

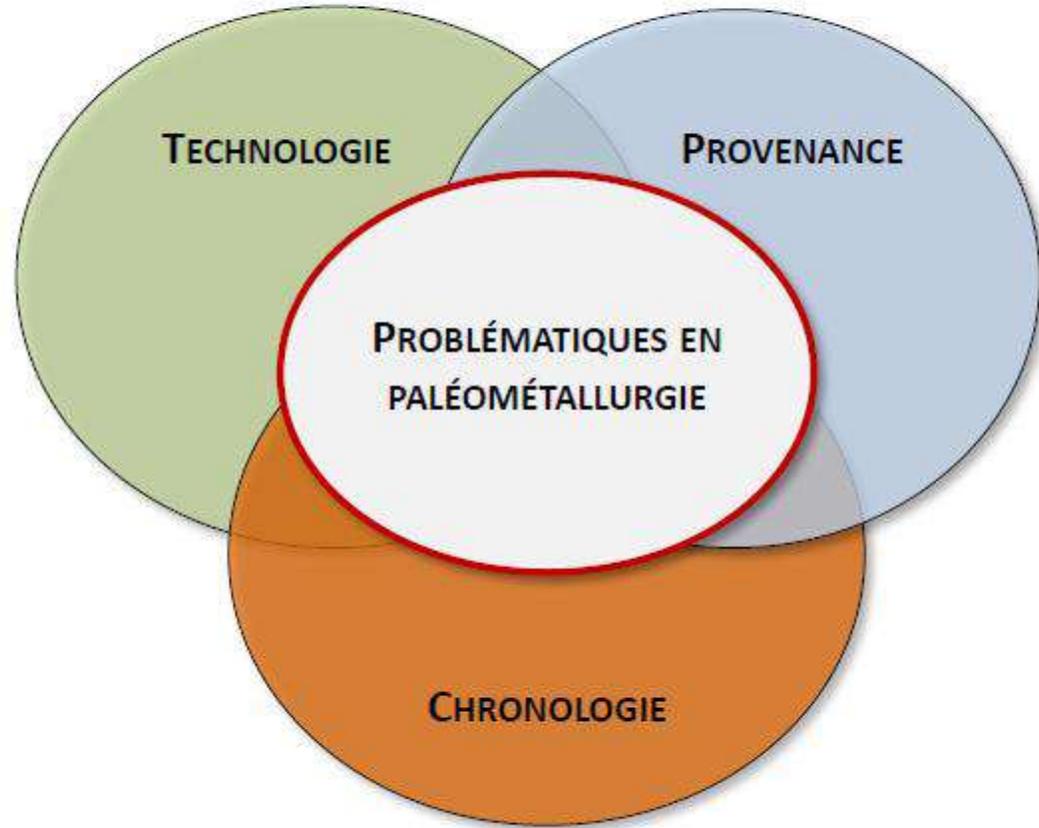
La métallurgie TD – Exemple de la métallurgie ancienne en France

Kévin COSTA

- **Paléométallurgie** : ensemble des démarches et méthodes mises en œuvre pour l'étude des chaînes opératoires, de l'organisation des activités de production et de la destination (fonctionnelle et spatiale) des métaux.
- **Chaîne opératoire** : succession d'étapes techniques au cours desquelles la matière subit des transformations physiques et/ou chimiques, de la réalisation à l'utilisation d'un objet.
- **Archéométrie** : discipline mettant en œuvre des méthodes d'examen et d'analyses pour la compréhension des sociétés anciennes, par l'étude des matériaux, la datation absolue,...

Nos problématiques en paléométaballurgie

Archéométrie Histoire Géologie
Archéologie Ethnographie ...



Sub-micronique

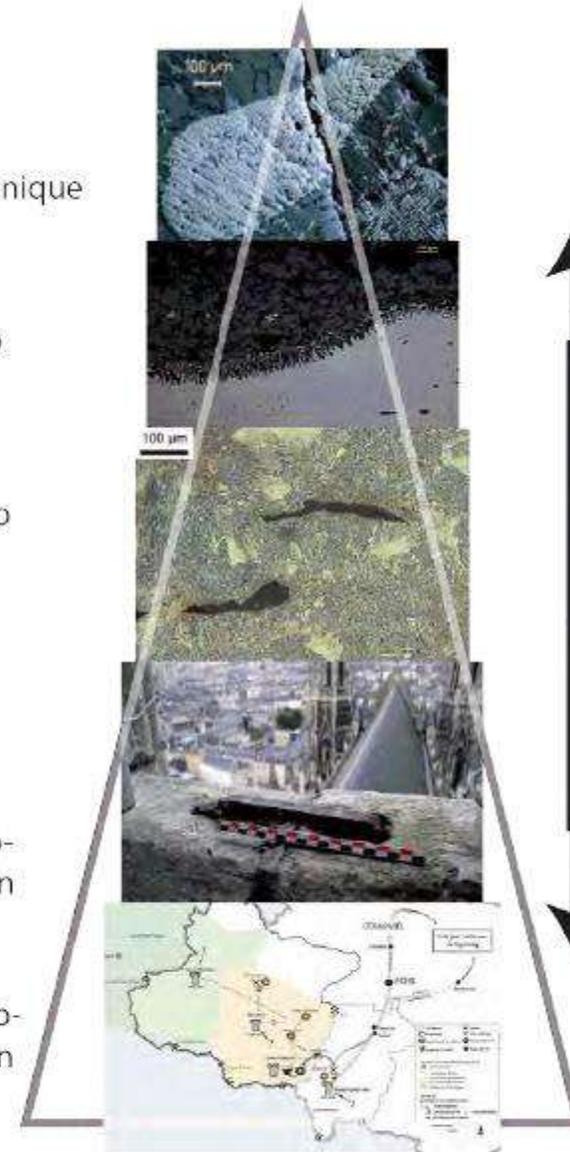
Micro

Macro

Site

Micro-région

Macro-région



Multiscale
Systémique
Trans-disciplinaire

Paramètre multi-échelle
Paramètre statistique

Ensembles complexes
et hétérogènes de
données

Hierarchies et limites
des moyens utilisés

Adaptabilité et
développement
méthodologiques
constants

*L'ensemble de ces problématiques ont besoin d'être appréhendées avec une visée holistique = **ENSEMBLE COMPLEXE***

Catégories des objets métallique en archéologie

CatégorieS des objets métallique en archéologie

Armement, outils, parure, vaisselles, monnaie, statuaire, pièce de char, toilette et bien d'autres



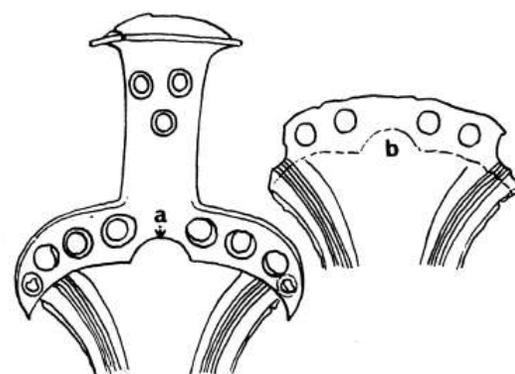
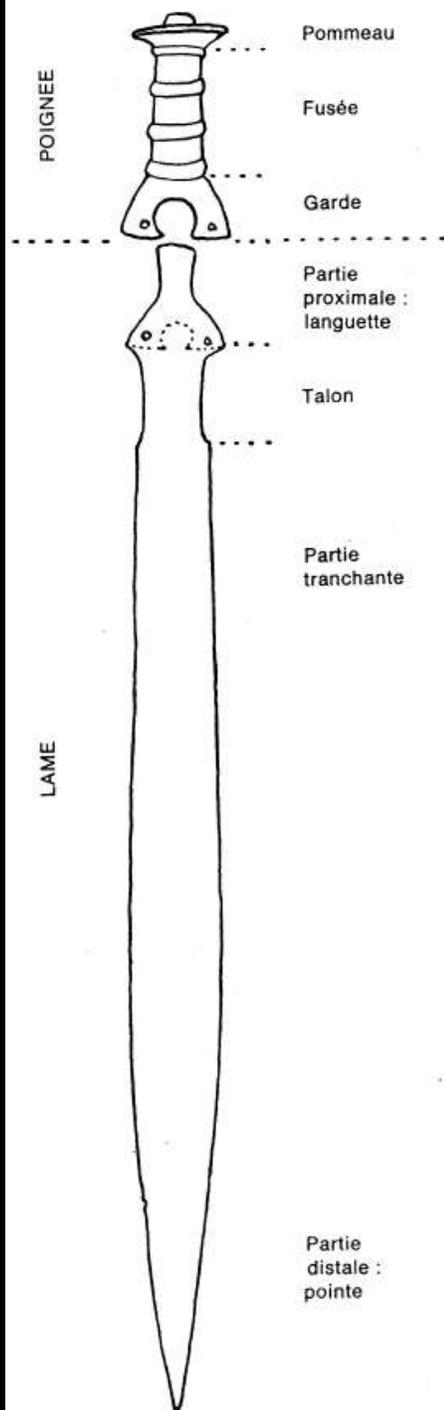


Fig. 2. — Emplacement :
a - de l'échancrure;
b - de l'écusson.

