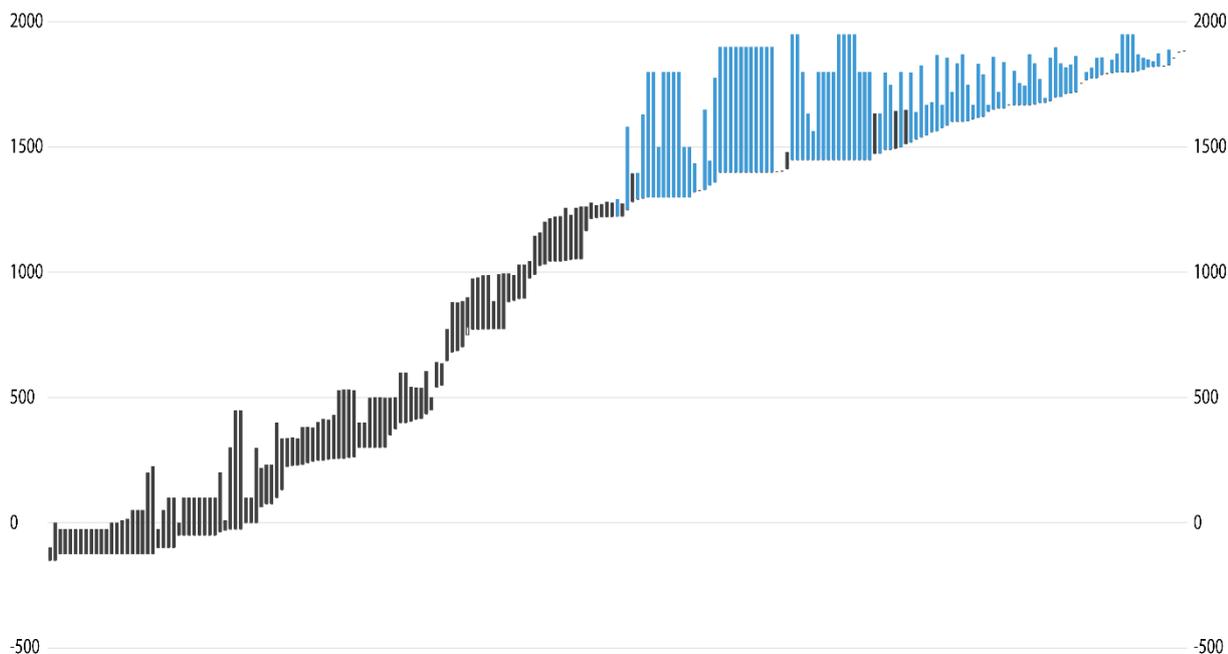


Figure 10 : Fourchette de datation des ateliers de réduction du minerai avec en bleu ceux utilisant la force hydraulique. Voir la légende précédente au sujet des fourchettes de datation. Ici, la datation protohistorique la plus ancienne n'apparaît pas.

Dans la métallurgie directe du fer se distinguent les ateliers utilisant la force hydraulique. Cette technique apparaît dans la seconde moitié du XIII^e siècle et devient dès le début du XIV^e siècle majoritaire (Figure 9). La mise en place de cette technique est donc très rapide au premier abord. Nous reviendrons cependant sur ce point plus loin dans la discussion. Cet aspect doit en effet être relativisé parce que cette technique se met en place alors que la métallurgie directe que l'on nommera ancienne est aux XIII^e et XIV^e siècles assez peu dynamiques. Quoiqu'il en soit aussi, la mise en place de la sidérurgie hydraulique ne remplace pas totalement la métallurgie directe ancienne qui persiste jusqu'aux XVI^e et XVII^e siècles au moins.

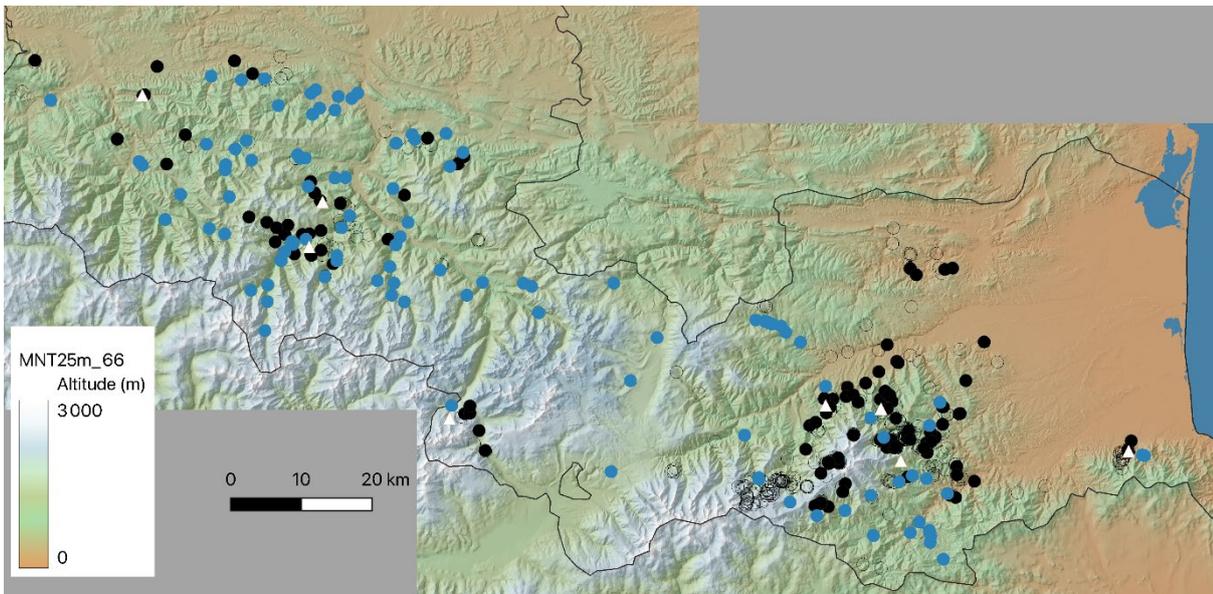


Figure 11 : répartition géographique des ateliers de réduction du minerai avec en bleu ceux utilisant la force hydraulique. Les triangles représentent les principales mines. Les cercles vides noirs sont les sites non hydrauliques non datés.

La répartition des ateliers de réduction du minerai de fer n'est pas la même selon que la force hydraulique soit utilisée ou non (Figure 10). Évidemment, ceux utilisant l'eau se trouvent auprès de cette ressource, plutôt dans les vallées. Cela dit, ils ne se trouvent pas forcément en fond de vallée et peuvent être installés en altitude. Ce qui apparaît aussi c'est que les ateliers de réduction directe non hydrauliques observent une répartition par ensemble plus circonscrite. Ces ateliers sont davantage installés auprès des principales mines. Ils forment des chapelets plus ou moins concentrés et agglomérés (Figure 11). Mais comment s'organise chronologiquement dans l'espace cette métallurgie ancienne, ultérieure à l'hydraulique ?

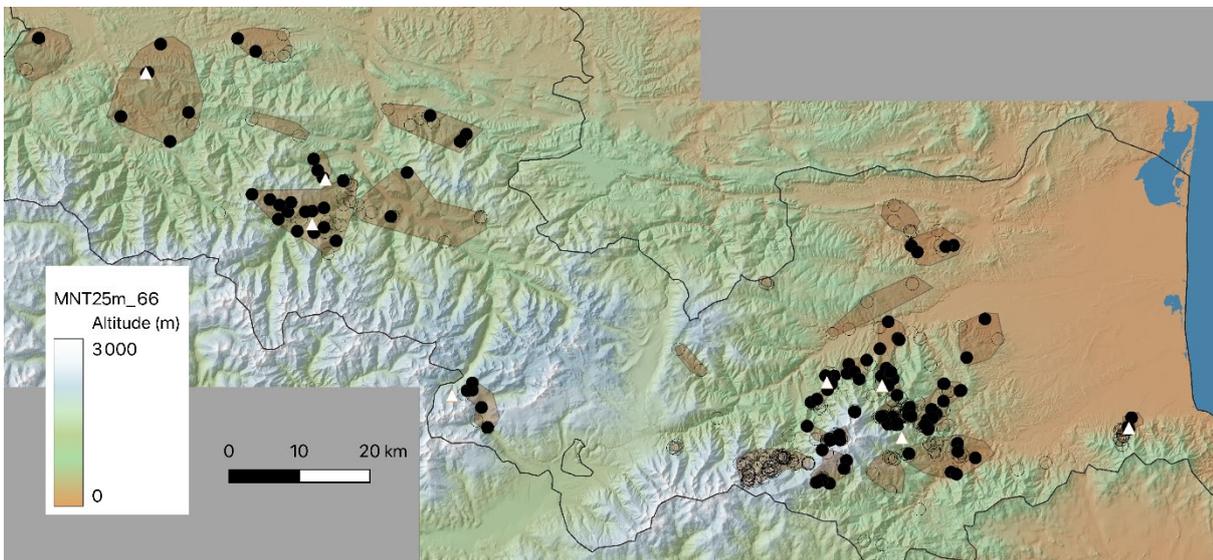


Figure 12 : répartition des sites de réduction direct non hydraulique par ensemble topographique (polygone marron transparent). Les cercles noirs sont les sites datés et ceux vides sont non datés.

II.2.2. Évolution de la métallurgie directe de la Protohistoire à l'Époque moderne

Durant l'âge du Fer

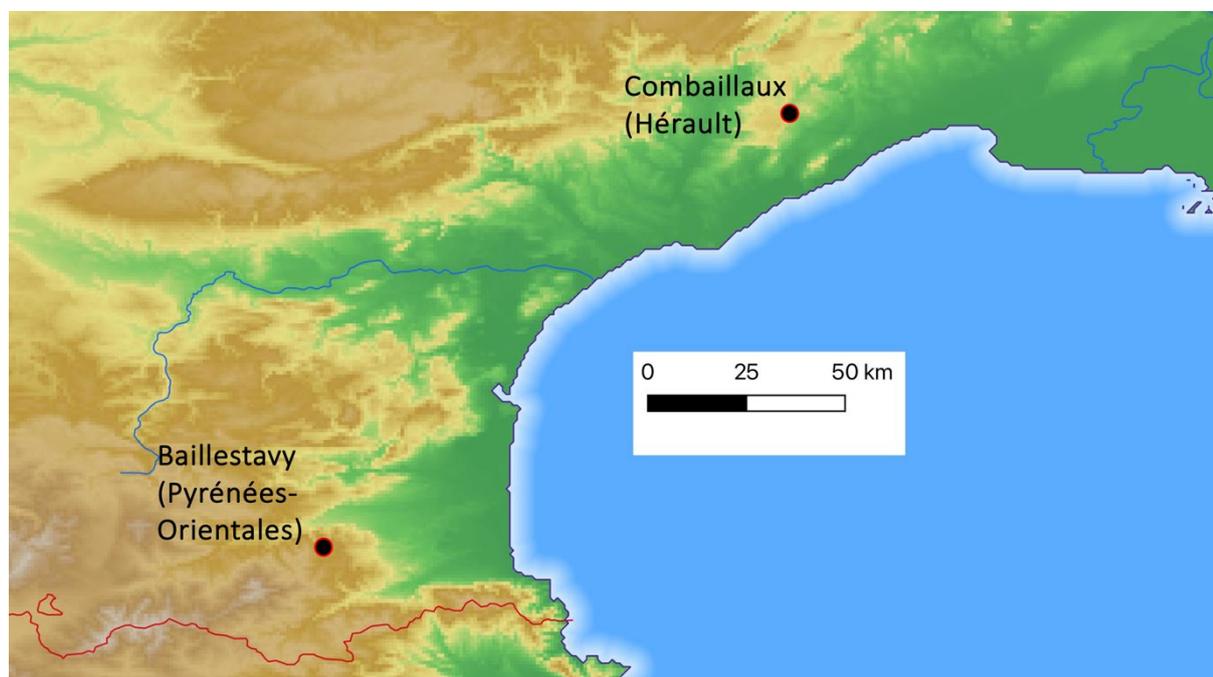


Figure 13 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant l'âge du Fer (IV et IIIe s. avant J.-C.).

Les connaissances sur la métallurgie primaire à l'âge du Fer sont assez limitées. Elles ont cependant profondément évolué ces dernières années, puisqu'à l'orée des années 2020, aucun site de cette époque n'était connu (PAGES 2014). Or, depuis 2 sites ont été identifiés. Leur datation reste large, mais ils ont fonctionné autour du IV et IIIe s. avant J.-C. (Figure 12). L'un se trouve sur la commune de Combaillaux dans l'Hérault. C'est le site des Érables. L'autre se situe sur la commune de Baillestavy dans les Pyrénées-Orientales. C'est le site du Mas d'Adalt. Cette métallurgie de l'âge du Fer ne paraît – en l'état des connaissances – pas avoir de lien avec la métallurgie postérieure qui se développe autour des années 125 avant J.-C. dans le massif du Canigou.

Pagès G. 2014 : Productions, commerces et consommation du fer dans le sud de la Gaule de la Protohistoire à la domination romaine, *Gallia*, 71/2, p. 47-67.

Sanchez G., Pagès G., Roure R. 2023 : Enfin un site de production du fer chez les Gaulois du Midi : premier aperçu de l'atelier de réduction des Érables à Combaillaux (Hérault, France), in Valdés L., Cocolani V., Hiriart E. (dir.), *Actes du 45eme colloque international de l'AFEAF L'Europe des matières premières au 1er Millénaire av. n. è. Exploitation, transformation, diffusion, Gijón (Espagne, 2021)*, Paris, éd de l'AFEAF, p. 289-293.

Au début de l'époque tardo-républicaine

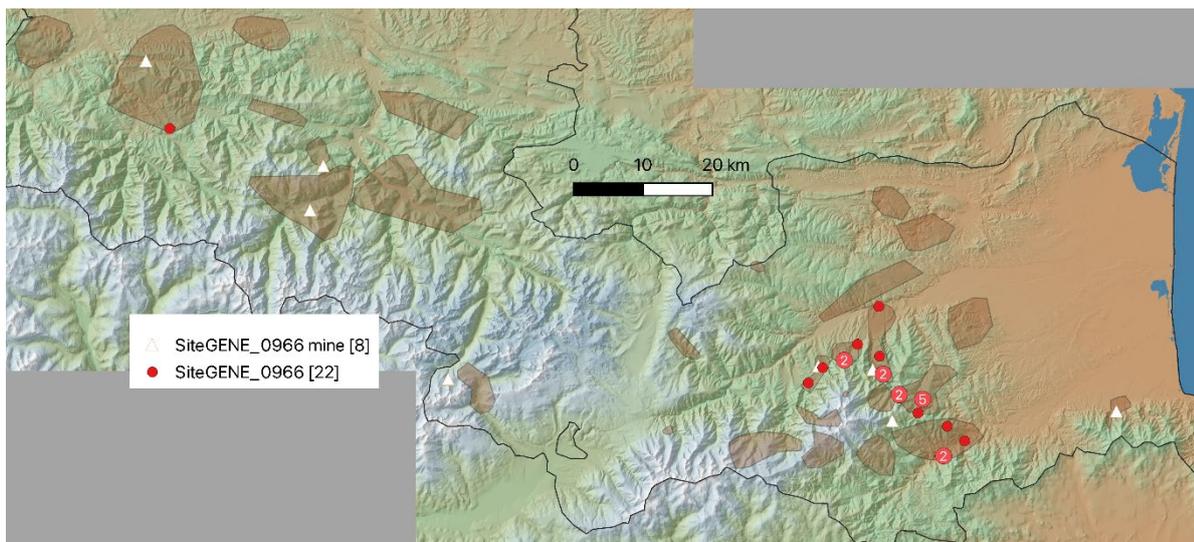


Figure 14 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire tardo-républicaine (autour des années 125 avant J.-C.). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Sans lien aucun avec la métallurgie protohistorique, la sidérurgie primaire est à nouveau développée dans la moitié orientale des Pyrénées autour des années 125 avant J.-C. L'aspect frappant de ce phénomène, c'est qu'il est massif et concentré sur les versants du Canigou autour de la mine de Batère qui rassemble 21 sites (Figure 13). Un autre site fonctionne de manière - pour l'instant - esseulé dans le Couserans. Ce site est plus petit et hors de la Transalpine. En effet, les sites du massif du Canigou sont dans la Transalpine dans l'emprise de ce qui deviendra la Cité de Ruscino. Le site du Couserans n'a donc strictement rien à voir avec les sites du Canigou. C'est d'ailleurs un site qui doit plus être rattaché à un environnement « Gaulois » qu'à un environnement romain. La situation pendant l'époque tardo-républicaine est donc assez contrastée avec, côté oriental, une sidérurgie massive probablement fortement influencée par la conquête romaine de la transalpine avec la fondation de Narbonne en 118 avant J.-C. et côté occidental, au milieu des Pyrénées, une métallurgie qui s'inscrit plus dans une dynamique protohistorique.

Au début du Haut-Empire

Au début du Haut-Empire la situation évolue peu, à ceci près qu'une intensification de la production est bien visible autour du Canigou (Figure 14). Cependant, cette observation à cette échelle d'analyse cache des abandons et des créations de sites. Tous les sites tardo-républicains ne sont plus en fonction et de nouveaux ont été installés dans la zone du Canigou. Il y a donc d'importants phénomènes de translation et de reconfiguration que nous n'analysons pas là, mais qu'il faut considérer. Ce qui change au début du Haut-Empire, c'est que d'autres espaces sont mis en exploitation dans un environnement désormais romanisé ou en cours de romanisation. Au début du Haut-Empire, les Albères (Pyrénées-Orientales) sont en effet exploités et le Couserans commence à voir son exploitation s'intensifier. En Ariège toujours, de nouveaux secteurs sont mis en exploitations, notamment dans la vallée des Trois Seigneurs. En revanche, le Vicdessos où se trouve la grande mine du Rancié semble encore en retrait de cette dynamique.

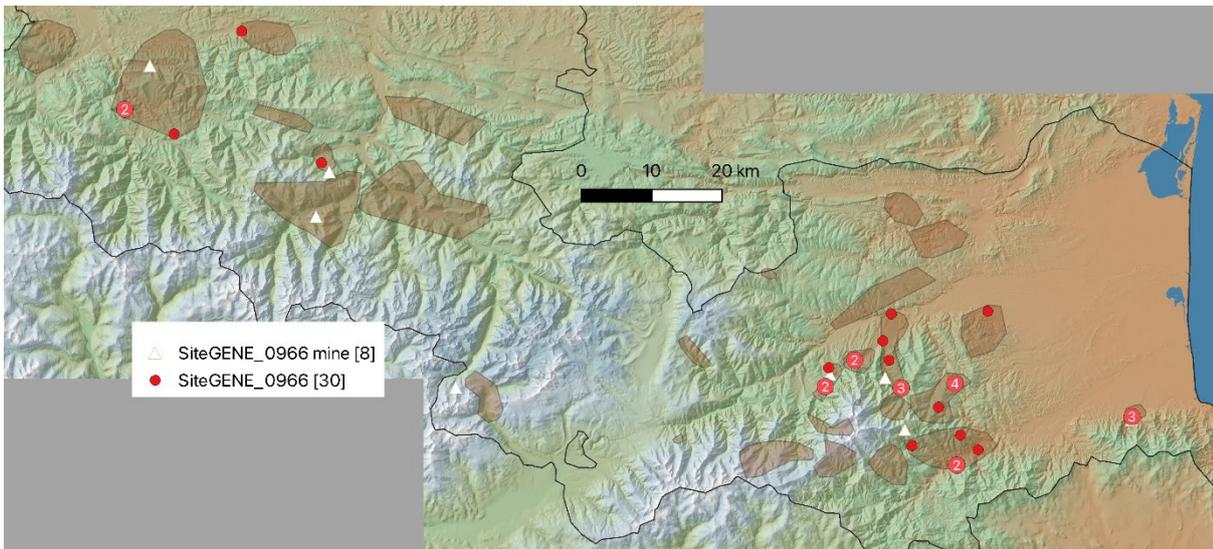


Figure 15 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire au début du Haut-Empire (autour du changement d'ère). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Entre le démantèlement de la cité de Ruscino et le Haut-Empire

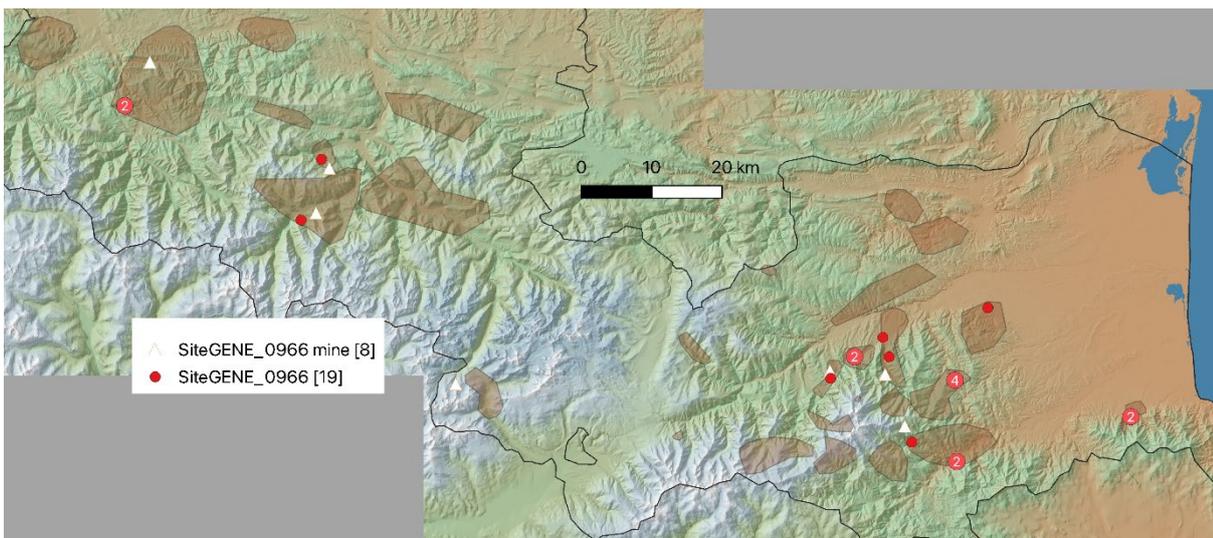


Figure 16 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire démantèlement de la cité de Ruscino (autour des années 70). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

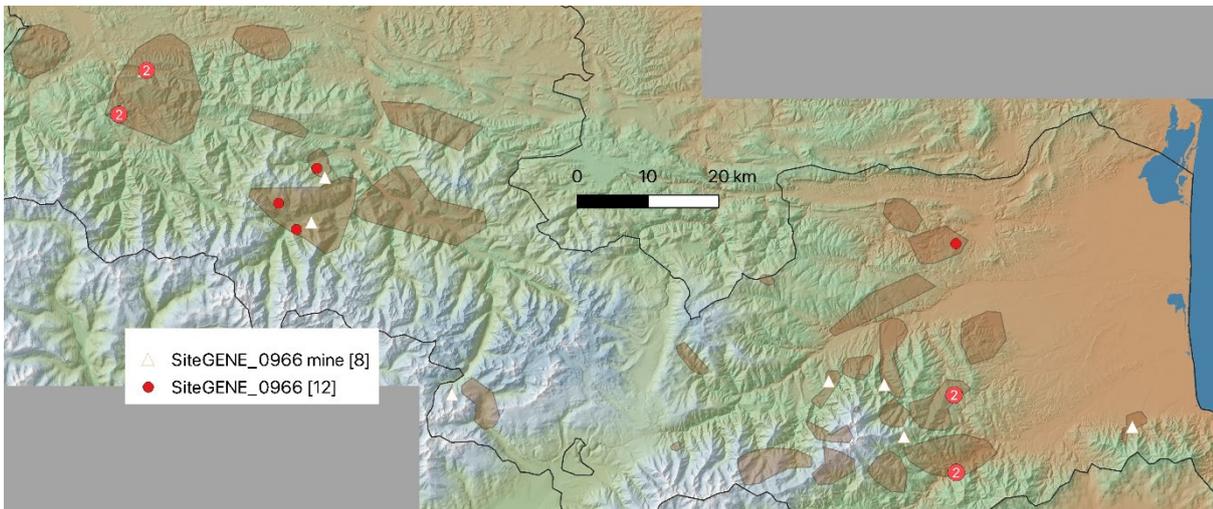


Figure 17 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire à la fin du Haut-Empire (autour des années 200). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Pour des raisons politiques, la cité de Ruscino est démantelée et assimilée à la cité de Narbonne, probablement suite au coup d'État et mise en place de la dynastie des Flaviens (entre les années 69-96). À ce moment, la sidérurgie primaire dans le massif perd énormément en intensité (Figure 15). Le nombre de sites chute littéralement suivant un processus qui se poursuit durant tout le Haut-Empire (Figure 16). C'est aussi à ce moment-là que se développent les importants centres de production de la Montagne Noire dans l'Aude (directement au nord de la zone d'étude). Il y a donc un important basculement des zones de production du fer durant le dernier tiers du 1er siècle qui se solde par une concentration des centres de production de la Montagne Noire et un affaiblissement drastique des productions de l'ancienne cité de Ruscino. Les Albères suite à cette évolution ne sont plus exploités. À l'autre bout de la zone d'étude, le Couserans, dans la cité de Tolosa, renforce sa production. Il faut noter que c'est aussi à partir du Haut-Empire que la vallée du Vicdessos et la mine du Rancié commencent à être mis en exploitation. Les dynamiques d'évolutions sont donc totalement différentes entre l'est et l'ouest de la zone d'étude en fonction des cités dans lesquelles se développent les ateliers.

Durant le Bas-Empire

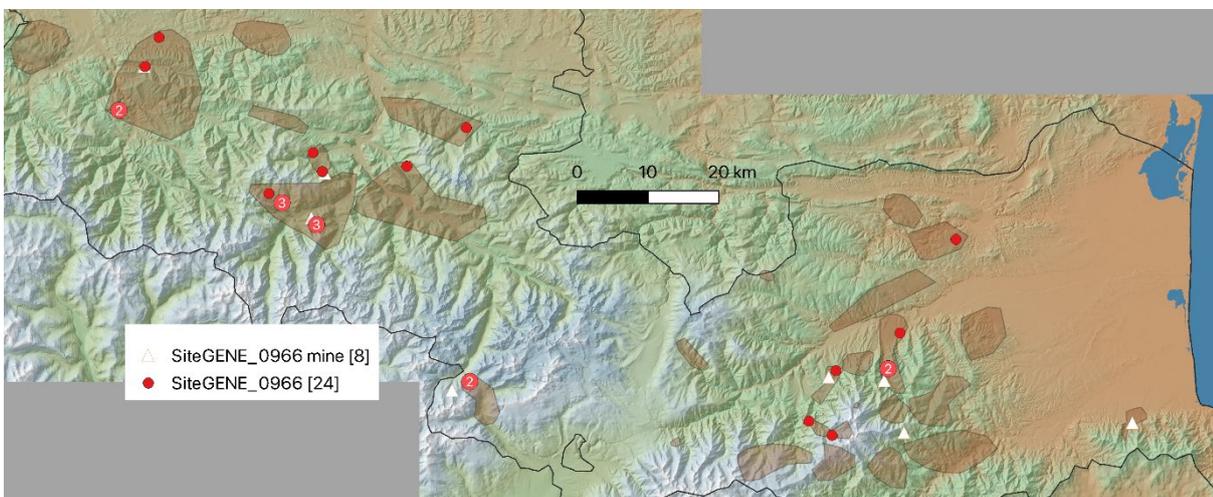


Figure 18 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant le Bas-Empire (autour des années 325). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Durant le Bas-Empire, la tendance constatée et engagée durant le Haut-Empire s'accroît (Figure 17). Cela ne se traduit pas une atrophie très forte de la production dans toute la moitié orientale de la zone d'étude. La métallurgie autour des mines du Canigou est rare et très limitée. Au contraire, les créations de sites de production du fer sont nombreuses dans le département actuel de l'Ariège et spécialement dans le Vicdessos autour de la mine du Rancié. Cette vallée connaît à ce moment-là un vrai dynamisme. C'est aussi à la fin du Bas-Empire qu'une nouvelle mine et une nouvelle zone sont mises en exploitation au Puymorens. Notons que cette espace sidérurgique proche de la Cerdagne est totalement dissociée des autres espaces exploitations d'autant plus qu'il se déploie à haute altitude entre 1500 et 2000 m.

Dans le royaume wisigothique

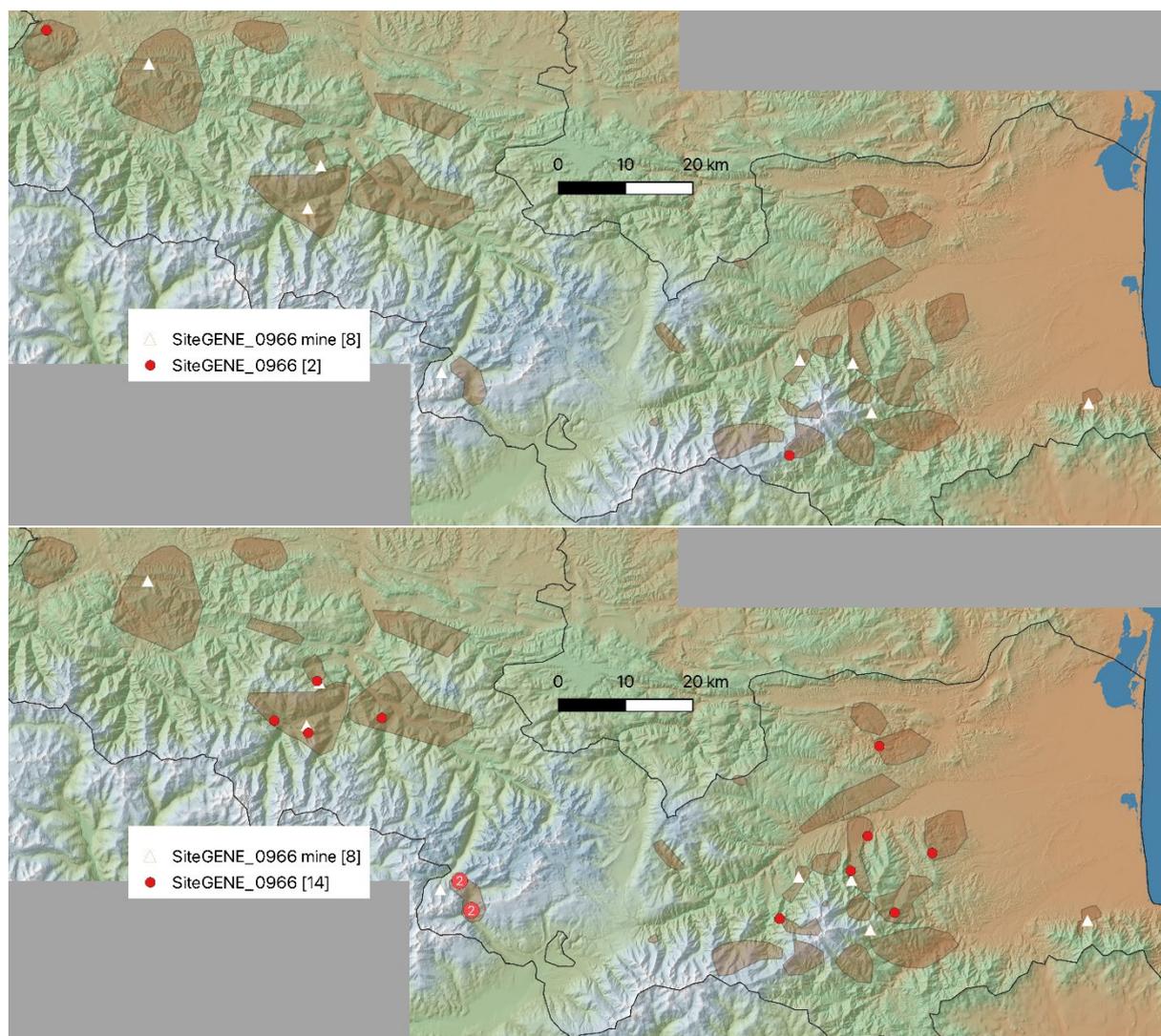


Figure 19 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant l'époque wisigothique (autour des années 500 en haut des années 610 en bas). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

L'époque wisigothique apparaît comme étant le moment où la métallurgie est la moins dynamique dans la zone (Figure 18). Surtout le début de l'époque wisigothique autour des années 500, où la métallurgie primaire

a pratiquement totalement disparu. C'est ici une lecture globale qui est donnée parce que, si l'on considère l'espace sidérurgique du Puymorens, l'époque wisigothique est au contraire la plus dynamique. La situation peut donc se résumer ainsi : à l'époque wisigothique, l'activité sidérurgique se développe spécialement autour du Puymorens dans un secteur nouvellement mis en exploitation et éloigné des autres zones sidérurgiques qui survivent ici et là autour du Canigou (66) et du Rancié (09). Mais se pose dans ces conditions la question de la continuité de la métallurgie entre l'époque romaine et wisigothique. Il semble exister une véritable césure, peut-être courte, entre ces deux époques.

Durant la domination omeyyade

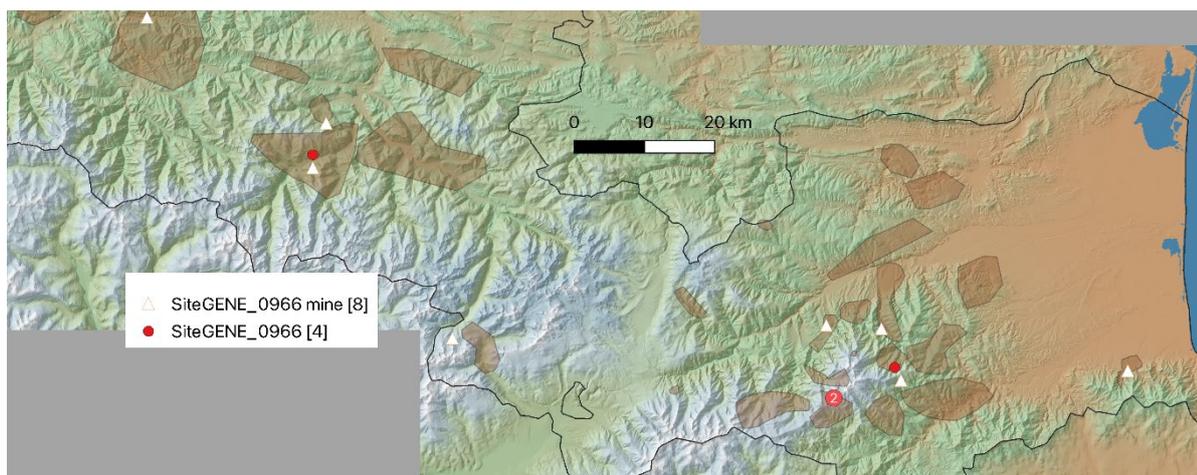


Figure 20 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant la domination omeyyade (autour des années 730). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

La zone est entre 719 et 759 sous domination des Omeyyades qui contrôle Narbonne. Durant cette phase la métallurgie primaire dans la zone est à nouveau assez exsangue (Figure 19). Le secteur du Puymorens est abandonné. Il persiste une très légère activité métallurgique autour des pôles Canigou et Rancié, mais les signaux restent très faibles. Il faut noter une spécificité de la métallurgie de la zone du Canigou à cette époque : elle est active dans des zones jusqu'alors non investies par la métallurgie qui se trouve au-dessus de 1500 m et parfois dans des secteurs très esseulés (ici notamment près du Pla Guihem à l'ouest du Canigou). Se pose la question du contrôle de ses zones isolées par les Omeyyades.

À l'époque carolingienne

L'époque carolingienne semble connaître un léger dynamisme au niveau de la production de fer autour des mines du Rancié et du Canigou (Figure 20). Ce dynamisme se perçoit surtout dans la haute vallée de la Lentilla (commune de Valmanya) où sont installés à côté les uns des autres à cette époque de quelques sites métallurgiques sous la mine de la Pinosa (le pendant septentrional de la mine de Batère sur le massif du Canigou). La situation semble similaire dans la vallée du Vicdessos autour de la mine du Rancié. Il s'agit donc de deux pôles métallurgiques pour cette période, comme l'avait été le Puymorens pour l'époque wisigothique.

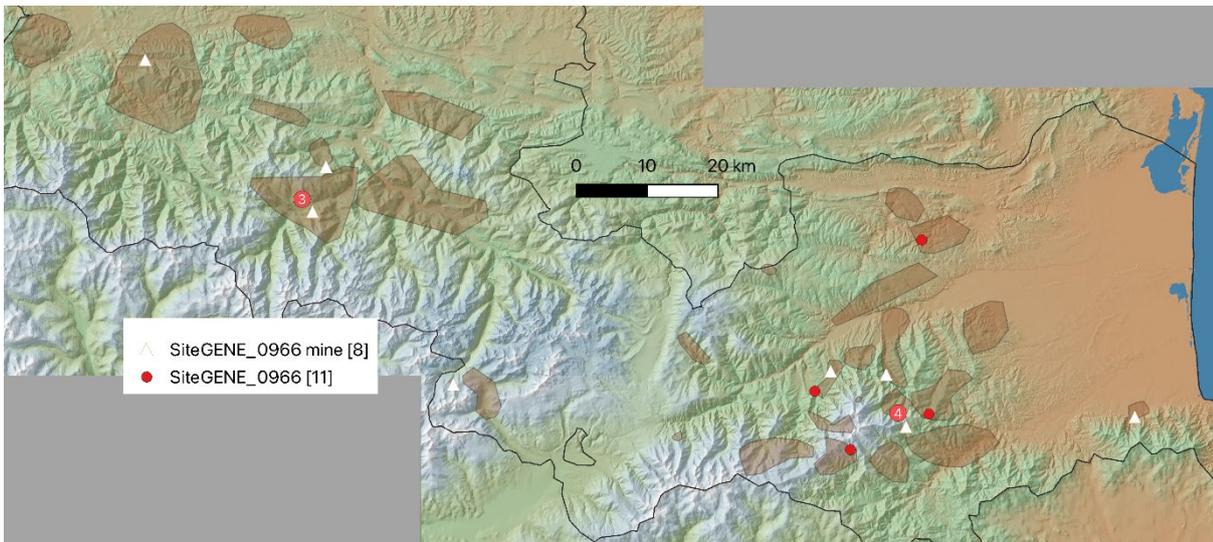


Figure 21 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire à l'époque carolingienne (autour des années 850). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Durant le Moyen Âge central

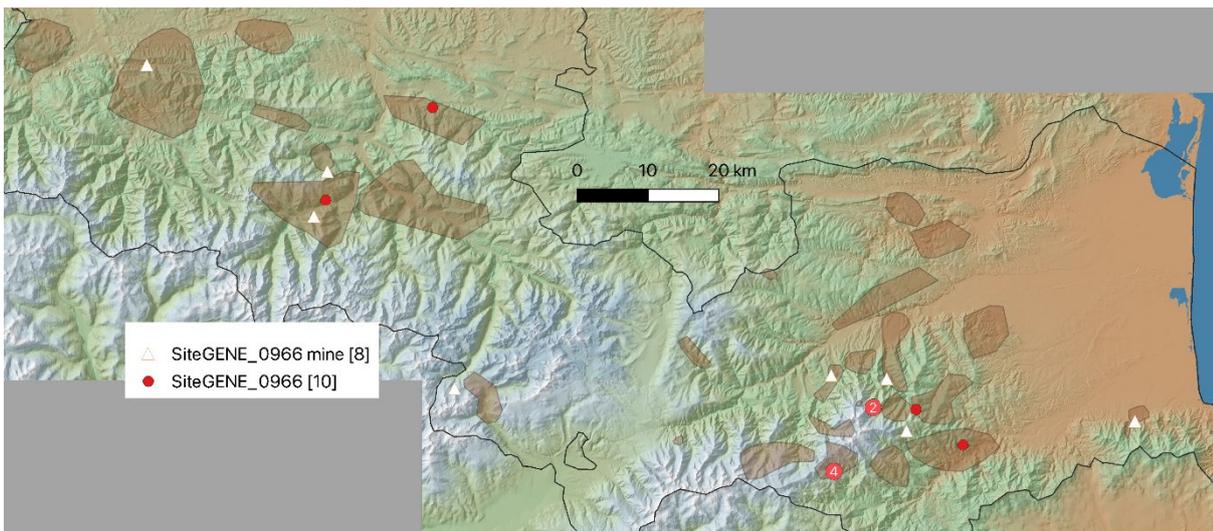


Figure 22 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant le Moyen Âge central (autour des années 1100). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Durant le Moyen Âge central, autour de 1100, la tendance observée à l'époque carolingienne se confirme dans le massif du Canigou (Figure 21). En revanche, dans le Vicdessos, la métallurgie s'essouffle. À côté, au nord, dans les Monts d'Olme, la métallurgie primaire fait son apparition. Dans le Canigou qui connaît donc un dynamisme tout relatif, la métallurgie primaire revêt une caractéristique forte. C'est essentiellement une métallurgie d'altitude, assez éloignée des mines principales du Canigou, mais aussi des vallées. Elle se développe en effet surtout autour du refuge actuel des Cortalets et juste sous la ligne de crête du Pla Guilhem, versant sud. Les installations métallurgiques gagnent sur de nouveaux espaces de montagne élevés, retranchés et éloignés de la source du minerai. Cela devra être analysé.

Au cours du XIII^e siècle au moment de l'introduction de la force hydraulique

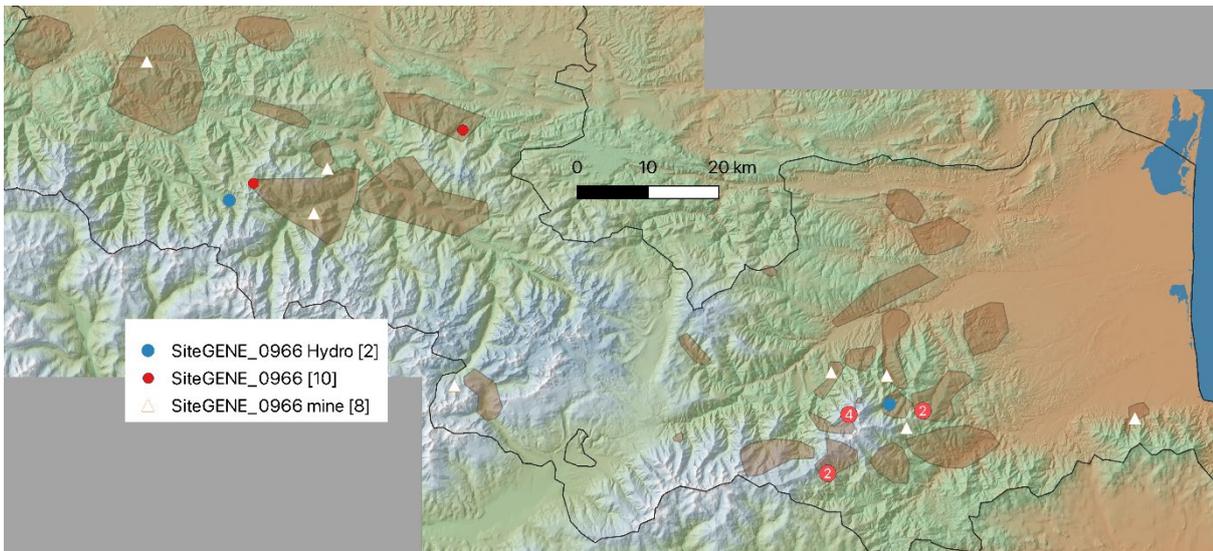


Figure 23 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire au cours du XIIIe siècle au moment de l'introduction de la force hydraulique (autour des années 1250). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge. Les points bleus sont les sites utilisant la force hydraulique.

La situation observée durant le Moyen Âge central reste, semble-t-il, assez stable jusque durant la seconde moitié du XIIIe siècle où apparaît une innovation majeure (Figure 22). L'introduction de la force hydraulique dans le système de production du fer. En effet, comme cela avait été constaté pour la période précédente, la métallurgie de réduction directe non métallurgique semble surtout se développer autour du Canigou, mais dans des zones d'altitude, assez retranchées et éloignées de la source de minerai. Et c'est dans ce paysage que de nouveaux ateliers sont installés auprès des cours d'eau dans les vallées, dans des positions topographiques totalement différentes.