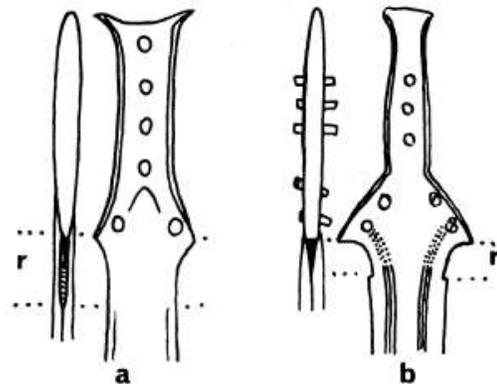


Fig. 3. — Lames d'épée à ricassos
a - sans cran;
b - à cran.

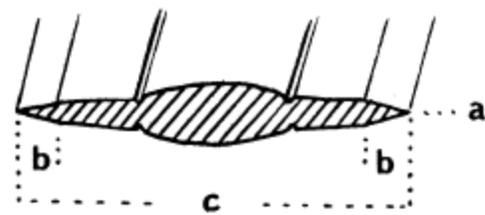


Fig. 4. — Partie tranchante de la lame.
a - le fil;
b - le tranchant;
c - le plat.

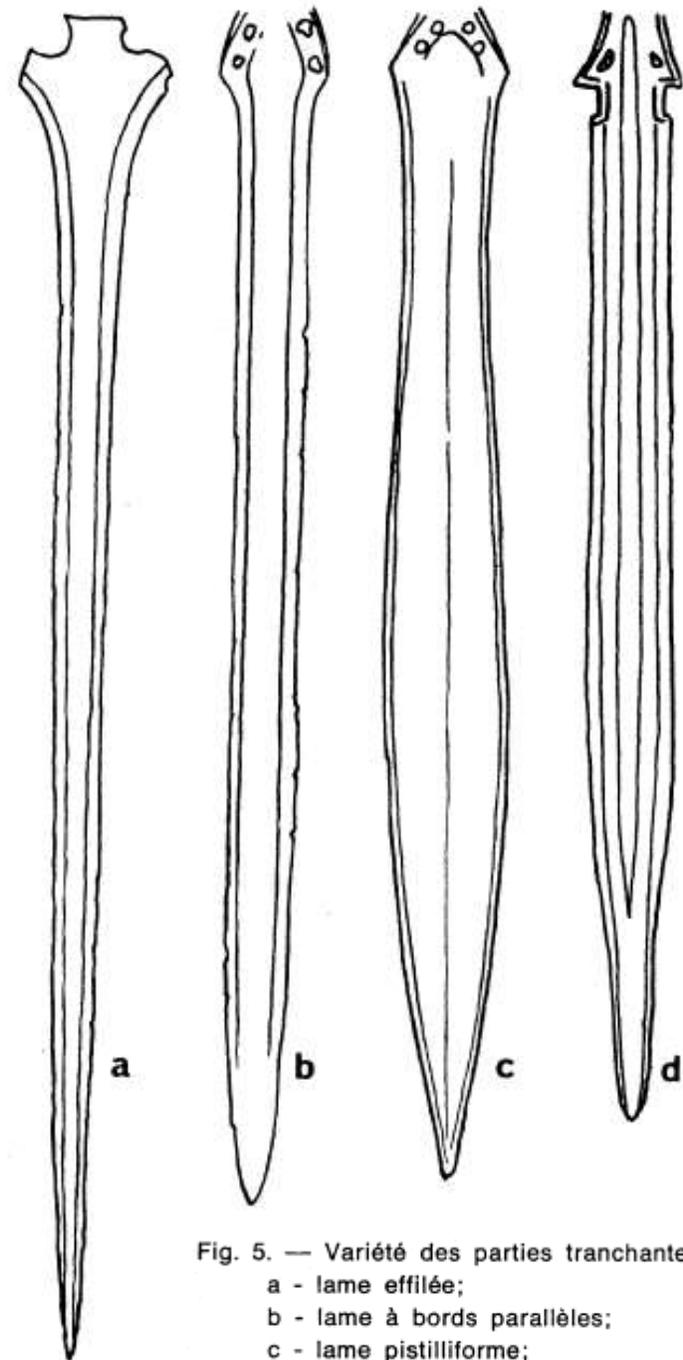