Durant le bas Moyen Âge

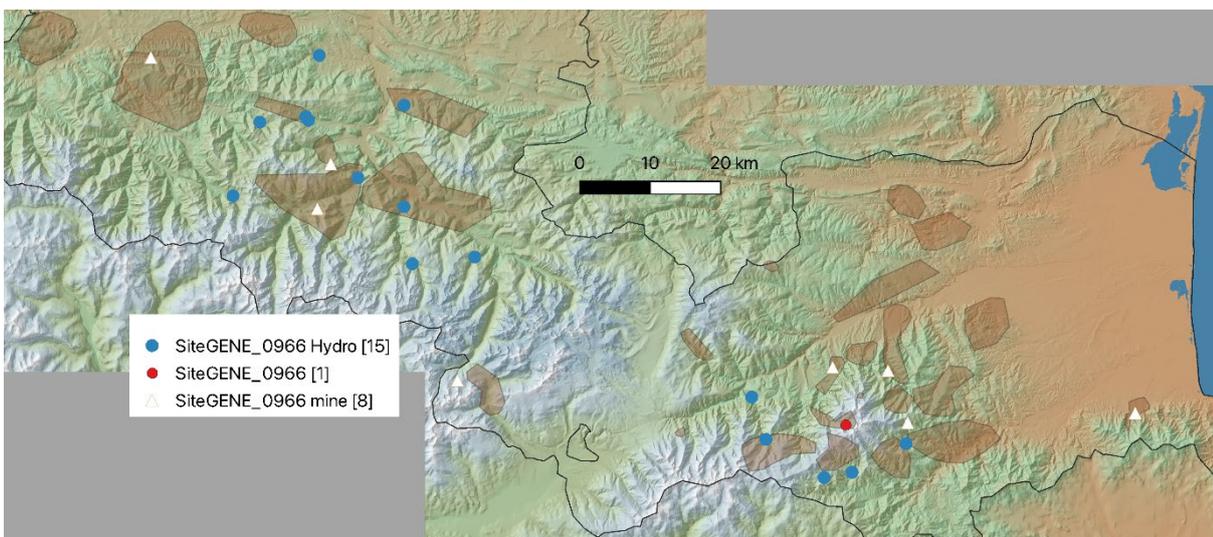


Figure 24 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant le bas Moyen Âge central (autour des années 1350). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Les points bleus sont les sites utilisant la force hydraulique, les rouges sont ceux de réduction directe traditionnelle.

L'introduction de la force hydraulique dans la métallurgie du fer primaire des Pyrénées est un véritable succès (Figure 23). D'une part, un siècle après les premières apparitions, les ateliers utilisant l'hydraulique se retrouvent partout et en nombre. D'autre part, ils supplantent la réduction directe traditionnelle qui ne

persiste que fugacement à quelques rares endroits. Ce phénomène paraît d'autant plus marqué que les ateliers sont désormais plus nombreux, toujours plus importants en grosseur qu'en 1250. Ils s'inscrivent en plus dans des réseaux d'approvisionnement complexe. En effet, ce n'est plus forcément le minerai ou le charbon qui préside à la localisation du site d'installation, mais la présence d'un cours d'eau.

Durant l'Époque moderne

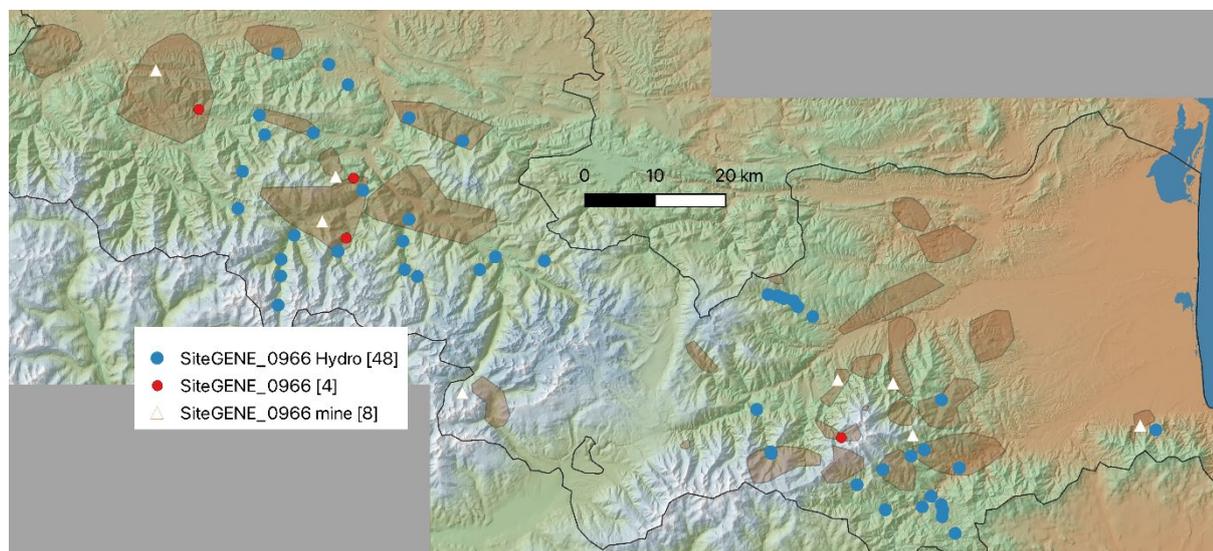


Figure 25 : état des lieux des connaissances pour la sidérurgie primaire durant l'Époque moderne (entre les années 1450 et 1550). Les triangles sont les principales mines et les points rouges les sites fonctionnant à l'époque. Si plusieurs sites fonctionnent les uns à côté des autres, le nombre de sites est indiqué dans le point rouge.

Ici nous analyserons peu les dynamiques d'installation des ateliers hydraulique au cours de l'époque moderne. Notons juste que, si la sidérurgie hydraulique est généralisée et massive à l'Époque moderne, il persiste encore ici et là quelques ateliers de réduction directe traditionnelle (Figure 24). Ce sont des petites installations, mais certaines peuvent être de grande ampleur, comme dans la vallée de Massat en Ariège. L'utilisation de l'hydraulique ne supplante donc pas totalement la métallurgie directe en bas fourneau.

II.3. La mise en évidence d'une sidérurgie d'époque wisigothique en rapport avec l'exploitation du gisement du Puymorens

L'article suivant est le fruit de la collaboration entre Gaspard Pagès et Marie-Claude Jolly-Saad pour l'exploitation du mobilier issu de sondages réalisés en 2022 dans le cadre du PCR. On se concentre sur l'étude des charbons afin de déterminer quelles sont les ressources ligneuses qui ont été exploitées pour la production sidérurgique sur cinq sites qui ont été découverts à proximité de structures minières sur le gisement du Puymorens (Pyrénées-Orientales). A travers les logiques d'implantation des activités, cette étude ouvre des perspectives intéressantes sur les modalités d'occupation de la moyenne montagne dans ce secteur, notamment en posant l'hypothèse que l'installation de ces ateliers sidérurgiques a bénéficié d'un réseau d'occupations déjà bien implanté aux Ve et VIe siècles.

WOOD AND IRON EXPLOITATION IN THE PYRENEAN HIGHLANDS DURING THE VISIGOTHIC PERIOD: THE CASE OF THE PUYMORENS PASS AND THE CAROL VALLEY, FRANCE

Gaspard Pagès^{a,b}, Marie-Claude Jolly-Saad^c

^a CNRS, UMR7041, ArScAn, GAMMA team, MSH Mondes, Nanterre, France

^b CNRS, UMIFRE 6 – CNRS MEAE – USR 3135, Ifpo, DAHA, Beirut, Lebanon

^c Nanterre University, UMR7041, ArScAn, GAMMA team, MSH Mondes, Nanterre, France

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to André Balent, Francis Delcor, Jean Pianelli and Jean Ribot for their knowledge of the Pyrenees and the archaeological discoveries described here. Noémie Luault and Christine Rendu are also to be thanked for their assistance. We are grateful to the Ministry of Culture and Communication of France and the Occitania region for their funding of the programs “Le fer antique et médiéval du massif du Canigou (66)” (2014-2020) and “Programme Collectif de Recherche FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR-FERAPO, 2021-2023) and to the European Union for its funding of the “L’industrie du fer dans le massif des Pyrénées (FERMAPYR, 2020-2022)” program as part of the FEDER Pyrénées 2014-2020 interregional operational program. We would like to thank Sibylle Manyà, Jordi Mach and Christophe Vaschalde for their invaluable help and commitment.

ABSTRACT

The Puymorens iron mine is located at an altitude of between 2100 m and 2200 m at the western edge of the Pyrénées-Orientales department (France), which is bordered by the Ariège department in France and Andorra to the west and Spain to the south. It is the highest-altitude iron ore exploitation in the Pyrenees mountains. A major transportation corridor facilitating the north to south crossing of the Pyrenean massif passes by the foot of the mine, from the Ariège valley to the Carol valley. The mine is known to have been in operation from the 17th century to the end of the 1960s, and it supplied ore to many modern smelting sites in Andorra, Catalonia and Ariège. New data acquired from the FEDER FERMAPYR and PCR FERAPO programs have enabled the identification of older ironworks in the neighboring Carol valley, which also used this ore and have been radiocarbon dated between the 4th and the 6th centuries. By placing this series of Visigothic smelting sites in their environmental context, we will be able to describe their technical specificities and the impetuses for the early exploitation of iron ore and wood at high altitudes in the Pyrenees. The study will be based as much on the results of archaeological excavations and surveys as well as on anthracology studies to understand the relation between iron ore smelting and the forest exploitation for charcoal production.

Keywords: Metallurgy, anthracology, mine, ore, iron, Pyrenees, charcoals, woody resources, Cerdanya.

Introduction

The process of smelting iron ore in a shaft furnace (direct process) requires at least an equal mass of charcoal as of ore (M. Leroy et al., 2000). Several scholars have hypothesized significant environmental impacts resulting from agro-pastoral and also metallurgical practices in forest and mountainous regions such as the eastern Pyrenees (Davasse et al., 1996a; Fouédjeu et al., 2022; Galop, 1998, 1999; Guiter et al., 2005; Py-Saragaglia et al., 2017; Rendu, 1987; Rendu et al., 1995; Schmider, 1978). However, very early claims have

been substantially debated, because it is difficult to establish a geographical and chronological relationship between the metallurgical sites, the exploitation of the forest cover and the evolution of the natural environment. Iron metallurgy at high altitudes of above 1500 m was first practiced in Pyrenees during the late Roman or Visigothic periods, as observed in relation to the Puymorens iron mine. There is no other previous metallurgical evidence in this area at this altitude (Meunier, 2023; Pagès, Dillmann, et al., 2022). The Visigothic iron metallurgy of Puymorens therefore provides an ideal setting for observing the exploitation of iron ore and wood in a limited area: the specific environment of high altitude and over a short chronological sequence. The objective of the study of smelting sites for Puymorens iron ore was to obtain ancient qualitative data on the flora composition of the mountain highland area and the changes that took place as a result of the exploitation of wood for metallurgy. More broadly, this paper aimed to understand how iron ore and wood mines were operated at high altitudes, in extreme environments. It first provides an overview of the context and the methodology used, which was adapted to specific circumstances. The ensuing section presents and analyzes the results, incorporating relevant published literature and micro-regional knowledge.

1. Research area and archaeological methods

1.1. Physiography, vegetation and climate of the region

The investigation area is situated on the upper southern slopes of the Pyrenees massif, stretching from the head of the Carol valley to the Puymorens pass, in the far west of the Pyrénées-Orientales department (France). It is bounded by the Carlit massif to the east and the Font Negra massif to the west. This zone lies to the north of the Cerdanya high plain and is in close proximity to Andorra (Figure 25). On the other side of the Puymorens pass, to the north, lies the Ariège valley.

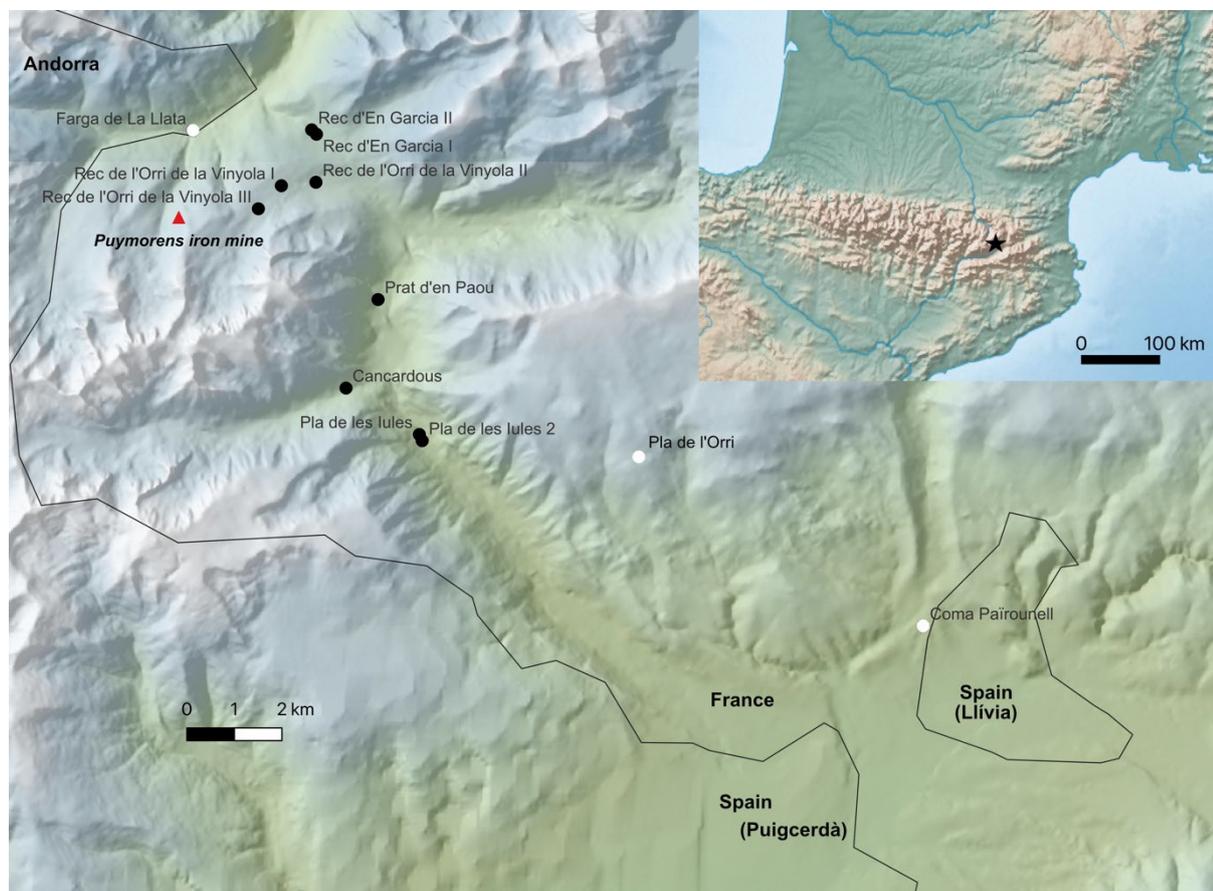


Figure 26 : Secteur d'étude avec localisation des contextes archéologiques (Pyrénées-Orientales, France). En noir, les sites de réduction ; en rouge, la mine de Puymorens ; en blanc, les autres lieux mentionnés dans le texte (Pagès, Jolly-Saad 2024)

Now treeless, this area is located above the timberline, between montane and subalpine forest. The ecotone is still at its highest altitude acknowledged to be a zone that experiences constant change and that is vulnerable to various forms of disturbance, whether originating from climatic or human factors (such as the intensification of the erosion process and the challenge of reforestation at higher elevations).

Due to topographical effects and exposure to southerly winds, the Cerdagne region has a transitional climate that is predominantly continental. The climate is characterized by fairly low average annual temperatures (8.9°C in Villeneuve-les-Escaldes at 1381 m, 7.7°C in Mont-Louis at 1600 m and 6.1°C in Font-Romeu at 1750 m). Freezing conditions occur during at least seven months of the year. The annual number of frosty days is high (124 in Villeneuve-les-Escaldes and 156 in Font-Romeu). In winter, temperatures can fall below -20°C in the mountains and below -10°C on the plateau. In summer, it can reach 30°C during the day, but the nights are always cool. A further contrast is therefore a marked contrast between the plateau and the mountains. There is also a contrast between the south-facing slopes ("soulanes") and the much colder north-facing slopes. Cerdanya has a dry climate. Annual rainfall shows a wide variation, low on the plateau (between 652 mm at Dorres at 1450 m and Villeneuve-les-Escaldes at 1381 m., 760 mm at Mont-Louis at 1600 m, 823 mm at Font Romeu at 1750 m and 879 mm at Valcebollère at 1420 m), and probably a little higher (around 1500 mm) on the mountains, for which there is a lack of meteorological data. This relative dryness is offset by a good distribution of rainfall throughout the year, with the wettest seasons being summer and autumn (Bagnouls & Gaussen, 1953).

Vegetation and climate differ between the head of the Carol valley at 1444 m and the Puymorens pass at 1915 m. The head of the Carol valley is humid and wooded, while the Puymorens pass is windy and situated at the upper limit of the forest. The study area consists of fir forests and Scots pine forests in the montane belt. As in the Alps, the subalpine zone is still forested, mainly with *Pinus uncinata* mixed with *Betula pubescens*, characteristic of the "subalpine belt" (Gaussen, 1925, 1938; Michel, 1951). *Pinus uncinata*, widespread in the subalpine forest in the eastern Pyrenean region, is associated with *Arctostaphylos uva-ursi* and *Juniperus communis* (Gaussen, 1925; Gruber, 1980). In places where the pine forest is sparse or has been disturbed, there is an increased presence of *Betula pubescens*. Three other species reach the base of the subalpine zone: *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Abies alba* Mill. The climatic asymmetry between the two slopes of the Pyrenees means that the Pyrenean subalpine can be divided into humid and xeric types (Gruber, 1980).

1.2. Survey, samplings, materials and method

Surveys in mountainous areas with significant erosion and extensive vegetation cover cannot be conducted in the same way as those in plains with cultivated areas, where ploughing offers good visibility of deposits (Calastrenc et al., 2023; Lallemand et al., 2023). Because exhaustive observation of the territory is not possible, the surveys were conducted only in vegetation-free zones where archaeological remnants are visible on the sediment surface. Examples of such zones are paths and erosion cones. Special attention was given to soil sections, particularly those caused by river erosion (Figure 26). The assistance of people who frequently engage in such activities as farming, shepherding, hunting, walking, and forest wardening in these highlands was invaluable in making this work possible. This type of survey was carried out in the Carol valley and its tributaries, as well as on the Puymorens pass.



Figure 27 : Scories de réduction révélée par l'érosion sur le site du Pla de les lules (flèche)

The identification of ancient iron ore smelting sites is dependent on the discovery of smelting slag. Large quantities of smelting slag are produced as a waste product during the direct iron ore smelting process. Smelting operations are carried out in a shaft furnace, at a location that is separate from the place of extraction. Mining and iron production are therefore never carried out at the same site. In the technical context of the study (Pagès, 2010; Pagès, Dillmann, et al., 2022), each smelting operation would generally produce more than 30-40 kg of slag, which would be accumulated in piles in front of the work area and the shaft furnace.

Given the impact of erosion in mountainous regions, the surveys aimed to identify the concentrations of slag that make up the preserved waste heaps of iron ore smelting sites. The conservation of the slag remains was evaluated during the surveying on the surface thanks to slag density and, in some cases, the presence of coal. If a portion of the remains appeared to be well-preserved from erosion, excavations were conducted in the best-preserved part of the slag heap to eliminate the risk of contamination and prevent the excavation of reworked remains.

The objective of the archaeological excavations was to uncover artefacts such as ceramics (technical and consumption) and tools, as well as remains such as furnaces, pits, and grate spaces, which aid in dating the metallurgical site and understanding the operations carried out and the techniques that were used there. The excavations also served to calculate slag volume (thickness and density, with surface area being defined by the surveys), thereby helping to quantify the size of the exploitation and the volume of iron produced (Pagès, 2017). Smelting sites often lack archaeological evidence for dating purposes. Excavations can provide useful charcoal samples for carbon-14 dating and the anthracological analysis of the fuel used in ore smelting. The metallurgical sites in the study are small, each covering an area of less than 700 m², so test pit measuring 50 cm x 70 cm were used for the excavations (one test pit is carried out per site, but if the results are negative,

a new test pit is carried out). This method gave a satisfactorily representative overview, allowing us to probe to a depth of 80-90 cm and to obtain distinct samples of the metallurgical layers (the depth is defined by the archaeological remains).

Numerous charcoals were collected during the archaeological excavations at the smelting sites. In some cases, they made up the majority of the sediment in which the slag was discovered. The methods used have been described in detail elsewhere (Chabal, 1997; Chabal et al., 1999; Figueiral & Mosbrugger, 2000; Kabukcu & Chabal, 2021; Puech et al., 2021) and are only briefly summarized herein. During the excavation of slag heaps, charcoal was recovered from standard volumes of 10 and 20 liters of sediment, which was subjected to water flotation and then sieved (using a 1 mm mesh). The material was highly fragmented, so any fragments larger than 4 mm were collected from the sieves. The charcoal fragments were observed using an incident light microscope at magnifications ranging from 20 to 1,000 times after being sectioned into three diagnostic planes: transverse, tangential, and radial. The anatomical observations were compared to European wood anatomy atlases (Jacquot, 1955; Schweingruber, 1990; Vernet & Ogereau, 2001) and online databases such as Insidewood. Identifications followed IAWA standards (Baas et al., 2004; Wheeler et al., 2012).

The qualitative and quantitative description of the coals was carried out for each charcoal mentioning dendrological features such as the presence of bark or pith, reaction wood, tyloses, fungal hyphae, and insect markings (xylophagous galleries, faecal pellets) (Marguerie, 1992; Marguerie et al., 2010; Marguerie & Hunot, 2007). The caliber of the wood was also assessed based on growth ring curvature. For this, we chose to use a quick, easy-to-apply qualitative method that consisted in assigning a score based on the shape of the ring (weak curvature 1, intermediate curvature 2 and strong curvature 3 (Marguerie et al., 2010; Marguerie & Hunot, 2007). The occurrence of radial cracks (RC) is considered in charcoal analysis, but as demonstrated by (Caruso-Fermé & Théry-Parisot, 2011; Théry-Parisot & Henry, 2012), their presence is not correlated with the moisture content of the wood or the differentiation between seasoned wood and green wood. According to these authors, calculating a ratio per mm² would be more accurate.

If taxonomic identifications of charcoal fragments do not present theoretical difficulties in European flora, the distinction between pine species namely *Pinus sylvestris* and *Pinus uncinata* can be challenging. In the case of *Pinus uncinata* the micro-anatomical characteristics taken into consideration are thinner growth rings with sharp demarcation from initial to final wood. The transverse walls of the parenchyma cells in the rays are lightly punctuated even in thick-walled cells. Tangential walls are thin with nodular aspects. Finally, thylloids are visible in canals. (Jacquot, 1955; Trouy-Jacquemet, 2023).

2. The smelting sites

Surveys in 2015 and 2017 led to the discovery of nine iron smelting sites in the Carol valley and Puymorens pass area (Pyrénées-Orientales department in France, Figure 25). The presence of dense concentration of slag, a sign of direct iron ore smelting, made the sites easy to recognize. Although four of the nine smelting sites have been significantly damaged by mountain erosion, the other five remain well-preserved are the focus of ongoing archaeological and anthracological new investigations (Pla de les Lules, Pra d'en Paou, Rec de la Vignola 1 and 2, Rec d'en Garcia 2).

The Puymorens iron mine, situated in the vicinity of the village of Porté-Puymorens is the highest-altitude iron mine in the eastern Pyrenees (Balent, 2005). It ranges between the elevations of 2100 m and 2200 m and is located beneath the Pic de la Mine, which has an altitude of 2683 m in the Font Negra massif. It is bordered by the Ariège valley to the north and west and the Carol valley to the south and east. The mine is

situated in a remote location, due to its altitude and distance from other mines and iron deposits, which are situated more than 20 km away in a direct, straight line.

The mine is known to have been in operation until 1964, by which time 1.3 million metric tons of hematite, carbonate, and magnetite had been extracted from Silurian schists (Besson, 1991). According to textual sources, ore had been mined here since the 17th century (Balent, 2005). The ore was used in Andorra and the Ariège valley, such as at the Farga de Llata smelting site, which was active from 1679 to 1772 (Balent, 2016). Sadly, this site was destroyed by flooding of the Ariège, and contemporary industrial operations have erased the remnants of most ancient mines.

2.1. Pla de les lules (Porta, Pyrénées-Orientales, France)

The Pla de les lules deposit is a dense slag heap of over 300 m² (located on a slight slope on the right bank of the Carol river, at an altitude of 1441 m. It is the lowest-altitude deposit that was examined in the study area. Two excavations were conducted at this site in 2016 (Mach & Pagès, 2021). A first pit was excavated in the upper western part of the slag heap. However, the concentration of slag in the stratigraphic units (SU-3 and SU-4) was not very high and the sediment was not particularly carbonaceous. The slag heap could have been disturbed here by colluvium or alluvium. A second pit was dug 4 m further to the east. It revealed, below the humus layer (approximately 20 cm thick), a very dark or black sandy-loam layer with slag and charcoal and no dark cobbles or pebbles (SU-5). The next layer below (SU-6) consists mainly of slag and charcoals (Figure 27). These materials make up the slag heap, whose total depth is approximately 50 cm. This waste heap is very large and dense and contains numerous kiln walls, slags and charcoals. Underlying the waste heap is a substratum consisting of a pile of large stone pebbles typically found at the bottom of Alpine valleys.



Figure 28: Couche d'accumulation de scories (US6) sur le site de Pla de les lules en cours de fouille

2.2. Prat d'en Paou (Porta, Pyrénées-Orientales, France)

The Prat d'en Paou deposit is located on the same bank of the Carol river (right), upstream, 3 km further north. It lies at the bottom of a northeastern-facing slope in a sensitive position similar to lules, except for being located at a higher altitude, at 1558 m above sea level. Although difficult to estimate because of the dense forest cover, its surface area probably does not exceed 700 m². A survey was conducted at the center of this site in 2021. Below 30 cm of humus and colluvium (SU-1), the upper layer of the waste heap was revealed (SU-2 and SU-3). It has probably been reworked and disturbed, because the sediment is not very carbonaceous. Intact pig iron lies 45 cm below the surface. This layer is composed of small slag and charcoal in a black sediment (SU-4) and is no more than 20 cm thick. It rests on granitic rock.

2.3. Rec de l'Orri de la Vinyola 2 (Porté-Puymorens, Pyrénées-Orientales, France)

The Rec de l'Orri de la Vinyola 2 deposit is located on the Puymorens pass, 2.8 km north of the Prat d'en Paou deposit. It is the highest site in altitude in this study (1888 m). The site consists of a small mound measuring 540 m² which lies on a substrate of granite blocks bound by a light-brown sandy sediment. In 2021, the first survey pit was dug 5 m below the highest point of the butte (pit 1). The layers were very broken up and disturbed, so a second hole was excavated some fifteen meters below the first, at the foot of the mound (pit 2). After a 7 cm thick stripping operation (SU-5), a 10 cm thick metallurgical layer was discovered (SU-6). It is carbonaceous and contains numerous small fragments of roasted ore, a few burned stones and small slag.

2.4. Rec de l'Orri de la Vinyola 1 (Porté-Puymorens, Pyrénées-Orientales, France)

The Rec de l'Orri de la Vinyola 2 deposit is very close to the Rec de l'Orri de la Vinyola 1 deposit, only 700m to the west and at a slightly higher elevation of 2013m. The deposit consists of 280 m² of a dense concentration of slag visible on the surface, on the left bank of the Rec de l'Orri stream. In 2021, a test pit was dug directly into the middle of the slag heap (Figure 4). A 10 cm layer was excavated to remove surface pollution (SU-1). The archaeological layers were excavated underneath to a depth of 18 cm (SU-2). This second level is composed almost entirely of small slag (less than 5 cm). The surrounding brown, silty sediment is rare and does not fill all the gaps between the slag. Many charcoals and fragments of roasted ore were collected. Excavation was halted at this layer, the bottom of which was not reached. It did not seem appropriate to purge this level, which may be linked to a kiln that probably lies above and would merit a more extensive archaeological exploration. The base of the slag heap was not reached.



Figure 29: Ferrier du site du Rec de l'Orri de la Vinyola 1, visible sous la végétation

2.5. Rec d'en Garcia I (Porté-Puymorens, Pyrénées-Orientales, France)

The Rec d'en Garcia I deposit is situated 1km north of Rec de l'Orri de la Vinyola 1 and 2. It lies at an altitude of 1858 m on the southern slope of the Puymorens pass, on the Ariège valley side, along one of the river's tributaries (the Rec d'en Garcia). The site has suffered severe erosion and destruction by water torrents. Only 20 m² remain on the torrent-eroded left bank. In 2021, the site was excavated under 50 cm of a humus layer and a disturbed layer (SU-1 and SU-2). The 17 cm thick metallurgical layer (SU-3) was composed of a black, very carbonaceous sediment, rich in roasted ore and small slag (Figure 29).



Figure 30: Vue en coupe de la couche d'accumulation de déchets métallurgiques (US3) sur le site de Rec d'en Garcia

3. Radiocarbon dating of smelting sites

No ceramics or other objects were available to determine the age of the sites through typology. Consequently, it was necessary to employ carbon dating. Charcoals similar to small twigs, or ideally originating from the secondary xylem tissues closest to the cambium were selected from intact metallurgical layers for dating. C14 analysis was performed at the Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (Lyon, France) in 2016 and at the Pozan Radiocarbon Laboratory (Poland) in 2021 (Table 1).

Site	Layer	Taxa	Small twigs	Near cambium	Laboratory codes	Raw C14 date	Standard deviation
Iules	SU-6	<i>Juniperus</i> sp.	x	x	Lyon-13945 48952)	(SacA 1635	30
Iules	SU-6	<i>Juniperus</i> sp.	x	x	Lyon-13946 48953)	(SacA 1615	30
Iules	SU-6	<i>Juniperus</i> sp.		x	Lyon-13947 48954)	(SacA 1590	30
Paou	SU-4	<i>Pinus</i> cf. <i>P. sylvestris</i>	x	x	Poz#2-150460	1525	28
Vinyola 1	SU-2	<i>Pinus</i> sp.	x	x	Poz#2-150461	1712	25
Vinyola 2	SU-6	<i>Pinus</i> cf. <i>sylvestris</i>	x	x	Poz#2-150379	1613	28
Garcia 1	SU-3	<i>Pinus</i> cf. <i>sylvestris</i>	x	x	Poz#2-150380	1671	28

Table 1: Description des échantillons de charbons soumis à datation radiocarbon (laboratoire de Poznan)

In 2016, three C14 dates were obtained for the lules site, from the same archaeological layer (SU-6). All have a consistent chronology (Tableau 2). In 2021, radiocarbon dating was conducted at four other sites, resulting in a total of seven dates (Table 1, Tableau 2). There is a 95.4% probability that the correct dates fall between 254 and 605 AD (Figure 30).

Name	Unmodelled (BC/AD)			
	from_68.3 %	to_68.3 %	from_95.4 %	to_95.4 %
R_Date Paou_Poz#2-150460	540	595	435	605
R_Date lules_Lyon-13945 (SacA 48952)	406	533	367	541
R_Date lules_Lyon-13946 (SacA 48953)	417	534	410	542
R_Date lules_Lyon-13947 (SacA 48954)	433	536	419	548
R_Combine lules	419	531	416	538
R_Date Vinyola 2_Poz#2-150379	418	534	413	540
R_Date Garcia 1_Poz#2-150380	267	420	257	529
R_Date Vinyola 1_Poz#2-150461	262	401	254	412

Tableau 2: Datations radiocarbon calibrées en utilisant OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021).

This wide date range does not result from the date distribution, but rather from the calibration of dates using the IntCal20 reference curve and from plateau effects, which are well-established in Late Antiquity (Tableau 2). It is challenging to differentiate between the Late Roman Empire (spanning the 3rd century up to 418 AD) and the Visigothic Kingdom (418-720 AD), which had its capital in Toulouse, just 150 km from the examined sites, from 418 to 507 AD. The plateau effects were slightly lessened by using multiple dates for the same location. Using the R_Combine function in OxCal for lules, the combination of the three dates shortened the sequence by 59 years: specifically, from between 367 and 548 AD to between 416 and 538 AD (Tableau 2). Ore smelting operations, indicated by the minimal waste volumes, were not persistent across the chronological range of the C14 dates for each location.

Based on the surface area of the slag heap (less than 700 m²), each smelting site was operated for a maximum of 50 years, most likely for less than a generation, which covers 25 years (Pagès, 2010 and Pagès 2017). Various parameters in addition to C14 dates must be considered to establish the sites' chronology. It is essential to determine whether the sites a) were part of a single continuous phase of occupation for iron smelting that occurred successively in different areas, or b) were entirely disconnected, with gaps spanning more than one generation. Can it be determined whether the Visigothic-era smelting sites were already in operation during the Late Empire? While the question remains open, several arguments suggest a Visigothic occupation sequence for iron smelting, at a time when the Cerdanya and Capcir regions were experiencing a restructuring of human settlements (particularly at Llivia and Coma Païrounell) and mountain agropastoral exploitation (Luault 2019; Luault 2020). The sites are comparable and primarily date back to the Visigothic era, with no other acknowledged exploitation periods. Their morphology is considerably different from the production standards of the Roman period (Pagès et al. 2022).

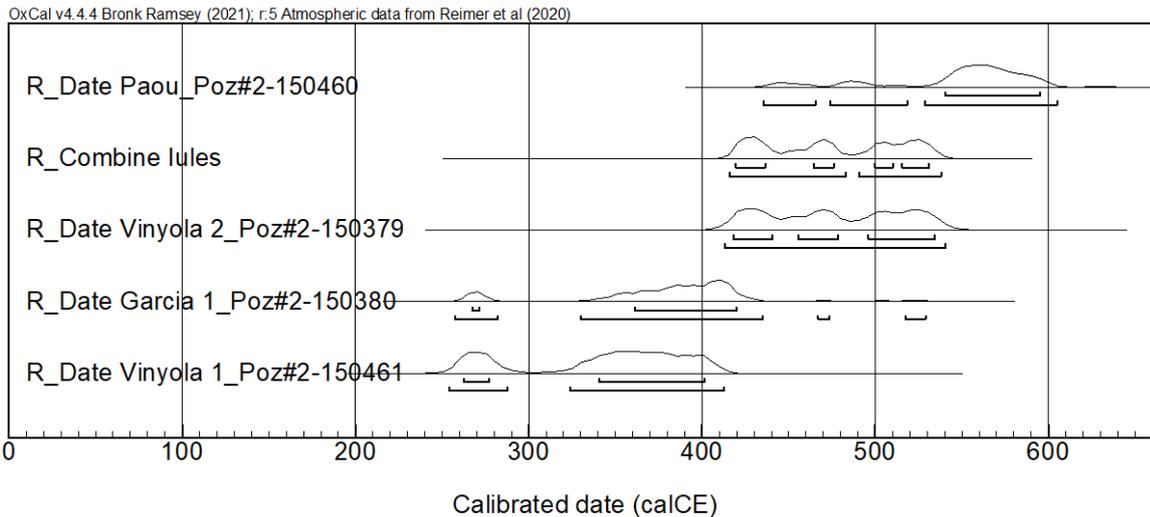


Figure 31: Diagramme présentant les dates radiocarbon calibrées en utilisant OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021).

Whether we adopt a narrow or a more dilated chronology, it is clear that not all sites were operational at the same time. Based on their dating, three phases of occupation can be distinguished: sites dated between 254 AD and 430 AD (Vinyola 1 and Garcia 1), sites dated between 413 AD and 538 AD (lules and Vinyola 2), and the most recent site, dated between 435 AD and 605 AD (Paou). The oldest sites are therefore the closest to the mine (between 2 and 3 km), while the most recent is the farthest away (more than 6 km). This shift can be observed during an intermediate phase, when both the Puymorens pass and the Carol valley were occupied.

4. Fuelwood used in iron metallurgy

The anthracological diagram (Figure 31) is based on a selection of five metallurgical sites and eight stratigraphic units (SU), each containing between 51 and 300 charcoals. The charcoals examined were debris of the fuelwood burnt in the metallurgical processes, which allows us to study the use of wood in relation to the area's activities. The process of smelting iron ore in a shaft furnace requires at least an equal mass of charcoals as of ore (M. Leroy et al., 2000). The smelting sites vary in terms of their north-south topographical position and the distinct relief types found at the Carol valley summit and the Puymorens pass. There is a 569 m difference in altitude between the lowest (1444 m) and highest (2013 m) site studied. This study gives us the opportunity to describe the anthracological assemblages encountered at different altitudinal levels (montane, subalpine) and to determine whether or not they are of local origin. Three other non-metallurgical contexts in the Pla de les lules (SU-3, SU-4 and SU-5) were analyzed for the purpose of comparison.

4.1. Charcoals from deposits in contact with the metallurgical layer

Fieldwork produced two groups: 1) metallurgical and 2) non-metallurgical contexts. Three stratigraphic units at Pla de les lules (SU-3, SU-4 and SU-5) represent the non-metallurgical contexts. The two sites are less rich in charcoal: only 51, 65 and 96 charcoals (less than 4mm) samples were studied from these layers. Additionally, variations in brilliance (from bright to dull, not vitrification) across these samples suggest an heterogeneous assemblage with the presence of different sources of charcoals and reworked elements.

The fewest charcoals were collected from SU-3 at Pla de les lules, making this non-metallurgical context the least representative in this study. Only 51 charcoals were analyzed from this layer (Tableau 3). Six taxa were

identified: *Abies alba* (62.7%), *Pinus cf. sylvestris*⁴ (23.5%), *Juniperus sp.* (2.0%), *Fagus sylvatica* (2.0%), Angiosperms (3.9%), and unidentified taxa (5.9%). A homogeneous brilliant carbonization characterized 74.5% of the wood, while the remaining 25.5% was less well-preserved, suggesting the presence of reworked elements from post depositional processes and are therefore not contemporary with the age of deposits. Growth ring curvatures indicate the use of a majority of large wood pieces (94%, versus 6% for small wood with type 3 ring curvature). Sixty-five charcoals were analyzed from SU-4 (also in Pla de les lules, below SU-3), and same taxa as in the upper horizon were found (Tableau 3): *Abies alba* (46.2%), *Pinus sylvestris* (38.5%), *Juniperus* (1.5%), *Fagus sylvatica* (1.5%), unidentifiable Angiosperms (4.6%), unidentifiable Gymnosperms (6.2%), and unidentified taxa (1.5%). Again, 74.5% of the wood had a homogeneous glossy carbonization (all coals have the same shiny appearance), with the other third very probably composed of reworked material. Growth ring curves indicate 51% of large wood pieces, but curvature could not be assessed for 21% of the samples, due to poor conservation. It is interesting to note the presence of two joinery elements, including a joint bar with notches, in these two layers (SU-3 and SU-4). Unfortunately, this artefact is too small to identify its source (infrastructure or tool).

SU-5 is the third non-metallurgical context studied, also from Pla de les lules. It forms the interface between the humus and the metallurgical layers in the second pit. Ninety-six charcoals were examined, including *Abies alba* (31.3%), *Pinus sylvestris* (56.3%), *Juniperus* (2.1%), *Fagus sylvatica* (3.1%), unidentifiable Angiosperms (3.1%), unidentifiable Gymnosperms (1.0%), and unidentifiable taxa (3.1%) (Tableau 3). The unidentifiable wood tissues were vitrified. In this layer, carbonization resulted in only 68% of the material with a shiny appearance, the rest being composed of reworked elements. The wood's ring curvature are straight (the rays are almost parallel to each other) and suggests the use of large-diameter wood rather than small wood. When the rings the charcoal is considered to come from the most recent part of large-caliber wood.

Context	Garcia Vinyola Vinyola			Paou	lules 1			
	1	1	2		non-metallurgical layers			
	metallurgical layers							
Number of charcoals	300	288	282	300	250	51	65	96
TAXA (%)	SU-3	SU-2	SU-4	SU-4	SU-6	SU-3	SU-4	SU-5
<i>Abies alba</i>	0,0	0,0	0,0	58,0	66,8	62,7	46,2	31,3
<i>Pinus cf. sylvestris</i>	95,7	49,0	74,5	33,0	23,6	23,5	38,5	56,3
<i>Pinus cf. P. uncinata</i>	3,3	38,5	24,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
<i>Juniperus sp.</i>	0,0	1,4	0,0	0,0	4,0	2,0	1,5	2,1
<i>Fagus sylvatica.</i>	0,7	0,0	0,4	0,0	0,0	2,0	1,5	3,1
<i>Alnus sp.</i>	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rosaceae	0,0	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Angiosperms	0,0	0,0	0,0	8,0	0,8	3,9	4,6	3,1
Gymnosperms	0,0	3,5	0,0	0,0	0,8	0,0	6,2	1,0
Unidentifiable taxa	0,3	6,9	0,0	0,0	3,2	5,9	1,5	3,1
DENDROLOGICAL ATTRIBUTES (total)								

⁴ *Pinus cf. P. sylvestris* is the correct identification for the period studied, *Pinus nigra* does not belong to the plant series of the montane and subalpine levels of the Eastern Pyrenees. It is possible that reforestation involving *Pinus nigra* and mixtures took place from the 19th century onwards.

Context	Garcia	Vinyola	Vinyola	Paou	lules 1			
	1	1	2					
	metallurgical layers				non-metallurgical layers			
Bark	0	0	0	0	0	0	0	0
Pith	0	0	0	0	0	1	1	0
Fungi/fungal hyphae	0	0	0	0	0	0	0	0
Xylophagous galleries	0	0	0	0	0	0	0	0
Tyloses	0	0	0	0	0	0	0	0
Traumatic canals	1	0	0	0	0	0	0	0
Cutting season	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.
Growth ring curvature type 1	291	282	280	173	236	48	50	87
Growth ring curvature type 2	4	4	1	114	20	2	1	10
Growth ring curvature type 3	5	2	1	13	3	1	0	3
Reaction wood	1	0	0	1	0	0	1	0
Carbonization type 1	2	0	0	1	8	8	8	30
Carbonization type 2	1	2	0	0	16	3	3	1
Carbonization type 3 (Bright carbonization)	297	286	282	299	225	40	49	66
Radial tracks	4	1	2	0	0	0	3	3
Vitrification type 1	8	14	18	2	6	0	2	2
Vitrification type 2	0	0	0	0	0	0	0	3
Vitrification type 3	0	0	0	0	0	3	1	3
Stained wood	18	0	0	0	0	0	0	0
Joinery elements	2	0	0	0	0	1	1	0

Tableau 3: Synthèse des données dendro-anthracologiques selon les sites et les données stratigraphiques

4.2. Northeastern slope of the right bank of the Carol valley (Porta, France, 1441-1558 m)

SU-6 from Pla de les lules (1441 m) is the only intact metallurgical layer from the second excavation pit. In all, 250 charcoals were analyzed and six taxa were identified, including *Abies alba* (66.8%), *Pinus sylvestris* (23.6%), *Pinus cf. P. uncinata* (0.8%), *Juniperus* (4.0%), and unidentified Angiosperms and Gymnosperms (1.6%) (Tableau 3, Figure 31). The material exhibited homogeneous carbonization, with 94.4% of glossy charcoals, suggesting that this assemblage is representative and devoid of reworked charcoals, not contemporaneous with the deposit. Many charcoals were collected from this metallurgical level, making them representative samples in this study.

The studied layer (SU-4) from Prat d'en Paou (1558 m) has a depth of 55-60 cm. A total of 300 charcoal remains were examined and six taxa were identified (Tableau 3, Figure 31). The samples were made up of *Abies alba* at 58%, followed by *Pinus sylvestris* at 33%. The other taxa were *Alnus* sp. at 1% and Angiosperms (8%). The entire carp assemblage is homogeneous, with identical charring for all the coals. Few radial cracks were present. A small number of vitrification traces were also noted (2.6%). From horizon SU-3, a small number of centimeter-sized charcoal samples were collected (n=12) comprising *Abies alba* and *Pinus sylvestris* species.