Fig. 5. — Variété des parties tranchantes.
a - lame effilée;
b - lame à bords parallèles;
c - lame pistilliforme;
d - lame en langue de carpe.

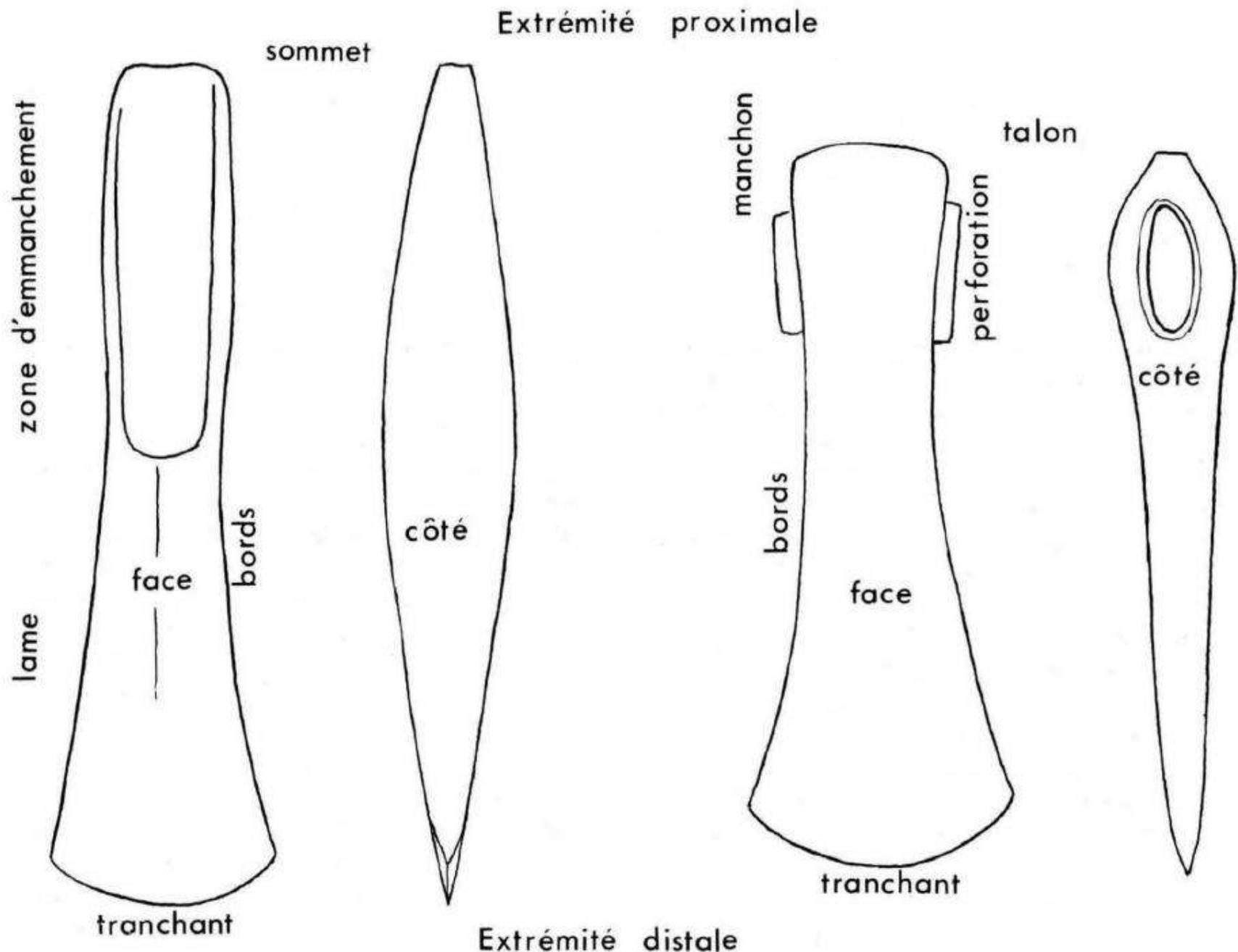
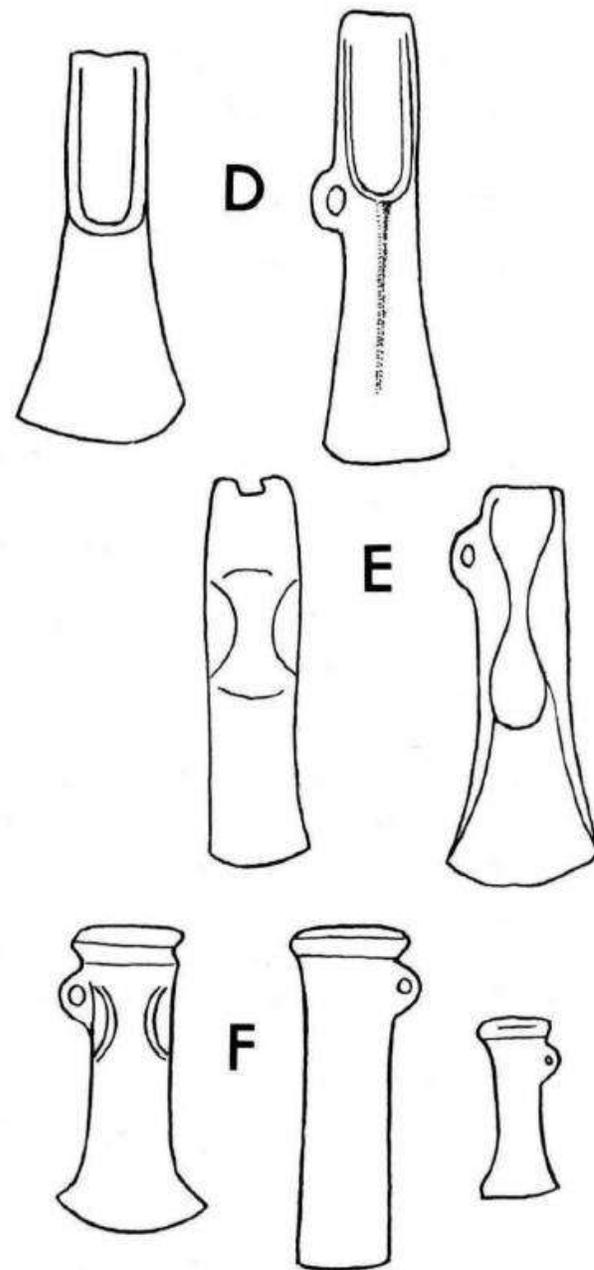
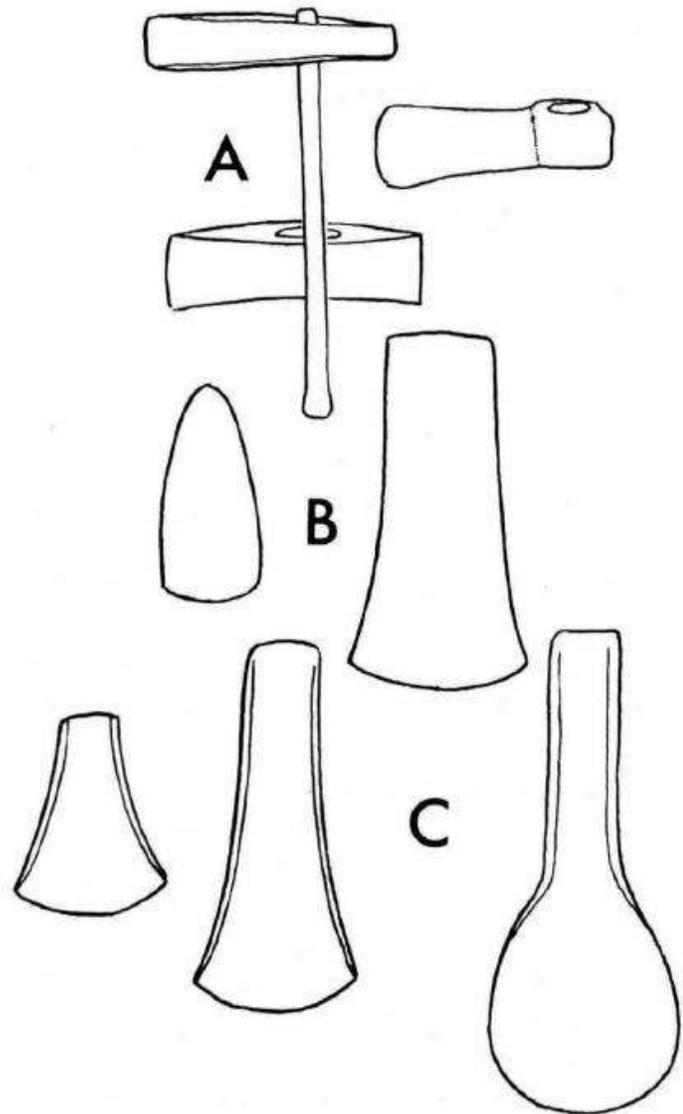
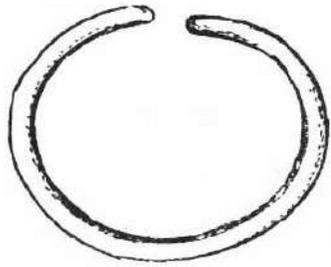


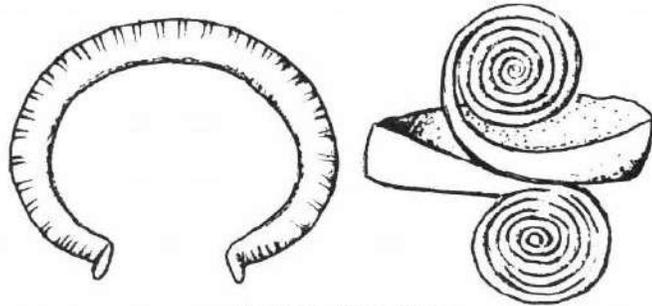
Fig. 1



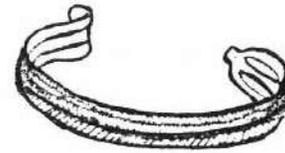
- A. Haches à emmanchement transversal.
 B. Haches plates.
 C. Haches à rebords.
 D. Haches à talon.
 E. Haches à ailerons.
 F. Haches à douille.



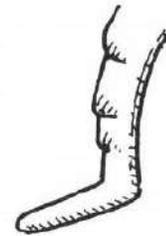
formes simples



formes bipartites



formes composites



Extrémités différenciées non fonctionnelles



Mines et filons



Matières Premières



Transformation
de la
matière

Objets



Habitats



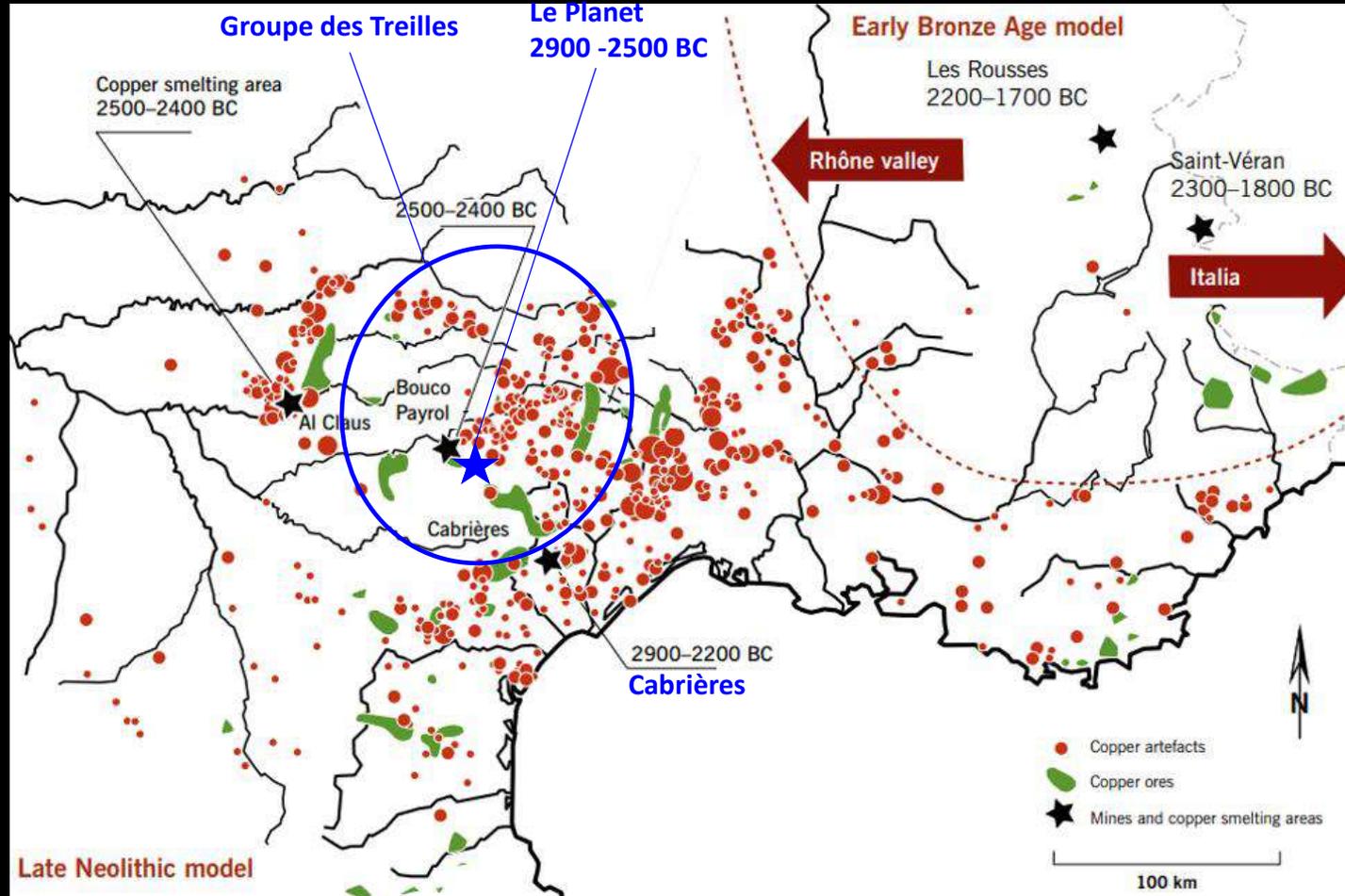
Sépultures



Dépôts non funéraires



Contexte archéologique et métallurgique

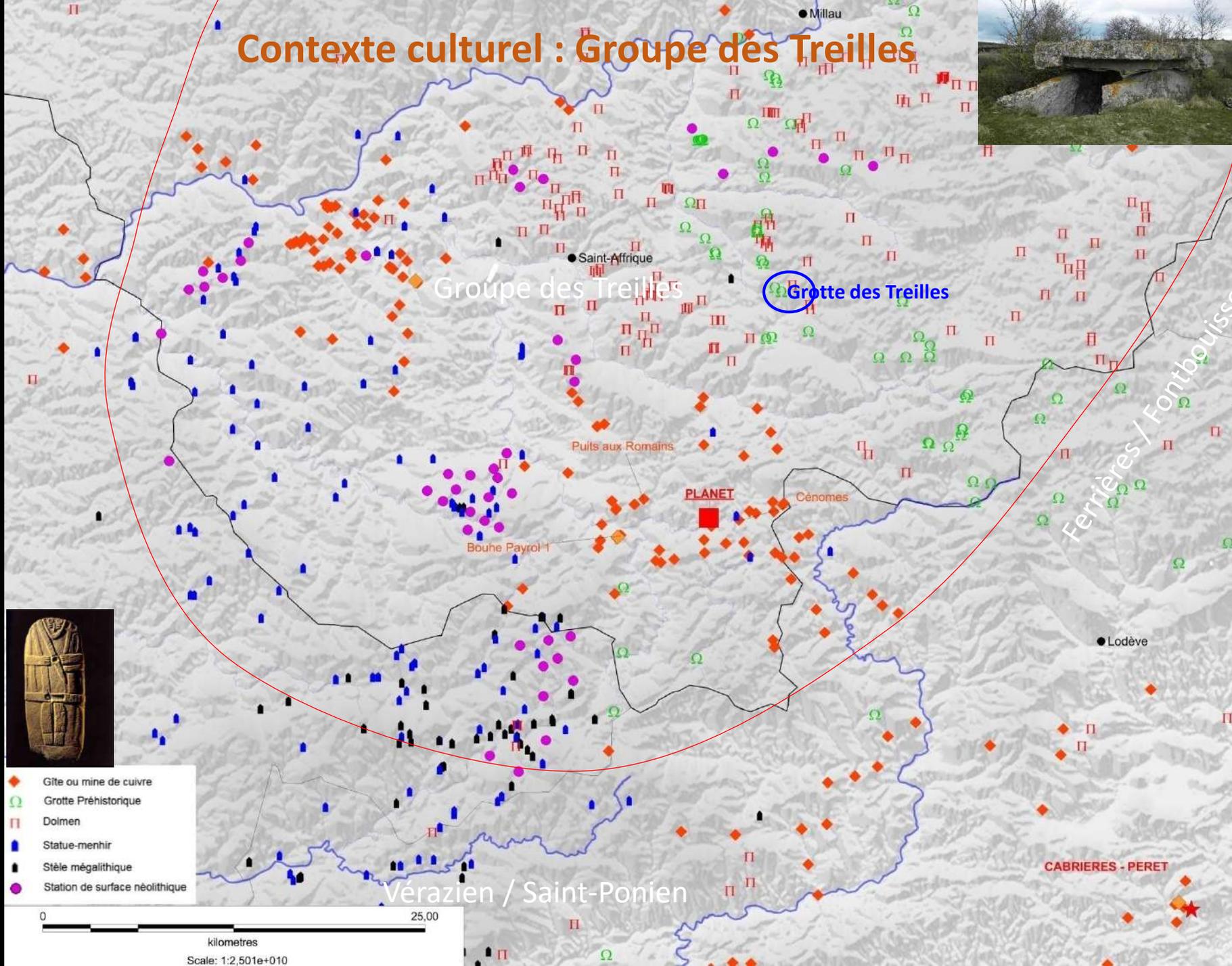


Site métallurgique, gisements de cuivre et mobilier en cuivre néolithique.

Sud Massif Central :
Métallurgie du Néolithique final (2900-2200 av. J.-C.)

Carozza et al. (2015)

Contexte culturel : Groupe des Treilles



- ◆ Gîte ou mine de cuivre
- ⊖ Grotte Préhistorique
- ▭ Dolmen
- Statue-menhir
- Stèle mégalithique
- Station de surface néolithique

0 25,00

kilometres
Scale: 1:2,501e+010

Mobilier métallique caussenard, Groupe des Treilles



Grotte de Sargel



Grotte du Jas del Biau



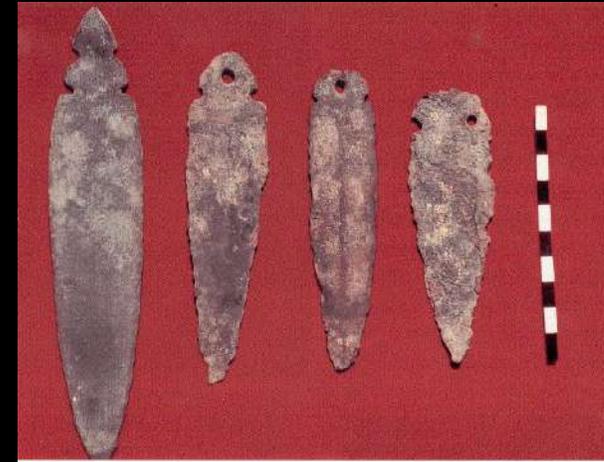
Grotte de Landric



Grotte du Luc



Brusque



Poignards en cuivre du tumulus X du Freyssinel, Saint-Baulize, Lozère (Photo Costantini)
Tumulus X du Frayssinel



Grotte du Chat ; Roquefort

Le Planet



2014 : découverte d'une stèle /statue-menhir



- Gravures en partie effacées
- Gravures d'un premier état, usées
- Gravures ravivées par rainurage
- Gravures ravivées et/ou réalisées par piquetage

Le sous-groupe de Tauriac



Le Planet



Cénomés



Tauriac



Jasse Terral 1



La Verrière



Rouvignac



La Gruasse 2



Saint-Sernin

2015 : deux sondages

- Un probable socle de la statue-menhir,
- Des sols érodés,
- 2 fosses,
- Des tessons néolithiques,
- Des nodules de roche de couleur jaune, indéterminés, mais exogènes
- De petits fragments de malachite