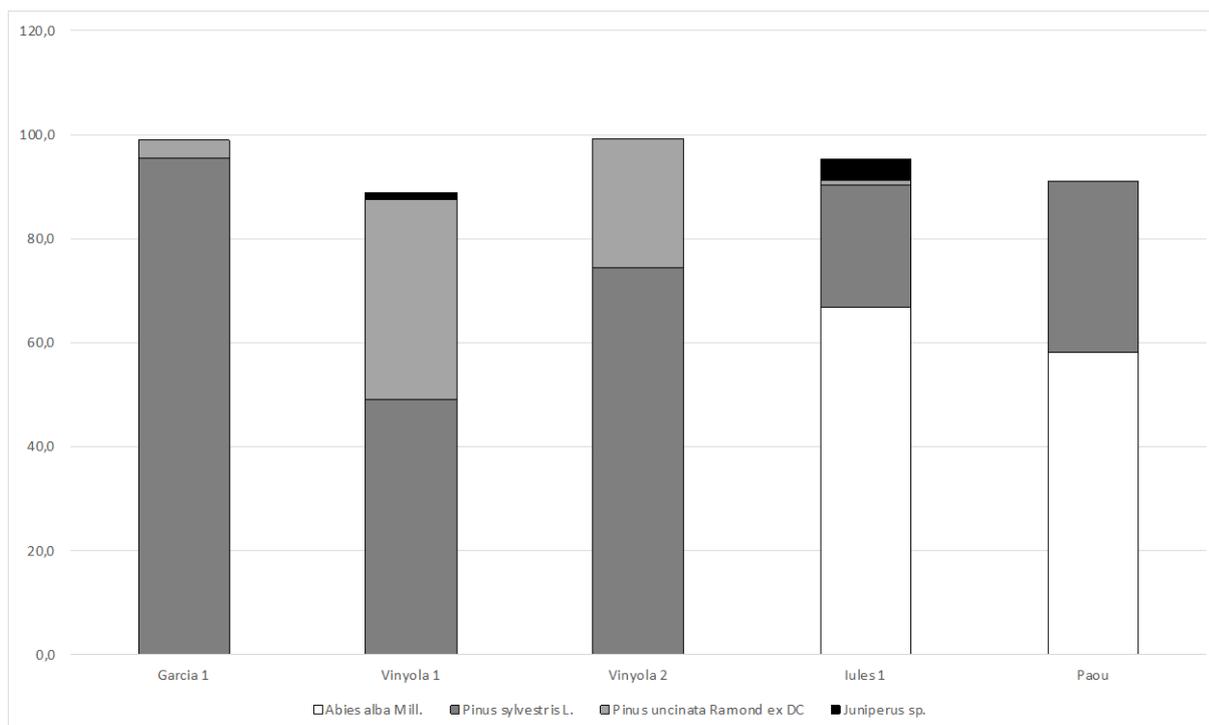


Figure 32: Anthracogramme présentant les fréquences relatives des taxons dominants dans les couches de déchets métallurgiques étudiées

4.3. Puymorens pass (Porté-Puymorens, France, 1858-2013 m)

Two archaeological layers from surveys of two different smelting sites at the Rec de l'Orri location were analyzed: Vignola 1 SU-2 and Vignola 2 SU-4 (Tableau 3, Figure 31). A single layer from the neighboring Rec d'en Garcia 1 site (SU-3) was chosen for the examination.

From SU-2 at Rec de l'Orri Vignola 1 (2013 m), 288 charcoals were studied (Tableau 3, Figure 31). The samples mostly comprised four precisely identified arboreal taxa, which included *Pinus* cf. *P. sylvestris* (49%), *Pinus* cf. *P. uncinata* (38.5%), *Juniperus* sp. (1.4%), and Rosaceae (0.7%). The other taxa were unidentifiable (6.9%). Carbonization was homogeneous, resulting in the charcoals' overall shiny appearance. Only 5% of the charcoals showed vitrification. In 23% of the samples, tension wood was observed. No radial tracks were found. The ring curvatures (type 1) suggest the use of wood with a large diameter.

From SU-4 at Rec de l'Orri de la Vignola 2 (1888 m), 282 charcoals were studied (Tableau 3, Figure 31). This assemblage was mostly made up of seven arboreal taxa, with *Pinus sylvestris* (74.5%) and *Pinus uncinata* (24.8%) – the genus *Pinus* being the most prevalent among the Gymnosperms. The remaining taxa, including Rosaceae (0.4%), represent a small frequency. Homogeneous carbonization has resulted in an overall shiny appearance of the charcoals. Only 6.3% of the charcoals show vitrification. Charring is uniform throughout the assemblage and a strong gloss was observed. No compression or tension wood was found. A few of the charcoals (<1%) had split rays. In the survey, the charcoal samples indicated the use of large-diameter wood.

In the 300 charcoal samples analyzed in SU-3 from Rec d'en Garcia 1 (1858 m), three taxa were identified (Tableau 3, Figure 31): *Pinus*, *Fagus*, and an unidentified species. *Pinus* was the dominant element, making up 98% of the assemblage with *Pinus sylvestris* at 95.7% and *Pinus uncinata* at 3.3%. *Fagus sylvatica* frequencies were less than 1%. Homogeneous carbonization of the charcoals and a shiny appearance were observed. Two-thirds of the fragments showed straight rings, indicating the use of bigger branches and fewer smaller ones. Vitrified wood was infrequently observed (in only eight charcoals). Remnants of manufactured components, such as quadrangular wood, off-cuts of small, beveled pieces, and quarter-sections and half-sections of stems, were evident. Some joinery elements (cleats) with bevels, showing the use of manufactured wood, were also found.

5. Discussion

5.1 Charcoals from forest exploitation used as fuelwood for the metallurgy

Three phases of timber and metallurgical exploitation were identified in the Puymorens pass and Carol valley area. The first phase, dating between 254 AD and 430 AD, included the Rec d'en Garcia and the Rec de l'Orri de la Vignola 1 sites, located at 1858m and 2013m, respectively. These were the first of the sites to be exploited and were located in the immediate vicinity of the mine. The third and most recent smelting phase (435-605AD) included Prat d'en Paou, situated at a lower altitude (1558m). The second, middle, phase included the Rec de l'Orri de la Vinyola 2 (1890m) and the Pla de les Lules (1441m) sites and represents an intermediate phase, with one site still at a high altitude and the other at a lower altitude. For the period under study, it perhaps marks the beginning of a shift in activity to lower altitudes.

The charcoal samples analyzed from all these locations and timeframes are dominated by a limited number of woody taxa, as shown in Tableau 3. Arboreal taxa prevail across all sites, with the following specific types identified: *Abies alba* Mill., *Pinus* cf. *P. sylvestris*, *Pinus* cf. *P. uncinata*, *Juniperus* sp., *Alnus* sp. and Rosaceae. All these plants are only found in the montane and subalpine phytogeographic regions around the sites.

Fagus, a sciaphilous taxon that requires high atmospheric humidity, is excluded naturally from Cerdanya and can only be found in extant vegetation on a few hectares at the northern end of the Capcir (Gausson 1938). The discovery of a small number of *Fagus* charcoals in our analysis is most likely the result of material or tools having been brought to the site and later abandoned. *Abies*, which prefers moist soil and which is a heliophilous or half-shade species, can be found in Cerdanya in isolated stands depending on local microclimatic conditions. The Prat d'en Paou and Pla de les Lules sites, located on southern slope, offered some surprising results with the presence of *Abies*. However, due to the geographical and climatic particularities of Cerdagne, including continentality, altitude, and irregular precipitation distribution, the presence of this species may be limited to specific micro-habitats, favored by particular environmental conditions where the relative dryness is offset by a good distribution of rainfall throughout the year, which is very favorable for fir growth. Similarly, we can assume the opening of the Carol valley to the north brings humidity and fog, while the southerly and easterly winds bring clouds and abundant rainfall at higher altitude. Phytosociological studies would provide a better understanding of the dynamics of plant communities where the fir tree is present or absent. Additionally, more detailed climatic studies, particularly regarding local variations in temperature and humidity, would be crucial to assess the conditions that supported its past expansion in this region.

These results suggest that during each time period, the forest's upper limit was higher than it is now, at least on a local level or very close to the sites where metallurgical exploitation took place. The arboreal species used were those that were present on the site and directly available, in accordance with the principle of least effort (Shackleton and Prins, 1992), which perhaps allows us to suggest the proximity of charcoal kilns for wood processing.

The smelting process in iron production requires a significant amount of fuel and the very probable presence of local coal production in the vicinity of the iron smelting site and consequently the existence of charcoal kilns. In reference to the examination of the Porta and Porté-Puymorens locations, the anthracological taxa results are consistent with the theoretical distribution of taxa (vegetation series) (Gruber 1981) which allows us to hypothesize that charcoal production took place nearby. The processing of wood might have taken place in coal pits, where all species were transformed on site, or a single wood species might have been used for more controlled burning, necessitating the use of multiple coalfields. However, no coal pits were identified during the surveys.

Similarly, the scarcity or absence of shrub species or heliophilous elements could suggest the immediate availability of woodland formations which offer more biomass. It is also likely that there were few clearings in the surrounding areas. Based on these observations, the hypothesis of a higher upper limit to the forest (at least locally) is plausible. Moreover, the absence of fungal spores and mycelium in the charcoals indicates a good phytosanitary status for the fossil specimens studied. The analyses revealed few ray tracks and low degree of vitrification, the anatomical features of the wood are visible allowing for its identification.

Two distinct anthracological sectors can be identified:

The metallurgical sites in the Carol valley are situated between 1441 m and 1558m in altitude, which corresponds to a montane zone range of 900 m to 1700 m. At Prat d'en Paou (dated 435-605 AD) and Pla de les lules (dated 416-538 AD), *Abies alba* and *Pinus sylvestris* were identified, while *Pinus uncinata* was absent due to being outside of its habitat. *Fagus* and *Juniperus* were observed, although at low frequencies. Both sites exhibit low species diversity indicating marginal use of these species or solely used as kindling wood.

For the Puymorens pass area Rec de l'Orri de la Vinyola 1 sequence (dated 254-412 AD), the Rec de l'Orri de la Vinyola 2 sequence (dated 413-540 AD), and Rec d'en Garcia 1 (dated 257- 430 AD), situated between the montane and subalpine zones at altitudes ranging from 1858m to 2013m, the anthracological evidence demonstrates that the main fuel sources were *Pinus* (*Pinus sylvestris* and *Pinus uncinata*), with a lesser, marginal use of *Juniperus*. For the periods and locations examined in the study, surveys excluded *Abies* and *Fagus*, which do not belong to this bioclimatic region and where the drier climatic conditions do not favor them. The pine trees, which are the local species, are the only ones being harvested in these areas.

5.2 Vegetation/anthropization history

The study area has been extensively researched over several decades by scientists in multiple disciplines (paleoecology, palynology, archaeology and history). Archaeological data has revealed numerous pastoral and agricultural structures and remnants of metallurgical activities, indicating the prehistoric and historic use of highland resources (Bal et al., 2010; Davasse et al., 1996b; Galop, 1999; Luault, 2020; Rendu, 1987; Rendu et al., 1995). Historical ecology, based on palynology, has provided long-term insight into the human activity and environmental history of the eastern Pyrenees, and more specifically, on the Cerdan plateau and in the higher altitudes, spanning almost 7000 years, with a particular focus on fluctuations in the forest's upper limit (Bal et al., 2010; Galop, 1998; Guiter et al., 2005; Vanni re et al., 2001).

Among the most prevalent publications, palynological and microcharcoal analyses from the peat bogs of the Pla de l'Orri, located in the high pastoral regions of Enveitg (southern slopes of the Carlit, 2150 m (Galop, 1998), show a sequence beginning at 6230+/- 6000 BP (4280 BC) with pine dominance. *Abies* is found at lower altitudes until 4310 +/-60 BP (2360 BC); at that time, human impact on the environment remained minimal. The *Abies* curve shows three periods of decline, the first in the Middle Neolithic and the second during the Middle Bronze Age, also attested by pedoanthracological studies (Bal et al., 2010). From the end of the Iron Age to the beginning of Antiquity, the pollen analysis indicates the recovery of land by the pine forest and a decline in high-altitude pastoral activities in the Pla de l'Orri area. The last major decline of *Abies* during the Middle Ages was recorded in 760+/-60 AD, with a decrease of all arboreal pollen, apophytes having been at their peak during this period. The early Middle Ages marked the beginning of a new phase in the development of pastoral activities, with a significant anthropisation phase dating back to the 8th century (Vanni re et al., 2001).

Pollen records from Racou lake (Guiter et al., 2005), situated at an altitude of 2000 m above sea level on the right bank of the upper T t river, 12 km northwest of Mont-Louis, show a similar pattern during the Late Holocene with a first decline of *Abies* curve at 2515 +/- 35 BP and a second just before 1215 +/-45 BP, suggestive of nearby pastoral activities. As for Pla de l'Orri, this confirms an increase in human pressure

during the Middle to Late Neolithic, as evidenced by associated archaeological vestiges (Galop, 1998). Furthermore, the Racou lake pollen records lack sufficiently detailed dates for the last millennium. Generally, the documentation of vegetation dynamics during this period is insufficient, despite numerous palaeoecological studies conducted in the Pyrenees (Guiter et al., 2005). Further west, the Bosc dels Estanyons peat bog (Madriu, Andorra, 2180 m) shows a similar vegetation dynamic to that of Pla de l'Orri and the Racou lake. The extension of *Abies* stands begins in around 7100 BP. Between 7000 BP and 6300 BP (around 5050 BC and 4350 BC), pollen indices (AP/T 60%) show a trend towards a gradual reduction in montane and subalpine forest species (mean values of *Abies* are around 5%). As elsewhere, the Subboreal, which corresponds to the Late Neolithic, saw the first major human expansion in the Pyrenean Mountains. More significant anthropogenic pressures emerged around 2600 BP (630 AD) including subalpine pine forests and oak and fir forest levels. From 2050 BP to 1800 BP (110 AD to 235 AD), all indicators of activity suggest an intensification of pastoral pressure during the Roman period. The subalpine forests are highly degraded, with an arboreal rate of around 20%, the lowest since the Late Glacial period. Site occupation during this period is also attested by the presence of a smithing activity from the 1st century AD until the first half of the 3rd century AD. Note that smithing, which represents the final step in the metallurgical process, differs significantly from the reduction phase in terms of location, activity and wood requirements. Anthropogenic pressure in Cerdanya continued and intensified from the 7th century onwards, as it is generally known regionally.

The anthracological results from the Prat d'en Paou and Porté-Puymorens sites, obtained over a short historical period, have enabled us to gain a better understanding of the use of the environment by the population. *Pinus* and *Abies* were present in the montane and subalpine forests during the Visigothic period, but gradually disappeared almost completely from the highland area due to the intensification of human pressure and the modification of forest ecosystems.

Evidence from this study suggests that the records from the sites studied are earlier than the Racou lake records but later than those of Pla de l'Orri and Madriu, which include observations of subalpine forests from the Middle Bronze Age onwards, with different activities from one sector to another (Bal et al., 2010; Galop, 1998). Therefore, our findings and subsequent examinations highlight the challenge of making generalized assertions about human-environment interactions within a given regional geographic zone. The region's geography is intricate, due to its latitudinal position, diverse altitudes, opposing slopes, valley orientation, resources and timeframe, emphasizing the need to develop micro-regional aspects. As seen in this study, the mountain is a geosystem divided into parcels, with the eastern portion of the Carol valley being devoted to pastoralism, while metallurgical activity was concentrated in the western area.

5.3. Techniques and settlement

The mountain environment is widely acknowledged to be a constantly evolving region that is vulnerable to climate alterations and human influence and pressure. Additionally, the erosive processes in this area are aggressive, leading to the poor conservation of archaeological remains. Often partly destroyed, visible remains therefore only represent part of the reality. As a result, it is difficult to quantify iron mining and smelting activities in the Carol valley and on the Puymorens pass. Very early traces from the Visigothic period have been discovered and at least three phases have been identified. Based on our present knowledge, they are unconnected to any previous or subsequent activity. The nearest Roman remains are found at a straight-line distance of more than 35 km, at Vicdessos (Ariege, France) and Canigou (Pyrénées-Orientales, France).

Excluding smithing as a separate activity, iron production necessitates specialized techniques and was split into at least three distinct activities demanding different skill sets (mining, smelting, forging). In the Roman and medieval world in western Europe, mining, charcoal burning and iron ore smelting were carried out by

different specialists (Pagès, 2010). These activities were not performed by the same people, due to the advanced skills required for each.

The extraction and smelting of iron ore in the Carol Valley and on the Puymorens pass would have required the arrival and settlement of people proficient in both mining and metallurgy. Coal mining may have been a native activity, but it experienced significant growth in the region due to the influence of metallurgy, possibly utilizing local expertise. The presence of metallurgists - but also of miners as a consequence - therefore implies that the area was frequently occupied for metallurgical activity during the Visigothic period. Metallurgical infrastructure was assimilated into the pre-existing network of settlements and activities, potentially enhancing the forestry “industry” in the Carol valley and on the Puymorens pass (Luault, 2020, 2021). Nonetheless, all operations took place only during the summer months, after the snow had thawed.

It is challenging to determine precisely why metallurgists and miners operated the Puymorens mine, with the assistance of the local population, on a consistent seasonal basis during the Visigothic period. Multiple factors must be considered to answer this question. Studies conducted since 2010 have shown that such exploitations are prevalent in the northwestern Mediterranean. From the decline of the Roman Empire onwards, metallurgists increasingly operated in steeper and higher-altitude areas, in both the Alps and the Pyrenees. Was this due to a shortage of wood at lower altitudes, due to heavy forest exploitation during the Roman era? Or was it a result of the exploitation of new territories that were more conducive to new economic models? The explanation is undoubtedly multifactorial. It is essential to carry out an increased number of high-resolution interdisciplinary investigations of metallurgical contexts, while placing the discussion in a micro-regional framework.

Conclusion

Thanks to an integrated archaeological and anthracological investigation conducted over a region covering 400 km², it is now possible to reconstruct partially early iron exploitation at the Puymorens mine in the Pyrenees mountains, which is the highest-altitude mine in the region, at more than 2100 m above sea level. At the end of the Roman Empire and especially during the Visigothic period, a population of miners and metallurgists settled in the area to exploit the mine on a regular seasonal basis. They went on to produce iron nearby at workshops situated at lower altitudes, between 1400 m and 2000 m, making use of the available forest resources. This industry was likely part of a preexisting network of settlements and land usage in the mountains, especially for farming and pasturing activities, which flourished in the 5th and 6th centuries. Consequently, this metallurgical industry was part of an active economic framework. Woodland and fuel resources were exploited near the smelting sites. The anthracological spectra are characterized by very low taxonomic diversity and a large predominance of *Pinus* and *Abies* which corresponds to the low diversity of species in the montane and subalpine environment of this montane area. There was no selection of species; the supply was simply based on the availability of local wood. According to this analysis, it is likely that the forest’s upper limit was higher in the past. Subalpine *Pinus* forests were exploited first, followed by montane *Abies* and *Pinus* forests. Smelting site locations followed this pattern, moving lower and lower during the Visigothic period. This shift could indicate that the significant need for wood for iron smelting has contributed, at least in part, to the forest’s decline in this area.

Fundings

The author(s) declare financial support was received for the research, authorship, and/or publication of this article. This research was funded by: (1) The Ministry of Culture and Communication and the Occitania region of France for their funding of the programs “Lefer antique et médiéval du massif du Canigou (66) (2014-2020)” and “Programme Collectif de Recherche FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR- FERAPO, 2021-2023)”. (2) The European Union for its funding of the “Industrie du fer dans le massif des Pyrénées

(FERMAPYR, 2020-2022)” program as part of the FEDER Pyrénées 2014-2020 interregional operational program.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to André Balent, Francis Delcor, Jean Pianelli, and Jean Ribot for their knowledge of the Pyrenees and the archaeological discoveries described here. Noémie Luault and Christine Rendu are also to be thanked for their assistance. We are grateful to the Ministry of Culture and Communication of France and the Occitania region for their funding of the programs: Le fer antique et medieval du massif du Canigou (66) (2014–2020), Programme Collectif de Recherche FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR-FERAPO, 2021–2023), and to the European Union for its funding of the L’industrie du fer dans le massif des Pyrénées (FERMAPYR,2020–2022) program as part of the FEDER Pyrénées 2014–2020 interregional operational program. We would like to thank Sibylle Manya, Jordi Mach, and Christophe Vaschalde for their invaluable help and commitment.

II.3. Mise en place d’un système de collecte synchronisée de données de terrain

Une session de travail dédiée à la synthèse de la documentation acquise depuis le commencement des programmes de prospection thématiques sur les deux départements s’est tenue entre le 26 février et le 1^{er} mars 2024. Ceci a également permis de confronter les expériences des principaux auteurs de fiches de sites et d’alimenteurs des bases de données projet en termes de flux de travail. Nous avons partagé le constat qu’il serait profitable à l’avenir de disposer d’une solution de génération instantanée des entités sur une base de données disponible en ligne, afin de faciliter la gestion des données à l’échelle des secteurs de prospection, mais également pour prévenir les éventuelles pertes d’informations qui pourraient être liées à la manipulation par plusieurs d’un géopackage partagé via un répertoire de données, mais qui nécessite de réaliser des manipulations en local sur différents postes de travail.

Nous avons donc opté pour l’utilisation de l’application mobile MerjinMaps, qui présente l’intérêt d’offrir un espace de données partagé entre les différents membres du projet. Les différents géopackages utilisés ont été déposés sur cet espace et l’interface utilisateurs a été paramétrée afin d’offrir une forme de visualisation des données qui convienne au plus grand nombre de contributeurs. Désormais, chaque membre de l’équipe dispose de la possibilité d’intégrer de nouvelles données au fil de l’eau. Ces données font l’objet de sessions de modération (2 par an), afin de vérifier leur conformité avec le concept de données que nous avons mis en place au préalable. Cette solution a été éprouvée à l’occasion de deux sessions de prospection, et semble donner pleine satisfaction.

II.4. Définition des priorités pour les campagnes analytiques à venir

Cette session de travail a également fourni l’occasion de redéfinir les priorités en termes de datations et de caractérisation chimique, en disposant d’une vision globale sur l’ensemble des sites mis en évidence par les prospections, ainsi que sur la documentation analytique déjà acquise. Nous avons particulièrement tenu compte des disparités observées en termes de documentation des secteurs d’étude. Par exemple, il est apparu que les sites métallurgiques du secteur de Py-Mantet n’avaient encore bénéficié d’aucune datation ou caractérisation chimique. Pour chacun des autres secteurs, nous avons remis en perspective les informations déjà disponibles, et décidé le cas échéant d’envisager des études complémentaires. Une échelle de priorité de trois degrés a été adoptée pour figurer ces priorités.

Le Tableau 4 présente les résultats issus de cette réflexion en ce qui concerne les datations à envisager. Parmi les 70 sites discutés, il est apparu que 19 d'entre eux, symbolisé par une triple astérisque (***), devaient être datés à moyen terme afin d'améliorer notre compréhension des dynamiques sidérurgiques à l'échelle de l'espace étudié. Les priorités concernent notamment six espaces de production qui ont été définis dans le rapport de synthèse de la triennale 2021-2023. Pour le département de l'Ariège, il s'agit du 'Col de Port', à cheval entre les vallées sidérurgiques de Massat et du Saurat. Pour les Pyrénées-Orientales, cela concerne les vallées de Laroque, de Py-Mantet, de Laroque et de Cabrils, ainsi que le secteur de Planès dans le Conflent, et de la forêt de Salvanère, en bordure septentrionale du Conflent. La carte représentée en Figure 32 montre la répartition spatiale des contextes concernés.

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Ensemble non daté	Intérêt datation	Notes
Agly	L'Aspicata	66158_1		***	
Agly ?	Route de Saint-Arnac	66092_3		*	
Agly ?	Cave coopérative	66092_2		*	
Albères	Mas d'en Bordes 1	66093_4		**	
Albères	Correc de Mata Porcs	66093_20		**	
Albères	Mas Arman 2	66093_16		**	
Arize	Barraque 01	09203_1		**	Refaire prélèvement
Arize	Ferranès 02	09009_10		*	
bas Lentilla	Mas Miquelet	66013_8		***	
bas Lentilla	Mas d'En Pascalou	66013_6		**	
bas Lentilla	Rabollèdes 2	66013_11		*	
bas Vallespir	Can Caner	66113_4		***	
Cady	La Pinoseta 2	66043_14		**	
Cady	Col Vert 6	66043_18		**	
Col de Port	Sarraute 02	09280_11	O	***	
Col de Port	Le Méné	09065_3	O	**	
Conflent	Tour de Cours	66204_9		*	
Conflent	Clot del Baladre 1	66204_14		*	
Couserans	Ferrerres 01	09057_5		**	
Couserans	Bernadès 02	09299_2		*	
Couserans Ouest	Sainte-Catherine 01	09035_1		***	
Forges hydrauliques 66	Forge de Saint Guillem	66206_2		***	
haut Aspres	Vilarem	66018_19		***	
haut Aspres	La Cova de Mollo	66183_16		***	
haut Aspres	Sainte Foy	66018_20		**	

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Ensemble non daté	Intérêt datation	Notes
haut Aspres	Mas de la Torre 1	66183_17		**	Voir sites voisins si pas de scories
haut Aspres	Mas de la Torre 2	66183_18		**	Voir sites voisins si pas de scories
haut Aspres	La Tour de Batère 4	66018_6		**	
haut Aspres	Ribes Rojes 2	66203_4		*	
Monts-d'Olmes	Carrayé 02	09272_4		***	
Monts-d'Olmes	Fargue Vieille 01	09272_3		***	
Monts-d'Olmes	Clot de Ménié 01	09215_6		***	
Monts-d'Olmes	Le Pic 01	09215_4		*	
Monts-d'Olmes	Freychenet 01	09215_2		*	
Moyenne Ariège	Laulets 02	09192_3		***	Refaire prélèvement
Moyenne Ariège	Coume d'Amont 01	09087_1		***	
Moyenne Ariège	Village 01	09155_10		**	Refaire prélèvement
Moyenne Ariège	Planelle Ferrière 01	09024_2		**	
Moyenne Ariège	Poulailler Lacase 01	09192_11		*	
Moyenne Ariège	La Ferrière 01	09176_1		*	
Planès	Roque Courbe 1	66142_1	O	***	
Puymorens	Cancardous	66146_4		*	
Py – Mantet	Bac de Balaguer 3	66155_14	O	**	
Py – Mantet	Bac de Balaguer 7	66155_18	O	**	
Py – Mantet	Moscallo 6	66155_22	O	**	
Py – Mantet	Moscallo 7	66155_23	O	**	
Py – Mantet	Les Fourquets 1	66102_24	O	**	
Py – Mantet	Ravin del Callau 1	66102_7	O	**	
Py – Mantet	Ravin del Callau 2	66102_29	O	**	
Py – Mantet	Jassa del Xaï 2	66102_16	O	**	
Py – Mantet	Jassa del Xaï 3	66102_32	O	**	
Py – Mantet	Font des Soques 1	66102_8	O	**	
Py – Mantet	Serra de Caret 1	66102_4	O	**	
Py – Mantet	Serra de Caret 4	66102_5	O	**	
Py – Mantet	Pas de Rotjà 2	66155_26	O	*	

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Ensemble non daté	Intérêt datation	Notes
Py – Mantet	Sacaillouse 3	66155_10	O	*	
Py – Mantet	Jassa de la Portella	66102_15	O	*	
Salvanère	Clot del Manxers 1	66119_8	O	***	
Salvanère	Font del Bon Cristià	66119_9	O	***	
Vallée de Cabrils	Correc del Manès	66191_2	O	***	
Vallée de Laroque	Casot del Guarda	66093_11	O	**	
Vallée de Laroque	Correc de les Teixoneres 1	66093_13	O	**	
Vallée de Laroque	Mas d'en Soler	66093_3	O	**	
Vallée de Laroque	Al Quinta 3	66093_9	O	**	
Vallée de Massat	Bayletou 01	09182_10		***	Site hydraulique ?
Vicdessos	Viala 01	09134_1		***	
Vicdessos	Lercoul 02	09162_2		**	
Vicdessos	Saleix Village 01	09030_9		**	
Vicdessos	Le Castel 01	09133_1		**	
Vicdessos	Lapège Village	09152_1		**	

Tableau 4 : Synthèse des priorités pour les datations radiocarbone à venir

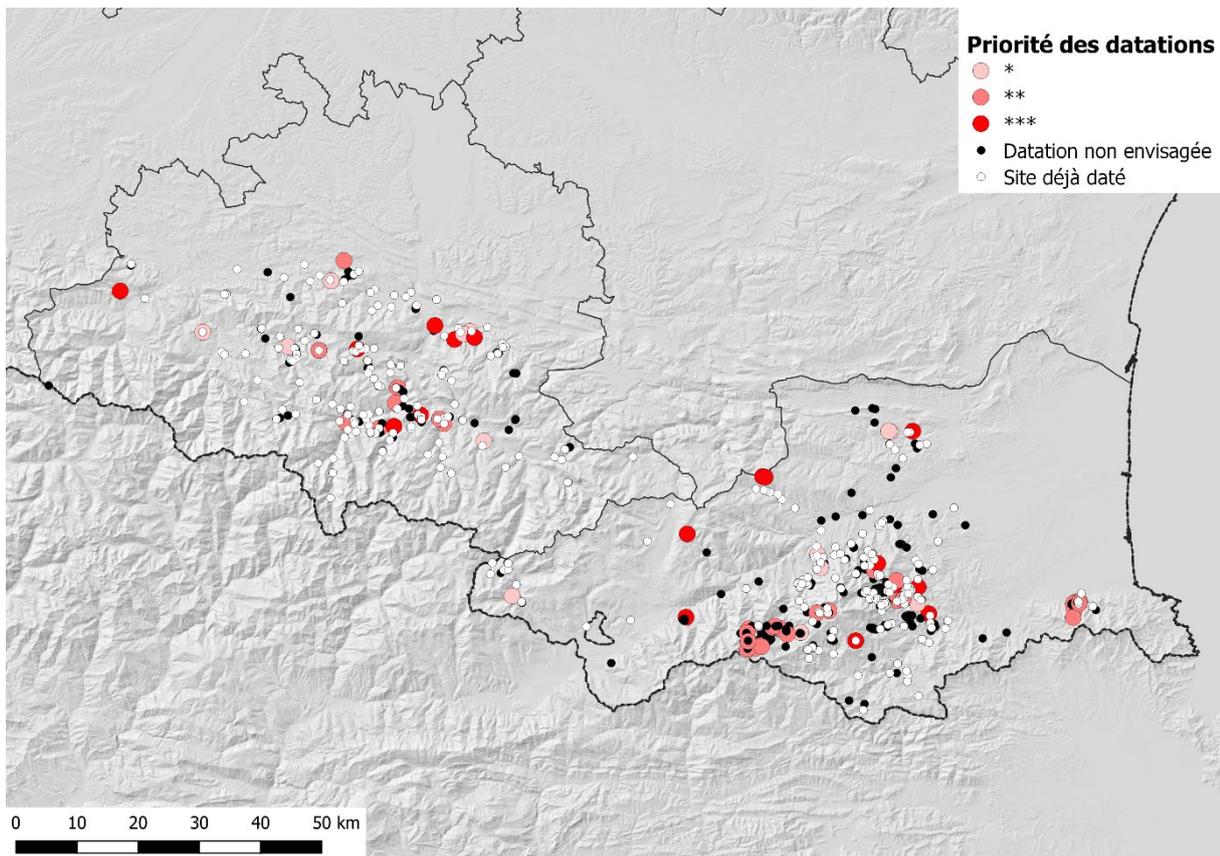


Figure 33 : Localisation des contextes archéologiques du projet ; les marqueurs colorés représentent les degrés de priorité établis pour la poursuite de la collecte de données chronologiques

Le Tableau 5 présente les priorités à donner pour la caractérisation chimique globale des scories de réduction et fragments de minerai collectés sur les sites métallurgiques prospectés. Après discussion, il est apparu que 97 contextes présentaient un intérêt plus ou moins grand dans la perspective d'une caractérisation chimique des principaux espaces de production reconnus. Parmi ces 97 contextes, 48 ont été considérés comme présentant un intérêt important. Quinze espaces de production définis dans la synthèse de la précédente triennale n'ont pas encore bénéficié de caractérisation chimique. On peut remarquer que les six espaces n'ayant pas encore bénéficié par ailleurs de datations figurent dans cette liste. Des prélèvements ont d'ores et déjà été effectués pour quatre de ces contextes, ce qui représente 20 analyses. Les résultats parviendront probablement au cours du premier ou du second trimestre 2025.

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Nombre d'échantillons à analyser	Ensemble non analysé	Intérêt analyse	Remarques
Agly	L'Horto	66039_2	5	0	***	Fouilles récentes SAD66
Agly	L'Aspicata	66158_1	5	0	***	
Arize	Les Atiels	09042_1	5	0	***	
Arize	La Mouline 04	09009_9	5	0	***	
Arize	Village 02	09009_6	5	0	**	
Arize	Barraque 01	09203_1	5	0	**	
bas Lentilla	Mas d'Adalt	66013_5	5	0	***	

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Nombre d'échantillons à analyser	Ensemble non analysé	Intérêt analyse	Remarques
bas Lentilla	Saint-André-de-Baillestavy	66013_9	5	0	***	
bas Lentilla	Mas de la Serre 1	66079_3	5	0	***	Prelevé 15/10/24
bas Lentilla	Mas Sahilla	66079_2	5	0	***	En cours d'analyse
bas Lentilla	L'oratoire	66165_1	5	0	**	
bas Vallespir	Can Valent	66009_2	5		***	
bas Vallespir	Can Cerda	66113_5	5		***	Prelevé 15/10/24
Cady	Col Vert 4	66043_10	5	0	***	
Cady	La Pinoseta 1	66043_13	3	0	***	
Cady	Col Vert 1	66043_7	3	0	***	
Col de Port	Sarraute 02	09280_11	5	0	***	
Col de Port	Le Méné 01	09065_3	5	0	*	
Conflent	Els Meners	66204_3	5		***	
Conflent	L'Arboretum	66222_9	5		***	
Conflent	La Moixa	66222_1	5		***	
Cortalets	Cortalets 1	66204_10	3	0	***	
Cortalets	Cortalets 3	66204_12	3	0	***	
Couserans	Riverenert 03 Courtalou	09247_3	5		***	
Couserans	Ferrasse 01	09113_2	5		***	
Couserans	Riverenert 04	09247_4	5		**	
Couserans	Ferreres 01	09057_5	5		**	
Couserans ouest	Cazaux 02	09091_2	5		***	
Forges hydrauliques 09	Peyre Auselère 01	09231_6	5		***	
Forges hydrauliques 09	Canadelle 01	09065_2	5		***	
Forges hydrauliques 09	Les Campots 01	09280_10	5		***	
Forges hydrauliques 09	La Coupière 01	09293_1	5		***	
Forges hydrauliques 09	Bouychet 01	09295_4	5		***	

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Nombre d'échantillons à analyser	Ensemble non analysé	Intérêt analyse	Remarques
Forges hydrauliques 09	El Galis 01	09024_1	5		***	
Forges hydrauliques 09	Le Najjar 02	09283_1	5		***	En cours d'analyse
Forges hydrauliques 09	Pla de Nizard 01	09030_8	5		**	
Forges hydrauliques 09	Riète 01	09024_5	5		**	
Forges hydrauliques 09	Sirbal 01	09024_6	5		**	
Forges hydrauliques 09	La Mouline 03	09023_2	5		**	
Forges hydrauliques 09	Malpassadou 01	09066_2	5		*	
Forges hydrauliques 09	Barthalé 01	09206_1	5		*	
Forges hydrauliques 09	Mouline Belmont 01	09093_2	5		*	
Forges hydrauliques 09	Moulin de la Fargue 01	09215_1	5		*	
Forges hydrauliques 66	Ricaresa 1	66150_17	5		***	Scories à prélever
Forges hydrauliques 66	La Fargasse Los Masos	66221_34	5		***	
Forges hydrauliques 66	Forge de Saint Guillem	66206_2	5		**	
Forges hydrauliques 66	Farga de la Molina (Forge du Llech)	66073_2	5		*	
haut Aspres	Cal Vell	66183_4	5		***	
haut Aspres	Pla de Dalt	66018_1	5		***	

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Nombre d'échantillons à analyser	Ensemble non analysé	Intérêt analyse	Remarques
haut Aspres	Can Forto 2	66153_2	5		***	
haut Aspres	Riu Fred 1	66018_17	5		**	
haut Aspres	Mas de la Torre 5	66183_21	3		**	
haut Aspres	Mas de la Torre 8	66183_24	3		**	
haut Lentilla	La Pinosa 1	66221_36	5	0	***	En cours d'analyse
haut Lentilla	Bac de l'Estanyol 9	66221_16	5	0	***	En cours d'analyse
Monts d'Olmes	Paquetayre 01	09206_4	5	0	***	
Monts d'Olmes	Roc del Faouré 01	09206_9	5	0	***	
Monts d'Olmes	Freychenet Village 01	09215_5	5	0	***	
Monts d'Olmes	Fargue Vieille 01	09272_3	5	0	***	
Monts d'Olmes	Carrayé 02	09272_4	5	0	***	
moyenne Ariège	Pla de la Sécaille 01	09092_1	5	0	***	
moyenne Ariège	Fount et Ferrière 01	09155_9	5	0	***	
moyenne Ariège	La Ferrière 01	09176_1	5	0	**	
Pla Guillem	Les Estables	66150_4	5	0	***	
Pla Guillem	Cabre Morte	66150_8	5	0	***	
Pla Guillem	La Jourdonna 5	66150_18	5	0	***	Scories à retrouver ou à prélever
Pla Guillem	Llipodère	66043_2	3	0	**	
Pla Guillem	Bassibes 2	66150_11	3	0	**	
Planès	Roque Courbe 1	66142_1	5	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Pas de Rotjà 2	66155_26	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Sacaillouse 3	66155_10	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Bac de Balaguer 3	66155_14	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Bac de Balaguer 7	66155_18	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Moscallo 6	66155_22	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Moscallo 7	66155_23	3	0	*	En attente des datations

Espace de production	Nom du site	N° de projet	Nombre d'échantillons à analyser	Ensemble non analysé	Intérêt analyse	Remarques
Py – Mantet	Les Fourquets 1	66102_24	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Ravin del Callau 1	66102_7	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Ravin del Callau 2	66102_29	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Jassa de la Portella	66102_15	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Jassa del Xaï 2	66102_16	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Jassa del Xaï 3	66102_32	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Font des Soques 1	66102_8	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Serra de Caret 1	66102_4	3	0	*	En attente des datations
Py – Mantet	Serra de Caret 4	66102_5	3	0	*	En attente des datations
Salvanère	Clot del Manxers 1	66119_8	5	0	*	En attente des datations
Salvanère	Font del Bon Cristià	66119_9	5	0	*	En attente des datations
Trois Seigneurs	Lanouillade 01	09136_4	5		**	
Vallée de Cabrils	Correc del Manès	66191_2	5	0	*	En attente des datations
Vallée de Massat	Bayletou 01	09182_10	5	0	**	
Vicdessos	Carrayé 01	09334_7	5		***	
Vicdessos	Suc 01	09334_8	5		***	
Vicdessos	Sarradeil 01	09295_3	5		***	
Vicdessos	Ruisseau de Sem 01	09334_13	5		**	
Vicdessos	Viala 01	09134_1	5		**	
Vicdessos	Las Farreres 01	09030_5	5		*	
Vicdessos	Entre Bernets	09334_10	5		*	
Vicdessos	Cimetière 02	09133_2	3		*	

Tableau 5 : Synthèse des priorités à donner à la caractérisation chimique du mobilier collecté sur les sites prospectés

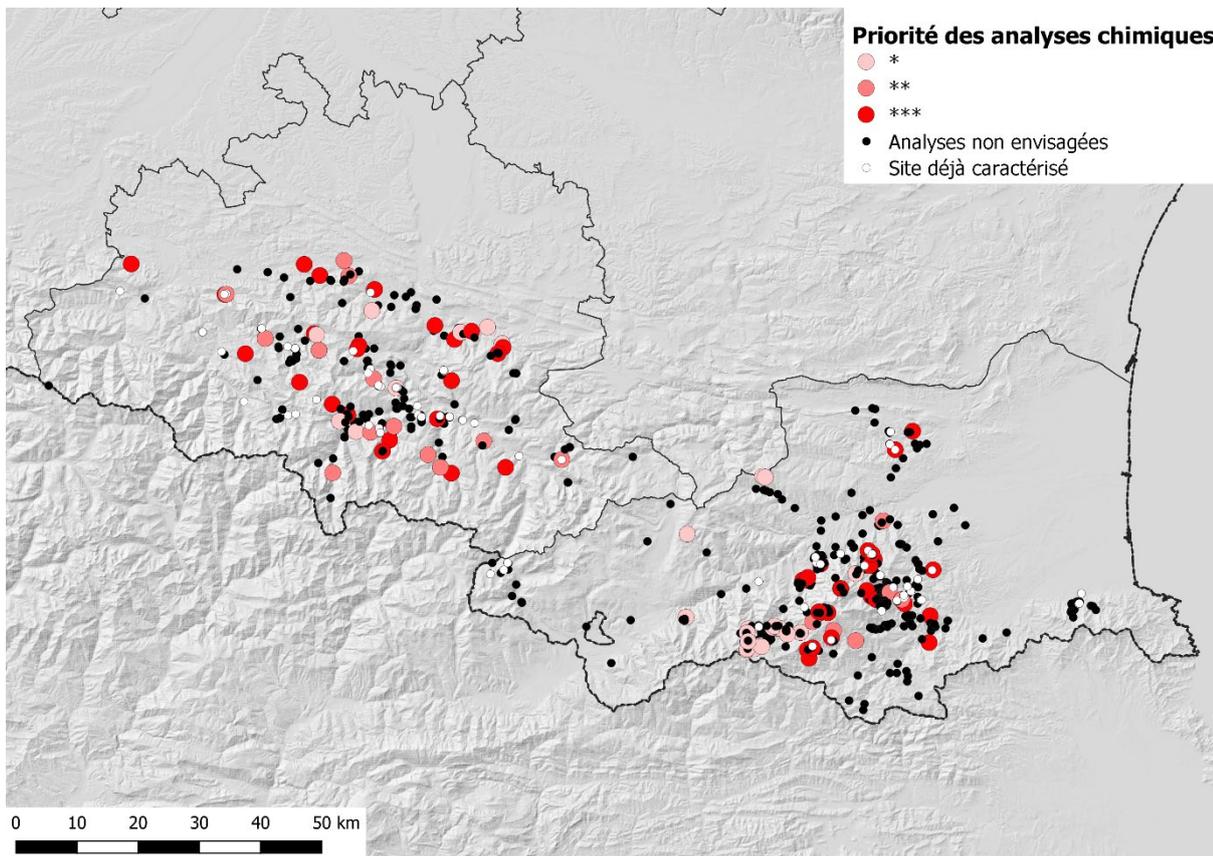


Figure 34 : Localisation des contextes archéologiques du projet ; les marqueurs colorés représentent les degrés de priorité établis pour la poursuite de la collecte de données chimiques

Dans une optique de documentation sur le long terme, nous envisageons d’allouer une partie des moyens du programme pour répondre aux priorités fixées cette année, et qui sont représentées par les deux tableaux *supra*. A terme, les données acquises serviront de support à une redéfinition des espaces de production tels qu’ils sont envisagés à l’heure actuelle. Les données chimiques seront également employées dans des études de provenance réalisées à l’échelle locale, régionale, voire même extra-régionale en fonction du contexte historique et des réseaux qui ont pu être impliqués dans la circulation des produits ferreux.

En conclusion, concernant l’acquisition et la gestion des données, l’année 2024 a été surtout employée à définir les priorités en termes d’acquisition de données chronologiques et chimiques. Nous avons également cherché à améliorer le système de collecte de données sur le terrain en exploitant les fonctionnalités d’une application mobile dédiée. La collecte de données sur le terrain s’est par ailleurs poursuivie, grâce notamment à la veille maintenue par Jean-Noël Lamiable, ainsi que par les recherches qu’il effectue dans les matrices cadastrales. Sur la base de ce travail, les prospections nouvelles se sont surtout concentrées sur le Couserans et la vallée de Siguer. Le rapport 2025 présentera notamment un état des lieux des informations chimiques qui seront alors disponibles, avec la prise en compte des données acquises en 2024. Nous maintiendrons à jour les tableaux formalisés ci-dessous en fonction des actions qui seront menées dans le cadre de la présente triennale.