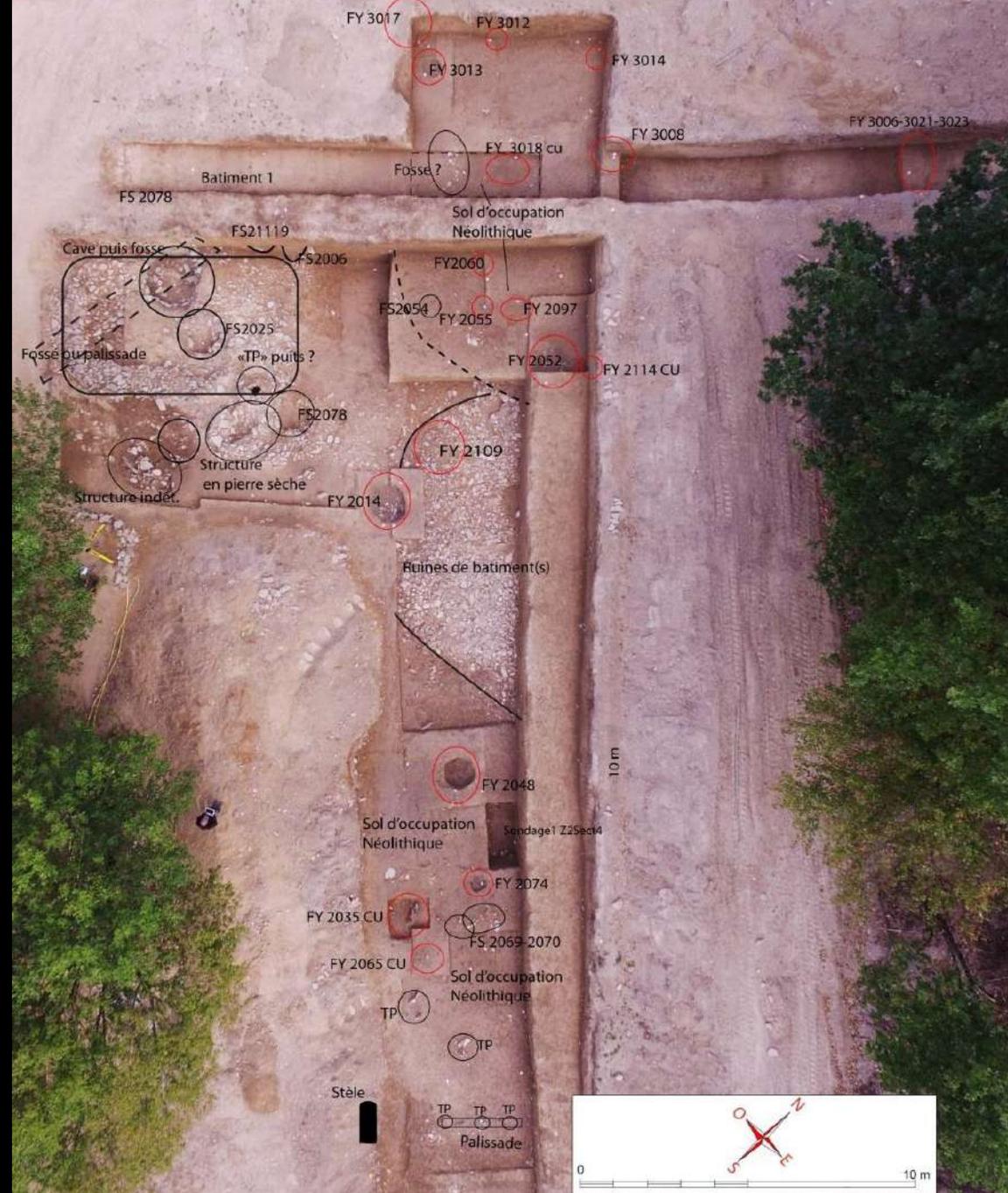


Fouilles programmées 2016

- Plusieurs fosses,
- Des sols et structures érodés,
- Foyers,
- Trou de poteau
- Beaucoup de céramique
- Meules, broyens, outil à cupule
- de rares artefacts en silex/chaille
- des charbons et carporestes...
- des éléments de couleur jaune, de petits fragments de malachite



**Campagnes 2017-2018 :
découverte de la
stratification du site, de
nombreuses structures et
des premiers foyers de
métallurgie**

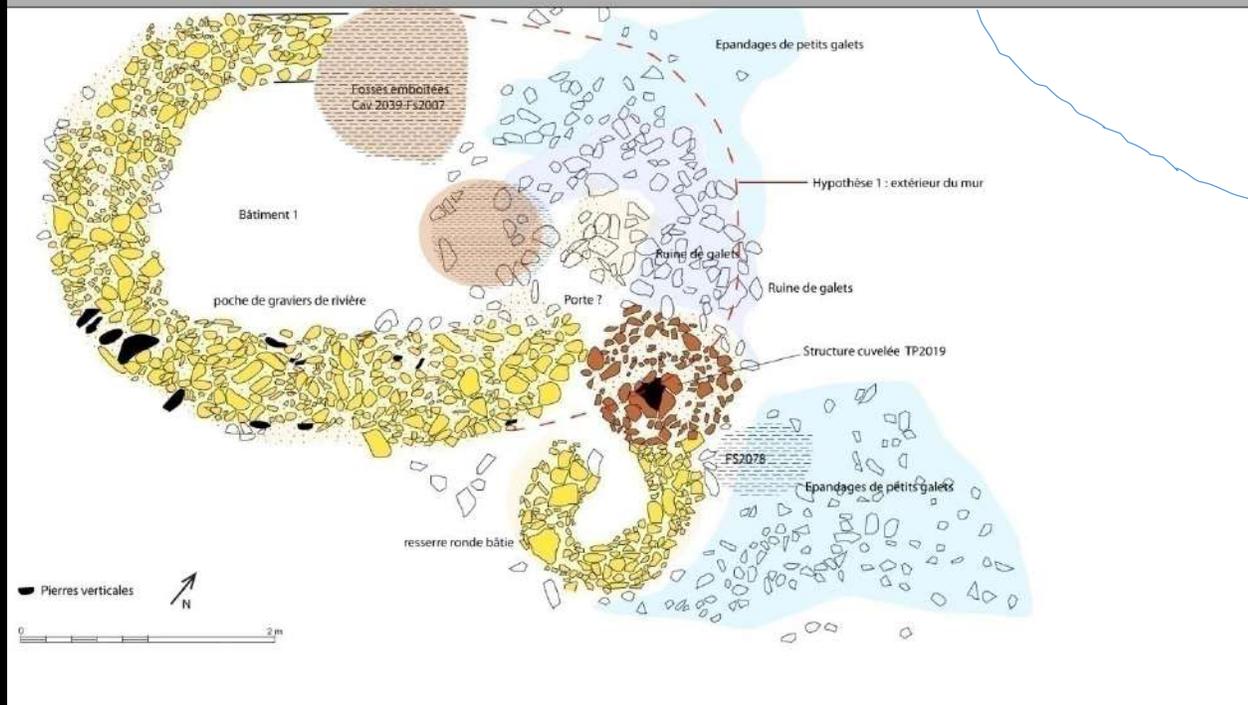




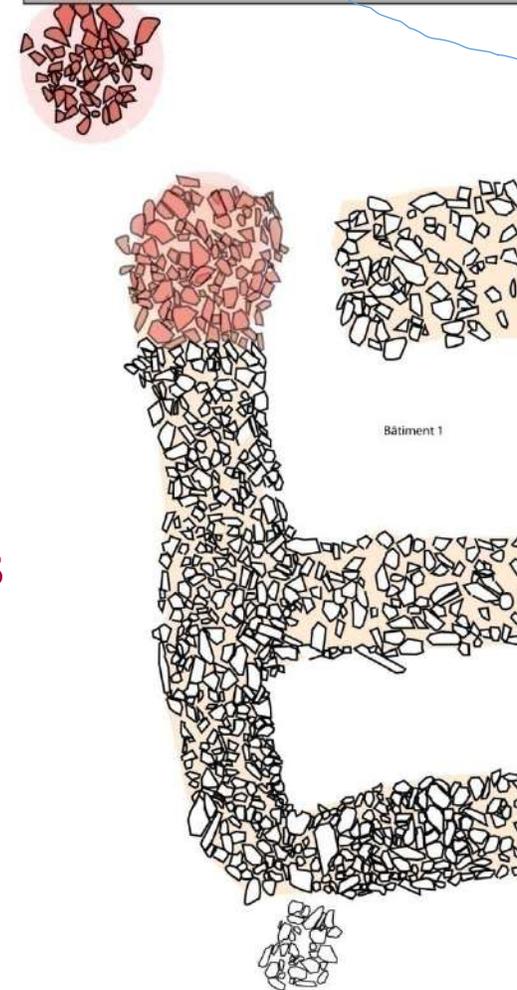
Terrasse constituée de structures et dépôts anthropiques

Une stratigraphie importante > 3 m



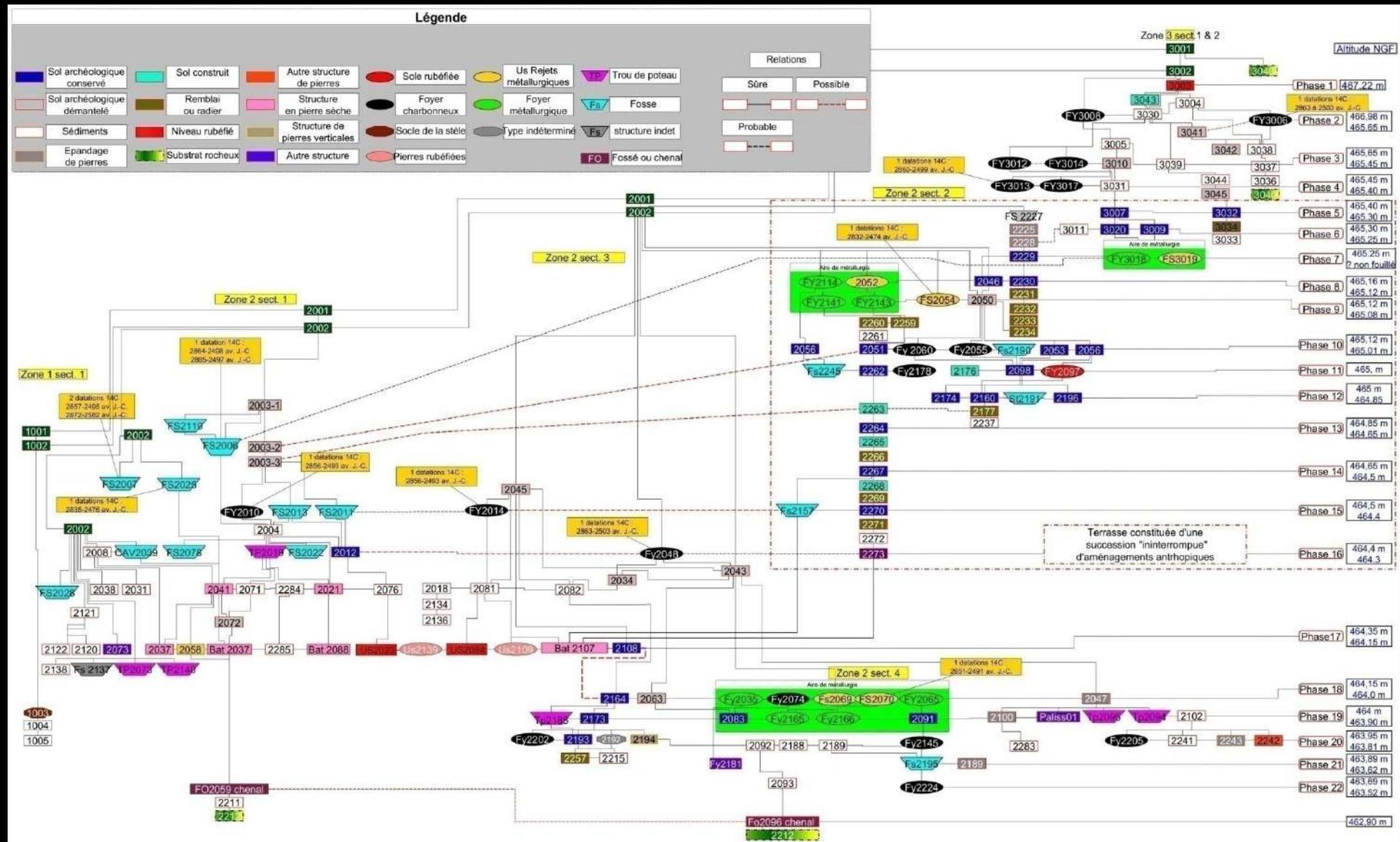


Terrasse anthropique



Des structures bâties « à la base » du site

Une stratigraphie complexe (3,7 m)