III. La circulation des alliages ferreux produits dans les espaces sidérurgiques des Pyrénées centrales et orientales

Nous accordons un soin particulier à documenter chimiquement les sites mis en évidence dans le cadre de nos recherches. Des campagnes analytiques sont menées fréquemment afin de déterminer la composition chimique globale (les teneurs de 50 à 60 éléments majeurs et traces) d'échantillons de minerai de fer et de scorie, qui nous paraissent représentatifs des activités extractives et métallurgiques. 222 analyses ont d'ores et déjà été réalisées, et 41 sont en cours dans le cadre de cette première année de triennale. Nous avons par ailleurs réalisé un travail bibliographique afin de collecter et d'harmoniser la documentation antérieure. Dans une optique de documentation régionale, nous avons également intégré les données qui ont été publiées sur le district métallurgique de la Montagne Noire. La base de données chimiques comporte donc à ce jour 324 analyses globales. Une fouille de données a été réalisée en 2023 sur cette documentation (Pagès et al., 2023, Section IV) afin de déterminer s'il était possible de distinguer chimiquement les secteurs de production. Les résultats encourageants de cette fouille de données nous ont amené à envisager la mise en œuvre d'études de provenance sur des corpus d'objets mis au jour dans des contextes d'utilisation du métal. De plus, la population de référence nous paraît désormais suffisamment étoffée pour entreprendre ce type de démarche. Nous avons privilégié l'analyse de séries, plutôt que d'objets isolés. Cette approche permet de discuter de façon plus argumentée les modalités de circulation du métal dans un contexte régional. Pour aborder cette question selon plusieurs points de vue, nous avons opté pour deux cas de figure différents. Le premier est un ensemble de fers de trait trouvés sur le site de hauteur de Malbézi, à Quirbajou (Aude). L'intérêt de cette collection est qu'un lot cohérent de plusieurs dizaines de fers ont été retrouvés, formant probablement un stock prêt à l'emploi. Hormis ce lot, plusieurs fers ont été retrouvés à proximité, mais leur état montre qu'ils ont été tirés. L'intérêt de l'étude est de réaliser une étude archéométallurgique sur plusieurs fers faisant partie du lot afin de vérifier si leurs caractéristiques physico-chimiques (nature de l'alliage, signature chimique) sont homogènes ou non, ce qui livrerait des informations sur les stratégies d'approvisionnement en métal du ou des forgerons qui ont produit ces fers. L'examen additionnel de fers tirés permettrait une comparaison avec ce lot. Le second cas d'étude concerne les pentures de porte d'églises romanes en Roussillon. Dans ce cas, les produits ferreux étudiés ne proviennent pas d'un seul et même contexte (Figure 34 : Localisation des contextes considérés dans le cadre de l'étude des pentures de porte romanes), mais il nous paraît intéressant d'examiner la nature et la provenance de produits en fonction de leur typo-morphologie.

Les études de provenance n'étant pas encore achevées, les résultats ne seront pas présentés dans ce rapport. L'objet de cette section du rapport est de rappeler le protocole analytique utilisé et de dresser un état d'avancement de ces études, dont les résultats définitifs seront présentés dans le rapport 2025.

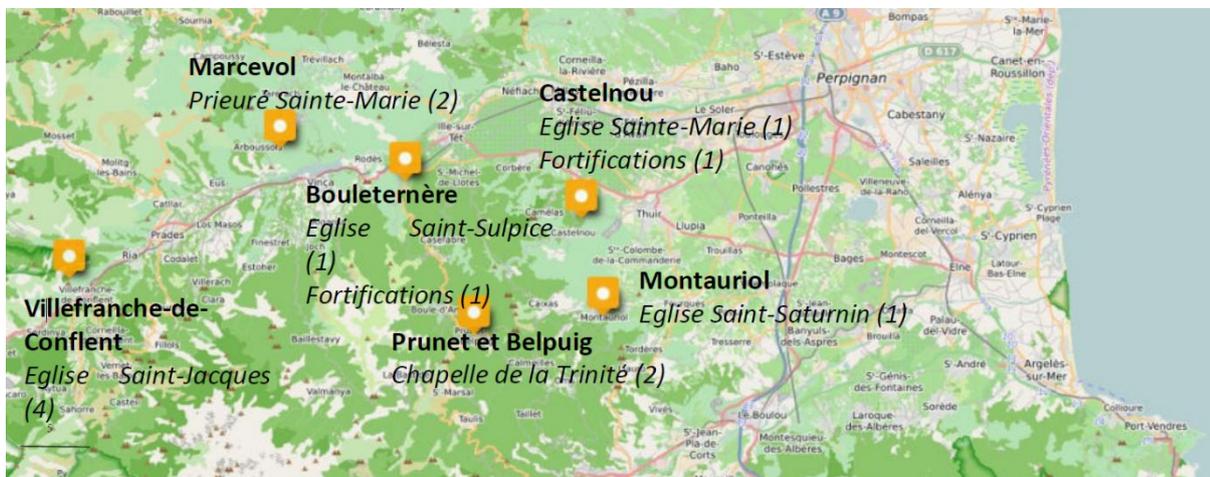


Figure 35 : Localisation des contextes considérés dans le cadre de l'étude des pentures de porte romanes

III.1. Rappel de la méthodologie analytique

- Documentation photographique

L'ensemble des objets étudiés ont fait l'objet d'une couverture photographique. Dans le cas des pentures de porte, la documentation a déjà été présentée dans le rapport de PCR 2021 (Pagès et al., 2021, p. 314-370). Les opérations ont été réalisées avec les accords de la CRMH et des communes concernées. Dans le cas des fers de trait du site de Malbézi, l'intégralité du corpus a fait l'objet d'une étude typo-morphologique et d'une couverture photographique réalisées par Annick Despratx, assistée d'Alan Le Saout. Les onze fers de trait sélectionnés pour étude archéométallurgique ont par la suite fait l'objet d'une couverture photogrammétrique afin de conserver une information morphologique complète et précise des objets avant prélèvement. La couverture photogrammétrique a été réalisée dans les locaux du LAPA par Alan Le Saout sous la supervision de Jean-Charles Méaudre. L'ensemble de cette procédure a été réalisée en concertation avec les membres du SRA Occitanie⁵.

- Prélèvement du métal :

Les pentures de porte ont été prélevées *in situ*. Les prélèvements infracentimétriques proviennent de ferrures déjà brisées et de parties de portes masquées. Ils ont été réalisés par tronçonnage avec des disques abrasifs en carbure de silicium montés sur un mini-outil de type Dremel (épaisseur de coupe 0,75 mm). Pour les prélèvements de ferrures de portes, la partie en bois de la porte a été protégée avec une fine plaque métallique glissée entre la porte et la penture ou à défaut, un carton épais lorsque l'espace n'était pas suffisant. Les prélèvements des fers de trait ont également été réalisés au moyen d'un micro-outil rotatif. Nous avons employé des lames diamantées extra-fines (épaisseur 0,1 mm). Dix des onze fers ont été prélevés au niveau de la pointe, en préservant une moitié de l'épaisseur du fer pour conserver au maximum l'intégrité de l'objet. Une découpe plus longue a été réalisée sur le onzième exemplaire à partir de la douille. Ce prélèvement plus étendu a été motivé par la perspective de comprendre comme la douille et l'échancrure qui la précède avaient été formées.

- Examens métallographiques :

Les échantillons ont été enrobés dans une résine de type Epoxy pour réaliser les observations microscopiques. Une fois enrobés, les échantillons sont pré-polis sous eau à l'aide de disques abrasifs de carbure de silicium de grade 80 à 1200, puis polis sur disques velours lubrifiés à l'aide de suspensions diamantées de granulométrie 9, 3 puis 1 μm sous éthanol jusqu'à obtenir une surface plane parfaitement polie. Afin de caractériser la nature du métal, les études réalisées reposent principalement sur des examens en microscopie optique sous lumière réfléchie des sections polies avant et après attaque chimique. Les réactifs utilisés sont le nital (4%vol d'acide nitrique dans l'éthanol) et l'Oberhoffer⁶. Le premier permet de révéler les structures carburées (cémentite, perlite, etc), et le second les hétérogénéités chimiques liés à d'autres éléments d'alliage (azote, phosphore, nickel, etc).

Une couverture photographique exhaustive de la section polie est réalisée au moyen d'une mosaïque de clichés permise par le déplacement d'une platine motorisée. Des clichés de détail sont pris en complément de cette couverture afin d'illustrer les structures métallographiques observées. Trois couvertures successives

⁵ En particulier Célia Prost, conservatrice du patrimoine en charge du département de l'Aude, et Anne Genachte-Le Bail, ingénieure d'études en charge de la gestion des collections.

⁶ 1 g de chlorures de cuivre, 30 g de chlorures de fer, 0,5 g de chlorures d'étain, 50 ml d'acide chlorhydrique, 500ml d'eau distillée, 500ml d'éthanol

sont réalisées dans l'ordre suivant : attaque nital → attaque Oberhoffer → pas d'attaque. La section est repolie avant l'attaque Oberhoffer, et avant la capture sans attaque. Cette dernière couverture permet notamment de décrire non pas la structure du métal, mais la distribution, la morphologie, et les principaux traits minéralogiques des inclusions non-métalliques présentes dans le métal.

- Dosage des éléments chimiques majeurs :

Les sections polies sont ensuite examinées au moyen d'un microscope électronique à balayage. Le dispositif présent au LAPA est équipé d'un détecteur permettant des analyses spectroscopiques de dispersion en énergie des rayons X (EDS) au moyen d'un détecteur de type Silicon Drift avec un taux de comptage important (80 000 cps.s⁻¹). Ceci permet de déterminer la composition chimique en éléments majeurs⁷ de la totalité des inclusions visibles sur la section polie, jusqu'à plusieurs milliers d'individus. Un traitement statistique multivarié spécifique (Disser, Bauvais, et al., 2020) est ensuite appliqué pour interpréter les phénomènes de formation des inclusions (réduction du minerai, opérations de forge, processus taphonomiques). Cette procédure permet également, dans une certaine mesure, de déterminer si l'objet étudié est composé de plusieurs pièces de métal d'origines différentes. Les informations chimiques sont exploitées de façon spatialisée sur la section polie, au moyen de QGIS. En fonction des résultats, des inclusions identifiées comme étant générées par la réduction du minerai sont sélectionnées pour des analyses plus approfondies en vue de réaliser une étude de provenance.

- Dosage des éléments traces :

Les inclusions ainsi sélectionnées sont par la suite soumises à une analyse par spectrométrie de masse couplée à un plasma induit et prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS). Ces analyses sont réalisées au Centre Ernest Babelon (UMR 7065 IRAMAT-CEB). Dans la configuration définie, le dispositif permet de doser plus d'une trentaine d'éléments traces si les inclusions sont suffisamment grandes (env. 100 microns). Si les inclusions sont de dimensions réduites, un autre protocole est employé, permettant le dosage d'une quinzaine d'éléments. Les concentrations sont calculées en utilisant un standard externe, le verre de référence NIST 610. Le silicium, élément qui n'est jamais affecté par les limites de détection de l'appareil, est utilisé comme standard interne. Les concentrations de cet élément obtenues au préalable au MEB-EDS sont utilisées pour calculer les concentrations des éléments traces.

III.2. Etat d'avancement de l'étude des fers de trait de Quirbajou (Alan Le Saout)

Contexte du Roc de Malbézi

⁷ Dont les teneurs sont généralement supérieures à 1%massique.

Début octobre 2022, deux prospecteurs amateurs se sont rendus sur le site du Roc de Malbézi, ignorant la présence d'un site archéologique, avec pour objectif de trouver une grotte appelée « grotte des Encantades », connue dans la tradition orale pour abriter des peintures rupestres. En prospectant la plateforme sommitale avec leur détecteur de métaux, ils mirent au jour cinq fers de trait aux pointes tordues. Au Nord de cette plateforme, sur une terrasse naturelle, ils trouvèrent une soixantaine d'autres fers (fig. 1), cette fois bien rangés, alignés dans le même sens, et n'ayant pas servi si l'on en croit leurs pointes intactes. Les deux prospecteurs prélevèrent les fers en pratiquant un sondage de 30 centimètres par 30 centimètres, sur 10 à 15 centimètres de profondeur. Bien que leur détecteur leur ait indiqué la présence d'autres objets métalliques à



proximité, ils décidèrent de ne rien prélever de plus.

Figure 36 : Fers de trait découverts à Malbézi (photo R. Tréton 2022)

Le Roc de Malbézi est un éperon rocheux surplombant le ruisseau de Fondavi à l'Ouest ainsi que la vallée du Rébenty au Sud, et culminant à 975 mètres d'altitude. Il se situe aujourd'hui sur la commune de Quirbajou (fig. 2), et à la limite avec la commune voisine de Marsa, toutes deux dans le département de l'Aude. Jamais mentionné dans la moindre source textuelle, le site fut identifié le 3 janvier 2020 au cours de prospections sur la commune de Quirbajou, par Christian Raynaud, Rodrigue Tréton et Frédéric Loppe. On identifia ainsi un mur situé à l'Ouest sur la plateforme sommitale, et d'autres vestiges plus à l'Est qui pourraient correspondre à un dispositif de barrage de l'éperon. Au cours de ces prospections, aucune mise en culture passée n'a été décelée. Les rares tessons présents en surface n'ont pas permis de datation précise.

Une opération de sondage sur le site de Malbézi et de prospection dans ses alentours s'est tenue du 18 au 23 février 2024, sous la responsabilité de Florence Guillot (Guillot *et al.* 2024). L'objectif principal était de contextualiser la découverte des prospecteurs et mieux connaître les environs du site. Le sondage s'est tenu sur la terrasse naturelle, aussi appelée *vire*, où ont été trouvés les fers. La stratigraphie s'est révélée très simple, avec peu d'unités stratigraphiques. Aucun aménagement n'a été décelé. Quelques tessons de céramiques médiévales antérieures au milieu du XIIIe siècle ont été retrouvés, mais aucune lèvre ou forme nous permettant une datation plus précise. Dans le même temps, un certain nombre de céramiques protohistoriques a été retrouvé, dont des tessons de jarre de stockage. L'écho émis par le détecteur des prospecteurs s'est révélé être une clé et un clou décoratif de type clou de tapissier, retrouvés à proximité immédiate du lieu de dépôt des fers.

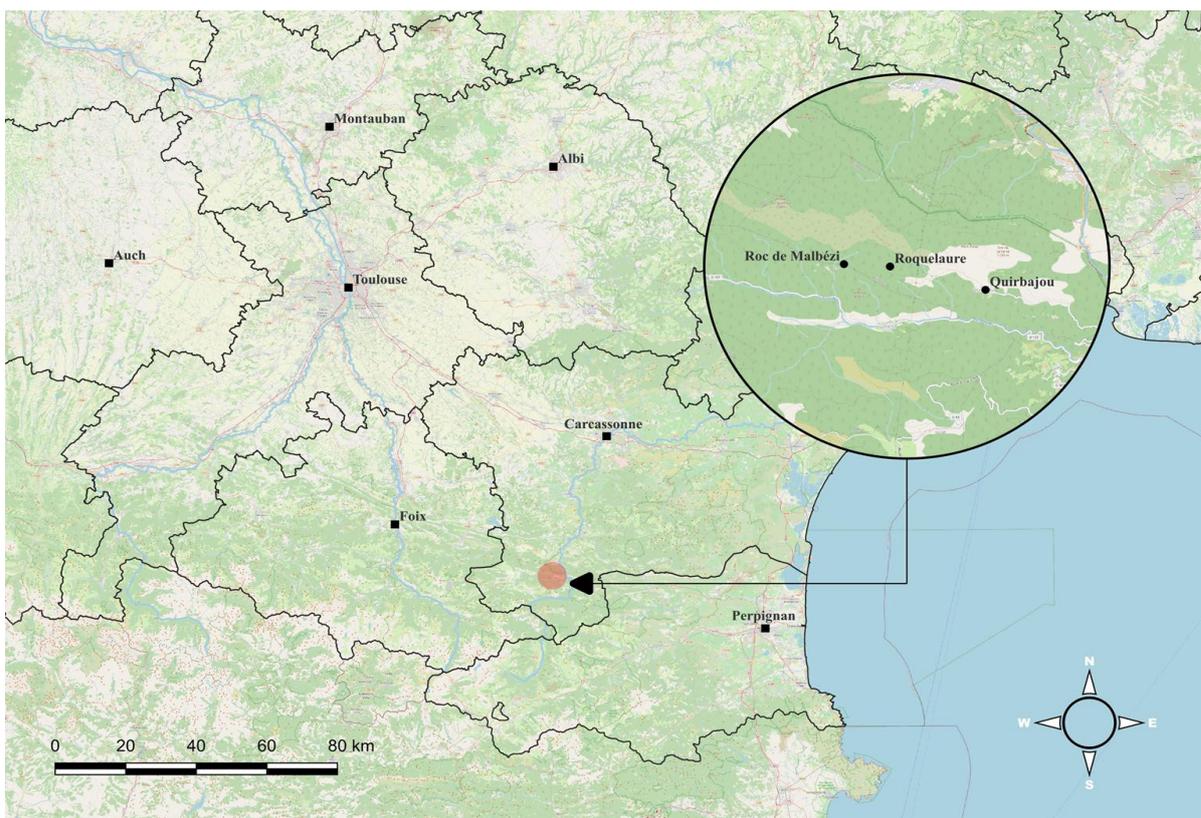


Figure 37 : Localisation du site de Malbèzi

Parallèlement au sondage, des prospections nous menèrent à nous intéresser au site de Roquelaure, localement connu pour offrir régulièrement du mobilier aux prospecteurs amateurs. Situé à un peu plus d'un kilomètre à l'Est de Malbèzi (fig. 2), Roquelaure se révèle être un site de bien plus grande ampleur. On y trouve d'imposants murs protohistoriques, ainsi que quelques murs davantage attribuables à la période médiévale, dont les possibles fondations d'une tour. La céramique récoltée en surface est comparable à celle retrouvée à Malbèzi, comprenant tessons protohistoriques et tessons médiévaux antérieurs au milieu du XIII^e siècle. Les deux sites auraient ainsi fonctionné en concomitance, tant à la Protohistoire qu'au Moyen Âge. Jean Lautier, passionné d'histoire locale et auteur d'un livre sur l'histoire de Quirbajou, détenait chez lui une importante quantité de mobilier trouvé à Roquelaure depuis plusieurs décennies. Sa collection se composait aussi bien de mobilier qu'il a trouvé lui-même que de mobilier récupéré auprès de détectoristes clandestins. Les céramiques en sa possession correspondaient une nouvelle fois à ce que nous avons trouvé sur les deux sites. Le mobilier métallique comprenait quant à lui des boucles de ceinture, des monnaies médiévales dont des sols melgoriens, un éperon, et un fer de trait relativement similaire à ceux retrouvés à Malbèzi.

J. Lautier confia toute sa collection au SRA à l'occasion de leur visite le 22 février. L'étude du mobilier métallique de Roquelaure fut confiée à Annick Despratx, spécialiste du mobilier métallique, à qui furent confiés par la même occasion les fers de trait retrouvés par les prospecteurs, afin que le mobilier des deux sites soit publié dans le même rapport. L'étude d'A. Despratx (Guillot *et al.* 2024, p. 165 et suiv.) montre que le mobilier de Roquelaure est datable des XII^e et XIII^e siècles, allant même parfois jusqu'au début du XIV^e siècle.

La datation relative des grandes phases d'occupation, indiquée par la céramique retrouvée aussi bien à Malbézi qu'à Roquelaure, nous révèle que les deux sites sont connus sous le nom d'« oppida refuges ». Cette appellation désigne des agglomérations de hauteur occupées à l'âge du Bronze ou à l'âge du Fer, puis mises à l'abandon juste avant l'Antiquité, pour finalement être réinvesties à l'Antiquité tardive ou au Moyen Âge (Raynaud 1986, p. 446). Ce type de site se rencontre régulièrement dans l'Est des Pyrénées. La réoccupation au Moyen Âge de ces sites protohistoriques semble en partie motivée par les besoins de l'activité métallurgique, ces sites offrant généralement un accès à la fois au minerai et au bois nécessaire aux activités de réduction (Raynaud 1986, p. 446).

Un lot remarquable de fers de trait

La présence de cette importante quantité de projectiles inutilisés sur une vire d'un éperon rocheux isolé des Pyrénées pose question. L'absence d'avantage stratégique, le caractère dissimulé et à première vue peu facile d'accès de la vire, et l'évidence du fait que ce lot ait été déposé là intentionnellement (Le Saout 2024, p. 48-49) nous poussent à penser que les fers ont été déposés ici dans le but de les cacher. Plusieurs scénarios se présentent alors à nous. Il pourrait s'agir d'un lieu de stockage où les fers auraient été oubliés après la désertion du site, ou alors d'une cachette opportuniste employée alors que le site subissait une attaque dont les fers retrouvés clairsemés seraient les témoins. On aurait alors décidé de placer dans ce recoin du site les objets que l'on ne souhaitait pas voir arriver dans les mains de l'ennemi, dans le cas présent des projectiles et une clé.

Le corpus étudié correspond à l'ensemble des fers de trait retrouvés sur le site de Malbézi, à Quirbajou (Aude). Nous distinguons les cinq fers retrouvés clairsemés sur le sommet des soixante fers retrouvés en lot rangé. Ces derniers sont désignés sous le nom de *dépôt*.

<i>Dépôt</i>	Longueur totale (cm)	Longueur pointe (cm)	Section (cm)		Longueur douille (cm)	Ø maximal douille (cm)	Étranglement entre pointe et douille (cm)			Masse (g)
Maximum	16,4	11,9	0,9	0,7	3,9	1	2,6	0,6	0,5	24,99
Moyenne	13,9	10,2	0,6	0,6	2,3	0,8	1,8	0,4	0,4	17,94
Minimum	4	3,9	0,4	0,4	0,8	0,4	0,8	0,3	0,2	1,52
Écart-type	2,35	1,54	0,08	0,07	0,56	0,13	0,32	0,05	0,04	4,84

Tableau 6 : Statistiques des dimensions des fers pour le dépôt seul

Si les valeurs extrêmes semblent montrer un corpus très hétérogène, les écarts-types nous montrent tout le contraire (tab. 1). En effet, la majorité des mensurations présentent un écart-type inférieur à 0,3 centimètre, et même inférieur à 0,1 centimètre pour les sections de la pointe et de l'étranglement. Les valeurs les moins homogènes concernent la masse, ce qui peut s'expliquer par le biais de la corrosion qui peut influencer grandement sur la masse sans nécessairement affecter les longueurs. Notons néanmoins qu'un écart-type d'environ cinq grammes sur un corpus de 60 individus reste remarquable. La régularité que l'on remarque pour chaque mensuration semble plaider pour une standardisation de ces objets. Ces derniers seraient ainsi fabriqués en petite série par la ou les mêmes personnes à partir d'un modèle type (fig. 3).

Les fers de trait du dépôt de Malbézi présentent une forme générale longue et effilée, avec un emmanchement à douille. Leur forme montre clairement un étranglement marqué entre la pointe et la douille. La pointe présente un profil pyramidal et une section quadrangulaire. La douille est courte et de section circulaire ou ovale, pour la minorité exploitable (37 % du corpus). Cette douille est obtenue par battage d'une tôle issue de la pointe. Si les feuilles se chevauchent sur la majorité du corpus (27 individus), six exemples présentent des feuilles soudées. Dans un cas comme dans l'autre, la fermeture de la douille n'est pas intégrale et laisse une ouverture, appelée échancrure distale, proche de l'étranglement. Sur 37 individus du dépôt, cette échancrure est alignée sur l'une des faces de la pointe, et sur l'une de ses arêtes sur 11 autres fers.

Il est possible d'attribuer ces fers au type A défini par Valérie Serdon (Serdon 2003, III, p. 89). Cependant, la chercheuse indique que son type A « ne présente pas de rétrécissement central marqué entre la pointe et la douille » (Serdon 2003, III, p. 89). Or, les fers de Malbézi présentent bel et bien un long étranglement marqué, qui a fait l'objet de mesures propres, tout en correspondant au type A tant sur la forme que sur les dimensions. Ce même étranglement n'a été observé sur aucun autre fer de trait découvert dans la région (corpus de 943 fers de trait répartis sur 13 sites), hormis le fer retrouvé à Roquelaure, à un kilomètre du Roc de Malbézi. Nous avons ainsi pu définir un « type A Malbézi », sous-type local spécifique du type A de Valérie Serdon (Le Saout 2024, p. 66).

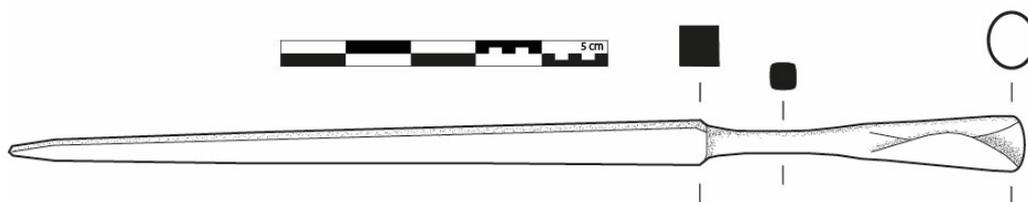


Figure 38 : Modèle type d'un fer de trait retrouvé sur le site de Malbézi

Enjeux de l'étude

L'un des problèmes se posant à nous concernant l'étude du site de Malbézi dans son environnement est la quasi absence de données archéologiques pour cette région des Pyrénées. La carte archéologique pour Quirbajou et ses environs s'avèrent en effet être une véritable zone blanche. La *Carte archéologique de la Gaule pour l'Aude* (Ournac *et al.* 2009), qui répertorie aussi bien les vestiges antiques que protohistoriques, s'avère également très pauvre pour cette région. Or, comme nous l'avons vu avec les sites de Malbézi, de Roquelaure, et d'autres sites identifiés en prospections depuis 2020, la région est loin d'être dépourvue de témoignages d'occupations allant de la Protohistoire au Moyen Âge. Certains sites comme Roquelaure sont même bien connus des riverains qui y trouvent régulièrement du mobilier. De nouvelles prospections thématiques pourraient mener à la découverte de nouveaux sites et, nous l'espérons pour le bien de notre étude, de sites de production métallurgique ou d'extraction de minerai. De nouvelles données comme celles-ci nous permettraient de potentiellement replacer notre corpus de mobilier dans l'environnement de Quirbajou.

Les fers de trait tels que ceux de Malbézi sont reconnus dans la littérature scientifique comme étant des carreaux d'arbalète. Néanmoins, au cours de notre étude, cette appartenance fut régulièrement remise à question. Il serait dès lors intéressant de pouvoir tester ces fers au moyen de reproductions expérimentales. Ces dernières devraient pouvoir se réaliser après la tenue des analyses archéométriques, débutées cet automne. Ces analyses devraient nous apporter leur lot d'informations concernant notamment la manière dont ont été forgés ces fers et les potentiels traitements thermo-chimiques, l'objectif étant à termes d'établir un cahier des charges le plus

complet possible qui nous mènerait à des reproductions d'une grande fiabilité. Nos reproductions seraient par la suite emmanchées telles des flèches et tels des carreaux afin de tester leur comportement en les tirant à l'aide d'armes appropriées.

En croisant les datations proposées par les typologies, celles indiquées par le contexte stratigraphique, et celles que les textes peuvent nous fournir, le XIIIe siècle, et plus particulièrement sa première moitié, est la période la plus récurrente (Le Saout 2024, p. 66-69). Chaque méthode utilisée pour arriver à ce constat possédant néanmoins ses propres biais, il est risqué de se prononcer définitivement pour une datation de ces fers à la première moitié du XIIIe siècle, bien qu'il y ait une forte présomption. Aussi, il est pour l'heure davantage raisonnable d'attribuer ces fers au XIIIe siècle dans son ensemble, en élargissant éventuellement la fourchette à la fin du XIIe et au début du XIVe siècle afin de tenir compte de la divergence des tendances constatées. Dans le cadre des analyses archéométriques qui sont menées sur ces fers, il est prévu de réaliser une ou deux datations par radiocarbone. Si les résultats auront leur part de subjectivité et ne pourront être considérés comme infaillible, ils permettront toutefois de pouvoir réduire notre fourchette de datation pour ces objets.

Identifier la provenance du minerai pourrait mener à plusieurs interprétations possibles. Les fers peuvent avoir été façonnés dans la même région que le site d'extraction, auquel cas la provenance du minerai indiquerait également l'origine des fers. Les fers auraient également pu être façonnés dans les alentours de Malbézi, en usant d'un minerai importé. Identifier la provenance de la matière première permettrait alors de mettre en évidence d'éventuels liens commerciaux entre différentes régions.

Bibliographie

Guillot, F., Despratx, A., Le Saout, A., Tréton, R., Pergent, P. & Dissier, A., 2024, *Le site de hauteur du Roc de Malbézi à Quirbajou et Marsa (11) - Rapport de sondage archéologique, contexte historique, prospections et projets des futures études, août 2024.*

Le Saout, A., 2024, *Les fers de trait médiévaux du Roc de Malbézi, Quirbajou (Aude) - Étude morphologique et typologique* – Mémoire de master 1, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Ournac, P., Passelac, M. & Rancoule, G., 2009, *Carte archéologique de la Gaule - L'Aude 11/2*, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Raynaud, C., 1986, 'Villages disparus dans les Pyrénées audoises : les mutations médiévales de l'habitat', *Annales du Midi*, 433–467.

Serdon, V., 2003, *Étude archéologique de l'armement de trait au Moyen âge (XIe-XVe siècle)* – Thèse de doctorat, Université Lyon 2.

III.3. Etat d'avancement de l'étude des fers architecturaux du Roussillon

Le processus analytique est achevé pour la totalité des treize échantillons prélevés en 2021, puis en 2022. Une première étude chimique a été réalisée en 2022 (Pagès, Dissier, et al., 2022, p. 232-238), en confrontant la signature chimique des inclusions non-métalliques avec les données disponibles en 2022 pour les zones de production sidérurgiques situées dans le département des Pyrénées-Orientales. Trois groupes chimiques

avaient été mis en évidence par les analyses statistiques multivariées utilisées (en l'occurrence Analyses en Composantes Principales). Le groupe 1 était composé des fers prélevés sur les églises de Montauriol et de Castelnou (respectivement MTORL01 et CSLNOU01), le groupe 2 par les deux fers prélevés sur l'église de Prunet (PRUNET01 et PRUNET02), et le groupe 3 par les échantillons de l'église de Villefranche (VFRAN01, VFRAN03 et VFRAN04), ceux du prieuré de Marcevol (MCVOL01 et MCVOL02), l'église de Bouleternère (BLTER01), et les fortifications de Bouleternère (BLTER02) et de Castelnou (CSLNOU02) (Figure 38).

Les caractéristiques chimiques des individus composant les trois groupes ont été confrontées à celles du corpus de référence alors disponibles pour le département des Pyrénées-Orientales. Pour les groupes 1 (Figure 39) et 2 (Figure 40), aucune similitude chimique n'avait été observée alors. Pour les individus composant le groupe 3, une certaine proximité chimique a été observée (Figure 41). Néanmoins, les inclusions de plusieurs fers, notamment ceux de Montauriol et de Bouleternère, ne sont pas projetées distinctement dans les domaines chimiques représentés par les données de référence alors disponibles.

De cette première étude, on peut conclure que les fers des églises de Montauriol, Castelnou et Prunet n'ont probablement pas été produits dans les principales zones de production sidérurgiques situées dans les Pyrénées-Orientales, ou dans les districts des Corbières et de la Montagne Noire. Les autres fers examinés pourraient trouver leur origine dans ces zones, mais les légères différences chimiques observées alors méritent d'être réexaminées.

C'est pourquoi l'ensemble des données chimiques relatives aux inclusions des fers architecturaux du Roussillon feront l'objet d'une nouvelle étude de provenance s'appuyant sur le corpus de référence qui a été considérablement enrichi récemment. Nous pourrions également nous appuyer sur le travail de sélection de variables qui a été effectué en 2023. Nous attendons de disposer des résultats des analyses actuellement en cours pour procéder à cette étude, car elles permettront notamment de disposer d'informations chimiques inédites liées à l'exploitation du gisement du Puymorens. Il est fondé de penser, d'après les données récemment acquises et exposées dans la sous section II.2. du présent rapport, que ce secteur a pu se révéler un fournisseur de métal non négligeable à l'échelle régionale pour la période considérée.

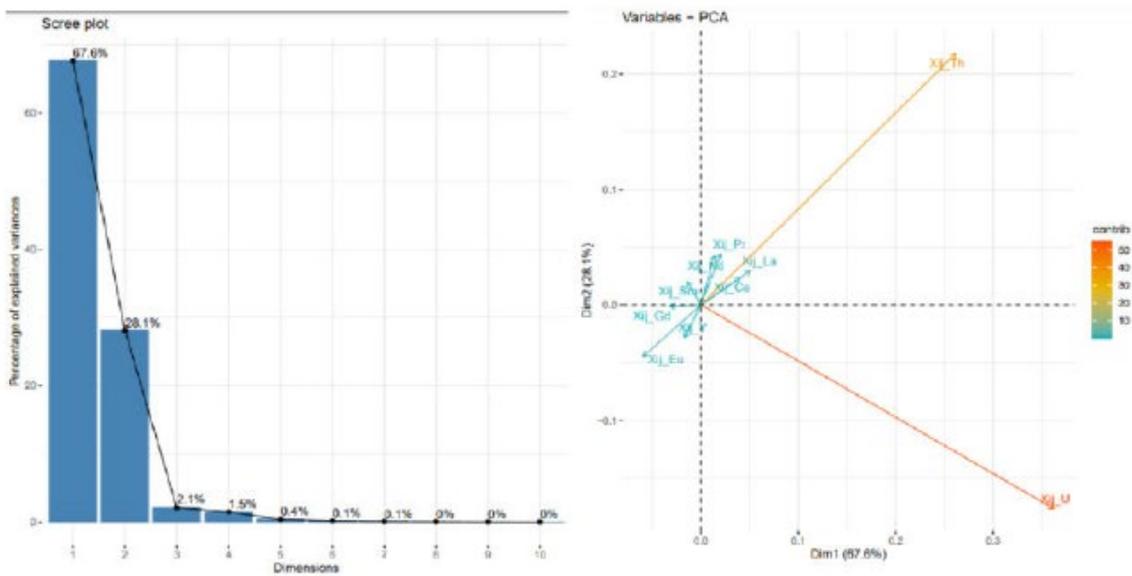
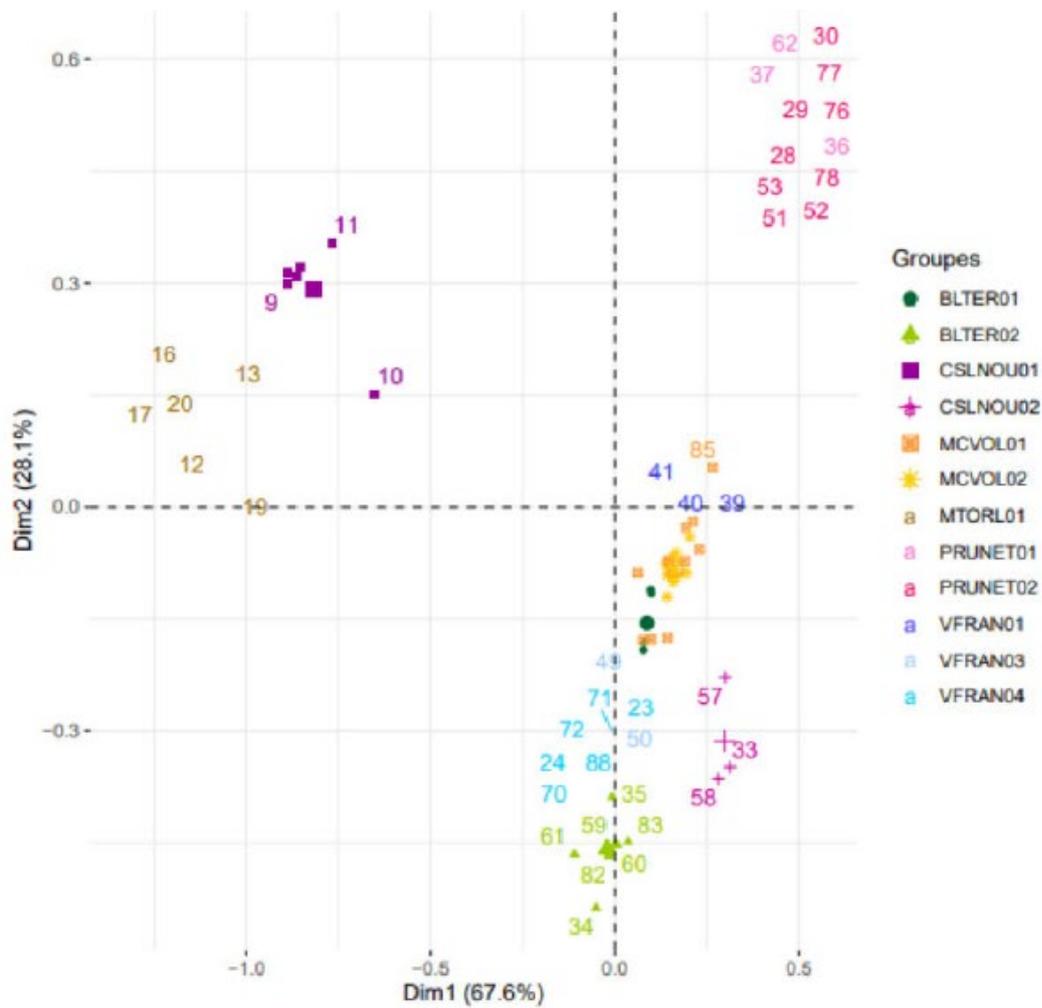


Figure 39 : Résultats d'une démarche multivariée exploratoire sur les caractéristiques chimiques des fers architecturaux du Roussillon, d'après rapport de PCR 2022

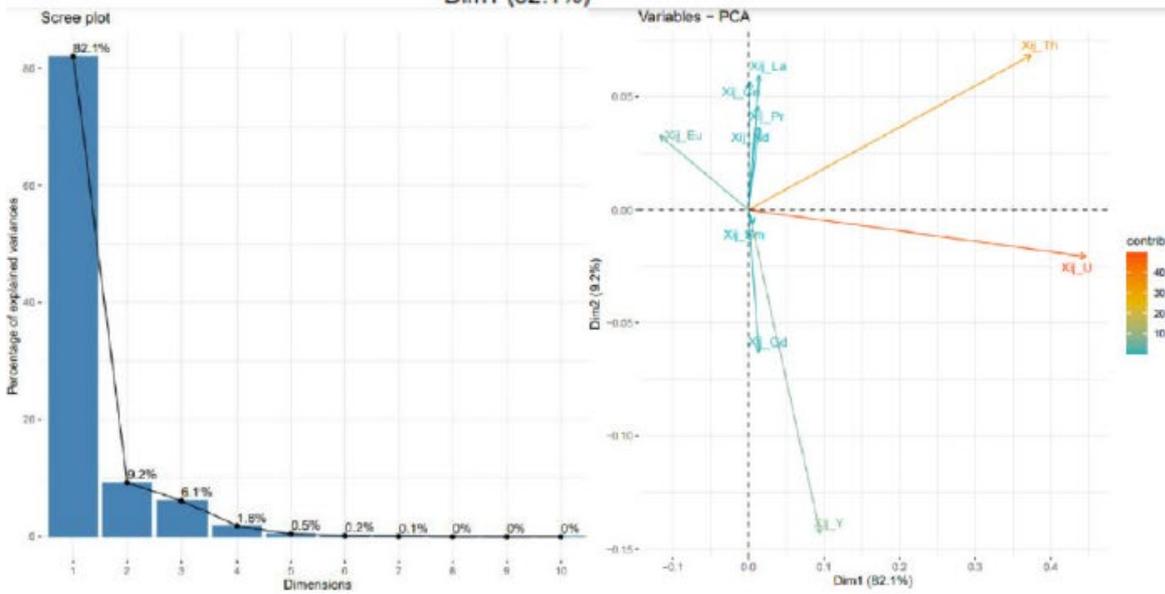
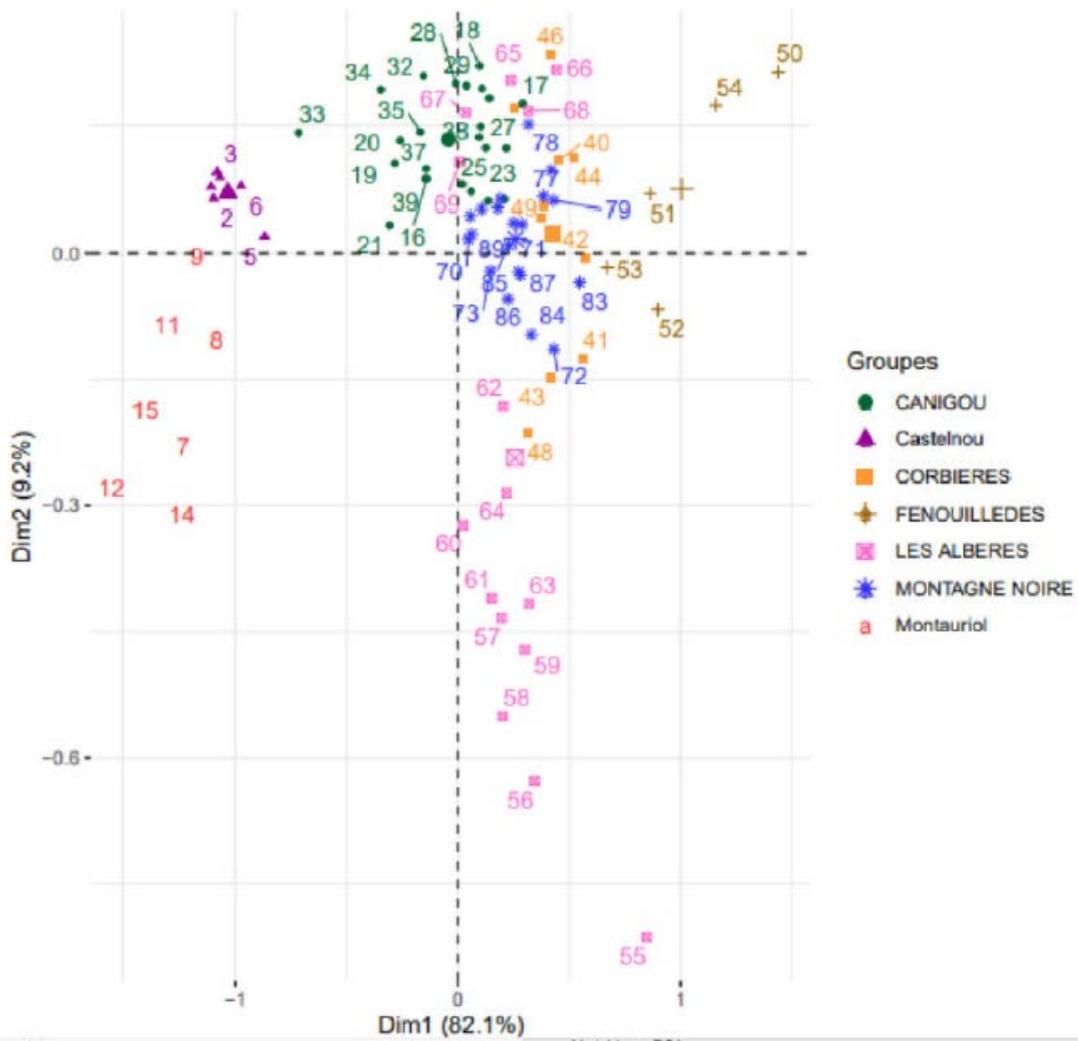


Figure 40 : Comparaison des caractéristiques chimiques des échantillons du groupe 1 et du corpus de référence des Pyrénées-Orientales, d'après rapport de PCR 2022