De nombreuses structures domestiques foyers à pierres chauffées (charbonnières)



Etudes bioarchéologiques

Carpologie

30 échantillons, 720 restes analysés – bonne conservation des carpores carbonisés

Céréales – grain & vannes

orge nue, blé nu, amidonnier, engrain

Fruits sauvages

glands, noisettes, prunelles, mûres, etc

herbacées sauvages

Nombreux restes



Orge nue (caryopse)

Amidonnier (caryopse)

Blé nu (vannes)

Anthracologie

5 foyers et 2 fosses, 144 restes analysés – 6 taxons identifiés – bonne conservation des charbons de bois

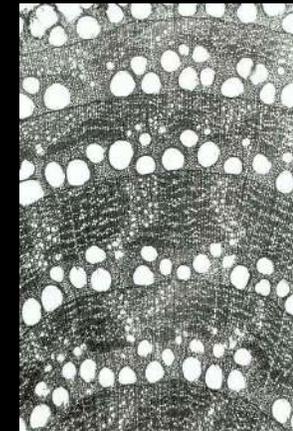
Aulne : végétation des marges du cours d'eau

Chêne, Noisetier et Erable : chênaie collinéenne

Hêtre : végétation plutôt montagnarde

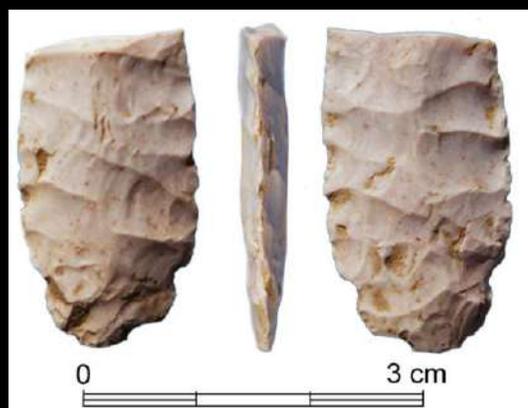
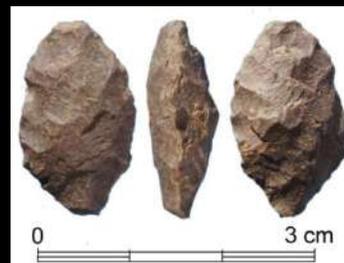
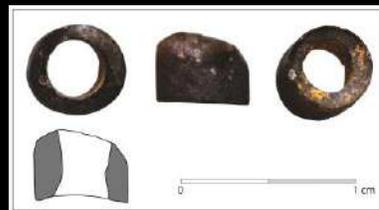
Objectifs principaux

- Diversité taxinomique de la végétation présente aux alentours
- Étendue du territoire d'approvisionnement en bois
- Pratiques artisanales : essences utilisées, calibre des bois brûlés



Ex de Coupe transversale
chêne pubescent

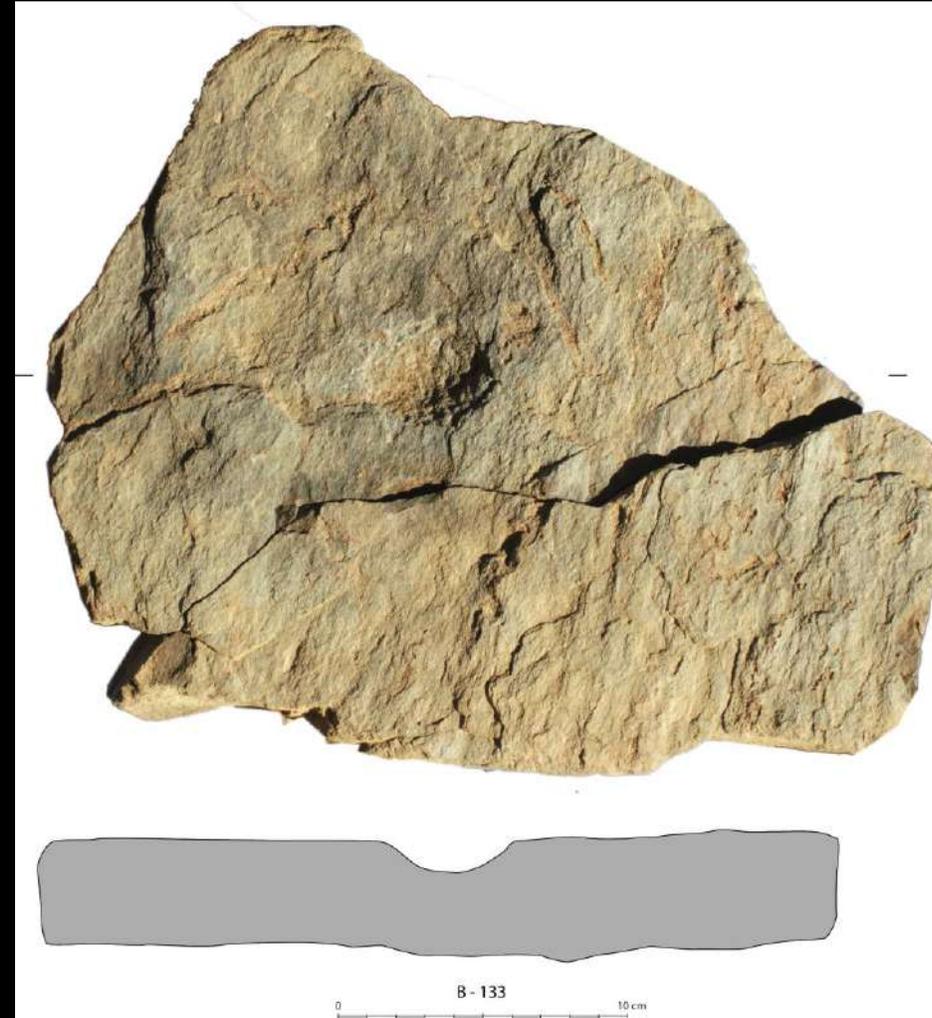
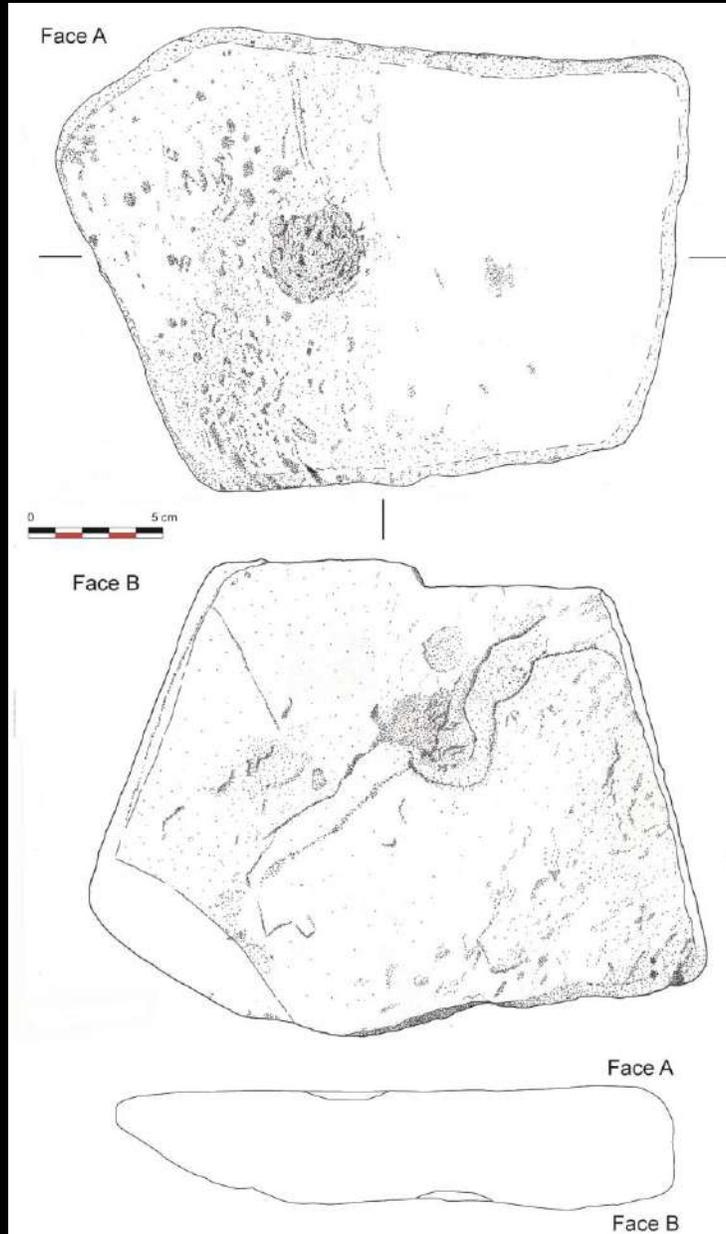
Mobilier : deux éléments de parure, peu de lithique siliceux



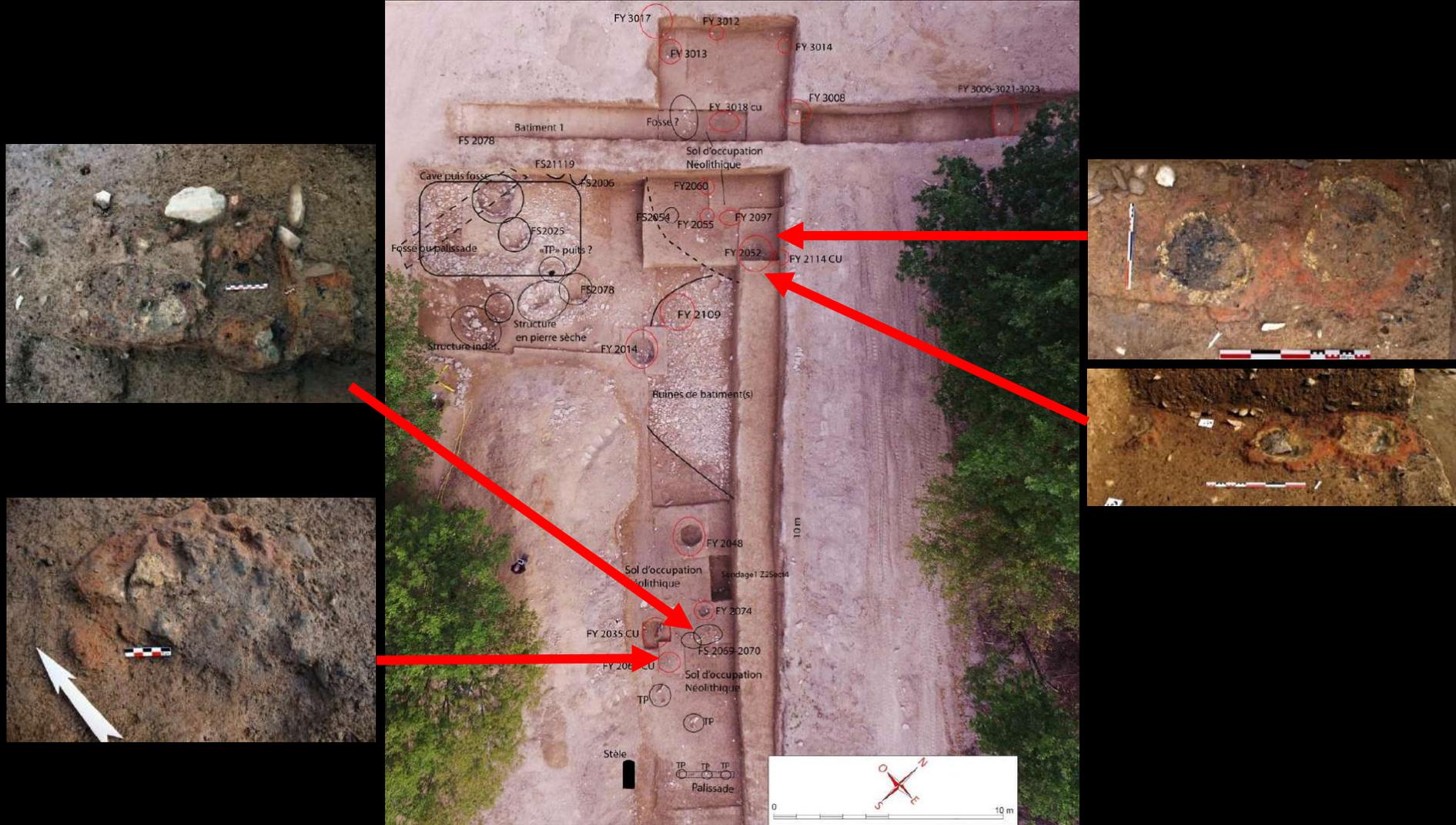
Des meules et percuteurs



Deux outils à cupule



La métallurgie au Planet : 2 aires bien individualisées

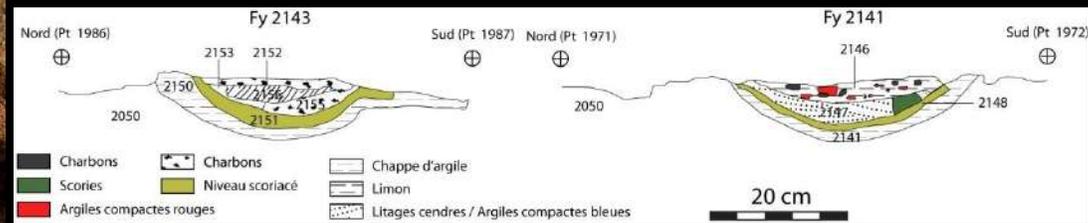


2018 : découverte et fouille de nombreuses structures pyrométallurgiques
discovery and excavation of structures pyrometallurgical pits

Fours pyrométallurgiques



2018 : Fy 2141 et 2143



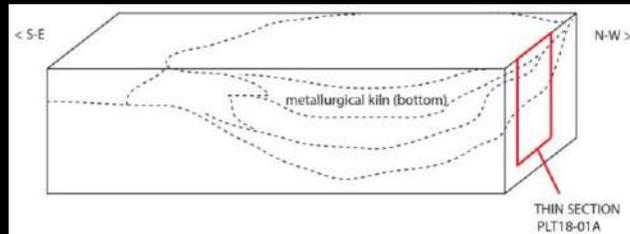
Fy 2065

ANALYSES MICROMORPHOLOGIQUES : PREMIERS RESULTATS

Sampled metallurgical kiln (zenithal view)



Section de l'échantillon du four métallurgique



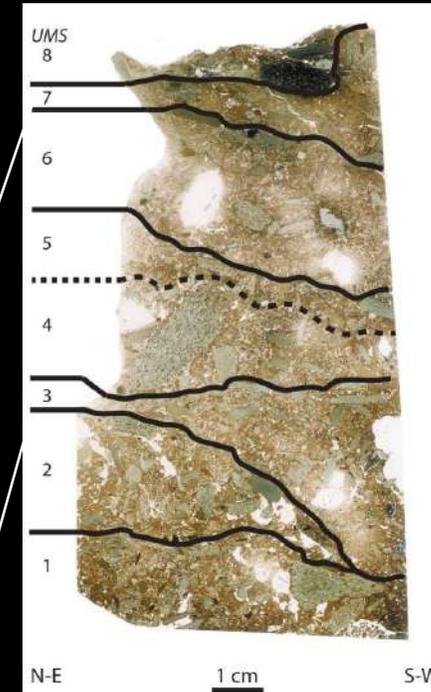
Vue schématique de l'échantillon et position de la première section en bordure de structure

MICROSTRATIGRAPHY

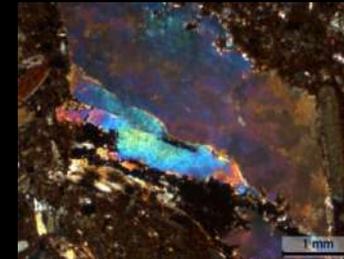
Dernière utilisation (7-8) :
enduit de terre du fond du
four, matériaux
pyrométallurgiques et
fragments de la structure
dégradée.

Événements cycliques (3-6)
de combustion et
d'entretien (raclage) du fond
du four : résidus imbrûlés
mêlés et résidus brûlés
exposés à des températures
basses et élevées

(1-2) Surface d'occupation et
d'aménagement



Fragment de bois exposé à des
température <200°C



Cu-sulfites (non-processed)
Sulfure de cuivre

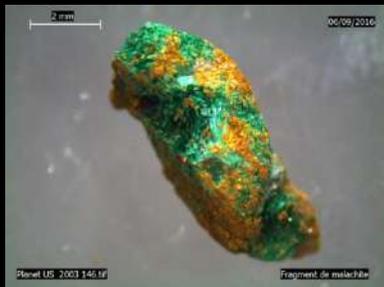
Minerais découverts sur le site

Minerais de cuivre et de plomb : sulfurés et altérés (carbonates/oxydes)

Malachite : Minerai de cuivre



55 à 60% de cuivre



Tétraédrite avec malachite et bindheimite: 140 g



US 2006 Pt 98 - Fouille 2016



27% de plomb et 26% de cuivre +Ag ...