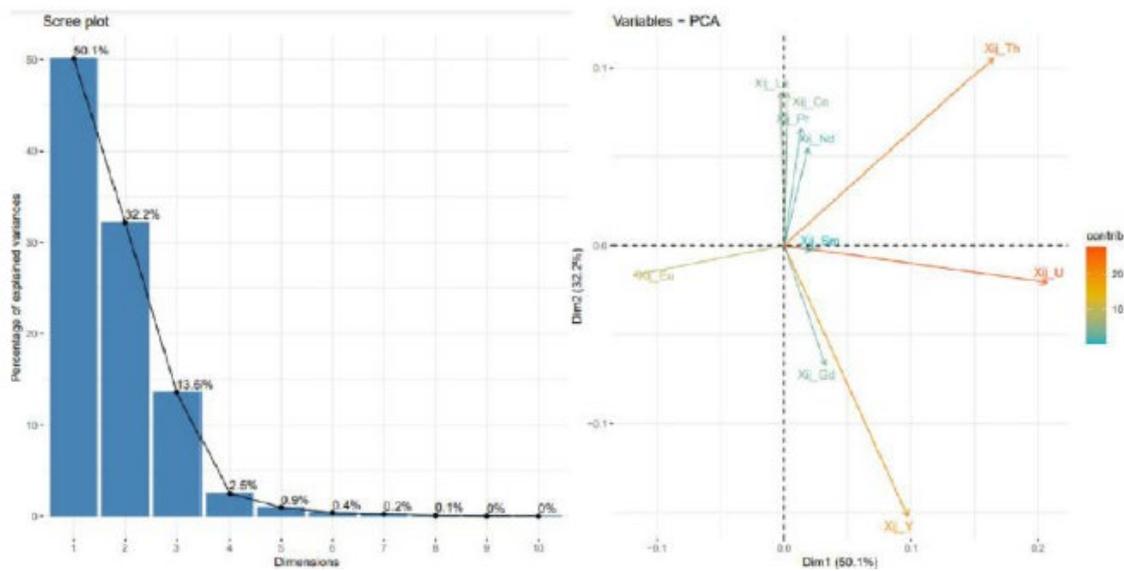
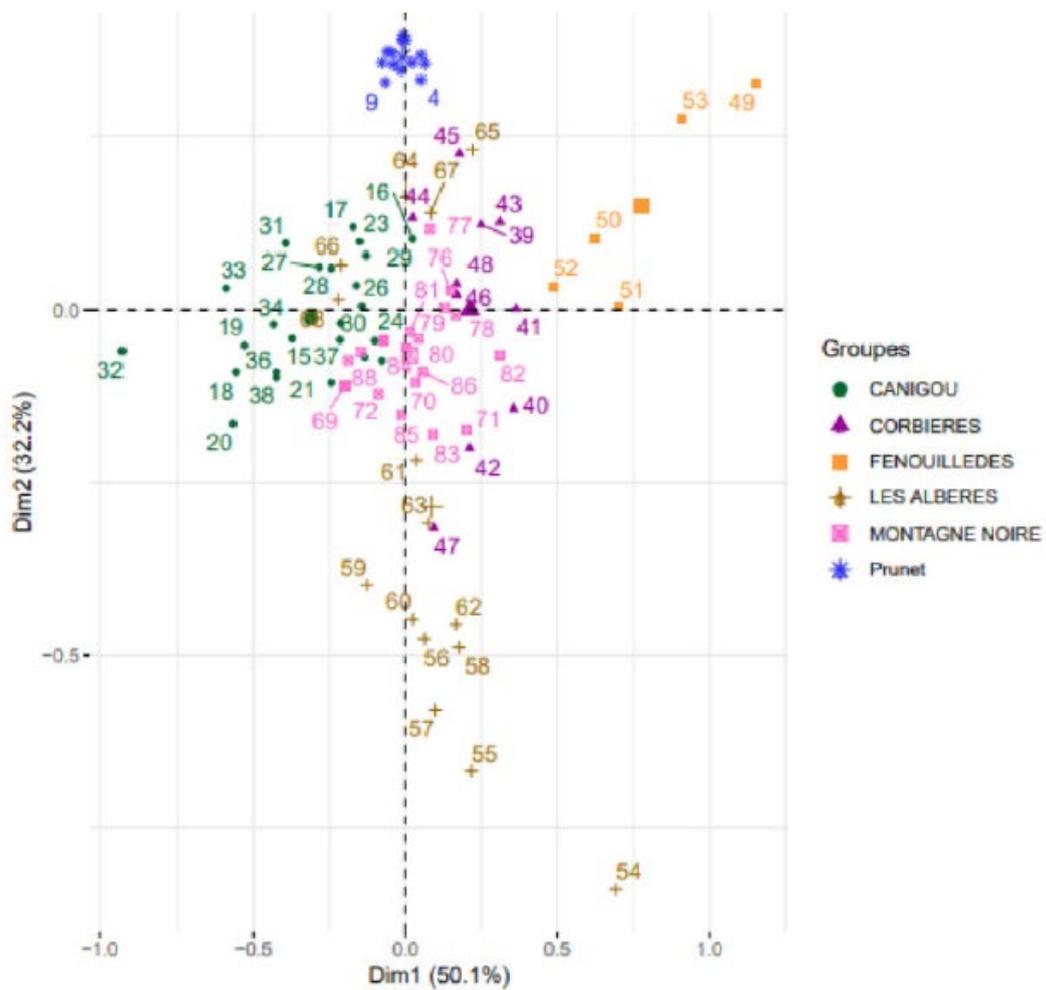


Figure 41 : Comparaison des caractéristiques chimiques des échantillons du groupe 1 et du corpus de référence des Pyrénées-Orientales, d'après rapport de PCR 2022

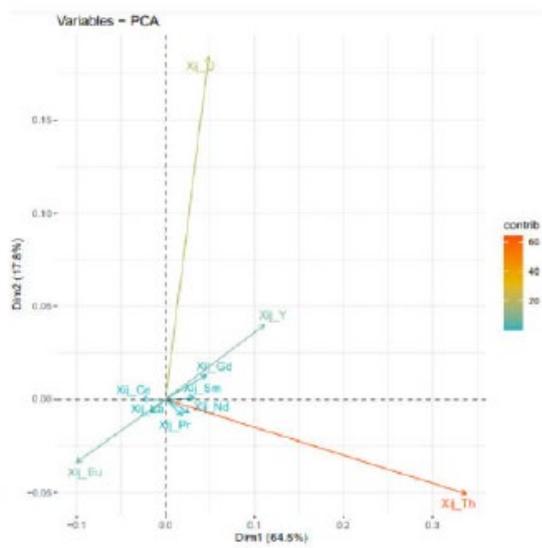
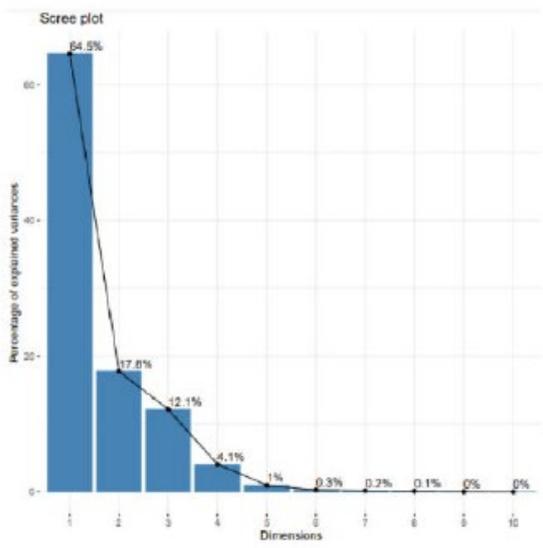
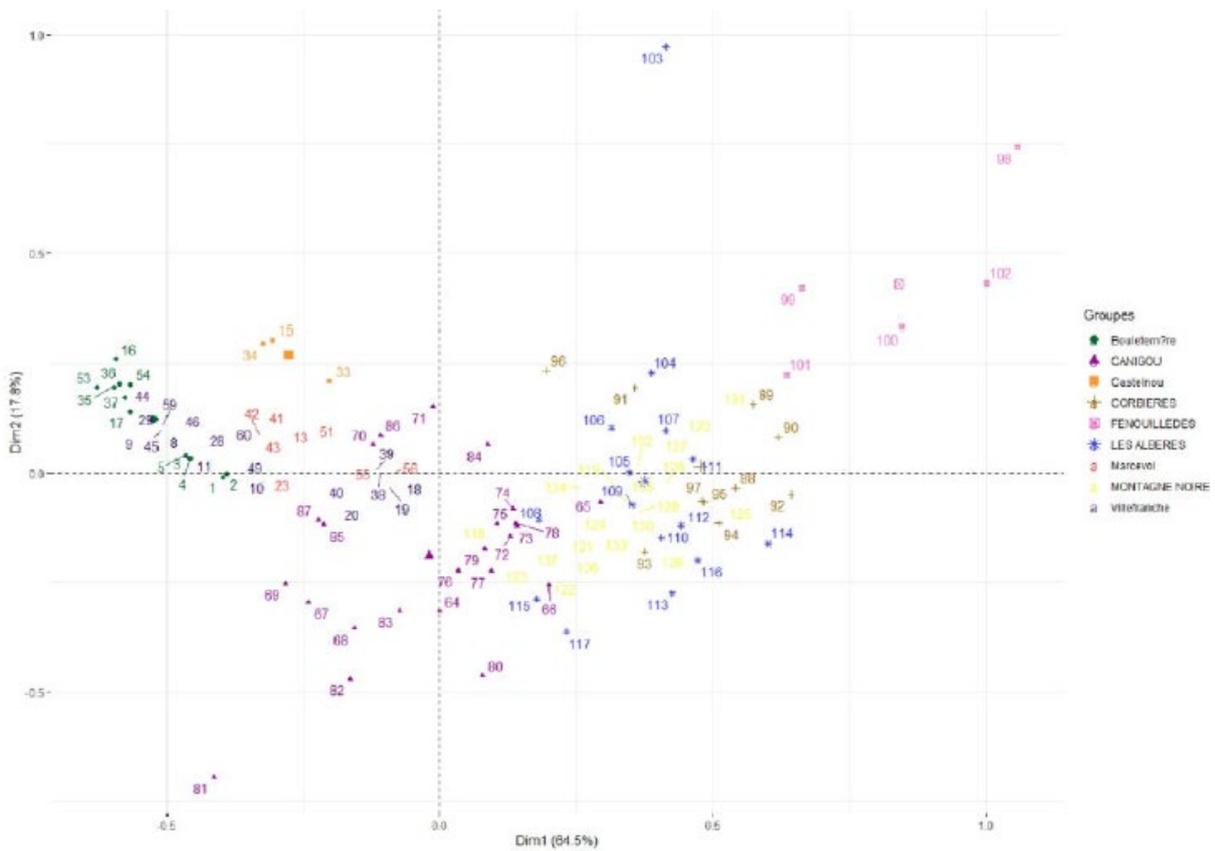


Figure 42 : Comparaison des caractéristiques chimiques des échantillons du groupe 1 et du corpus de référence des Pyrénées-Orientales, d'après rapport de PCR 2022

IV. Evaluation du potentiel archéologique et historique du site du Najar 02 (Savignac-les-Ormeaux, Ariège)

Compte tenu des considérations développées en introduction de ce rapport concernant la représentativité des données archéologiques actuellement disponibles pour définir la matérialité des installations sidérurgiques médiévales, et notamment celles qui sont désignées sous le terme de ‘moulines’ (Verna, 2001, p. 21), nous avons décidé de déterminer le potentiel informatif d’un site qui nous avait semblé particulièrement bien conservé lors des prospections pédestres que nous avons réalisées auparavant. Selon ce critère principal, le choix s’est porté sur le site du Najar 02.

Ce choix s’avère par ailleurs opportun à d’autres titres, notamment celui de l’histoire sidérurgique d’une vallée : la vallée de Savignac. C’est en effet au pied de cette vallée que se trouve l’un des rares sites métallurgiques fouillés à l’échelle de la zone d’étude, à savoir le site du Najar 01 (Calmés & Grimbert, 2006). L’opération, menée par l’INRAP, avait révélé plusieurs éléments constitutifs de l’atelier sidérurgique : aire de grillage, zone d’épuration du métal, aménagements hydrauliques et structure de réduction. Malheureusement, l’emprise de l’opération n’avait pas permis la fouille du système de ventilation. Il était donc impossible de déterminer si celle-ci était assurée par l’action de soufflets ou par une trompe hydraulique. En l’état de la documentation, il est donc impossible de déterminer si cette installation était une mouline ou une forge à la catalane. En tout état de cause, la fouille a permis de dresser une chronologie relativement précise du site. L’activité aurait débuté au cours du XVI^e siècle pour s’achever au deuxième tiers du XVII^e siècle. Le début du XVIII^e siècle a vu une reprise d’activité relativement courte, d’une décennie environ. La découverte en 2021 du Najar02 en amont de ce site laissait donc entrevoir la possibilité de discuter l’utilisation de ce cours d’eau par plusieurs établissements sidérurgiques. D’autre part, des documents qui se réfèrent à cette vallée ont été mis en évidence cette année aux Archives Départementales de l’Ariège, dont nous présenterons ici ci-après brève synthèse ainsi que des propositions de relations entre sources textuelles et matérielles.

Cette section du rapport sera ainsi introduite par l’historique des recherches précédentes, qui sera suivi du bilan des recherches historiques et archéologiques menées en 2024 sur le site du Najar 02.

IV.1. Historique des recherches menées sur le site du Najar 02

Le premier indice ayant conduit à la découverte du site est toponymique. Une passerelle nommée ‘Pont de la Forge’ et enjambant le Najar est en effet représentée sur les cartes topographiques au 1/25000^e de l’IGN, environ 800 mètres en aval du site. Le toponyme a ainsi été relevé à l’occasion de notre examen systématique des cartes topographiques de l’IGN. Une première prospection a donc été réalisée en 2020 sur ce lieu, qui se trouve être relativement perturbé par les alluvions apportées par le Najar, ainsi que par les incisions causées par les crues de ce dernier. Trois fragments de scorie centimétriques avaient toutefois été découverts, suggérant la présence d’une installation sidérurgique en amont de ce lieu. Une prospection systématique du cours de la rivière a été effectuée en 2021, qui a abouti à la découverte d’un épandage de scories d’une centaine de mètres carrés de surface en rive gauche du cours d’eau. La poursuite de la prospection a abouti à la mise en évidence d’un ferrier encore très bien marqué dans la topographie. Le tracé d’un canal localisé au nord de ce ferrier, en bord d’une terrasse, a complété ces observations préliminaires.

Dans le cadre des campagnes de sondages ciblés que nous avons réalisées au cours du précédent programme FERAPO, nous avons décidé d’intervenir sur ce site (Pagès, Dissier, et al., 2022, p. 144-147). Un premier sondage a donc été réalisé dans la partie occidentale du ferrier, au niveau de l’amorce de la pente. Un second

sondage a par ailleurs été pratiqué sur une accumulation secondaire de scories qui se trouve à l'extrémité orientale du site, et qui est séparée du ferrier principal par une mouillère. Des échantillons de charbons de bois ont été examinés et deux fragments ont été retenus pour datation radiocarbone. Le premier (provenant de l'US02 du sondage du ferrier) était une brindille de sapin, le second (US 02 du sondage dans l'accumulation secondaire) est un quartier de tige de saule. Les datations réalisées ont fourni les intervalles [1296 ;1398] pour le premier et [1447 ;1631] pour le second (Pagès, Disser, et al., 2022, p. 173-176).

Enfin, les recherches documentaires effectuées, notamment sur les cartes et plans anciens, livrent quelques informations sur la matérialité du site sous un aspect mémoriel. La carte levée par La Blottière et Roussel dans les années 1710 représente une 'Forge de Savignac ruinée' (Figure 42). Il est intéressant de noter que le site du Najar 01, dont l'étude historique a mis en évidence des mentions jusque dans les années 1730 dans les contrats d'affermage (Calmés & Grimbert, 2006, p. 109-110), n'apparaît pas sur cette carte. Sur la *Carte générale de la France* établie sous la direction de la famille Cassini, il n'est fait mention d'aucune forge sur le ban de la commune de Savignac, alors que la forge apparentée du Castelet est bien représentée. Les levés de cette carte ont été effectués entre 1771 et 1777.

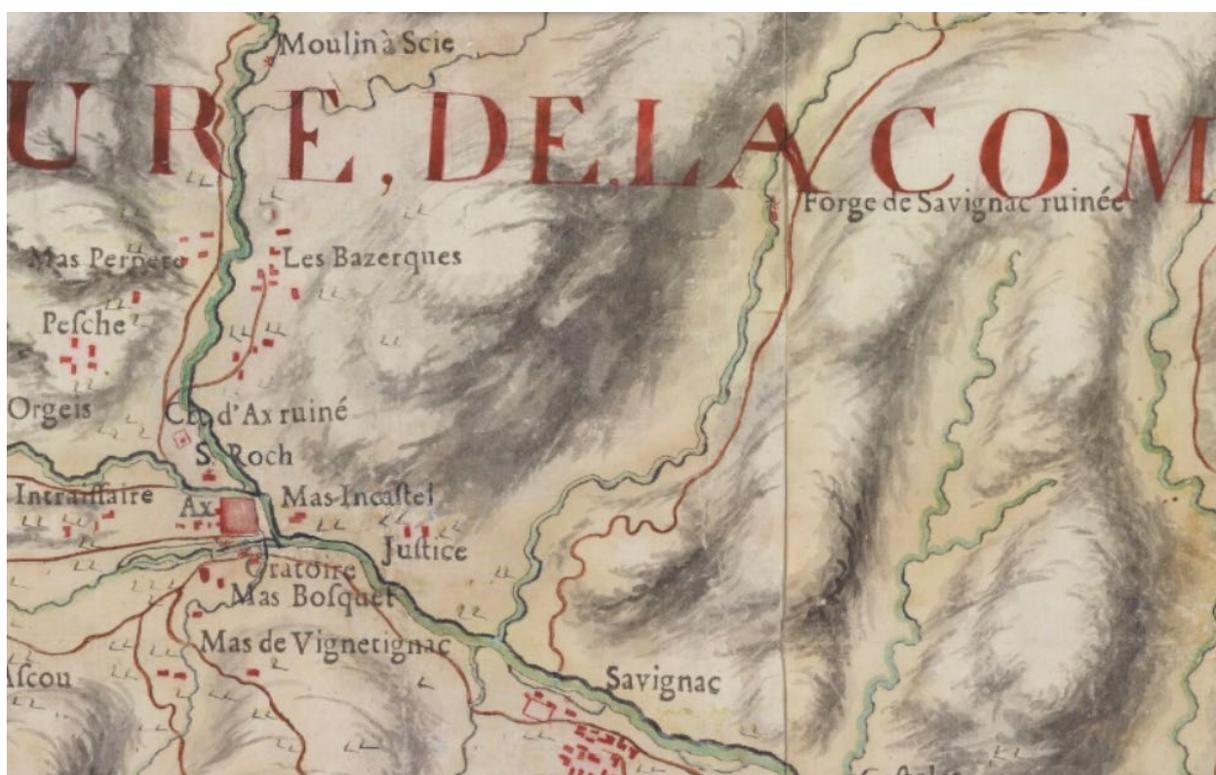


Figure 43 : Extrait de la 'Carte de la Cerdagne françoise de la Cerdagne espagnole, la vallée de Carol, le Capcir, le Donézan, et partie de la Catalogne, du Valespir, du Conflent, du Languedoc et de la comté de Foix' publiée en 1718-1719 par François de la Blottière et l'ingénieur Roussel

En reprenant l'analyse historique faite par C. Calmés, le fait que la forge du Najar 01 (désignée dans certains documents comme 'Forge de Labail de Savignac') ne soit pas représentée sur la carte de La Blottière et Roussel n'est pas forcément incohérent avec les textes. Dans aucun des documents d'affermage consultés par Calmés, la forge de Savignac n'est désignée comme 'forgeante' ou comme en activité, au contraire de celle du Castelet. Il est donc fort probable que la forge ait définitivement cessé de fonctionner dès les années 1670. Le maintien de l'établissement dans les documents d'affermage est peut-être lié à une raison juridique. Pour des périodes plus tardives, l'octroi des droits pour ériger de nouveaux feux de forge est strictement réglementé. Cette contrainte donne lieu à certaines stratégies, telles que le rachat d'établissements uniquement pour acquérir ce droit et en disposer pour d'autres installations. Le cas du rachat de la forge de Canadelle par les frères Berthoumiou en 1829 illustre bien ce phénomène (Cantelaube, 2005, p. 449-450). Bien que nous ne disposions pas de ce type d'informations pour le tournant du XVIIIe siècle, peut-être le

maintien de la mention de la forge de Savignac dans les contrats d'affermé tient-elle à des motivations d'ordre juridique.



Figure 44 : Extrait de la feuille 40 de la 'Carte générale de la France' éditée par César-François de Cassini-Thury

En revanche, si la forge de Labail de Savignac n'est pas portée sur la carte de La Blottière et de Roussel alors qu'elle est potentiellement ruinée depuis une quarantaine d'années, que cela suggère-t-il sur la cessation d'activité de la forge de la vallée de Savignac (Najar 02) ? A-t-elle fonctionné plus longtemps que la forge du Najar 01 ? Ou s'agit-il d'une erreur de report d'information sur la carte, engendrée par une confusion entre les deux sites ?

Au vu des questions posées par les travaux menés précédemment, préciser la chronologie des activités faisait donc partie des priorités pour la poursuite des recherches sur le site du Najar 02. En particulier, il semblait important de déterminer dans quel intervalle chronologique les activités sidérurgiques ont pris place, et aussi de préciser les rythmes de la production. La réduction du minerai s'était-elle déroulée de façon ininterrompue entre le XIVe et le XVIe siècles, s'est-elle prolongée au-delà des dates fournies par le 14C, jusqu'au cours du XVIIe siècle ? Les informations de terrain et d'archives acquises au cours de l'opération 2024 permettent, comme nous le verrons plus loin, de proposer un scénario vraisemblable.

IV.2. Bilan des recherches effectuées dans les Archives Départementales de l'Ariège (par Philippe Fernandez)

IV.2.1. Interprétation des sources étudiées

En l'état actuel des recherches, cette mouline située à quelques centaines de mètres en amont des Granges de la Vallée de Savignac aurait été construite [ou reconstruite ?] par un certain

Jeannin Peixie avant 1554⁸, qui tient l'établissement jusqu'au 1^{er} mars 1555, date à laquelle son fils Laurent lui succède⁹.

La mouline est alors alimentée avec du minerai de fer provenant du col de Belh [col de Belh (IGN) ou col de Biel (cadastre 2008-2013, Géoportail), situé au-dessus des sources du Najar]. Elle appartient à noble Vidal Dupuy, seigneur de Pradières, qui perçoit de Peixie¹⁰ une rente annuelle de 50 quintaux de « fer à vergues bon et marchand »¹¹. Cet arrentement inclut un moulin farinier, des cabanes, des prés et d'autres dépendances, ainsi que la mine de fer.

Au début des années 1560, l'établissement est tenu par Antoine Varilhes, ainsi que par Michel et Raymond Charié, tous ferriers de la mouline¹².

Il est à noter que Vidal Dupuy, seigneur de Pradières, représente l'abbé de Foix en 1563 dans plusieurs actes notariés¹³. Nous pourrions envisager que Dupuy tienne la mouline en fief de ce dernier [à confirmer].

En 1584, la forge ne fonctionne probablement plus depuis un certain temps (peut-être dès 1562, date de la dernière mention). Son emplacement avec ses dépendances sont cédés au seigneur d'Orlu le 10 novembre 1584, lorsque Hiérosme Dupuy, seigneur de Pradières et fils de feu Vidal Dupuy, vend à Roger Aymeric, seigneur d'Orlu, « le lieu et place ou sol de la moline ferral avec toutes ses partenances et preys de la vallée de Savignac », au prix de 60 écus sol¹⁴. La valeur estimée si peu élevée, pour un établissement sidérurgique tel qu'une mouline avec toutes ses possessions, vient corroborer l'hypothèse que l'établissement a définitivement cessé son activité, et qu'il a été abandonné depuis un certain temps déjà.

A partir de cette date, les sources sont muettes. La mouline de la vallée de Savignac n'apparaît plus dans la documentation de la fin du XVI^e siècle, ni dans celle du siècle suivant.

Peut-être la forge a-t-elle souffert, pour son accès aux forêts de l'abbé de Foix, de la concurrence de deux autres moulins proches, appartenant elles aussi à l'abbaye. Il s'agit ici de celle du Castelet et surtout de celle construite bien plus en aval sur le Najar, dont l'existence est attestée sinon en 1557 à l'occasion de l'achat d'un pré dit de la mouline situé à Pradadel¹⁵, du moins en 1568

⁸ AD09, 5E2305, f° 44 v°. Un acte daté du 6 août 1554 signale un certain Jeannin Peixie, « ferrier de la vallée de Savigna ». Il s'agit de la première mention connue à ce jour dans la documentation.

⁹ AD09, 5E2305, f° 91 v°. Ax-Les-Thermes, 1^{er} mars 1555 (n. st.). Emancipation de Laurent Peixie, fils de Jeannin Peixie, ferrier de la vallée de Savigna. Celui-ci lui cède « tout le droict qu'il a à la moline de ladite vallée de Savigna avec ses moulin farinier, cabanes, preys et aultres partenances, ensemble le menyer de fer qu'il a trouvé sur coul de Bel ». Jeannin lègue aussi à son fils toutes les dettes à lui dues par certaines personnes « despuys qu'il a contruict la mouline. »

¹⁰ Le seigneur de Pradières possède en 1560 la mouline de Ferrasiels à Suc-et-Sentenac, et peut-être aussi celle de Miglos. Il est d'autant plus étonnant qu'un nommé Jean Peixche ait été le ferrier de Ferrasiels en 1533 pour Vidal Depoey [ou Dupuy], alors trésorier du comté de Foix. Jeannin Peixie aurait donc pu tenir la mouline du ruisseau de Suc avant celle de Savignac (1533 : AD09, E360, f° 150 r° et v° ; 1560 : AD09, E6, f° 524 et AD09, E8, f° 319 ; pour la mouline de Miglos : AD09, 5E436, f° 112 r°-113 r°).

¹¹ AD09, 5E2305, f° 72 v°. Le montant de l'arrentement est signalé dans un acte du 6 janvier 1555 (n. st.).

¹² Antoine Varilhes : AD09, 5E2305, f° 437 r°, 3 juillet 1560 ; AD09, 5E2305, f° 535 r°, 12 octobre 1562 ; AD09, 5E2305, f° 536 r°, 22 octobre 1562. Michel et Raymond Charié : AD09, 5E2305, f° 526 r°, 30 mai 1562.

¹³ AD09, 5E2305, f° 561 r°-562 v°. 10 juillet 1563.

¹⁴ AD09, 5E2305, f° 1244 v°.

¹⁵ AD09, 5E2305, f° 325 v°-326 r°. Ax-Les-Thermes, 22 février 1557 (n. st.). Mention d'un pré dit de la mouline situé à Pradadel. Pierre Font dit de La Guerre, de Savignac, vend à Thomas Boffilh dudit lieu un champ assis aux appartenances de Savignac et lieu appelé Pradadel qui confronte de levant avec le « pré de la moline »,

lorsqu'un acte de vente de terre est passé « à la moline ferral de Savigna »¹⁶ entre deux habitants de Savignac.

A l'instar du charbon, la forge a peut-être été confrontée aux difficultés de son approvisionnement en minerai de fer. Que peut valoir le minerai du col de Belh au milieu du XVI^e siècle, à une époque où la politique des rois de Navarre tend à uniformiser la production d'un fer de qualité issu des mines de Vicdessos dont le monopole semble alors s'affirmer ? Rappelons ici les ordonnances du 2 juillet et du 6 août 1565, qui interdisent aux habitants de la vallée de la Barguillère, comme aussi à tous les autres qui possèdent des moulins à fer, de se servir d'autres minières que celles de Vicdessos et de Siguer¹⁷. Ainsi, la forge aurait pu être victime de son éloignement, concurrencée par celle d'aval (Najar 01) plus proche des voies du commerce.

Quelle que soit la cause de la disparition de la mouline de la vallée de Savignac, il apparaît au vu de la documentation étudiée, que les deux usines sidérurgiques du Najar ont très certainement coexisté durant quelques années au moins, dans le troisième quart du XVI^e siècle, ce qui correspondrait aux résultats des analyses issues de l'archéologie et menées sur les deux sites¹⁸.

au midi et au couchant avec des tenanciers, et aquilon avec la rue publique. Le toponyme *Pradadel* figure sur le cadastre de Savignac-Les-Ormeaux ; il se situe au nord-ouest et à proximité immédiate de la forge du Najar 01.

¹⁶ AD09, 5E2305, f° 758 v°. Acte du 29 novembre 1568. Une pièce de terre de 4 setérées située aux appartenances de Savignac est vendue par un habitant de Savignac à Jean Petit Bac, dudit lieu.

¹⁷ 2 juillet et 6 août 1565. Interdictions faites aux habitants de la vallée de la Barguillère et à tous les autres ayant des moulins à fer, de se servir de la mine d'Alzen et d'autres que des minières de Vicdessos et de Siguer (AD09, E 6, p. 528 ; AD09, E 8, p. 320. Les ordonnances, signalées dans ces deux inventaires des archives de la tour ronde du château de Foix, rédigés à l'époque moderne, ont été détruites lors de l'incendie de la préfecture de l'Ariège en 1803).

¹⁸ Grimbert 2006, 127 (pour la forge de Savignac ou Najar 01) ; Dissert 2022, 217-218 (pour la mouline de la vallée de Savignac ou Najar 02).

IV.2.2. Transcriptions des documents

SOURCES CONCERNANT LA MOULINE DE LA VALLEE DE SAVIGNAC OU NAJAR 02

Ax-Les-Thermes, 6 août 1554. Quittance faite par Jeannin Peixie, « ferrier de la vallée de Savigna », qui reconnaît avoir reçu de sa bru Antoinette Felip, épouse de son fils Laurent Peixie et fille de feu Géraud Felip, la quantité de 14 quintaux de fer bon et marchand qu'elle a assignés sur un pré assis à la vallée de Savignac et « al cap d'amont de l'Escure del Capelha » [Lescure : toponyme jouxtant celui de Boutas ; Géoportail, cadastre 2008-2013], contenant un journal et demi et qui confronte au levant avec Jean Felip, au midi avec le chemin, au couchant et aquilon avec le « bosc ». Item un autre pré de 2 journaux assis « delha l'aygue » qui confronte au levant avec Samson Felip, au midi à la rivière, au couchant « à l'herm », aquilon « au boscage ».

AD09, 5E2305, f° 44 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 28 octobre 1554. Barthélémy Soulié dit Anglade, habitant du lieu d'Urs, reconnaît devoir à Antoine Rougier, de Foix, la quantité de 17 quintaux de fer bon et marchand et 6 réals « pour responce faite pour Johany Peixie, ferrier de la vallée de Savigna, pour lequel s'est constitué principal débiteur ». Ils devront lui fournir 3 quintaux par semaine jusqu'en fin de paiement, ou bien la somme de 2 livres tournois par quintal. Les 6 réals seront payés à la fin. Peixie engage sa personne ainsi que « tous ses mulets ».

AD09, 5E2305, f° 55 r° et v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 30 novembre 1554. Guillaumet Labat est constitué procureur de Jacques de Bigou, du lieu de Joucou en pays de Sault [commune du département de l'Aude], pour exiger de Jeannin Peixie, ferrier de la vallée de Savignac, la quantité de 5 quintaux de fer.

AD09, 5E2305, f° 65 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 6 janvier 1555 (n. st.). Noble Vidal Dupuy, seigneur de Pradières, avait fait saisir au nom de « la court sigillaire de la comté de Foix » trois mulets appartenant à Jeannin Peixie, ferrier de la vallée de Savignac, en raison de la dette que ce dernier devait à Dupuy concernant une « certaine quantité de fer ». En ce jour 6 janvier 1555 Jean Sicre, du lieu d'Axiat, se porte caution envers Peixie pour payer à Dupuy les 50 quintaux de « fer à vergues bon et marchand rendu audit Ax, desquels luy estoyt débiteur ledit Peixie pour l'arrentement de la moline dudit Dupuy et pour la présente année » qui a commencé le 1er avril dernier jusqu'au 1er avril prochain. Il reste en outre 5 quintaux « de semblable fer » à payer à la fête de Pentecôte sur les 100 quintaux que Sicre avait cautionnés.

AD09, 5E2305, f° 72 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 1er mars 1555 (n. st.). Emancipation de Laurent Peixie. Ce dernier, fils de Jeannin Peixie, ferrier de la vallée de Savignac, ayant atteint l'âge « pour soy régir et gouverner », est « émancipé et mys hors le chemin de son dit père ». Celui-ci lui cède « **tout le droit qu'il a à la moline de ladite vallée de Savigna avec ses moulin farinier, cabanes, predz et aultres appartenances, ensemble le menyer de fer qu'il a trouvé sur coul de Bel** » [col de Belh (IGN) et col de Biel (cadastre 2008-2013, Géoportail), situé au-dessus des sources du Najar], à la condition que son père puisse utiliser tout le minerai dont il aurait besoin dans le cas où il tiendrait une [autre] mouline. Jeannin cède aussi à son fils toutes les dettes à lui dues par certaines personnes « **despuys qu'il a contruict la mouline.** »

AD09, 5E2305, f° 91 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 3 mai 1555. Achat d'un mulet contre 28 quintaux « de fer en vergue bon et marchand » par Laurent Peixie, ferrier de la vallée de Savignac, auprès de Jacmou Deluc, de L'Hospitalet. Peixie fournira 3 quintaux sous huit jours, puis 3 quintaux par semaine à partir de la seconde semaine de juin.

AD09, 5E2305, f° 130 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 7 mai 1555. Laurent Peixie s'engage à payer « de jour en jour » 11 quintaux de fer que Jeannin Peixie, son père, devait à Antoine Rougier, de Foix, par l'intermédiaire d'un certain Barthélémy Soulié, d'Urs [voir acte du 28 octobre 1554].

AD09, 5E2305, f° 134 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 3 juillet 1560. Antoine de Varilhes, ferrier de la vallée de Savignac, est témoin dans un acte de lausime passé entre Jean Dupérier, notaire d'Ax et fermier des droits de lods et ventes pour l'abbé de Foix, et Jean Ducassé, marchand d'Ax qui a acheté une maison et des terres situées au Castelet.

AD09, 5E2305, f° 437 r°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 30 mai 1562. Protestation de Jean Petit Serda, marchand d'Ax, contre Michel et Raymond Charié, « ferriers de la vallée de Savigna », qui lui doivent la somme de 101 livres tournois et 18 mesures de seigle.

AD09, 5E2305, f° 526 r°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 12 octobre 1562. Vente d'un mulet et de deux chevaux « garnys et embastés » pour le prix de 50 écus d'or pistolets, valant chaque écu 48 sous tournois, par Jean Petit Serda, marchand d'Ax, à Antoine de Varilhes, natif du lieu de Celles et à présent habitant de la vallée de Savignac. Varilhes promet de payer 2 écus par semaine jusqu'en fin de paye, à partir de la semaine prochaine.

AD09, 5E2305, f° 535 r°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 22 octobre 1562. Pour régler un différend [non précisé] qu'ils ont entre eux, Antoine de Varilhes, ferrier de la vallée de Savignac choisit pour arbitre Jean Petit Serda. Arnaud Chambelet, le plaignant, du lieu de Celles choisit Bernard Aymeric, marchand d'Ax.

AD09, 5E2305, f° 536 r°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 10 juillet 1563. Quatre actes d'arrentements de fruits décimaux, dans lesquels noble Vidal Dupuy, seigneur de Pradières, est le procureur de l'abbé de Foix.

AD09, 5E2305, f° 561 r°-562 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

Ax-Les-Thermes, 10 novembre 1584. Hiérosme Dupuy, seigneur de Pradières et fils de feu Vidal Dupuy, vend à Roger Aymeric, seigneur d'Orlu, « le lieu et place ou sol de la moline ferral avec toutes ses partenances et preds de la vallée de Savignac », au prix de 60 écus sol.

AD09, 5E2305, f° 1244 v°. Dupérier Jean, notaire d'Ax-Les-Thermes

SOURCES (citées dans cette étude) CONCERNANT LA MOULINE DE SAVIGNAC OU NAJAR 01

Ax-Les-Thermes, 22 février 1557 (n. st.). Mention d'un pré de la mouline situé à Pradadel. Pierre Font dit de La Guerre, de Savignac, vend à Thomas Boffilh dudit lieu un champ assis aux

appartenances de Savignac et lieu appelé Pradadel qui confronte de levant avec le « pré de la moline », au midi et au couchant avec des tenanciers, et aquilon avec la rue publique.

AD09, 5E2305, f° 325 v°-326 r°. Dupérier Jean, notaire d’Ax-Les-Thermes

« A la moline ferral de Savigna », 29 novembre 1568. Une pièce de terre de 4 setérées située aux appartenances de Savignac est vendue par un habitant de Savignac à Jean Petit Bac, dudit lieu.

AD09, 5E2305, f° 758 v°. Dupérier Jean, notaire d’Ax-Les-Thermes

IV.3. Localisation du site

Le site du Najar 02 est localisé à 4 kilomètres à l’OSO de la ville d’Ax-les-Thermes, en Ariège (Figure 44). Il se trouve dans une vallée nommée Vallée de Savignac, qui constitue la vallée la plus orientale du massif de l’Aston et de l’Hospitalet. Cette vallée est longue d’environ 12 kilomètres, entre la source du Najar et son débouché sur la vallée de l’Ariège. La vallée de Savignac est globalement orientée à environ 20N, sauf sur un court tronçon d’1 kilomètre, qui est orienté à 90N. C’est à l’entame de ce tronçon que se trouve le site sidérurgique, sur la rive gauche du ruisseau du Najar, à environ 3800 mètres en amont du confluent de ce dernier avec l’Ariège. Le site se trouve à une altitude d’environ 1120 mètres, face à un éperon rocheux (Figure 45). Le nom du lieu sur le plan cadastral historique, ‘Boutas’, évoque son passé sidérurgique. Ce mot se réfère en effet à un bassin dont sont dotées de nombreuses installations hydraulique, bassin destiné à réguler le flux d’eau qui alimente les mécanismes hydrauliques.



Figure 45 : Localisation du site du Najar 02 dans son contexte régional

La très grande majorité des vestiges observés se trouvent sur une unique parcelle : la 1187 de la section C de la commune de Savignac-les-Ormeaux. L'extension des vestiges correspond globalement à l'emprise du Modèle Numérique de Terrain qui est représenté sur la Figure 46.

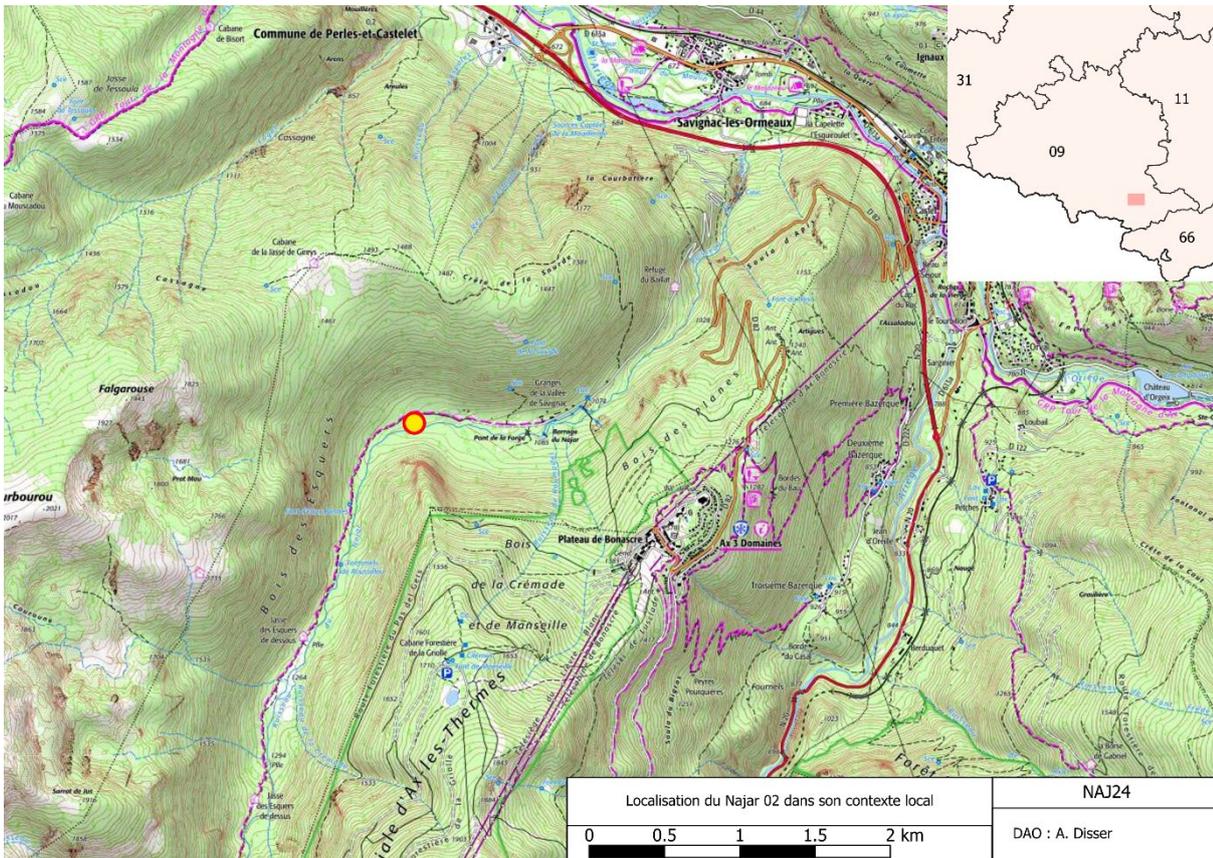


Figure 46 : Localisation du site du Najjar 02 dans son contexte local

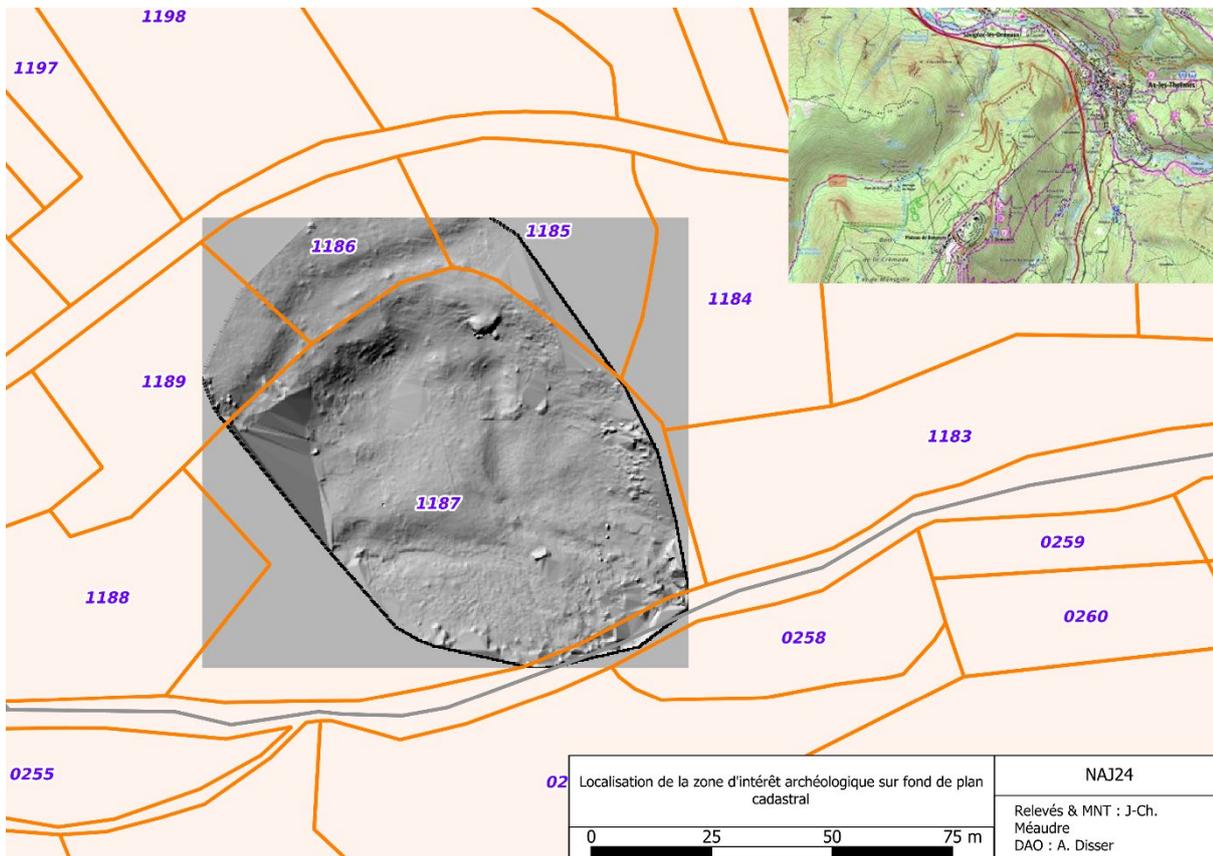


Figure 47 : Localisation de la zone d'intérêt archéologique telle que définie par les prospections pédestres, sur fond de plan cadastral

IV.4. Implantation du système topographique du site et exposé des méthodes de relevé

Nous avons consacré nos premiers efforts de la campagne de sondages à l'implantation d'un système de repères géoréférencés nécessaire au recalage des plans et levés par rapport au système de projection Lambert 93. L'emplacement des stations géodésiques de l'IGN les plus proches laissait supposer le recours à des cheminements constitués de très nombreuses stations, ce qui aurait nécessité un temps considérable, et aurait pu causer une précision médiocre, due à l'accumulation des micro-décalages liés à l'implantation de chaque station intermédiaire. Nous avons donc décidé d'exploiter les données Lidar HD de l'IGN pour géoréférencer les premières stations. Les levés Lidar en Ariège ayant été effectués en été, les points remarquables au sol non masqués par le couvert forestier étaient peu nombreux à proximité de la zone d'intérêt. Nous avons choisi de tenter une mise en station en nous servant des poteaux d'un parc à bestiaux qui se trouve à une centaine de mètres à l'est du site. Nous sommes parvenus par ce biais à implanter une première station intermédiaire, la station 1 (Figure 50). Afin de vérifier la validité du positionnement de cette station, nous avons réalisé un cheminement d'un peu plus de 250 mètres afin de lever d'autres points remarquables qui ont été repérés sur le Modèle Numérique de Surface calculé à partir de la dalle 601_6180 du programme Lidar HD. Ces points sont le faite oriental et le coin sud-est de la toiture d'une grange. Le décalage obtenu était de 35 cm. Cette valeur nous paraît acceptable, dans la mesure où la détermination des coordonnées des points de contrôle est soumise à la taille des pixels (25cm) calculés du MNS à partir du nuage de points. Nous estimons donc que la justesse des coordonnées des points de référence que nous avons ensuite implantés sur le site du Najar 02 correspond à cette valeur.

Quinze points de référence ont été implantés. Ils sont matérialisés sous la forme de croix qui ont été gravées dans des blocs de moraine granitique de grandes dimensions. Les points de 1 à 9 ont été implantés en bordure de la zone de concentration des vestiges archéologiques. Les points 10 à 15 ont été implantés le long du tracé du canal d'amenée d'eau. Ces points serviront à terme à réaliser le relevé photogrammétrique du canal.

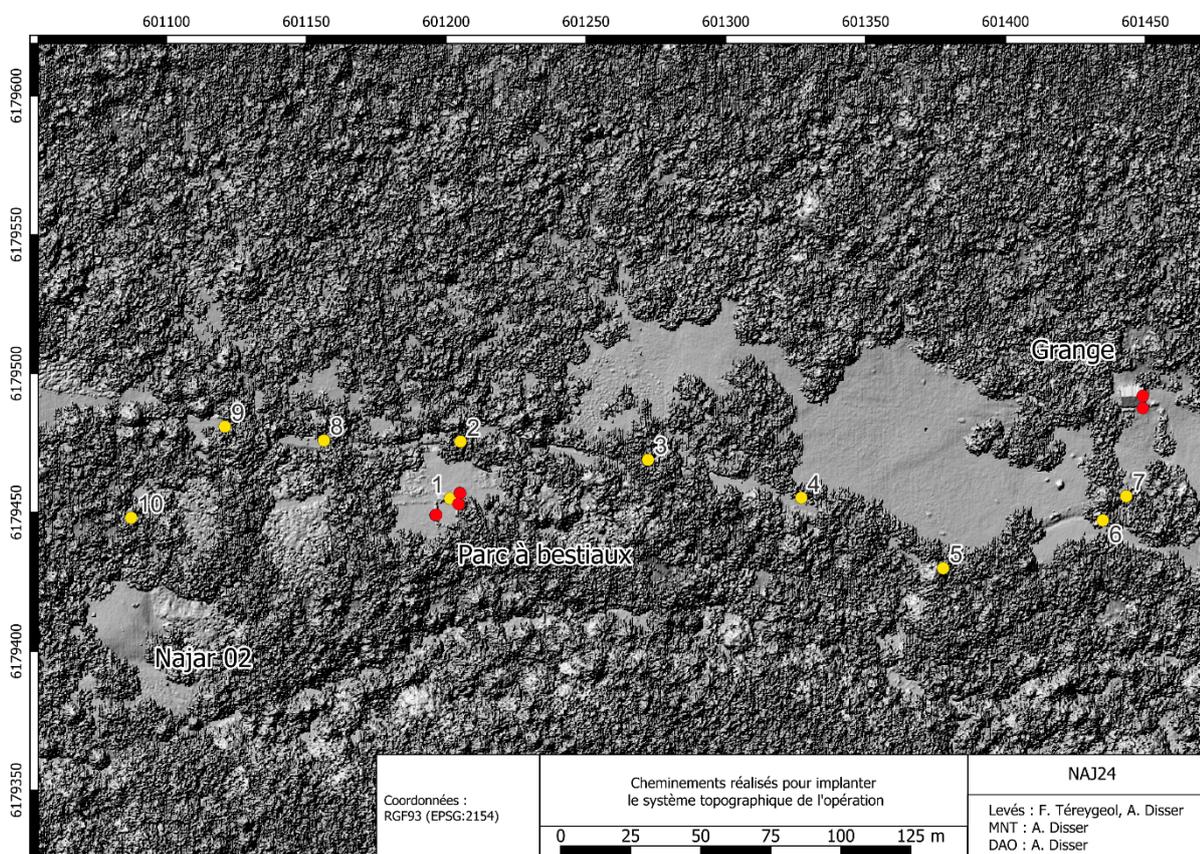


Figure 48 : Localisation des points de référence (en rouge) définis à partir de reliefs remarquables extraits d'un MNT calculé à partir de la dalle Lidar HD 601_6180 et des stations intermédiaires utilisés pour le cheminement



Figure 49 : Localisation des points de référence implantés au cours de la campagne 2024

IV.4. Stratégie d’implantation et description des sondages

IV.4.1. Implantation des sondages

Nous avons effectué plusieurs visites du terrain entre la découverte du site et la campagne de sondage. Ces visites ont permis de supposer l’agencement de plusieurs éléments structurants sur la base de la microtopographie du site (Figure 49). Nous avons en particulier circonscrit l’extension de l’accumulation principale de scories. Cette accumulation est bordée à l’est par une dépression linéaire dont le premier tronçon est orienté globalement NS, et le second NO-SE. Nous avons supposé que cette dépression pouvait marquer le tracé d’un canal. Une autre dépression borde l’accumulation au sud. Néanmoins, sa morphologie ainsi que son emplacement nous ont amené à penser qu’il s’agissait plutôt d’un chenal du Najar, actif durant les épisodes de crue. Un espace plan est présent au nord du ferrier. Cet espace est lui-même délimité au nord par une forte pente d’environ 6 mètres de hauteur. Un mur de terrasse en partie démantelé est encore visible sur certains tronçons de cette pente, et a certainement servi à son confortement.

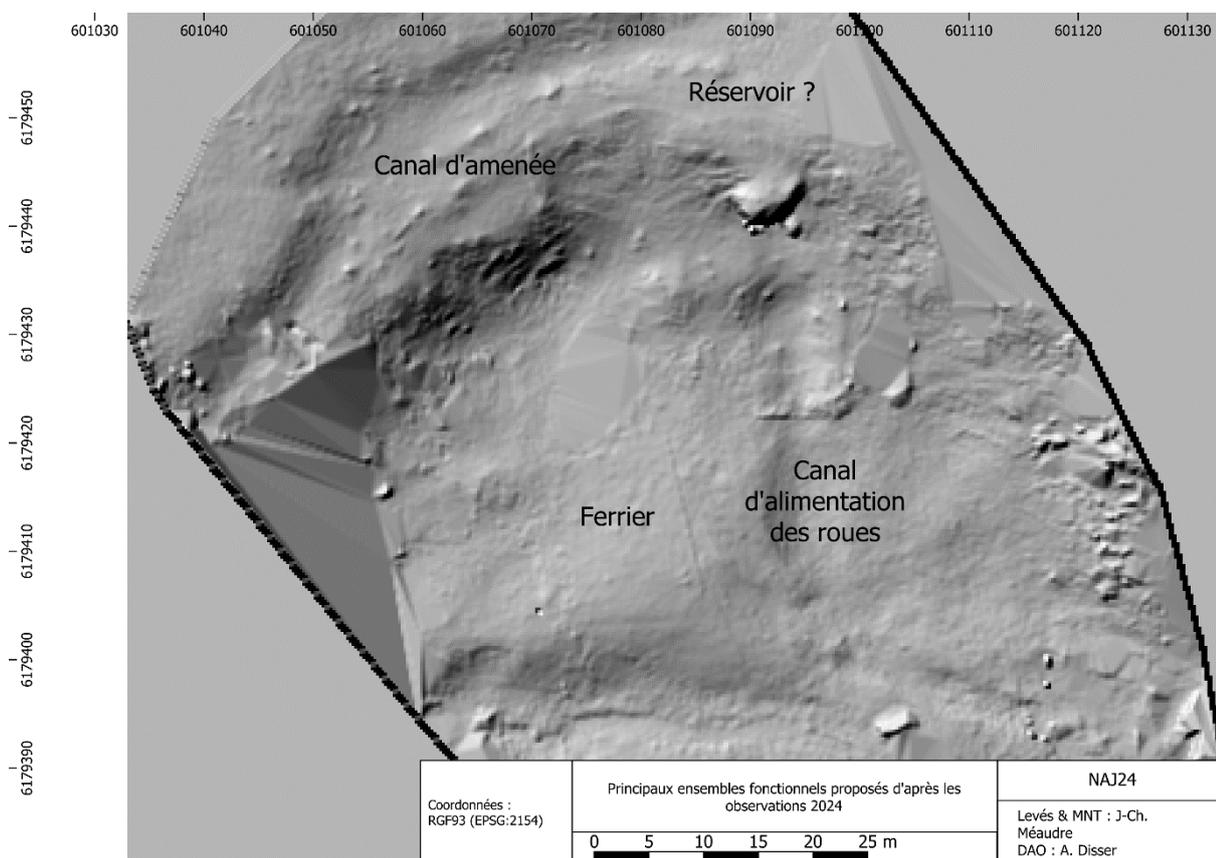


Figure 50 : Indication des principaux ensembles fonctionnels repérés et interprétés sur la base des observations de surface

Sur le replat que forme la terrasse, nous avons observé deux alignements de pierre légèrement courbes. Ces deux alignements sont séparés par une distance relativement homogène d'1,10m. Nous avons interprété ce replat comme étant le vestige d'un canal destiné à fournir les installations sidérurgiques en eau. Les alignements de pierre s'interrompent au bord d'un espace plus large, qui est bordé au sud par un bloc de moraine granitique dont le volume estimé est d'environ 10 mètres cubes. Nous pensons que cet espace correspond à l'emplacement d'un réservoir d'eau, destiné à stabiliser le flux avant son utilisation pour actionner les mécanismes hydrauliques.

L'implantation des tranchées de sondage a été décidée sur la base de ces observations. Les cinq premières tranchées ont été réalisées à l'aide d'une mini pelle mécanique. Nous avons réalisé une première tranchée (SD1) sur le tracé de la dépression linéaire que nous avons interprétée comme étant un vestige de canal. Les sondages 2, 3 et 4 ont été réalisés sur le ferrier. Le sondage 2 a été amorcé au niveau de l'inflexion du replat que forme le ferrier. Nous avons décidé d'interrompre cette tranchée, longue d'environ 8,50 mètres, afin de conserver une coupe orientée grossièrement SO-NE dans la partie inférieure de l'accumulation. Le sondage 3 a été réalisé dans le prolongement de cette tranchée, afin de mettre au jour l'extrémité sud de l'accumulation de scories. Le sondage 4 a été implanté sur le replat formé par l'accumulation de scories, afin d'examiner la stratigraphie au cœur du ferrier. Le sondage 5 a été implanté à partir de la base de la forte pente du replat qui correspond à l'emplacement du supposé canal d'amenée d'eau. Nous avons décidé de partir de l'extrémité ouest du pan de mur de soutènement le plus visible. Les sondages 6 et 7 ont été réalisés plus tardivement, et creusés à la main. Le sondage 6 a été réalisé afin de recouper le tracé supposé du canal d'amenée d'eau. Le creusement du sondage 7 a été décidé afin de vérifier à quoi pouvait correspondre une légère irrégularité dans la pente visible à l'est de la dépression linéaire interprétée comme étant le canal d'alimentation des mécanismes hydrauliques.

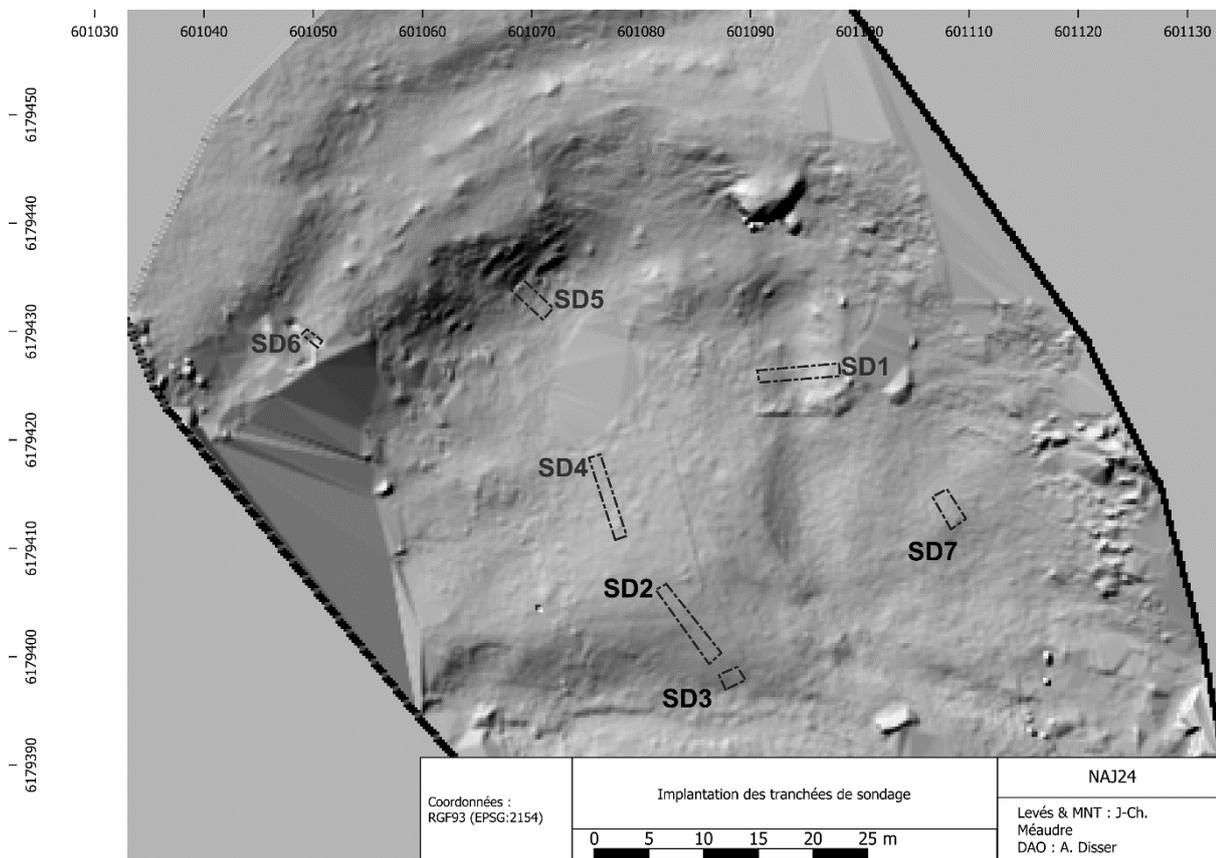


Figure 51 : Localisation des tranchées de sondage réalisées au cours de l'opération NAJ24

IV.4.1. Sondage 1

La tranchée de sondage 1 fait environ 7,50 mètres de long et est orientée N84E. Elle a été creusée de façon à recouper la dépression linéaire interprétée comme étant le canal d'alimentation en eau des mécanismes hydrauliques. La tranchée a été prolongée à l'ouest au-delà du canal afin d'observer l'extrémité orientale de l'amas de scories principal (Figure 51). La couche de recouvrement humifère 101 présente une épaisseur moyenne d'environ 10 centimètres. Elle recouvre l'intégralité de la zone sondée, qui peut être divisée en trois tronçons fonctionnel. Nous les décrivons d'ouest en est.

Le tronçon occidental correspond à l'accumulation de scories principale. Celle-ci se compose de plusieurs unités stratigraphiques. Les couches de scories proprement dites sont surmontées par le niveau 102, composé d'un sédiment sablo-limoneux meuble comportant de fréquents cailloux de pente, ainsi que quelques galets et fragments de scories. Ce niveau est interprété comme des colluvions qui se sont déposées suite à l'arrêt de l'accumulation de scories. Sous cette couche a été observée l'US 105, un niveau compact d'environ 25 centimètres d'épaisseur, composé très majoritairement de fragments de scorie. Le sédiment interstitiel limono-sableux comporte par ailleurs de fréquents fragments de charbon de bois. Nous interprétons ce niveau comme matérialisant le dernier épisode d'accumulation de scories, du moins dans cette extrémité orientale de l'amas. L'US 105 repose sur une couche fine (5 centimètres d'épaisseur) et horizontale. Elle est compacte, de couleur ocre, et composée en majorité de fragments de scorie de faibles dimensions. Elle comporte également, de façon moins fréquente, des cailloux de pente ainsi que de petits galets et des fragments de charbon de bois. En l'état actuel des observations, nous interprétons ce niveau comme étant la surface momentanée de l'amas de scorie, constituant un niveau de circulation. Les US 102, 105 et 106 butent contre une couronne de galets de granite [104]. Il est intéressant de noter qu'une couronne similaire a également été reconnue dans le sondage 3. Nous discuterons cet élément à l'occasion

de la section de synthèse sur l'ensemble fonctionnel du ferrier. Cette couronne coiffe l'US 107 constituée très majoritairement de scorie de réduction. Cette couche, très meuble, comporte également de très nombreux fragments de charbon de bois. Le sondage n'a pas atteint la base de cette couche.

Le tronçon central correspond à ce que nous avons interprété comme étant l'aménagement, puis l'abandon d'un canal. Sous la couche humifère 101, nous avons observé une couche limono-sableuse d'une épaisseur d'environ 30 centimètres. Cette couche comporte de nombreux cailloux de pente, ainsi que de rares galets et blocs. Elle ne comporte pas de fragments de scorie. Nous avons interprété cette US comme marquant un processus de colluvionnement. L'accumulation de scorie 107 décrite précédemment semble buter contre une superposition de blocs de granite |108| qui est interprétée comme le parement occidental du canal. L'US 111, composée de blocs de granite en vrac, a été interprétée comme la démolition du parement oriental du canal. L'US 109, qui occupe l'espace entre les US |108| et 111, comporte également de très nombreux blocs de granite de dimensions décimétriques, est également interprétée comme étant liée à la démolition des parements du canal. Cette US constituerait la partie supérieure du comblement de l'espace du canal. Sous l'US 109, un niveau (l'US 110) très induré est constitué par des sables et graviers qui ont été pris par un concrétionnement qui semble issu de la corrosion de fer métallique. Ce niveau comporte également de fréquents fragments de scorie et de charbon de bois, ainsi que de rares cailloux. Cette couche a été observée sur une hauteur d'environ 20 centimètres. Nous n'avons pas atteint sa base, faute d'espace suffisant pour fouiller. Un parallèle peut être établi entre ce niveau de concrétionnement et des niveaux qui ont été fouillés dans l'un des canaux de Castel-Minier, niveaux qui présentaient des caractéristiques identiques. En l'état de nos observations, nous pouvons ainsi supposer que le niveau 110 matérialise la sédimentation du canal au cours du fonctionnement de l'atelier. Des chutes métalliques seraient tombées dans le canal, et seraient à l'origine des concrétions.

La partie supérieure de la stratigraphie du tronçon oriental est composée des US 101 et 103 déjà décrites précédemment. Sous la couche de colluvionnement 103 apparaît un niveau limoneux meuble comportant de très nombreux fragments de scorie qui présentent un module dominant de 5 à 10 centimètres. Quelques fragments de charbon de bois ont également été observés. Un prélèvement de deux fragments a été effectué à la base de cette couche, au niveau de l'interface avec un niveau induré, l'US 114. La fouille s'est arrêtée à la surface de ce niveau. Il est constitué d'un sédiment sablo-limoneux de couleur rouge très compact. Il comporte de très nombreux fragments de scorie de module centimétrique. Ce niveau a été interprété comme étant un niveau d'occupation qui pourrait être lié à une activité sidérurgique. Cette couche indurée semble s'interrompre à environ 1,70 mètres à l'est de la couche 111, ce qui se matérialise sur la coupe stratigraphique réalisée par une 'marche' d'environ 50 centimètres de hauteur. Le comblement, entre les US 111 et 114 est formé par une accumulation de scories de module dominant d'environ 5 centimètres. Cette accumulation a été enregistrée sous le numéro d'US 115.

IV.4.2. Sondage 2

La tranchée de sondage 2 est longue de 8 mètres et est orientée N140E. La tranchée a été implantée à partir de la rupture de pente que forme l'amas de scorie principal. La tranchée a révélé une accumulation de plusieurs niveaux constitués principalement de fragments de scorie. La tenue de ces niveaux était médiocre, ce qui a empêché de redresser convenablement les coupes longitudinales de la tranchée. La coupe nord s'est toutefois montrée beaucoup plus stable, ce qui a permis d'en établir précisément la stratigraphie. A cet endroit, la hauteur totale des niveaux composés de scorie atteint 2,20 mètres.

- 101 : terre végétale
- 102 : couche de sédiments sablo-limoneux qui recouvrent uniquement le ferrier ; comporte quelques scories et cailloux
- 103 : couche meuble de sédiments limono-sableux comportant de très nombreux cailloux, ainsi que des galets et petits blocs de granite
- 104 : couronne de blocs de moraine granitique placés sur la périphérie du ferrier
- 105 : niveau d'accumulation de scories ; peut-être dernier épisode d'accumulation
- 106 : Niveau sub-horizontale constitué par des concrétionnements oxydés ; correspond peut-être à un arrêt momentané de l'accumulation de scories
- 107 : Accumulation de scories de l'amas principal. Vient a priori buter contre le parement ouest 108 du canal
- 108 : Mur monté en blocs de moraine granitique, avec localement des scories dans le blocage. Taille des blocs variable, de 10 à 60 cm
- 109 : Amas de blocs de granite en vrac ; probablement lié à la démolition/abandon du canal
- 110 : Accumulation concrétionnée de sables, graviers, charbons, scories ; correspond à la sédimentation du canal
- 111 : Amas de blocs de granite en vrac ; probablement destruction du parement est du canal
- 112 : Lentille de sédiments limoneux au-dessus de la couche de scories qui recouvre le niveau induré dans la partie est du sondage
- 113 : Niveau de sédiments limoneux comportant de très nombreuses cories de module de 5 à 10 cm
- 114 : Niveau de sol induré constitué de fragments de scorie centimétriques
- 115 : Niveau de sédiments limoneux comportant de très nombreuses cories de module d'environ 5 cm

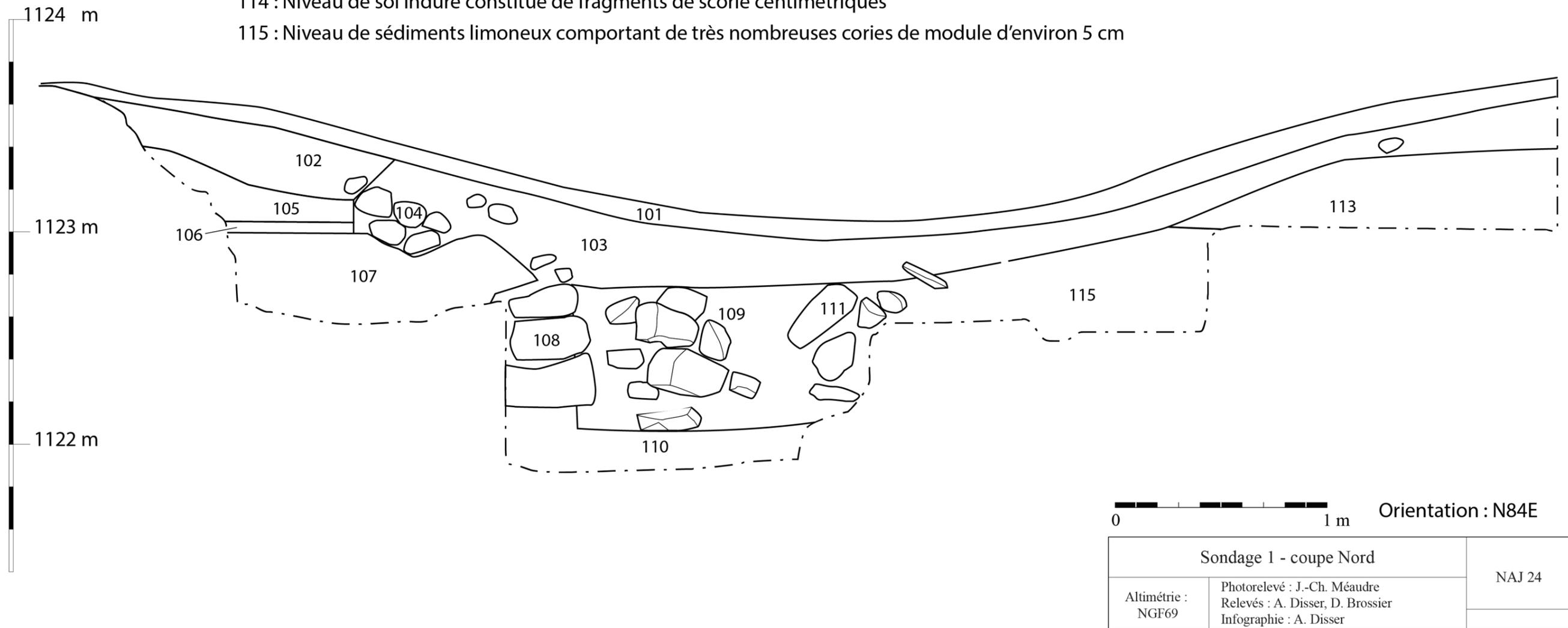
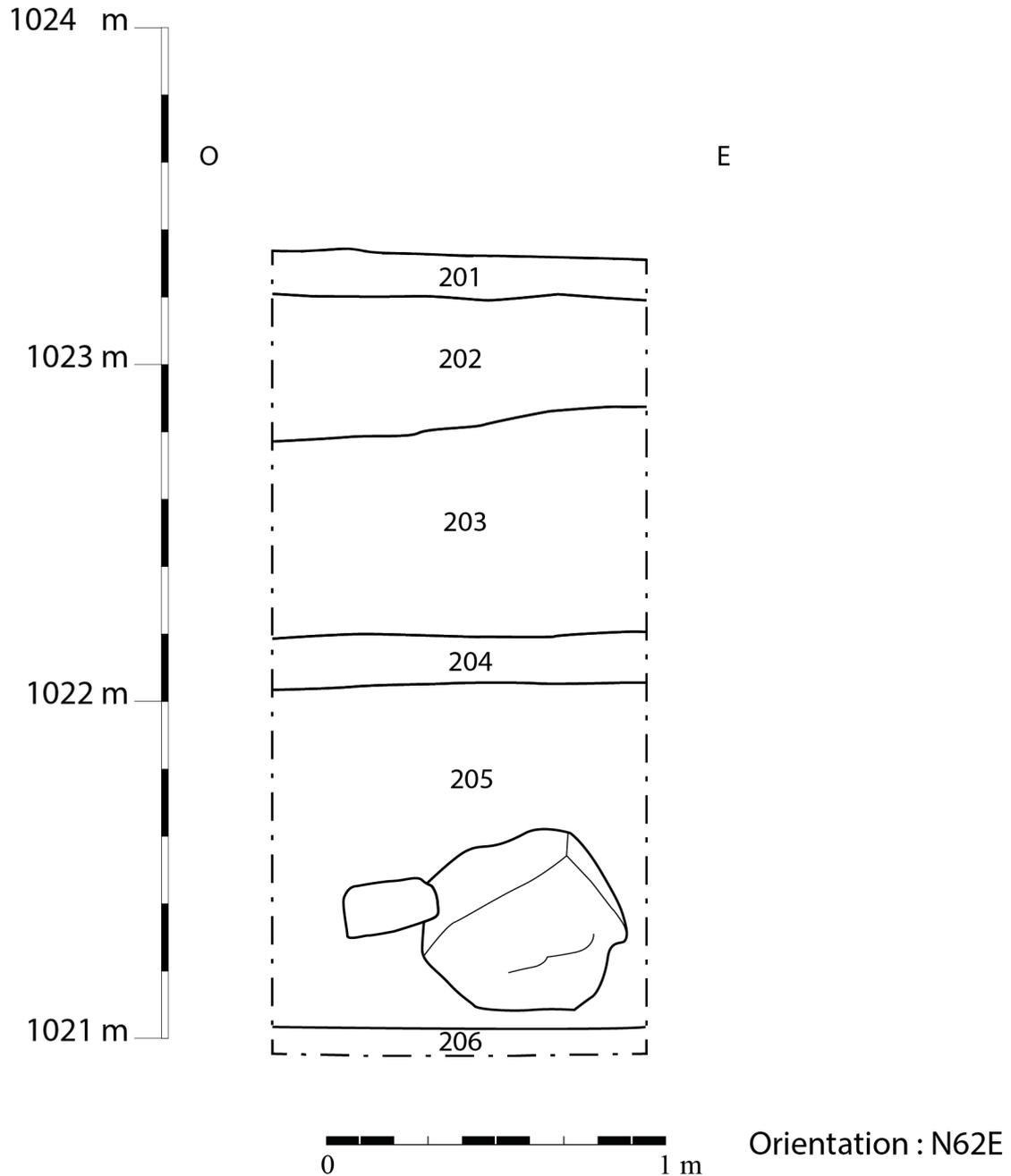


Figure 52 : Coupe stratigraphique nord de la tranchée de sondage 1 (échelle 1:20)

La coupe nord est constituée de six unités stratigraphiques principales (Figure 52). La couche superficielle 201 est un horizon de terre végétale dont l'épaisseur maximale observée était de 10 centimètres. Ce niveau recouvre un premier niveau d'accumulation de scorie (US 202) constitué presque exclusivement de fragments de scorie dont une fraction importante atteint des dimensions décimétriques. Les interstices sont comblés par un gravier de scorie de module centimétrique. Le niveau comporte également des fragments de charbon de bois, ainsi que de rares fragments de minerai. Tous les fragments identifiés comme étant du minerai ont été interprétés comme étant constitués principalement d'hématite. Une chute métallique de découpe a également été mise au jour lors de la fouille. Ce niveau ne comporte quasiment pas de sédiment interstitiel. La couche 202 surmonte un autre niveau d'accumulation de scorie enregistré sous le numéro 203. Cette couche se distingue de la précédente par le calibre des fragments de scorie. En effet, alors que la couche 202 comportait de nombreux fragments décimétriques, la couche 203 est très majoritairement composée de fragments de petit calibre, relativement homogène. Le module dominant est de 3-4 centimètres. Ce niveau d'accumulation montre une puissance d'environ 60 centimètres à l'endroit de la coupe nord du sondage. Sous ce niveau d'accumulation, nous avons observé une couche d'environ 10 centimètres d'épaisseur constituée par des fragments de scorie de petit calibre (infracentimétrique à centimétrique) mêlé à un sédiment sableux de couleur rougeâtre. Ce niveau marque une rupture nette entre les processus d'accumulation de scorie matérialisés par les US 203 et 205. Pour l'heure, nous interprétons cette couche comme matérialisant un épisode de réaménagement de cette partie de l'amas, au cours de laquelle l'accumulation de scorie antérieure (représentée par l'US 205) a pu faire l'objet d'un nivellement pour favoriser la circulation au cours d'un état intermédiaire de constitution de l'amas. Cette couche surmonte le niveau d'accumulation 205, qui présente des caractéristiques similaires à l'US 203 en termes d'éléments constitutifs. L'US 205 est en effet constituée majoritairement par des fragments de scorie de module relativement important. La plupart des éléments présentent des dimensions d'environ 10 centimètres. Les éléments plus volumineux, dont les dimensions peuvent atteindre 20 à 30 centimètres, ne sont pas rares. Parmi les éléments les plus volumineux, on peut noter que la plupart sont des plaques de coulée de scorie, constituées par des cordons assez importants, dont le diamètre est généralement de 2 à 3 centimètres. Cette couche d'accumulation ne comporte que très peu de sédiment interstitiel. De fréquents fragments de charbon de bois ont été observés. La base de cette couche présente par ailleurs des blocs de moraine granitique entre les interstices desquels les fragments de scorie se sont logés. Certains de ces blocs reposent sur le niveau 206, qui est constitué par un sédiment argilo-sableux de couleur beige, compact. Quelques coques de noisette, ainsi que des fragments de charbon de bois ont été observés à la surface de cette couche, et ont été prélevés. Le niveau 206 a été interprété comme étant le sol naturel, sur lequel les scories constituant l'amas ont été amoncelées.

En complément des informations révélées par l'observation de la coupe nord, il faut noter que les couches décrites se prolongent sur les coupes ouest et est de la tranchée de sondage. Les couches adoptent un pendage similaire, d'environ 25°, orienté à N150E. L'impression qui se dégage de l'observation des trois coupes est que l'amas de scorie observé semble matérialiser un processus relativement homogène d'accumulation de scories. Rien ne semble indiquer que le ferrier ait connu de remaniement notable, du moins dans la partie qui a été sondée au moyen de la tranchée 2.

- 201 : terre végétale
- 202 : niveau de fragments de scorie de dimensions env. 10 cm
- 203 : niveau de gravier de scorie (env. 2-3 cm)
- 204 : niveau terreux avec gravier de scorie (env. 2-3 cm)
- 205 : niveau de blocs de scorie (jusqu'à 20 cm)
- 206 : niveau argilo-sableux gris avec inclusions de charbon de bois



Sondage 2 - coupe Nord		NAJ 24
Altimétrie : NGF69	Photorelevés : J.-Ch. Méaudre Relevés & description : F. Téreygeol DAO : A. Dissier	

Figure 53 : Coupe stratigraphique nord de la tranchée de sondage 2 (échelle 1:20)

IV.4.3. Sondage 3

La tranchée de sondage 3 est longue de 1,5 mètres, et est orientée N150E (Figure 53). Comme mentionné précédemment, nous avons décidé de préserver une berme entre les tranchées 2 et 3 afin d'être en mesure d'observer la stratigraphie dans la périphérie de l'amas. Deux coupes ont été relevées dans ce sondage, à savoir les coupes nord et est.

La stratigraphie est surmontée par une couche de terre végétale 301 d'une épaisseur maximale de 10 centimètres. Cette US est égale à l'US 201 observée sur la coupe nord de la tranchée de sondage 2. Ce niveau végétal recouvre une couche de sédiment sablo-limoneux de couleur beige, qui comporte de nombreux galets et blocs de moraine granitique. Le sédiment ne contenait pas de fragments de scorie. L'origine de ce niveau interroge. En premier lieu, il pourrait matérialiser un phénomène de colluvionnement. Néanmoins, cette US semble trop localisée pour que ce soit le cas. Une seconde explication serait que ce niveau matérialise une action de remblai pour égaliser la pente du ferrier, ou pour stabiliser ce dernier. Bien que nous n'ayons pas pu mettre ce niveau en connexion directe avec la couronne de blocs |303| décrite plus loin, nous avons le sentiment que cette accumulation de blocs ait pu avoir été réalisée pour stabiliser la pente du ferrier. Sous les niveaux 301 et 302, on observe une couche charbonneuse meuble (US 304), d'environ 5 centimètres d'épaisseur. Ce niveau comporte de très nombreux fragments de charbon de bois. La base de cet épandage de charbon de bois n'est pas linéaire, elle semble épouser une dépression dans l'accumulation de scorie sous-jacente, observable dans la partie occidentale de la coupe nord. Cette couche charbonneuse se trouve par ailleurs sur une accumulation de fragments de scorie qui forme l'US 305. Ce niveau est très meuble et constitué d'un sédiment sableux de couleur grise. Elle comporte de très nombreux fragments de scorie de petit module (de 1 à 3 centimètres), qui présentent majoritairement un faciès écoulé. Des fragments de charbon de bois ont été observés de manière occasionnelle. Cette couche est épaisse d'environ 35 cm. Cette couche bute contre l'US |303|, comme on peut l'observer sur la partie sud de la coupe est. Cette US est constituée par une couronne de blocs et de galets de granite dont la qualité de l'agencement est variable. Plus évidente contre l'accumulation du ferrier, celle-ci tend à être plus irrégulière à mesure que l'on s'éloigne de celui-ci en direction du sud. La couronne est large d'environ 1,5 mètres (selon l'axe du sondage, c'est-à-dire N150E). Elle semble constituée de deux assises grossières (Figure 51). Si l'agencement paraît relativement peu ordonné, il y a peu de doute pour nous sur le fait que cette couronne ait été le fruit d'une action délibérée. Un chenal du Najjar est en effet visible dans la topographie, chenal qui borde le ferrier au sud, sur toute sa longueur. Le Najjar en crue a ainsi pu déborder et menacer la stabilité du ferrier. Cette hypothèse est par ailleurs soutenue par la présence d'une structure localisée en bordure du cours mineur de la rivière, à environ une soixantaine de mètres en amont du sondage 3. Il s'agit d'un amoncellement de blocs de granite, dont la plupart présentent un module d'une cinquantaine de centimètres (Figure 52). Certains de ces blocs sont encore plus importants. Nous interprétons cet amoncellement comme un effort pour endiguer le Najjar, et éviter ainsi que les épisodes de crue ne déstabilisent le ferrier.

Sous la couche 305 se trouve un autre niveau d'accumulation de scories, l'US 306. Ce niveau se compose de fragment de plus gros module, avec des dimensions d'environ 10-15 centimètres. Il s'agit majoritairement de fragments de plaques de coulée. Le sédiment interstitiel, sableux et très meuble, comporte quelques fragments de charbon de bois. Dans la coupe est du sondage, l'épaisseur de cette couche se réduit, jusqu'au pied de l'amas de blocs |303|. Le sondage a révélé un dernier niveau de scories, l'US 307. Cette couche se distingue de la précédente par les dimensions plus faibles des fragments (inférieures à 10 centimètres), ainsi que par leur morphologie, qui présente un faciès de scories informes ou de scories s'étant formées à l'intérieur de la structure de combustion. La hauteur maximale observée de cette couche est de 40 centimètres, au niveau de la coupe nord. A l'instar de la couche 306, la hauteur se réduit sur la coupe est. La couche disparaît à la base du sondage, à environ 50 centimètres de l'amas de blocs |303|. La coloration rougeâtre du sédiment limono-sableux traduit un phénomène d'oxydation/hydroxydation du fer.



Figure 55 : Cliché de la couronne de blocs [303] en cours de dégagement ; vue vers le sud-est

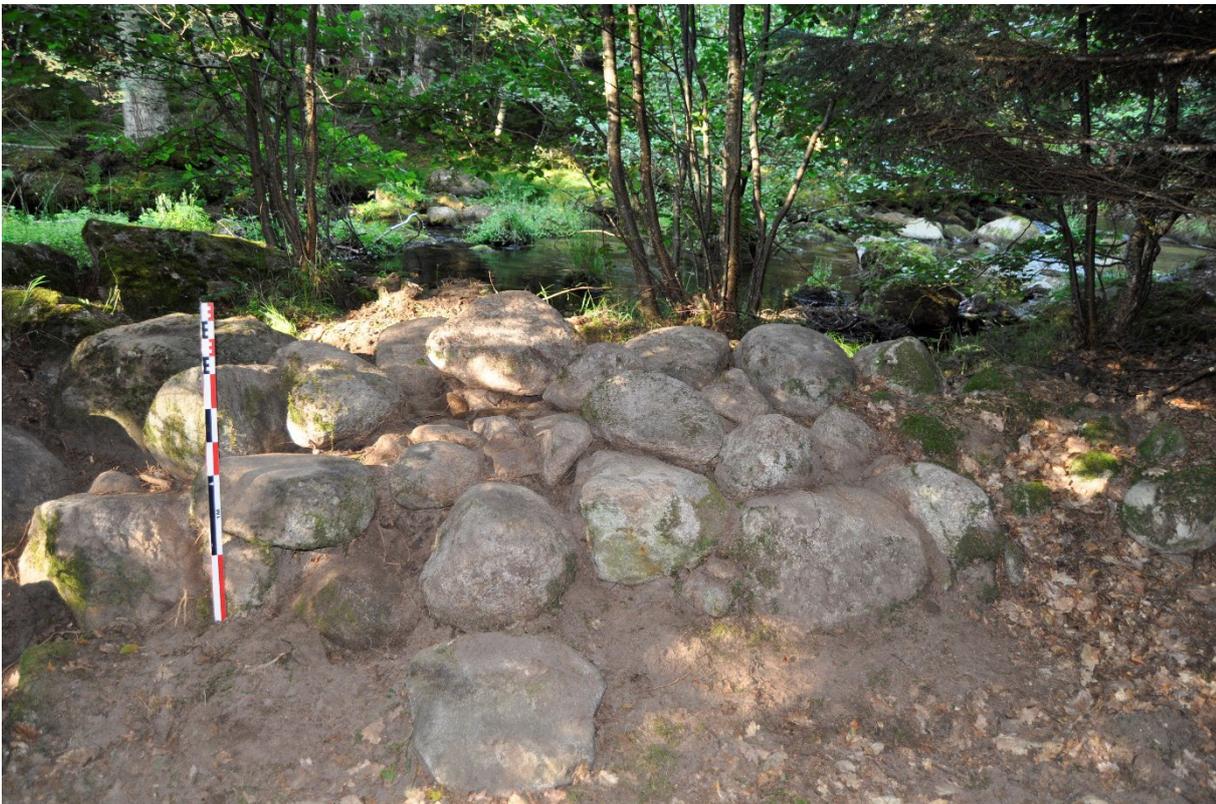


Figure 56 : amoncellement de blocs de granite mis en œuvre en bordure du cours du Najar, à environ 60 mètres en amont du sondage 3 ; vue vers le SO.

IV.4.4. Sondage 4

La tranchée de sondage 4 a été pratiquée sur le replat que forme le sommet de l'amas de scories. Elle est longue de 8 mètres, et est orientée N160E. La coupe est a été redressée afin d'être relevée (Figure 56). La coupe stratigraphique est surmontée par le même horizon végétalisé (US 401) observé dans les sondages 2 et 3 (respectivement 201 et 301). Son épaisseur varie de 3 à 15 cm. Dans le cas présent, ce niveau végétalisé semble s'être développé directement sur un sédiment charbonneux, qui constitue l'US 402. Ce niveau charbonneux présente une épaisseur relativement importante, pouvant atteindre la quarantaine de centimètres. Irrégulière, cette épaisseur semble toutefois se réduire plus fortement dans la partie sud de la coupe, où elle n'atteint plus qu'une vingtaine de centimètres. Cette couche est composée d'un sédiment limono-charbonneux meuble, qui comporte de très nombreux fragments de charbon de bois. La couche comporte également de rares fragments de scorie, de dimensions réduites (inférieures à 5 centimètres).

La couche recouvre deux unités stratigraphiques distinctes, les US 403 et 404. Le niveau 403 est constitué par un sédiment sablo-limoneux meuble de couleur jaune à ocre. Ce sédiment comporte quelques cailloux et galets, ainsi que quelques fragments de scorie et de charbon de bois. Le niveau est quasiment horizontal et affleure à la même cote que le niveau d'accumulation de scories 404. En l'état de nos observations, nous pensons que cette US est liée à un état tardif de l'accumulation principale de scorie. Ce niveau se trouve directement sur une couche limono-sableuse compacte de couleur brune, qui comportait quelques fragments de scorie de module variable (jusqu'à une dizaine de centimètres) ainsi que quelques fragments de charbon de bois. Ce niveau a recouvert une couche peu épaisse constituée d'un sédiment limono-sableux très meuble, constitué de très nombreux fragments de charbon de bois. Son épaisseur maximale est de 5 centimètres. Les trois niveaux décrits (303, 305 et 306) semblent participer d'une même séquence, qui est consécutive au phénomène d'accumulation de scories matérialisé par la couche 404. Il est impossible pour l'heure de déterminer si cette séquence est directement liée à des phases tardives de l'activité métallurgique, ou si elle est associée à une phase d'occupation consécutive à cette activité.

La couche 404 est composée d'un sédiment sablo-limoneux très meuble, qui comporte de très nombreux fragments de scorie, et de fréquents fragments de charbon de bois. Quelques galets et cailloux de pente ont également été observés. Les scories présentent généralement des dimensions de moyennes à importantes (entre 5 et 20 centimètres), et des morphologies variées. Les scories au faciès écoulé et les scories informes ou internes sont représentées de manière équivalente. Les fragments de paroi en terre cuite sont rares. L'épaisseur de cette couche varie entre 50 et 70 centimètres sur la coupe. Pour la tranchée 4, l'US 404 constitue la seule couche qui soit associée à un épisode d'accumulation de scories.

Sous le niveau 404, on observe une couche discontinue de sables et graviers de couleur jaunâtre, dont l'épaisseur maximale est de 10 centimètres. Les grains qui composent ce sédiment, majoritairement des quartz, feldspaths et muscovite, laissent à penser qu'il s'agit d'arène granitique. Ce niveau recouvre partiellement une couche constituée très majoritairement de fragments de charbon de bois (US 408). Le niveau comporte également des fragments de scorie de petit calibre (inférieur à 5 centimètres). Cette couche recouvre partiellement l'US 409, constituée par un sédiment sablo-limoneux compact de couleur jaunâtre. Cette couche comporte de fréquents cailloux et galets. Nous avons également constaté la présence de fragments de charbon de bois, qui pourraient traduire une intrusion de ces éléments à partir de la couche 408. Ce niveau est interprété comme étant le substrat géologique, équivalent de fait à l'US 206 relevée dans le sondage 2. Alors que le substrat semble relativement plan dans la tranchée 4, apparaissant à une cote d'environ 1022,40, nous l'avons observé à une cote de 1021,05 dans la partie nord de la tranchée 2. En confrontant la cote relevée dans la partie sud de la tranchée 4 et celle relevée dans la partie nord de la tranchée 2, située à une distance de 8 mètres, nous constatons une différence d'1,35 mètres. Ceci donne une pente moyenne de 9,6° entre les deux points. Sur la base de cette observation, on peut donc penser que le ferrier s'est en partie constitué à cheval sur une rupture de pente du terrain naturel.

- 401 : terre végétale
- 402 : niveau charbonneux
- 403 : couche limono-sableuse de couleur jaune à ocre ; potentiellement lié à une action de nivellement du tas de scories 404
- 404 : amas de scories de différents calibres, de 1/2cm à 30 cm dans sédiment sablo-limoneux noir
- 405 : couche limono-sableuse brun foncé
- 406 : fine couche de charbons de bois
- 407 : fine couche d'arène granitique discontinue
- 408 : couche de charbons de bois
- 409 : substrat géologique ; arène granitique ; intrusions assez fréquentes de charbons de bois

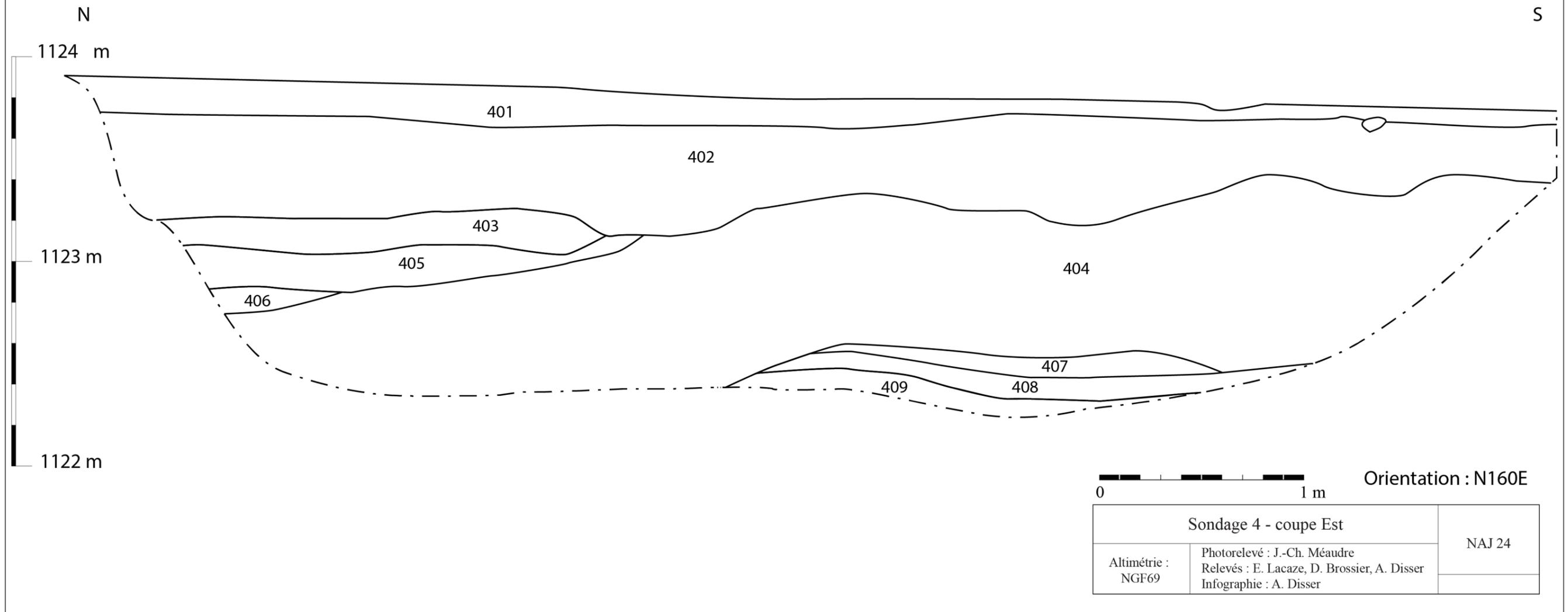


Figure 57 : Coupe stratigraphique est de la tranchée de sondage 4 (échelle 1:20)

IV.4.5. Sondage 5

La tranchée de sondage 5 a été implantée au pied de la pente qui se trouve entre le plateau correspondant en partie à la surface de l'amas de scories et le replat qui correspond au tracé du canal d'amenée d'eau. Il présente une longueur de 4 mètres et une orientation de N133E (Figure 57). Nous aurions souhaité prolonger cette tranchée, mais cela s'est avéré impossible du fait de la présence d'un nid de guêpes dans le sol. La coupe est du sondage a été redressée afin de réaliser le relevé.

La couche 501 correspond à la couche végétale. Elle est composée d'une terre humique meuble comportant un réseau dense de racines. Elle présente un pendage vers le SSE, et une épaisseur variant de 10 à 20 centimètres. Elle repose sur une couche sableuse meuble (US 502) qui comporte de nombreux blocs de granite, ainsi que quelques cailloux. Des fragments de scorie, peu fréquents, ont également été observés. Cette couche repose par ailleurs contre le mur de soutènement [505]. Il est probable que la formation de cette couche soit due à un phénomène de colluvionnement. Le niveau 502 repose sur une couche sablo-limoneuse de couleur rouge foncé très compacte (US 503). Cette couche comporte de fréquents cailloux de petites dimensions, ainsi que de rares fragments de charbon de bois. La couche se révèle de plus en plus indurée à mesure que l'on progresse vers l'extrémité sud du sondage, la mini pelle mécanique n'a d'ailleurs pas pu en venir à bout. En l'état actuel des observations, nous émettons l'hypothèse que l'induration pourrait provenir d'un concrétionnement lié à la formation d'oxydes de fer dans ce niveau. A l'extrémité sud du sondage, on pourrait donc se rapprocher d'une zone d'atelier, dont l'US 503 pourrait constituer le niveau de sol. Cette hypothèse devra être vérifiée à l'avenir au moyen d'un décapage plus extensif. Cette couche recouvre un niveau d'accumulation sablo-limoneux meuble de couleur rouge foncé. Ce niveau est constitué de fréquents cailloux de petit module (5 à 10 cm), ainsi que de fragments de scorie et de charbon de bois occasionnels. Certaines parties du sédiment sont concrétionnées du fait de l'oxydation de fragments métalliques. La relation entre les US 503 et 504 n'est pas univoque, mais la similarité de leur composition en termes de sédiments et d'éléments inclus laisse à penser qu'il pourrait s'agir d'un même fait archéologique, l'US 503 matérialisant le fait que sa partie supérieure ait subi une induration plus forte due à l'action combinée du concrétionnement par des oxydes de fer et par un piétinement répété. L'US 504 repose sur un niveau limono-sableux gris compact, qui comporte de nombreux blocs de moraine granitique (US 506). Ce niveau a été interprété comme le substrat naturel.

501 : terre végétale

502 : couche sableuse avec nombreux galets et blocs ; probablement colluvionnement

503 : niveau induré rougeâtre avec nombreux cailloux et quelques charbons ; concrétionnement lié à oxydation du fer ; possible niveau de circulation

504 : niveau sablo-limoneux meuble avec nombreux cailloux et quelques charbons et scories

505 : pan de mur de terrasse en blocs de granite

506 : niveau limono-sableux comportant de nombreux blocs de moraine ; probablement substrat

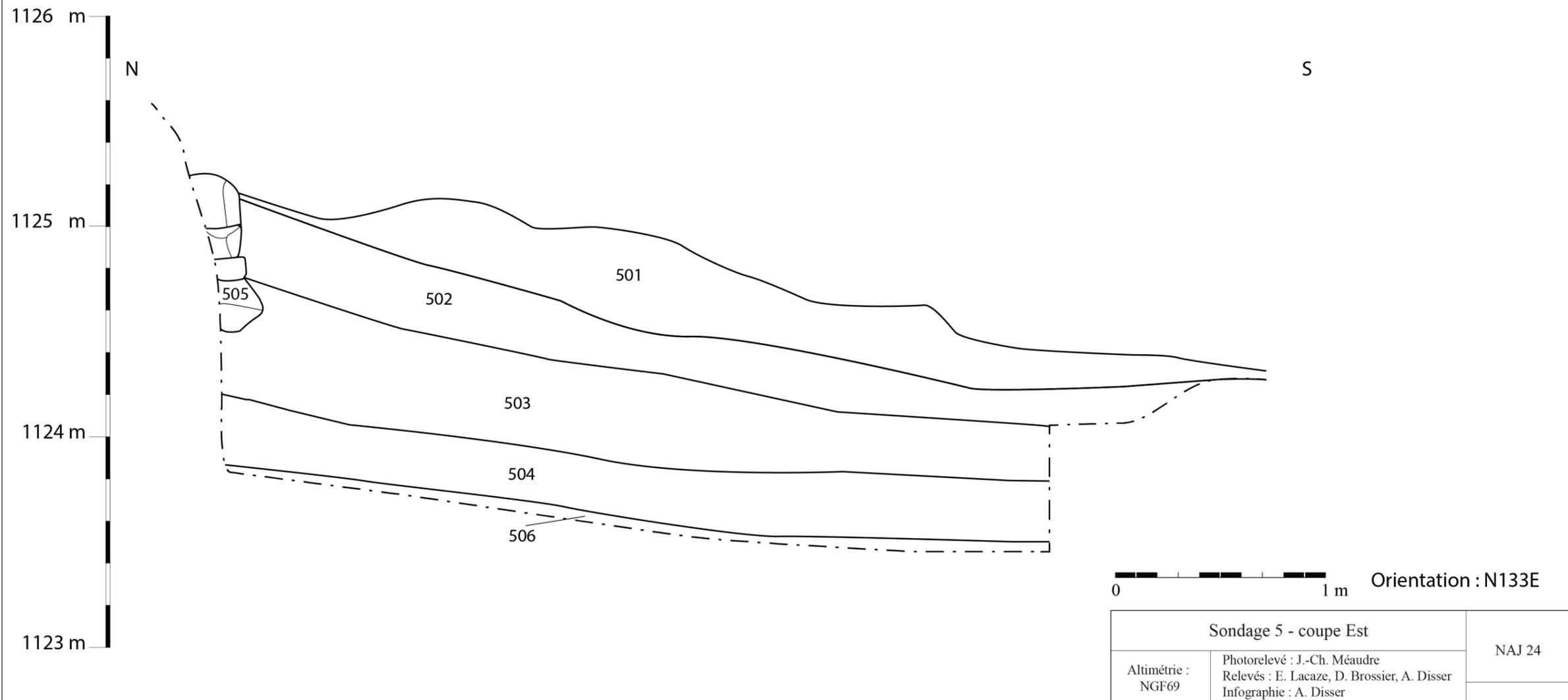


Figure 58 : Coupe stratigraphique est de la tranchée de sondage 5 (échelle 1:20)

IV.4.6. Sondage 6

Le sondage 6 a été ouvert afin de recouper sur toute sa largeur le replat interprété comme étant le parcours du canal d'amenée d'eau. Il fait 5 mètres de long et est orienté N130E. Nous avons redressé la coupe ouest pour effectuer le relevé stratigraphique.

L'emplacement du sondage était recouvert par une couche de terre humique d'environ 10 centimètres d'épaisseur, comportant un dense réseau racinaire (US 601) (Figure 58). Cette terre humique recouvrait une couche de sédiment sablo-limoneux de couleur beige contenant de très nombreux cailloux de pente (US 602). Cette couche présente une épaisseur d'environ 30 cm. Elle recouvre également l'entière extension du sondage. Les US sous-jacentes qualifient quant à elles deux parties distinctes. La première, la plus au sud, correspond au canal d'amenée d'eau.

Le canal est formé de deux alignements de blocs de granite. Le premier, l'US |604|, occupe la partie centrale de la tranchée de sondage. Cette structure est orientée N40E. Elle est composée de deux parements de blocs de granite juxtaposés. Le module de ces blocs est d'environ 30-40 centimètres. Le blocage est constitué de blocs de plus petites dimensions, ainsi que de terre. La structure semble constituée d'une seule assise de blocs. Le second alignement de blocs (US |605|), en bordure SE de la tranchée, apparaît dans un état de conservation moindre. Seuls deux blocs, dont l'un ne semble pas totalement en place, ont été observés. Il est probable que, contrairement à |604|, cette structure ne soit constituée que d'un seul parement de blocs. L'espace matérialisé par ces deux structures montre une largeur moyenne de 80 centimètres. Nous avons observé une couche (US 603) de sédiments composée de sables de granulométrie homogène, dont les éléments semblent issus de la désagrégation du granite. Cette couche présentait une épaisseur maximale de 5 centimètres. Une organisation des sédiments par microlitage est bien visible, révélant un flux hydrique régulier. Nous interprétons cette couche comme étant le dépôt de sédiments apportés par le courant d'eau alimentant le canal d'amenée d'eau. Ce niveau de sédimentation repose sur une couche (US 606) constitué d'un limon de couleur jaunâtre à marron. La surface de cette couche est apparue plane et régulière. Il est à noter que le limon est très homogène, et ne comporte pas de cailloux ou de galets, ce qui le distingue des terrains naturels environnants. La profondeur moyenne de cette couche est de 15 centimètres. Nous pensons que ce limon constitue un niveau aménagé en tant que fond du canal, afin de permettre la circulation de l'eau. Ce niveau est aménagé sur le substrat naturel, composé d'un sédiment limono-sableux jaunâtre comportant des cailloux de pente ainsi que des blocs de moraine granitique (US 609).

Entre le parement NO de la structure |604| et l'extrémité NO du sondage, et sous la couche 602, nous avons observé un niveau de sédiments limono-sableux jaunâtres (US 607), qui contiennent quelques cailloux de pente et blocs de moraine granitique, ainsi que de rares fragments de scorie. Nous avons interprété cette couche comme du colluvionnement. Ces sédiments recouvrent une couche de sables et de graviers (US 608) comportant quelques cailloux, et ne contenant aucun élément d'origine anthropique. Cette couche présente une épaisseur d'environ 10 centimètres. Les sédiments ne forment pas de litage de granulométries différentes. Nous pensons que ce dépôt pourrait être lié à un épisode de crue du Najar qui aurait mené au débordement du canal. Il est également possible que cette accumulation résulte d'une action de curage régulier du canal, les sables et graviers déposés sur le fond de celui-ci étant répandu directement à l'extérieur du canal.

- 601 : terre végétale
- 602 : couche sablo-limoneuse beige ; contient de nombreux cailloux
- 603 : niveau de sables et graviers entre empièrrements 604 et 605
- 604 : empièrrement composé de blocs de granite d'environ 20-30 cm de côté pour les parements ; blocage avec petits blocs et cailloux
- 605 : empièrrement composé de blocs de granite, mal conservé ; l'un des blocs semble avoir été retaillé
- 606 : couche de limon jaunâtre très homogène presque exempt d'inclusions
- 607 : sédiment limono-sableux jaunâtre ; contient quelques cailloux et blocs ainsi que de rares scories
- 608 : couche de sables et graviers ; contient quelques cailloux mais aucun mobilier archéologique
- 609 : limon beige clair comportant des blocs de granite et des cailloux

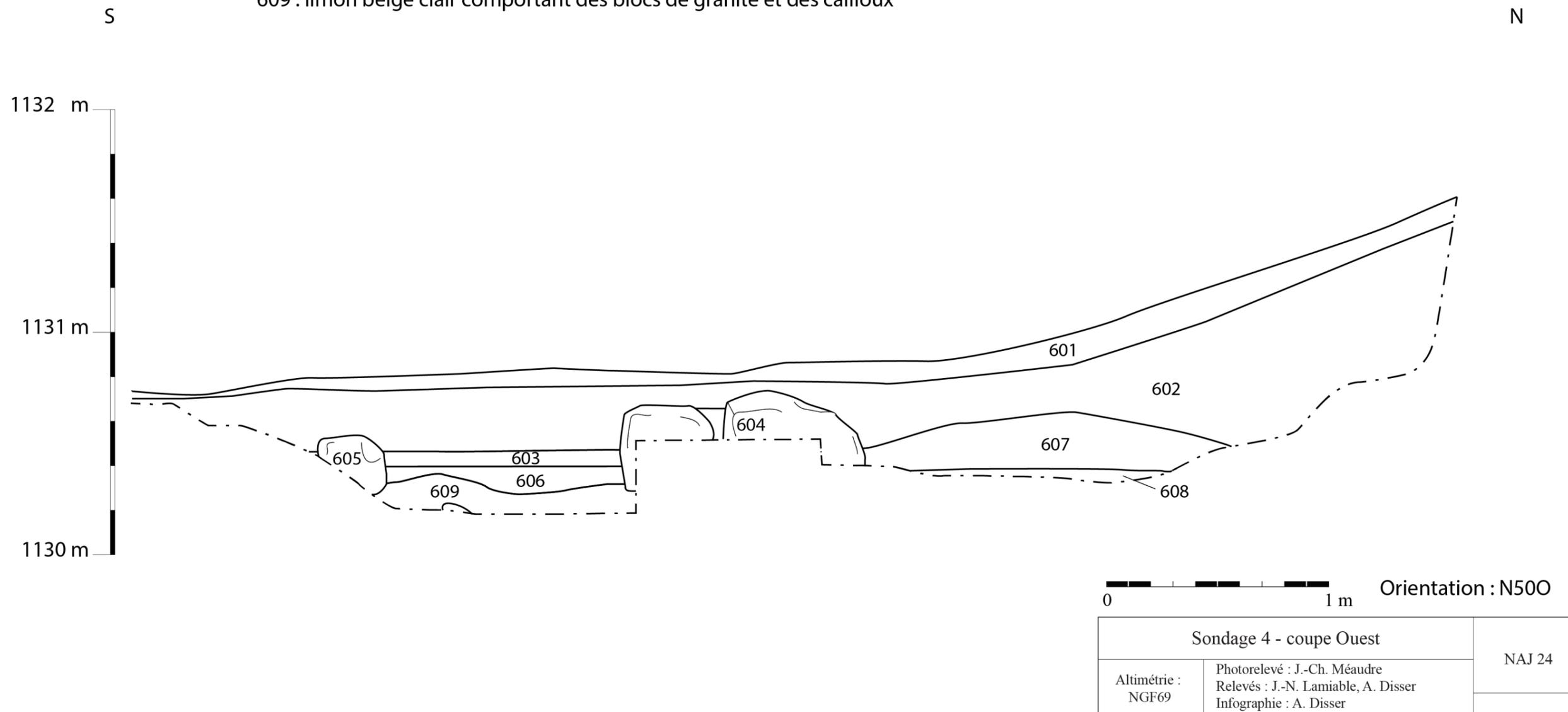


Figure 59 : Coupe stratigraphique ouest de la tranchée de sondage 6 (échelle 1:20)

IV.4.7. Sondage 7

La tranchée de sondage 7 a été implantée au niveau d'une légère rupture de pente visible dans le pré situé à l'est de la dépression linéaire interprétée comme le canal d'alimentation des mécanismes hydrauliques. Ses dimensions sont de 3,40 mètres de longueur et de 1,50 mètres de largeur. Elle est orientée N145E.

La fouille a révélé un pan de mur orienté N28E (US |706|) (Figure 53). Ce mur est monté à la terre et constitué de deux parements réalisés avec des blocs de moraine granitique d'un module d'environ 25-30 centimètres. Le mur présente une épaisseur moyenne de 65 centimètres. Le blocage entre les deux parements est réalisé au moyen de fragments de scorie, de cailloux et de blocs de plus petites dimensions. Trois à quatre assises sont visibles. Un second mur (US |713|), constitué d'un seul parement de blocs de moraine granitique, est disposé contre le parement SE de |706|. Le module des blocs est sensiblement le même, mais |713| semble avoir été monté avec moins de soins que |706|. Le lien entre ces deux structures n'est pas évident en l'état actuel des observations. Il semble que |713| ait été en quelque sorte « plaqué » contre |706|, mais cette hypothèse reste à vérifier.

La stratigraphie dans l'espace situé au nord de |706| contraste fortement avec ce qui vient d'être décrit. Elle est composée de couches bien distinctes qui apparaissent horizontales. Cette dernière remarque doit toutefois être pondérée par le fait que seule une faible surface a été ouverte dans cette partie du sondage, et ce dans l'optique de procéder ultérieurement à une fouille plus extensive de cet espace. La stratigraphie se compose d'une superposition de 4 US. La première (US 707) est une couche indurée de limon jaunâtre d'environ 15 centimètres d'épaisseur, comportant de fréquentes concrétions ferrugineuses et des cailloux de faibles dimensions. Cette couche surmonte le niveau 708, qui est constituée par un sédiment limoneux meuble de couleur brun foncé, et comportant quelques fragments de scorie de petit calibre, ainsi que quelques fragments de charbon de bois. Cette couche est épaisse d'environ 10 centimètres. Le niveau 709 est une couche indurée de limon jaunâtre présentant des caractéristiques identiques à 707, sur une épaisseur de 5 à 10 centimètres. Ce niveau repose sur une couche meuble de couleur brun foncé (US 710), qui comporte de fréquents fragments de scorie de grande taille, ainsi que quelques fragments de charbon de bois.

IV.4.8. Observations faites hors des sondages

En marge des opérations de sondage à proprement parler, notre présence sur le site a permis de faire plusieurs observations. Nous avons tout d'abord pris soin de valider le tracé du canal d'amenée d'eau. Le parcours est relativement bien lisible à l'aplomb du site, et apparaît encore matérialisé par des tronçons de blocs de granite qui seraient les prolongements des structures |604| et |605| mises au jour au moyen du sondage 6. Le tracé, en amont de ce sondage, reste globalement bien lisible dans la topographie, même s'il a été incisé par de petits ravins en plusieurs emplacements. Le canal se prolonge donc selon un tracé légèrement sinueux selon une orientation générale de N1200 sur une distance totale de 185 mètres à partir du sondage 6. La prise d'eau s'effectue au niveau d'une vasque formée par le cours du Najar grâce à la présence de plusieurs blocs de granite volumineux présents dans le cours mineur de la rivière. La Figure 56 montre l'état actuel de la prise d'eau. Certains des blocs de granite mobilisés pour l'aménagement de la prise ne sont plus en place, et ont versé dans le canal. La cote de la prise d'eau est à 1133 mètres d'altitude. A son débouché supposé, à savoir après un parcours d'approximativement 225 mètres, la cote de la surface du sol est de 1130.20 mètres. Ces mesures permettent d'estimer la pente moyenne du canal à une valeur de 1,2%. Le tracé figuré par les alignements de blocs de moraine semble aboutir sur un espace aujourd'hui plan dont la surface est d'environ 40 m². Cet espace est bordé au sud par un bloc de moraine granitique de dimensions considérables, que nous avons déjà évoqué *supra*. Une partie de la face supérieure de ce bloc a fait l'objet

d'un nettoyage. Bien que nous n'ayons pas observé de traces d'outils, il est possible que la surface du bloc ait fait l'objet de retailles localisées, afin de l'égaliser (Figure 54). Pour cela, ils se seraient notamment appuyé sur les fissures déjà présente dans le bloc, tel que le suggère l'exemple présenté par la Figure 55.



Figure 60 : Sommet du bloc de moraine bordant au sud l'emplacement supposé du réservoir ; prise de vue vers le sud



Figure 61 : Sommet du bloc de moraine bordant au sud l'emplacement supposé du réservoir ; prise de vue vers l'ouest

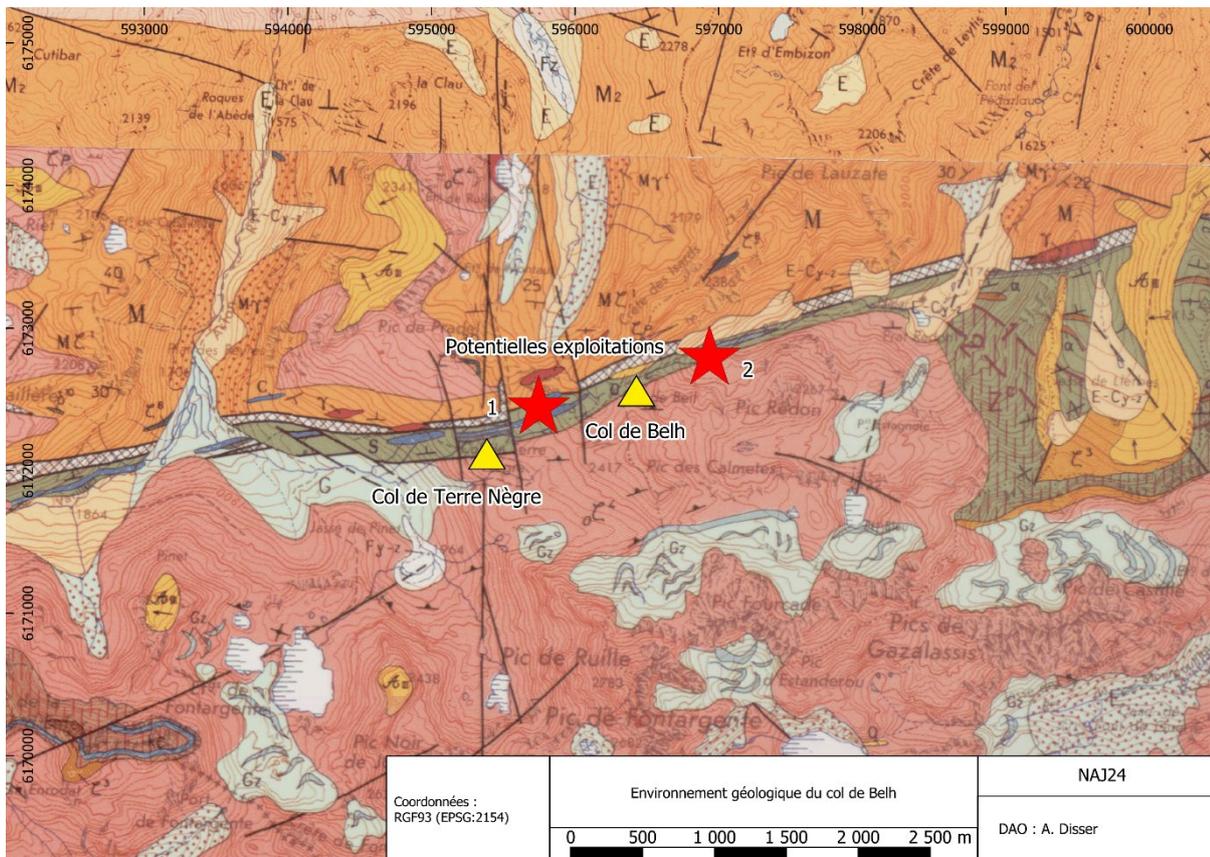


Figure 62 : Aménagement de la prise d'eau du canal d'amenée, état actuel. La prise est matérialisée par deux alignements de blocs de granite (centre du cliché). La vasque d'eau est visible en arrière plan. Prise de vue vers l'ouest

Par ailleurs, la découverte et la transcription d'actes notariés¹⁹ par Philippe Fernandez ont apporté des éléments quant aux modalités d'approvisionnement en minerai de la mouline en activité à la fin du XVI^e siècle. Ainsi, une exploitation minière a pu se dérouler aux environs du col de Belh, qui se trouve à 8,5km à vol d'oiseau au SSE du site, à une altitude de 2250m environ. La consultation de la carte géologique au 1:50000 n'a pas révélé d'indice métallifère d'ampleur. Néanmoins, contexte géologique peut paraître propice à la mise en place de minéralisations ferrifères. Le col de Belh se trouve en effet dans une zone traduisant un fort métamorphisme. Il est placé sur la zone de contact entre les paragneiss qui forment la frange méridionale du massif granitique de l'Aston, et les gneiss du massif de l'Hospitalet. Dans ce secteur, l'activité tectonique a dû contraindre les schistes et micaschistes du Cambro-Ordovicien, qui n'affleurent que sur une largeur de 50 à 100 mètres. La zone située entre le col de Belh et le col de Terre Nègre, plus à l'ouest, montre un réseau de failles orientées de manière grossièrement orthogonale. Des amas de roches carbonatées, sans précision, ont également été relevés dans ce secteur. Lors de nos prospections, nous avons mis en évidence deux secteurs qui pourraient avoir fait l'objet d'une exploitation minière (Figure 57). Nous avons notamment mis en évidence des affleurements constitués par des hydroxydes de fer et des carbonates de fer. L'exploitation supposée notée '1' sur la carte correspond à une demi-douzaine de ravins, établis sur la rive gauche d'un petit ruisseau alimenté par plusieurs sources situées plus haut dans la combe entre les deux cols (Figure 58). En nous basant sur la topographie des lieux, ces ravines ne semblent pas avoir été formées par une action érosive. L'intérieur de ces ravines est recouvert de cailloux et de petits blocs de schiste, ainsi que de minéralisations ferrugineuses. Une observation à l'œil nu de certaines de ces minéralisations laissent à penser qu'il s'agit de sidérite (Figure 59). Cette identification devra être confirmée en laboratoire, notamment en utilisant la diffraction des rayons X. Si ces ravines s'avéraient bien être les vestiges d'une exploitation minière, il faut souligner cependant qu'il s'agirait là d'une activité limitée. En

¹⁹ Particulièrement l'acte répertorié sous la cote AD09, 5E2305, f° 91 v°

effet, aucune halde à proprement parler n'a été reconnue sur le site. Il est raisonnable de penser à ce stade que les quantités exploitées auraient été au plus de quelques dizaines de tonnes. Ces hypothèses devront être étayées par de nouvelles observations de terrain.



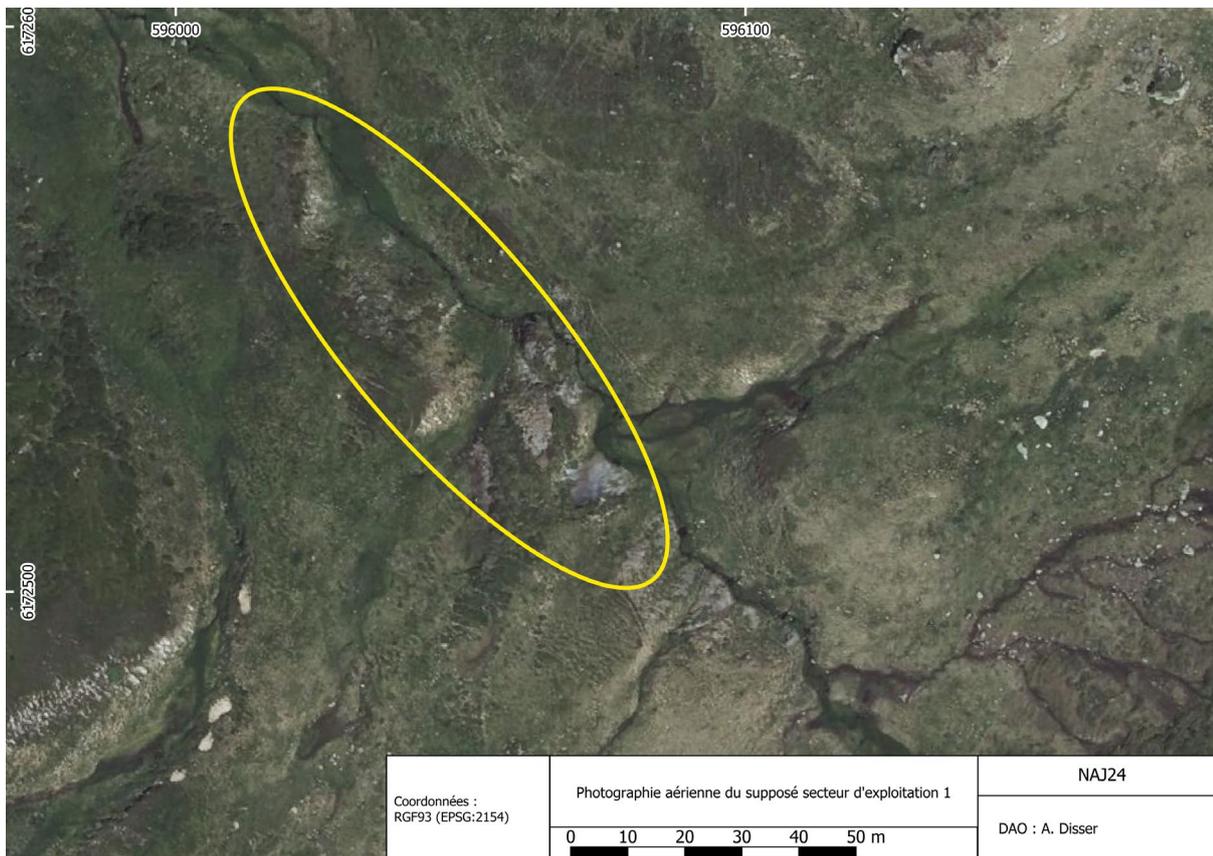


Figure 64 : Photographie aérienne du supposé secteur d'exploitation 1 du col de Belh.



Figure 65 : Cliché in situ d'un bloc interprété comme étant de la sidérite

Le supposé secteur d'exploitation 2 se trouve sur le versant nord du petit massif formé par le Pic Redon, à une altitude d'environ 2200m, à environ 350 mètres à l'ENE du col de Belh. Les minéralisations observées

sont similaires sur le secteur 1. Dans ce cas, l'exploitation prend plutôt la forme de fronts de taille ayant entamé le versant, au contact des gneiss (Figure 60).



Figure 66 : placages ferrugineux en place dans le secteur 2 du col de Belh

Les indices observés sont pour l'heure ténus, mais ils laissent supposer qu'une exploitation minière de faible envergure a pu avoir lieu au col de Belh, en rapport avec l'activité sidérurgique de la famille Peixie sur le site du Najar 02.

IV.5. Mise en perspective des données de terrain par ensemble fonctionnel

Les données de terrain collectées au moyen des sept tranchées de sondage réalisées nous permettent de proposer un premier modèle de l'organisation des vestiges archéologiques sur le site du Najar 02. Nous exposerons ici ces réflexions en les distinguant en fonction de plusieurs grandes unités fonctionnelles que sont le système d'adduction d'eau, le ferrier, le canal d'alimentation et l'espace bâti sont on suppose la présence à l'est de ce dernier.

IV.5.1. Le système d'adduction d'eau

Les observations de cette campagne 2024 permettent de définir plusieurs caractéristiques de ce système, et de formuler des hypothèses qu'il faudrait vérifier par la suite.

Nous avons mis en évidence un canal d'amenée d'eau alimenté par le Najar. Les bâtisseurs de ce canal ont profité de la présence d'une vasque, et donc d'une accalmie du courant du ruisseau, pour établir le captage. Il n'est pas possible d'établir précisément à ce jour la longueur totale du parcours, mais celle-ci doit être d'environ 220 mètres. La pente moyenne du canal est estimée à 1,2%. Ce canal a été bâti par la confection

de deux alignements de blocs de moraine granitique liés à la terre. Le fond de ce canal semble avoir également été confectionné en terre. Aucun indice ne nous permet de penser que le canal ait été cuvelé. Le tracé du canal semble aboutir à un espace bordé au sud par un bloc de moraine de grandes dimensions. Il semble que sa face supérieure ait fait l'objet de quelques retailles, mais cela n'est pas évident.

Que la surface du bloc de moraine ait ou non fait l'objet de retailles intentionnelles, elle paraît suffisamment plane en l'état pour installer une chaussée en bois permettant d'alimenter une roue qui se serait trouvée directement au sud de la moraine. Si cette hypothèse s'avère confirmée, il s'agirait d'une roue alimentée par le dessus, mue au moyen de l'énergie potentielle de l'eau, et non de son énergie cinétique. En ce sens, le choix de s'appuyer sur ce bloc apparaîtrait tout à fait justifié, puisque cela épargnerait des travaux de creusement et de maçonnerie conséquents pour installer la roue, puis pour conforter le logement de cette dernière. Les mesures prises sur la face supérieure du bloc de moraine donnent une cote de 1129,20m. La cote du sol actuel au pied du bloc est de 1126,20m, mais le niveau de circulation au moment de l'activité métallurgique devait être plus bas. Par ailleurs, la cote la plus basse atteinte dans le supposé canal d'alimentation, dans la tranchée de sondage 1, est de 1121,85m, soit un peu plus de 7 mètres sous la face supérieure de la moraine. Ces cotes montrent qu'il est tout à fait réaliste d'envisager l'installation d'une roue alimentée par le dessus dans ce secteur. En revanche, son emplacement précis par rapport à la moraine reste inconnu.

IV.5.2. Le potentiel atelier de la famille Peixie

Selon les sources textuelles analysées par Philippe Fernandez, une mouline aurait été construite sur le site dans les années 1554-1555. D'après la teneur des textes ultérieurs, l'entreprise ne s'est pas montrée particulièrement florissante. Il n'est pas impossible que l'activité ait duré moins d'une dizaine d'années, jusqu'en 1562. Les observations réalisées sur le terrain au cours de la campagne 2024 peuvent préciser un certain nombre de caractéristiques de cet établissement.

Tout d'abord, cet atelier semble localisé dans la partie orientale du site. Les tranchées de sondage 1 et 7 suggèrent la présence d'un bâtiment bordé sur son côté occidental par un canal. Le sondage 1 a révélé une accumulation de déchets liés à l'activité métallurgique. Des niveaux indurés semblent matérialiser des niveaux de circulation, peut-être le sol de l'atelier sidérurgique. Les niveaux de concrétions dans le fond du supposé canal d'alimentation semblent corroborer la proximité d'une activité sidérurgique. Le mur matérialisé par l'US |706| pourrait constituer la limite méridionale de cet espace d'activité. Ces hypothèses devront toutefois être vérifiées par la réalisation d'une fouille extensive de ce secteur.

Il est à noter également qu'aucun amas de scorie volumineux n'a été mis en évidence à proximité de cet espace. En 2022, nous avons bien identifié un tas de scories à environ 8 mètres au nord du cours mineur du Najar, ainsi qu'un épandage assez vaste de scories. Un petit sondage avait permis d'échantillonner un fragment de charbon de bois dont la datation avait révélé un intervalle de dates compatibles avec le fonctionnement de l'atelier tel que décrit par les textes. Les quantités de scories observées en surface dans ce secteur apparaissent relativement faibles. Mais il est possible qu'une partie des scories produites par l'atelier aient été emportées au cours d'un épisode de crue du Najar, étant donné la proximité de ce dernier. Par ailleurs, nous avons parcouru la surface de l'amas à la recherche de fragments de minerai. Un seul individu pourrait se révéler en être. Une observation à l'œil nu laisse supposer qu'il pourrait s'agir de sidérite. Cette identification devra être confirmée par des analyses structurales en laboratoire. Il est en tout cas certain qu'il ne s'agit pas d'hématite, au contraire des observations faites sur le ferrier principal. En l'état, il est délicat de bien caractériser ces faits. Il serait judicieux de réaliser une tranchée de sondage à l'emplacement du tas de scories encore bien visible afin de déterminer si celui-ci est bien en place, et de réaliser des prélèvements bien contextualisés.

IV.5.3. L'amas de scories principal et les activités sidérurgiques médiévales

Les sondages 2, 3 et 4 réalisés au cours de la campagne de terrain 2024 nous ont permis de préciser la structuration de l'amas de scories principal, complétant ainsi les premières observations réalisées au moment des sondages réalisés en 2022. En l'état actuel des données acquises, nous pensons que l'amas semble avoir connu peu de remaniements. L'agencement des couches observées dans les trois sondages réalisés en 2024 laissent apparaître des dynamiques d'accumulation linéaires, par apports successifs de matériaux, sans trace de remobilisation substantielle. Ceci nous porte à croire que cet amas de scories a été constitué lors de la première phase d'activité du site. En nous basant sur la datation obtenue au terme de l'opération de sondage de 2022, cette phase d'activité a pris place au cours du XIV^e siècle. Toutefois, cette seule datation reste insuffisante pour proposer une chronologie bien étayée de l'activité. C'est pourquoi nous allons procéder à de nouvelles datations radiocarbone. Nous envisageons notamment de réaliser une datation sur la couche 408, qui se trouve sous l'accumulation de scories matérialisée par l'US 404. Cette datation pourrait donner des informations plus précises sur le début du processus d'accumulation de scories. Nous envisageons également de réaliser une datation sur le niveau charbonneux 406, qui semble correspondre à une phase d'occupation qui a suivi l'accumulation de scories dans la partie supérieure du ferrier. Ces deux datations pourraient donner un intervalle chronologique au sein duquel l'accumulation s'est déroulée. Un complément pourrait être apporté par une autre datation réalisée sur les niveaux supérieurs observés dans le sondage 3, et qui pourrait correspondre aux toutes dernières phases d'accumulation sur le ferrier. Ces datations permettraient en outre de confirmer l'hypothèse selon laquelle les métallurgistes ayant opéré dans le dernier tiers du XVI^e siècle auraient choisi de ne pas se débarrasser des scories produites à ce moment-là sur ce ferrier.

Outre les dynamiques de constitution de l'amas, nous proposerons une évaluation quantitative de la production de métal ayant suscité l'accumulation d'un volume important de scories. Cette méthode quantitative repose sur le fait qu'il est possible d'établir une relation de proportionnalité entre le fer métallique produit au cours de l'opération, et le fer qui passe dans la scorie sous forme d'oxydes. Pour déterminer la masse de métal produite, nous avons donc besoin de trois données : le volume des couches à scories, la masse volumique de scories de ces couches, et le bilan-matière de l'opération de réduction.

Le volume des couches à scories. Pour cela, il nous faudra déterminer aussi précisément possible quel est le volume de scories contenu dans l'anomalie topographique que nous avons explorée au moyen de tranchées de sondage. On a pu constater notamment par le biais de la tranchée 4 que les couches de scories n'affleuraient pas sur la totalité de la surface du replat formé par l'amas. C'est notamment le cas dans la partie nord de la tranchée 4, dans laquelle les couches de scories à proprement parler apparaissent un mètre sous la surface. Les données stratigraphiques obtenues par les tranchées 2, 3 et 4 permettent d'établir un profil transversal presque complet de l'amas. Nous extrapolerons ce profil à la totalité de la longueur de l'amas. Bien que cette façon de procéder ne tienne pas compte de potentielles différences de profil à l'échelle de l'amas, elle s'avérera bien plus réaliste qu'une simple prise en compte du volume total.

La masse volumique des couches à scories. Au cours de l'opération 2024, nous avons procédé à la pesée de prélèvements en masse réalisés dans plusieurs unités stratigraphiques de la tranchée 2. Nous avons également pris en considération les pesées réalisées en 2022 dans le sondage ciblé pratiqué dans la partie occidentale de l'amas. Nous avons procédé en remplissant des seaux à partir de prélèvements faits sur les coupes afin d'éviter tout risque de contamination entre US. Aucun tri de matériel n'a été fait au cours du prélèvement afin de ne pas biaiser le résultat des pesées. Après pesée initiale, chaque contenu de seau a fait l'objet d'un tri afin de séparer les scories des autres éléments : sédiments, minerai, fragments métalliques, etc. La masse de scorie a ensuite été mesurée. Le Tableau 7 montre le résultat des pesées, ainsi que la masse volumique calculée.

Année	US	Seau	Volume (en l)	Masse prélevement (kg)	Masse scorie (kg)	Masse volumique (kg.dm-3)
2024	US 205	seau 1	9	12	11.9	13.22
2024	US 205	seau 2	10	16	15.9	15.90
2024	US 203	seau 1	12	16.85	16.05	13.38
2024	US 203	seau 2	12	17.15	15.65	13.04
2024	US 203	seau 3	9	14.65	13.95	15.50
2024	US 202	seau 1	9	14.35	12.85	14.28
2024	US 202	seau 2	9	12.85	12.7	14.11
2024	US 202	seau 3	9	14.45	13.35	14.83
2022	US 2	seau 1	10	15.85	11.5	11.50
2022	US 3	seau 1	10	12.76	6.46	6.46
MOYENNE						13.22

Tableau 7 : Résultat des pesées effectuées sur des prélèvements en masse du contenu de couches à scories dans l'amas principal

Le résultat de ces pesées donne une masse volumique moyenne de 13,22 kg.dm⁻³ avec un écart-type relatif d'environ 20%²⁰.

Le bilan matière des opérations de réduction. Afin de calculer ce bilan, nous avons besoin de déterminer la teneur moyenne des principaux éléments chimiques constitutifs²¹ des minerais utilisés, des scories produites, ainsi que des parois de four. En effet, les parois en fondant et en se mêlant à la scorie, peuvent contribuer de façon significative à la signature chimique de ces dernières. Compte tenu de ces éléments, nous pensons qu'il est encore prématuré d'établir ce bilan pour le Najar 02. Les éléments de paroi que nous avons retrouvés ne sont pas suffisamment bien contextualisés pour nous assurer qu'il s'agisse bien d'éléments de paroi de la structure de réduction, et non d'autres structures de chauffe, tels que des foyers d'épuration ou de forge.

Enfin, les vestiges matériels qui composent l'amas principal, et en premier lieu les scories, nous permettront à l'avenir de discuter des conditions techniques de la réduction des minerais lors de la première phase d'activité sur le site du Najar 02. Une première série de dix scories de réduction, issues des prélèvements réalisés dans les sondages 2 et 3, a été envoyée au laboratoire du CRPG pour déterminer leur composition chimique globale. En confrontant ces informations aux données de référence que nous avons collectées au préalable dans le cadre des programmes FERMAPYR et FERAPO, nous devrions être en mesure de proposer des hypothèses quant à l'origine des minerais de fer qui ont été utilisés dans le cadre des activités sidérurgiques associées à l'amas de scories principal.

L'espace de travail métallurgique associé au ferrier n'a pas encore été repéré précisément. Au vu des données dont nous disposons, nous pensons qu'il serait situé entre l'amas de scories et le mur de soutènement contre lequel nous avons débuté la tranchée de sondage 5. La couche 503 pourrait correspondre à un niveau d'occupation lié à cette activité. Cette hypothèse devra toutefois être étayée à l'avenir par un décapage plus extensif de la zone.

²⁰ Cet écart-type est fortement influencé par la pesée effectuée dans l'US 3 du sondage effectué en 2022. Si on décide de ne pas considérer cette mesure, la valeur de l'écart-type relatif est d'environ 10%.

²¹ Fer, manganèse, silicium, aluminium, calcium, potassium, magnésium principalement

IV.6. Plan d'intervention pour la campagne 2025

IV.6.1. Campagne de terrain

Au vu des réflexions développées dans le présent rapport, nous envisageons de concentrer les opérations 2025 sur l'emplacement supposé des installations métallurgiques ayant fonctionné au XVI^e siècle. Ceci implique l'ouverture d'une zone de fouille localisée entre le bloc de moraine granitique contre lequel nous pensons qu'un réservoir a été implanté (voir sous-section IV.5.1) et le pan de mur mis au jour dans le sondage 7 (Figure 61). Si les hypothèses développées dans la sous-section IV.5.1 s'avèrent exactes, il est probable que les mécanismes hydrauliques aient été installés à quelques mètres au sud du bloc de moraine, afin de limiter le parcours aérien d'un canal en bois destiné à alimenter une roue par le dessus. Ces mécanismes auraient donc dû se trouver dans l'espace entre le bloc de moraine et la tranchée de sondage 1.

Nous envisageons également de réaliser une tranchée de sondage sur l'amas de scories repéré dans la partie aval du site, et que nous pensons associée à l'activité métallurgique qui s'est déroulée dans le dernier tiers du XVI^e siècle. Cette tranchée permettra de vérifier si cet amas correspond à une accumulation de scories en place, ou s'il témoigne d'une remobilisation.

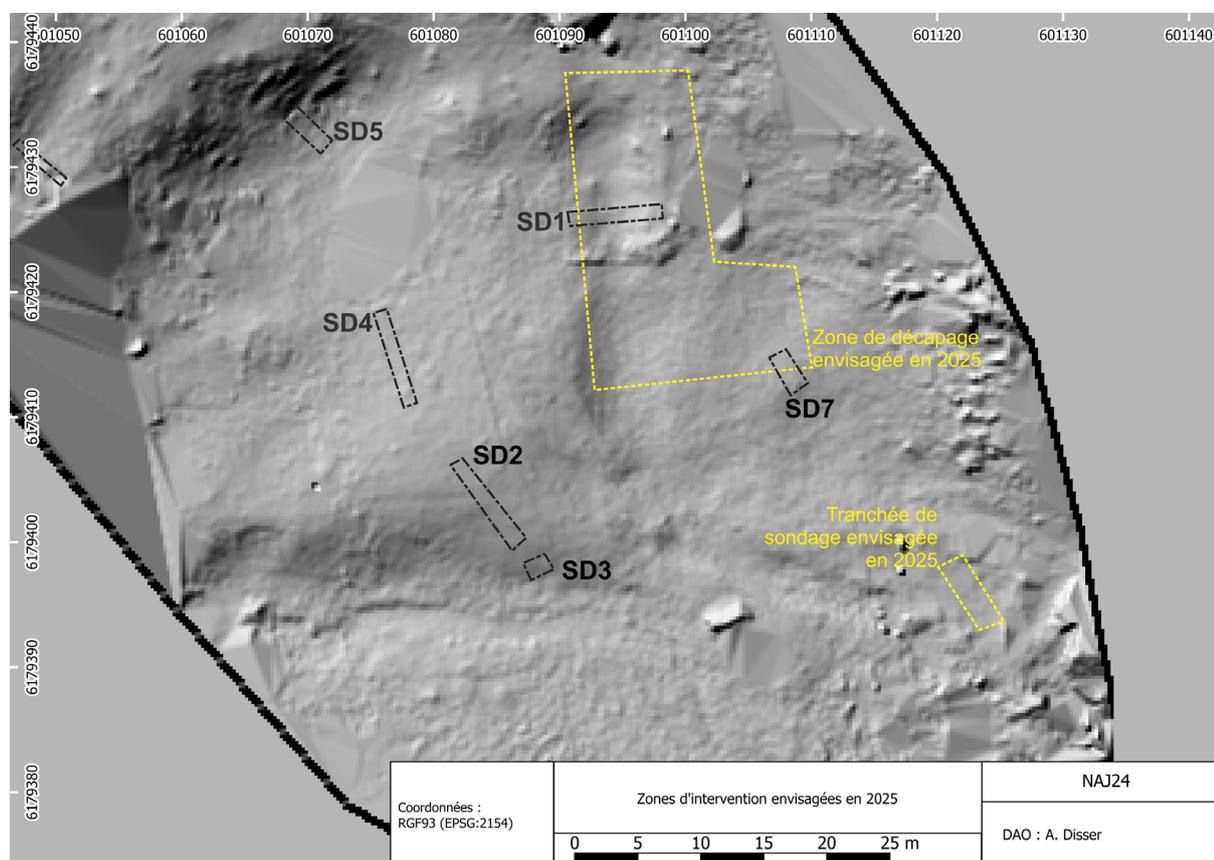


Figure 67 : Zones d'intervention envisagées pour la campagne de terrain 2025 sur le site du Najar 02

IV.6.2. Etudes en laboratoire

Nous envisageons de réaliser une première étude minéralogique d'une sélection de fragments de minéral mis au jour au sein de l'amas de scories principal, ainsi que du fragment prélevé à la surface du petit amas localisé dans la partie aval du site. Cela permettra de préciser la nature des minéraux utilisés. Cette caractérisation sera poursuivie, notamment si nous sommes amenés à fouiller des niveaux d'atelier en place.

La série de dix analyses chimiques globales réalisées sur des scories prélevées dans l'amas principal permettra de proposer une origine pour le minerai qui a été utilisé. En l'état actuel des données, nous pensons que les zones les plus probables sont le Vicdessos, la vallée d'Aston, ou le minier d'Albiès (Disser & Dubois, 2018, p. 65-67). Le gisement de Lassur (Pagès et al., 2021, p. 31) pourrait également avoir été exploité en ce sens. Cette première série d'analyse permettra également de déterminer si la signature chimique de l'atelier est homogène, ou si elle retranscrit une situation plus complexe, caractérisée par l'utilisation de plusieurs minerais, de mélanges de minerais, ou de changements notables des techniques utilisées pour la réduction du minerai.

Des datations radiocarbone seront effectuées au premier semestre 2025 sur des échantillons prélevés dans :

- Le sondage 4 : ces datations permettront de préciser la chronologie de constitution de l'amas de scories principal.
- Le sondage 5 : la datation permettra de déterminer si le niveau d'occupation 503 est contemporain de l'accumulation de scories, ce qui renforcerait l'hypothèse de l'emplacement d'un atelier métallurgique entre l'amas de scories principal et la terrasse sur laquelle le canal d'amenée d'eau a été aménagé.
- Le sondage 1 : la datation d'un charbon de bois provenant de la surface du niveau induré 114 permettrait de confirmer l'hypothèse selon laquelle l'espace situé à l'est du supposé canal d'alimentation correspondrait à l'atelier métallurgique construit dans les années 1550 par la famille Peixie.

V. Références bibliographiques

- Baas, P., Blokhina, N., Fujii, T., & et al. (2004). IAWA LIST OF MICROSCOPIC FEATURES FOR SOFTWOOD IDENTIFICATION. *IAWA Journal*, 25(1), 1-70. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000349>
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Documents Cartographiques de la Production Végétale des Services Généraux*, 47.
- Bal, M.-C., Rendu, C., Ruas, M.-P., & Campmajo, P. (2010). Paleosol charcoal : Reconstructing vegetation history in relation to agro-pastoral activities since the Neolithic. A case study in the Eastern French Pyrenees. *Journal of Archaeological Science*, 37(8), 1785-1797. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.01.035>
- Balent, A. (2005). La mine de fer de Puymorens (Cerdagne) : Conflits de propriété et d'usage (XVIIe-XXe s.). In *Les ressources naturelles des Pyrénées du Moyen Âge à l'Epoque Moderne (Actes du congrès international Resopyr 1)* (Catafau, p. 423-452).
- Balent, A. (2016). La farga de La Llata, Vall de Querol (Cerdanya). *Records de l'Aravó*, 12, 12-20.
- Besson, M. (1991). *Carte géologique de la France à 1/50000—Fontargente—Notice explicative* [Carte]. BRGM.
- Bonhôte, J. (1998). *Forges et forêts dans les Pyrénées ariégeoises : Pour une histoire de l'environnement*. Pyrégroph.
- Calastrenc, C., Baleux, F., Laurent, A., Llubes, M., Philippe, M., Poirier, N., & Rendu, C. (2023). Inspecter les zones d'altitude : Programme TAHMM ou le développement d'une procédure multi-source pour la prospection archéologique des terrains d'altitude. *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*, 47, Art. 47. <https://doi.org/10.4000/archeosciences.12009>
- Calmés, C., & Grimbert, L. (2006). *Savignac-les-Ormeaux—Le Najar. Etude documentaire de la Forge de Savignac* (p. 111-124) [Rapport Final d'Opération]. INRAP / Service Régional de l'Archéologie Midi-Pyrénées.
- Cantelaube, J. (2005). *La forge à la catalane dans les Pyrénées ariégeoises, une industrie à la montagne, XVII-XIX siècle*. CNRS-Université de Toulouse-Le Mirail.

- Caruso-Fermé, L., & Théry-Parisot, I. (2011). Experimentation and combustion properties of Patagonian Andean wood. *SAGVNTVM, Extra 11*, 39-40.
- Chabal, L. (1997). Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final' Antiquité tardive) : L'anthracologie, méthode et paléoécologie. In *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final' Antiquité tardive) : L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. <https://books.openedition.org/editionsms/43380>
- Chabal, L., Fabre, L., Terral, J.-F., & Théry-Parisot, I. (1999). L'anthracologie. In C. Bourquin-Mignot, J.-E. Brochier, L. Chabal, S. Crozat, L. Fabre, & F. Guibal (Éds.), *La Botanique* (Errance, p. 43-104).
- Davasse, B., Galop, D., & Rendu, C. (1996a). Paysages du Néolithique à nos jours dans les Pyrénées de l'est d'après l'écologie historique et l'archéologie pastorale. *XVIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, 577-599.
- Davasse, B., Galop, D., & Rendu, C. (1996b). Paysages du Néolithique à nos jours dans les Pyrénées de l'est d'après l'écologie historique et l'archéologie pastorale. *XVIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, 577-599.
- Dietrich, P.-F. (1786). *Description des gîtes de minerais, des forges et des salines des Pyrénées : Suivie d'observations sur le fer mazé et sur les mines des Sardes en Poitou*. chez Didot, fils aîné, et Cuchet.
- Disser, A., Bauvais, S., & Dillmann, P. (2020). Transformations of the chemical signature of slag inclusions throughout experimental refining and first shaping of bloomery iron : New methodological developments. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 34, 102653. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102653>
- Disser, A., & Dubois, C. (2018). *Mines et métallurgie du fer pour les périodes historiques dans le département de l'Ariège. Rapport de prospection thématique 2018* (p. 86).
- Disser, A., Dubois, C., Cabau, P., Fernandez, Guillot, F., & Lamiable, J.-N. (2020). *Mines et métallurgie du fer pour les périodes historiques dans le département de l'Ariège. Rapport de prospection thématique 2020* (p. 82).
- Figueiral, I., & Mosbrugger, V. (2000). A review of charcoal analysis as a tool for assessing Quaternary and Tertiary environments : Achievements and limits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164(1), 397-407. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00195-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00195-4)
- Fouédjeu, L., Burri, S., Saulnier, M., Larrieu, L., Paradis-Grenouillet, S., & Py-Saragaglia, V. (2022). Did the charcoal-based iron industry really drive the forest cover decline in the Northern Pyrenees? *Anthropocene*, 38, 100333. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2022.100333>
- François, J. (1843). *Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l'Ariège*. Carilian-Goeury et Dalmont.
- Fruhauf, C. (1984). La grande Réformation dans les Pyrénées : Temps fort de l'aménagement ou aménagement réussi. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 55, 149-153.
- Galop, D. (1998). *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. Geode-Université de Toulouse Le Mirail. <https://hal.science/hal-03296210>
- Galop, D. (1999). *Le parchemin et le pollen : La Cerdagne médiévale, de l'archive écrite à l'archive naturelle* (p. 35). Presses Universitaires du Mirail. <https://shs.hal.science/halshs-00965694>
- Gausсен, H. (1925). Le pin à crochets dans les Pyrénées. *Bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse*, 3, 150-157.
- Gausсен, H. (1938). Les forêts de l'Aude et de la Cerdagne. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 9(3), 293-302. <https://doi.org/10.3406/rgps.1938.1100>
- Gruber, M. (1980). Le Hêtre et le Sapin dans la chaîne pyrénéenne. *Revue forestière française*, 32(4), 364-372. <https://doi.org/10.4267/2042/21419>
- Guiter, F., Andrieu-Ponel, V., Digerfeldt, G., Reille, M., de Beaulieu, J.-L., & Ponel, P. (2005). Vegetation history and lake-level changes from the Younger Dryas to the present in Eastern Pyrenees (France) : Pollen, plant macrofossils and lithostratigraphy from Lake Racou (2000 m a.s.l.). *Vegetation History and Archaeobotany*, 14(2), 99-118. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0065-z>
- Jacquot, C. (1955). *Atlas d'anatomie des bois de conifères*. CTB.

- Kabukcu, C., & Chabal, L. (2021). Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts : Achievements and prospects. *Quaternary International*, 593-594, 6-18. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.004>
- Lallemant, V., Kotarba, J., & Rendu, C. (2023). Archéologie préventive et programmée en montagne. Le haut bassin de la Cerdagne (Pyrénées-Orientales). *Archéopages. Archéologie et société, Hors-série 6, Art. Hors-série 6*. <https://doi.org/10.4000/archeopages.12531>
- Luault, N. (2020). *Entre ville et montagne : Habitat, peuplement et terroirs dans les Pyrénées de l'Est de l'Antiquité tardive au Moyen Âge (Cerdagne, IIIe-XIIe siècle)* [Phdthesis, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II]. <https://theses.hal.science/tel-03518953>
- Luault, N. (2021). Entre ville et montagne : Premiers jalons pour une étude de l'habitat de hauteur en Cerdagne (Pyrénées-Orientales, Ve-VIe siècles). *Archéologie du Midi Médiéval*, 37-38, 291-310.
- M. Leroy, P. Merluzzo, P. Fluzin, D. Leclere, M. Aubert, & A. Ploquin. (2000). *La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique : L'apport de l'expérimentation en archéologie du fer* (P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriot, & P. Benoit, Éd.s.; p. 37-51). APDCA.
- Mach, J., & Pagès, G. (2021). Le Pla de les Lules 1 : Premier jalon sur la production du fer ancienne dans la haute vallée de Carol. *Records de l'Aravó*, 17, 6-12.
- Marguerie, D. (1992). *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Mésolithique aux périodes historiques : Études palynologiques et anthracologiques des sites archéologiques et des tourbières associées*. Université de Rennes 1.
- Marguerie, D., Bernard, V., Bégin, Y., & Terral, J.-F. (2010). Dendroanthracologie. In L. Filion & S. Payette (Éds.), *La dendroécologie. Principes, méthodes et applications* (p. 311-350). Presses de l'université de Laval. <https://www.pulaval.com/produit/la-dendroecologie-principes-methodes-et-applications>
- Marguerie, D., & Hunot, J.-Y. (2007). Charcoal analysis and dendrology : Data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science*, 34(9), 1417-1433. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.032>
- Meunier, E. (2023). *L'exploitation minière dans le sud-ouest de la Gaule IVe s. A.C.-IVe s. P.C. Le district de l'Arize dans son contexte régional*. Ausonius Éditions. <https://doi.org/10.46608/DANA10.9782356134974>
- Michel, A. (1951). La limite altitudinale de la végétation forestière dans les Pyrénées-Orientales. *Revue Forestière Française*, 4, 274. <https://doi.org/10.4267/2042/27773>
- Mussy, J. (1868). Description de la constitution géologique et des ressources minérales du canton de Vicdessos et spécialement la mine de Rancié. *Annales des Mines*, 57-112.
- Pagès, G. (2010). *Artisanat et économie du fer en France méditerranéenne de l'Antiquité au début du Moyen-Age : Une approche interdisciplinaire*. M. Mergoïl.
- Pagès, G. (2017). *Des tas de déchets petits et grands : Vers des critères d'enregistrements communs nécessaires aux bases de données pour étudier dans la diachronie les productions sidérurgiques: Vol. Treballs d'Arqueologia n°21* (p. 247). Universitat Autònoma de Barcelona. <https://doi.org/10.5565/rev/tda.66>
- Pagès, G., Dillmann, P., Vega, E., Berranger, M., Bauvais, S., Long, L., & Fluzin, P. (2022). Vice-versa : The iron trade in the western Roman Empire between Gaul and the Mediterranean. *PLOS ONE*, 17(5), e0268209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268209>
- Pagès, G., Dissier, A., L'Héritier, M., Mach, J., & Gosselin, M. (2022). *Programme Collectif de Recherche (2021-2023) le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR FERAPO)* (Programme Collectif de Recherche 76-2022-0364; p. 346). Ministère de la Culture.
- Pagès, G., Dissier, A., L'Héritier, M., Mach, J., & Gosselin, M. (2023). *Programme Collectif de Recherche (2021-2023) le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR FERAPO)* (Programme Collectif de Recherche 76-2022-0364; p. 346). Ministère de la Culture.
- Pagès, G., Dissier, A., Mach, J., & L'Héritier, M. (2021). *Programme Collectif de Recherche (2021-2023) le FER en Ariège et dans les Pyrénées-Orientales (PCR FERAPO). Rapport intermédiaire 2021* (Programme Collectif de Recherche 76-2022-0364; p. 380). Ministère de la Culture.
- Puech, E., Bamford, M., Porraz, G., Val, A., & Théry-Parisot, I. (2021). Evaluating sampling methods in charcoal-rich layers and high diversity environment : A case study from the Later Stone Age of

- Bushman Rock Shelter, South Africa. *Quaternary International*, 593-594, 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.018>
- Py-Saragaglia, V., Cunill Artigas, R., Métaillié, J.-P., Ancel, B., Baron, S., Paradis-Grenouillet, S., Lerigoleur, É., Badache, N., Barcet, H., & Galop, D. (2017). Late Holocene history of woodland dynamics and wood use in an ancient mining area of the Pyrenees (Ariège, France). *Quaternary International*, 458, 141-157. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.01.012>
- Rendu, C. (1987). Quelques jalons pour une histoire des forêts en Cerdagne : Le massif d'Osseja entre 1030 et 1430. In M. Gros & O. Poisson (Éds.), *Études roussillonnaises offertes à Pierre Ponsich* (p. 254-251). Le Publicateur.
- Rendu, C., Campmajo, P., Davasse, B., & Galop, D. (1995). *Habitat, environnement et systèmes pastoraux en montagne : Acquis et perspectives de recherches à partir de l'étude du territoire d'Enveig*.
- Schmider, B. (1978). L'industrie lithique de la grotte de La Vache, commune d'Alliat (Ariège). *Bulletin de la Société Préhistorique de l'Ariège*, 33, 13-56.
- Schweingruber, F. (1990). *Microscopic wood anatomy : Structural variability of stems and twigs in recent and Subfossil Woods from Central Europe*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. <https://search.worldcat.org/title/610538707>
- Théry-Parisot, I., & Henry, A. (2012). Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, 39(2), 381-388. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.024>
- Trouy-Jacquemet, M.-C. (2023). *Atlas des bois résineux de France, Outil d'identification multi-échelle—Marie-Christine—Quae*. Quae. <https://librairie-auxmotstordus.fr/livre/21630440-atlas-des-bois-resineux-de-france-outil-d-identification-multi-echelle-marie-christine-trouy-jacquemet-qua>
- Vannière, B., Galop, D., Rendu, C., & Davasse, B. (2001). Feu et pratiques agro-pastorales dans les Pyrénées-Orientales : Le cas de la montagne d'Enveitg (Cerdagne, Pyrénées-Orientales, France). *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 11(1), 29-42. <https://doi.org/10.3406/rgpso.2001.2765>
- Verna, C. (2001). *Le temps des Moulines. Fer, technique et société dans les Pyrénées centrales (XIIIe—XVIe siècles)*. Publications de la Sorbonne.
- Vernet, J.-L., & Ogereau, P. (2001). *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents : Sud-ouest de l'Europe : France, péninsule ibérique et îles Canaries*. CNRS Éd.. Paris.
- Wheeler, J. M., Curran, J. A., & Shrestha, S. (2012). Microstructure and multi-scale mechanical behavior of hard anodized and plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings on aluminum alloy 5052. *Surface and Coatings Technology*, 207, 480-488. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.07.056>

VI. Annexes

VI.1. Inventaire des documents photographiques

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
DSC04823.JPG	2024:08:11	11:32:36	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04824.JPG	2024:08:11	11:33:49	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04825.JPG	2024:08:11	11:33:54	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04826.JPG	2024:08:11	11:38:00	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04827.JPG	2024:08:11	11:38:15	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04828.JPG	2024:08:11	11:39:55	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04829.JPG	2024:08:11	11:39:58	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04831.JPG	2024:08:11	11:44:23	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04832.JPG	2024:08:11	11:44:27	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04833.JPG	2024:08:11	11:47:41	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04834.JPG	2024:08:11	11:47:57	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04835.JPG	2024:08:11	11:48:13	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
DSC04836.JPG	2024:08:11	11:48:26	SONY	DSC-RX100M3	Elsa Lacaze
IMG_20240811_121552.jpg	2024:08:11	12:15:52	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_121554.jpg	2024:08:11	12:15:53	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_125439.jpg	2024:08:11	12:54:39	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_125444.jpg	2024:08:11	12:54:44	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_125637.jpg	2024:08:11	12:56:37	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_125646.jpg	2024:08:11	12:56:46	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_130010.jpg	2024:08:11	13:00:10	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240811_130654.jpg	2024:08:11	13:06:54	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
IMG_20240811_130703.jpg	2024:08:11	13:07:03	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240813_103213.jpg	2024:08:13	10:32:13	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240813_104845.jpg	2024:08:13	10:48:45	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
IMG_20240813_161828.jpg	2024:08:13	16:18:28	Crosscall	Core-X5	Alexandre Disser
NAJ24_20240808_D780_6684_v2.jpg	2024:08:08	11:26:12	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240808_D780_6687_v2.jpg	2024:08:08	11:27:12	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240808_D780_6690_v2.jpg	2024:08:08	11:27:27	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8133_v2.jpg	2024:08:13	08:51:56	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8135_v2.jpg	2024:08:13	08:52:40	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8137_v2.jpg	2024:08:13	08:53:04	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8141_v2.jpg	2024:08:13	08:53:39	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8143_v2.jpg	2024:08:13	08:54:34	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8144_v2.jpg	2024:08:13	08:55:11	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8146_v2.jpg	2024:08:13	08:55:23	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8147_v2.jpg	2024:08:13	08:55:36	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8148_v2.jpg	2024:08:13	08:56:07	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8150_v2.jpg	2024:08:13	08:56:13	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
NAJ24_20240813_D780_8151_v2.jpg	2024:08:13	08:56:40	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_20240813_D780_8152_v2.jpg	2024:08:13	08:56:50	NIKON	D780	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_D90_DSC0001.JPG	2024:08:06	12:18:02	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0007.JPG	2024:08:06	12:19:16	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0009.JPG	2024:08:07	08:46:21	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0011.JPG	2024:08:07	08:46:36	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0012.JPG	2024:08:07	08:46:45	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0013.JPG	2024:08:07	08:47:19	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0014.JPG	2024:08:07	08:47:32	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0015.JPG	2024:08:07	08:47:36	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0016.JPG	2024:08:07	08:47:44	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0017.JPG	2024:08:07	08:47:54	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0018.JPG	2024:08:07	08:54:07	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0019.JPG	2024:08:07	08:54:18	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0020.JPG	2024:08:07	08:54:28	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0021.JPG	2024:08:07	08:54:41	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0022.JPG	2024:08:07	08:54:52	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0023.JPG	2024:08:07	08:55:40	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0024.JPG	2024:08:07	08:56:25	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0025.JPG	2024:08:07	08:58:13	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0027.JPG	2024:08:07	09:22:29	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0029.JPG	2024:08:07	09:22:50	NIKON	D90	Alexandre Disser

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
NAJ24_D90_DSC0030.JPG	2024:08:07	09:22:59	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0031.JPG	2024:08:07	09:23:11	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0032.JPG	2024:08:07	09:23:33	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0035.JPG	2024:08:07	09:24:47	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0036.JPG	2024:08:07	09:24:55	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0037.JPG	2024:08:07	09:25:08	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0040.JPG	2024:08:07	09:25:52	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0041.JPG	2024:08:07	09:27:22	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0043.JPG	2024:08:07	09:30:46	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0047.JPG	2024:08:07	11:13:17	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0048.JPG	2024:08:07	11:16:15	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0049.JPG	2024:08:07	11:17:21	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0050.JPG	2024:08:07	11:18:09	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0051.JPG	2024:08:07	11:18:45	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0052.JPG	2024:08:07	11:19:43	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0054.JPG	2024:08:07	11:20:41	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0057.JPG	2024:08:07	11:21:41	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0059.JPG	2024:08:07	11:22:15	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0060.JPG	2024:08:07	11:23:00	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0061.JPG	2024:08:07	11:23:05	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0063.JPG	2024:08:07	11:24:33	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0065.JPG	2024:08:07	11:27:59	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0067.JPG	2024:08:07	11:28:14	NIKON	D90	Alexandre Disser

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
NAJ24_D90_DSC0068.JPG	2024:08:07	11:28:17	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0072.JPG	2024:08:09	09:21:49	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0073.JPG	2024:08:09	09:22:47	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0074.JPG	2024:08:09	09:23:01	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0075.JPG	2024:08:09	09:23:19	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0076.JPG	2024:08:09	09:23:25	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0077.JPG	2024:08:09	09:26:16	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0078.JPG	2024:08:09	09:26:28	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0079.JPG	2024:08:09	09:28:29	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0080.JPG	2024:08:09	09:28:44	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0081.JPG	2024:08:09	09:29:53	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0082.JPG	2024:08:09	09:30:10	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0083.JPG	2024:08:09	09:30:17	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0084.JPG	2024:08:09	09:30:47	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0085.JPG	2024:08:09	09:31:11	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0086.JPG	2024:08:09	09:31:30	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0087.JPG	2024:08:09	09:32:13	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0088.JPG	2024:08:09	09:32:16	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0089.JPG	2024:08:09	09:32:40	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0090.JPG	2024:08:09	10:10:18	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0091.JPG	2024:08:09	10:10:54	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0092.JPG	2024:08:09	10:11:04	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0093.JPG	2024:08:09	11:18:13	NIKON	D90	Alexandre Disser

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
NAJ24_D90_DSC0096.JPG	2024:08:09	11:30:12	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0098.JPG	2024:08:09	11:55:02	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0100.JPG	2024:08:09	12:00:48	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0103.JPG	2024:08:09	12:04:10	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0104.JPG	2024:08:09	12:15:03	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0106.JPG	2024:08:09	14:53:07	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0107.JPG	2024:08:09	14:53:12	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0108.JPG	2024:08:09	14:53:19	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0109.JPG	2024:08:09	14:53:23	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0110.JPG	2024:08:09	14:53:46	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0111.JPG	2024:08:09	14:54:17	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0112.JPG	2024:08:09	14:54:20	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0113.JPG	2024:08:09	14:54:23	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0114.JPG	2024:08:09	14:54:37	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0115.JPG	2024:08:09	14:55:04	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0116.JPG	2024:08:09	14:55:09	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0117.JPG	2024:08:09	14:55:23	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0118.JPG	2024:08:09	14:55:41	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0119.JPG	2024:08:13	10:03:39	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0120.JPG	2024:08:13	10:03:48	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0123.JPG	2024:08:13	16:12:50	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0125.JPG	2024:08:13	16:13:31	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0126.JPG	2024:08:15	15:51:07	NIKON	D90	Alexandre Disser

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
NAJ24_D90_DSC0127.JPG	2024:08:15	15:51:34	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0129.JPG	2024:08:15	15:52:56	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0130.JPG	2024:08:15	15:58:05	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0131.JPG	2024:08:15	15:59:01	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0132.JPG	2024:08:15	16:01:57	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0133.JPG	2024:08:15	16:03:50	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0134.JPG	2024:08:15	16:04:01	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0135.JPG	2024:08:15	16:04:08	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0147.JPG	2024:08:15	17:58:24	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0148.JPG	2024:08:15	17:58:33	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0149.JPG	2024:08:15	18:02:26	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0154.JPG	2024:08:15	18:23:49	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0158.JPG	2024:08:15	18:27:15	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0162.JPG	2024:08:15	18:28:16	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0164.JPG	2024:08:15	18:29:23	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0165.JPG	2024:08:16	10:04:25	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0166.JPG	2024:08:16	10:05:10	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0168.JPG	2024:08:16	10:05:16	NIKON	D90	Alexandre Disser
NAJ24_D90_DSC0169.JPG	2024:08:16	10:05:46	NIKON	D90	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_D90_DSC0170.JPG	2024:08:16	10:06:24	NIKON	D90	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_D90_DSC0171.JPG	2024:08:16	10:07:22	NIKON	D90	Jean-Charles Méaudre

Nom du fichier	Date	Heure	Marque	Modèle	Auteur
NAJ24_D90_DSC0173.JPG	2024:08:16	10:09:57	NIKON	D90	Jean-Charles Méaudre
NAJ24_D90_DSC0174.JPG	2024:08:16	10:10:03	NIKON	D90	Jean-Charles Méaudre

VI.2. Inventaire du mobilier

N° Inventaire	US	Auteur	Objectif	Matériaux	Type	NMI	Nb restes	Remarque
24007	404	F. Téreygeol	14C	scorie			3	scorie à charbons 3
24008	404	F. Téreygeol	14C	scorie			3	scorie à charbons 2
24009	404	F. Téreygeol	14C	scorie			2	scorie à charbons 1
24011	404	A. Disser	Examen macro	scorie			1	
24012	404	A. Disser	Examen macro	scorie			7	
24014	sdg4_dcp	F. Téreygeol	Examen macro	scorie			1	
24020	sdg4_dcp	F. Téreygeol	analyse chimique	argile	PbO		32	
24021	sdg4_dcp	JN Lamiable	Examen typologique	verre			1	
24022	sdg4_dcp	F. Téreygeol	Examen typologique	scorie			1	
24023	sdg4_dcp	F. Téreygeol	Examen typologique + analyse chimique	fer	plaque courbe		1	
24024	203	A. Disser	analyse chimique	divers			xx	
24025	202	A. Disser	analyse chimique	scorie	frag. scorie		xx	
24026	203	A. Disser	analyse chimique	scorie	frag. scorie		xx	
24027	205	A. Disser	analyse chimique	divers			xx	dont 1 frag. d'hématite entouré d'argile
24028	202	A. Disser	analyse chimique	divers			xx	
24029	205	A. Disser	analyse chimique	divers			6	
24030	205	A. Disser		scorie			xx	
24031	sdg2_dcp	JN Lamiable	analyse chimique	minerai			11	en cours de réduction pour 1 ou 2 frag.
24032	203	JN Lamiable		fer			xx	

N° Inventaire	US	Auteur	Objectif	Matériaux	Type	NMI	Nb restes	Remarque
24034	703	D. Brossier		verre			5	
24035	703	D. Brossier	Examen macro	fer	clou	6	6	
24036	sdg7_dcp	D. Brossier	Examen macro	fer	clou	3	3	
24037	sdg7_dcp	D. Brossier	Examen macro	fer		4	4	
24038	704	D. Brossier	Examen macro	fer	clou	6	6	
24039	702	D. Brossier	Examen macro	fer	clou	7	7	
24040	702	D. Brossier	Examen macro	fer	tenon	1	1	tête brisée
24041	702	D. Brossier	Examen macro	fer	clou cordonnier ?	1	1	
24042	702	D. Brossier	Examen typologique + analyse chimique	fer	fer d'équidé	1	1	fer brisé inversé
24043	707	D. Brossier	Examen macro	fer	ind.	2	2	frag. plaque + ind. Brisé
24044	704	D. Brossier	Examen typologique + analyse chimique	fer	chute de tôle	1	1	
24045	704	D. Brossier	Examen macro	scorie		2	2	
24046	704	E. Lacaze	Examen typologique	argile		5	6	
24047	705	E. Lacaze	Examen typologique	argile		4?	5	
24048	sdg7_dcp	A. Disser	Examen typologique	argile		3	3	
24049	703	A. Disser	Examen typologique	argile		2	2	
24054	sdg7_divers	E. Lacaze	Examen typologique	argile		1	16	dcp - 702 - 703
24055	702	E. Lacaze	Examen typologique	argile		3	3	
24056	sdg7_dcp	E. Lacaze	Examen typologique	argile		23	28	
24057	703	E. Lacaze	Examen typologique	argile			16	

N° Inventaire	US	Auteur	Objectif	Matériaux	Type	NMI	Nb restes	Remarque
24058	sdg2_dcp	F. Téreygeol	Examen macro	fer	divers	8	8	3 tôles - 1 barre martelée - 4 inf.
24059	203	F. Téreygeol	Examen macro	scorie		x	44	dont frag. partiellement réduits
24060	202	F. Téreygeol	Examen macro	scorie		x	11	
24061	205	F. Téreygeol	Examen macro	scorie			2	
24062	504	F. Téreygeol	analyse chimique	scorie	laitier		1	
24063	205	F. Téreygeol	analyse chimique	scorie	coulée		8	
24064	202	F. Téreygeol	Examen typologique	fer	tôle		1	
24065	202	F. Téreygeol	Examen macro	fer	surface rouge		2	cp nord
24066	114	F. Téreygeol	analyse chimique	fer	coulée		7	
24067	202	F. Téreygeol	analyse chimique	fer	coulée		10	
24068	110	D. Brossier	Examen typologique	fer	1 frag. culot + 1 scorie coulée		2	
24069	110	E. Lacaze		fer		1	3	
24070	110	E. Lacaze	Examen typologique	argile	gargoulette		1	
24071	107	D. Brossier	Examen typologique	fer			1	
24072	sdg1_dcp	F. Téreygeol	Examen typologique	argile			3	
24073	sdg1_dcp	F. Téreygeol	Examen typologique	verre			1	
24074	114	F. Téreygeol	Examen typologique	argile			4	
24075	110	D. Brossier	Examen typologique + analyse chimique	fer	tenon		1	
24076	sdg1_XX	F. Téreygeol	Examen micro	argile			2	
24077	sdg5_dcp	F. Téreygeol	Examen micro	argile			1	dans le mur

N° Inventaire	US	Auteur	Objectif	Matériaux	Type	NMI	Nb restes	Remarque
24079	prospection	JN Lamiable	analyse chimique	minerais			7	Col de Belh (Beil) - inf
24080	prospection	JN Lamiable	analyse chimique	minerais				Col de Belh (Beil) - sup
24096	205	F. Téreygeol	Examen macro	fer	éclat	1	1	N° provisoire 19
24098	205	F. Téreygeol	Examen macro	granite	enclume	1	1	N° provisoire 21
24101	307	A. Disser	Examen typologique + analyse chimique	fer	scorie coulée		8	
24102	amas scorie XVI	A. Disser	Examen macro	scorie			11	
24103	amas scorie XVI	A. Disser	Examen macro	scorie			3	
24104	grosse moraine_dcp	JN Lamiable	Examen typologique + analyse chimique	fer	piton	1	1	
24105	sdg3_dcp	F. Téreygeol	Examen macro	scorie			1	
24106	303	A. Disser	Examen macro	scorie			2	
24107	306	A. Disser	Examen typologique + analyse chimique	fer	tôle		1	
24108	703 sous 713 M6	A. Disser	Examen macro	argile			1	
24109	705	D. Brossier	Examen typologique + analyse chimique	fer	clou		1	
24110	306	A. Disser	14C	charbon			xx	US sous mur de contention du ferrier sur couche rouge
24111	703	D. Brossier	Examen macro	scorie			1	
24112	705	D. Brossier	Examen macro	scorie			3	

VI.3. Inventaire des prélèvements

N° Inventaire	US	Auteur	Objectif	Matériau x	Type	NMI	Nb restes	Remarque
24001	406	A. Disser	Anthracologie + 14C	charbon			xx	néant
24002	404	A. Disser	Anthracologie	charbon			xx	prlv en masse autour scorie 3
24003	408	A. Disser	Anthracologie + 14C	charbon			4	néant
24004	409	A. Disser	Anthracologie	charbon			xx	US arène
24005	404	A. Disser	Anthracologie + 14C	charbon			xx	prlv en masse autour scorie 2
24006	404	A. Disser	Anthracologie	charbon			xx	prlv en masse autour scorie 1
24010	404	A. Disser	Anthracologie	charbon			x (fragmentation)	charbons dans sédiment autour scorie 1 ; peut être mis de côté
24013	404	A. Disser	Anthracologie	charbon			8 lots	charbon dans scorie
24015	205	A. Disser	Anthracologie	charbon			x	
24016	206	A. Disser	Anthracologie	charbon			xx	
24017	202	A. Disser	Anthracologie	charbon			x	
24018	203	A. Disser	Anthracologie	charbon			faible quantité	
24019	205	A. Disser	Anthracologie	charbon			9	charbon dans scorie

24033	203	JN Lamiable	analyse chimique	fer	scorie		xxx	gravier aimanté - scorie petit calibre - cailloux terre cuite - vrac
24050	114	A. Disser	14C	charbon		xx	xx	prlv flottation
24051	113	A. Disser	14C	charbon		2	2	
24052	115	A. Disser	14C	charbon		3	3	
24053	107	A. Disser	14C	charbon				
24078	canal d'amené e	JN Lamiable	14C	charbon			x	sdg tarière 40-55 cm de profondeu r
24081	606	A. Disser	Examen micro	terre	sédiment		x	
24082	606	A. Disser	14C	charbon			x	
24083	607	A. Disser	Anthracologi e	charbon	colluvion s + scorie		x	US sableuse
24084	607	A. Disser	Examen micro	colluvions + scorie	colluvion s + scorie		xx	
24085	503 base	A. Disser	Anthracologi e + 14C	charbon	scorie + sédiment s		xx	
24086	408	A. Disser	Anthracologi e + 14C	charbon	scorie + sédiment s		xx	
24087	206	A. Disser	14C	charbon			xx	
24088	205	F. Téreygeo l	Examen typologique + analyse chimique	fer	chio de coulée	1	1	N° provisoire 3
24089	205	F. Téreygeo l	Examen typologique + analyse chimique	fer	chio de coulée	1	1	N° provisoire 6
24090	205	F. Téreygeo l	Examen typologique + analyse chimique	fer	chio de coulée	1	1	N° provisoire 11
24091	205	F. Téreygeo l	Examen typologique + analyse chimique	fer	scorie coulée	1	2	N° provisoire 14

24092	205	F. Téreygeo I	Examen typologique + analyse chimique	fer	fond de four	1	1	N° provisoire 15
24093	205	F. Téreygeo I	Examen typologique + analyse chimique	fer	fond de four	1	1	N° provisoire 16
24094	205	F. Téreygeo I	Examen typologique + analyse chimique	fer	fond de four	1	2	N° provisoire 17
24095	205	F. Téreygeo I	Examen typologique + analyse chimique	fer	scorie coulée	1	1	N° provisoire 18
24097	205	F. Téreygeo I	Examen typologique + analyse chimique	fer	fond de four	1	2	N° provisoire 20
24099	205	F. Téreygeo I	Examen typologique + analyse chimique	fer	chio de coulée	1	3	N° provisoire 22
24100	306	A. Disser	Examen typologique + analyse chimique	fer	scorie coulée		6	

VI.3. Inventaire des US

N° US	Sous	Sur	Equivalent à	Contre
101		102;103		
102	101	104;105		
103	101	104;107;109		
104	103;102	105;106;107		
105	102;104	106		
106	104;105	107		
107	104;106	108		
108	107			109
109	103	110		108;111
110	109			
111		110;115		109
112	103	113		
113	112;103	114		
114	113	115		
115	114;111			
201		202		
202	201	203		
203	202	204		
204	203	205		
205	204	206		
206	205			
301		302	201	
302	303;304	301		
303	302	305;307	104?	
304	302	305		
305	301;304	306	203?	
306	305	307	205?	
307	306			
401		402		
402	401	403;404		
403	402	404		
404	402;403;405	407		
405	403	404;406		
406	405	404		
407	404	408;409		
408	407	409		
409	404;407;408			
501		502;505		
502	501	503;505		
503	502	504;505		
504	503	506		
505	501;502;503			
506	504			

N° US	Sous	Sur	Equivalent à	Contre
601		602		
602	601	603;604;605:607		
603	602	606		604;605
604	602	609		603;606;607
605	603;606	609		
606	603;604;605	609		
607	602	604;608		
608	607	609		
609	604;605;606;608			
701		702		
702	701	703;704		
703	702;704	705		
704	702	703;706		
705	703;704	706;707		
706	704;705;707			
707	705	706;708		
708	707	709;706		
709	708	706;710		
710	709	706		
711	703;712			
712	705	711		
713	705	706		