Bournonite avec malachite / bindheimite : 30 g



US 2006 Pt 43 - Fouille 2016

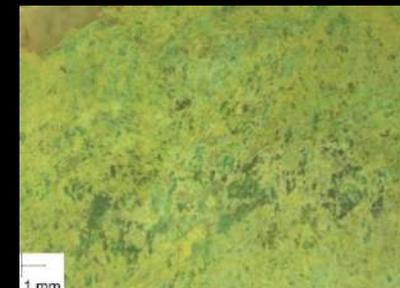


65% de plomb et 10% de cuivre

Malachite/Bindheimite : 99 g



US 2173 Pt 2309 - Fouille 2018



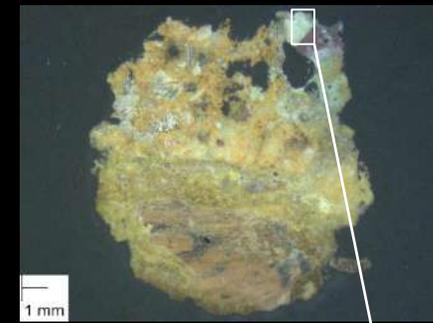
60% de plomb et 14% de cuivre

Les scories

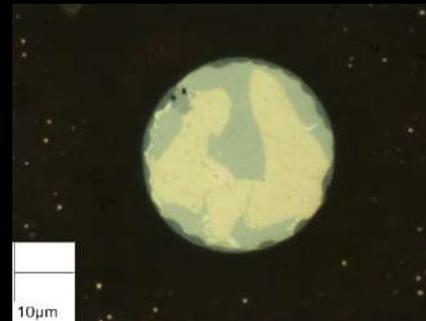
Scories chalcolithiques en section avec des microbilles de metal non corodées



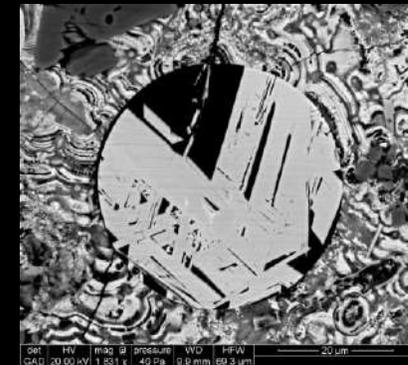
US 2096 Pt 1663



US 2050 Pt 1265



Microstructure d'une goutte de métal cuivre-argent-antimoine et plomb. Présence de sulfure sur les pourtours.



Goutte de métal : plomb
Lead metal drop

Fragments de métaux



US 2047 Pt 1397 – Excavation 2017

Nodule de plomb métal en section contenant 1% de cuivre et d'antimoine

Photos, analyse MEB : E.Dransart/EMTT



US 2164 Pt 2196 – Excavation 2018

Fragment de cuivre très altéré, avec un peu d'argent et d'antimoine.



Lingot de « plomb » découvert en 2019

Us 4041 ; Pt 3263

Poids 42,369 g

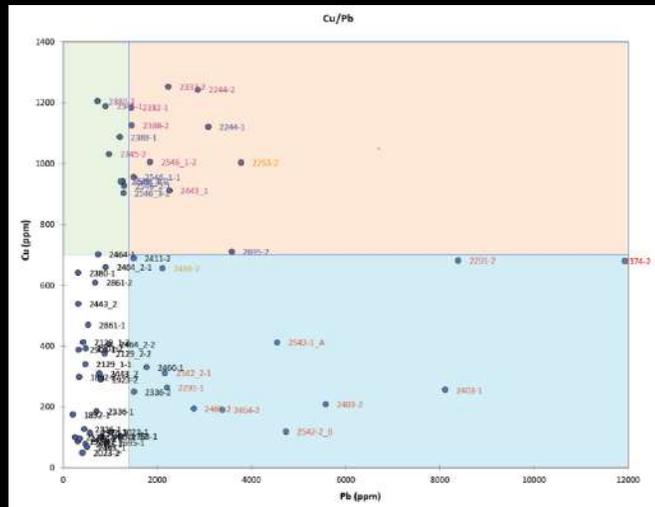


Artéfact en plomb découvert en 2019

US 4146

Des tessons avec dépôts scoriacés ou fortement chauffés

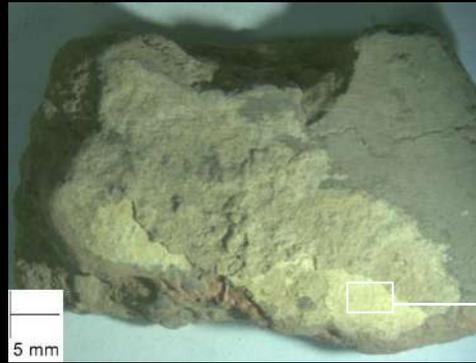
Analyse Xrf des surfaces



XRF : Mehmet Sha and Kévin Costa,
statistical study : Kevin Costa

Examen de tessons avec un dépôt jaunâtre

Ceramic fragment: examination of thin yellow deposits on inner wall



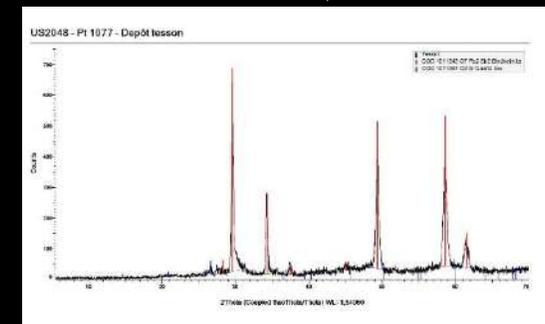
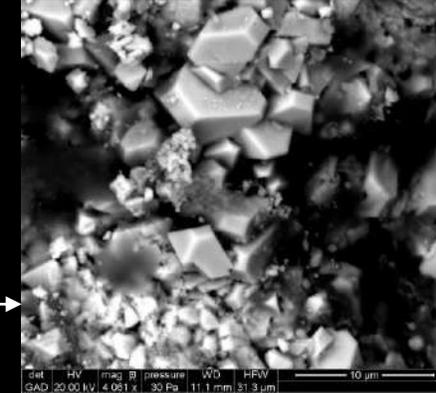
US 2048 Pt 1077 – Fouille 2017

Fin dépôts cristallisé riche en oxyde de plomb/antimoine. La structure cristalline est de la bindheimite. Présence de cuivre et d'arsenic (<3%)

Hypothèse : fin dépôt issu de vapeurs dégagées lors de la fusion du métal contenant cuivre, arsenic, plomb et antimoine dans le creuset

*Fine crystalline deposits of lead / antimony oxide whose crystalline structure is bindheimite
Presence of copper and arsenic (<3%).*

Possible hypothesis: fine deposits from vapors emitted during the heating of molten metal containing copper, arsenic, lead, antimony, in a refining crucible.



Spectre de diffraction X

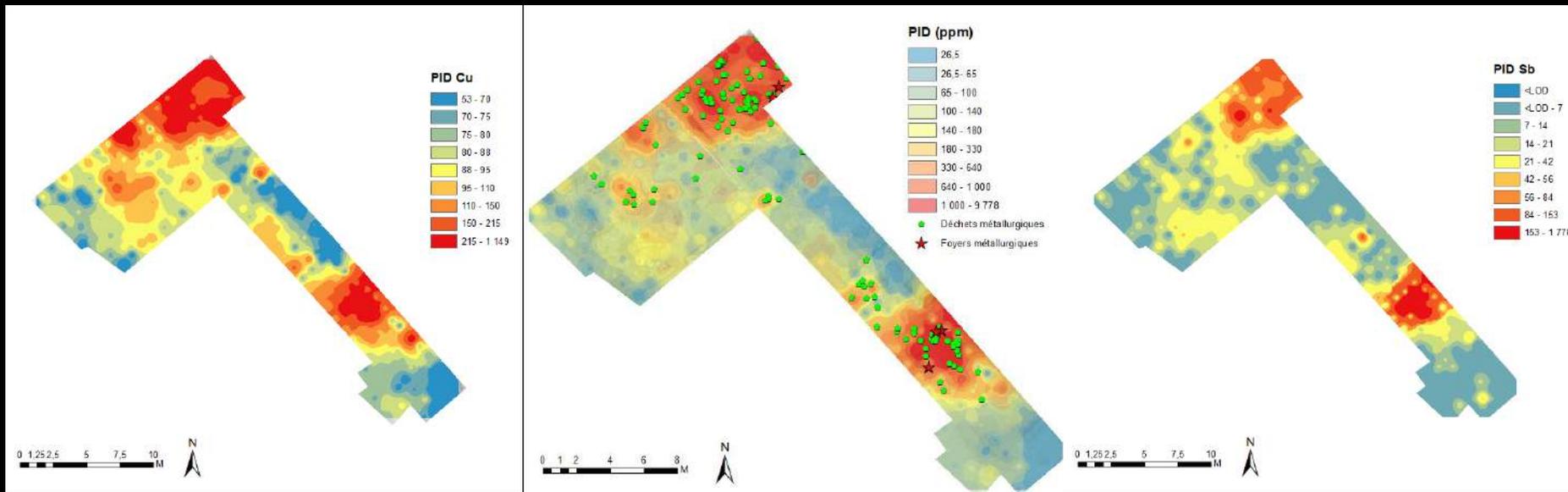
Analyses géochimiques(XRF)

Etude de la pollution des sols et des sédiments

Cu

Pb

Sb



XRF, Statistical study, GIS : Mehmet Sha, Kevin Costa

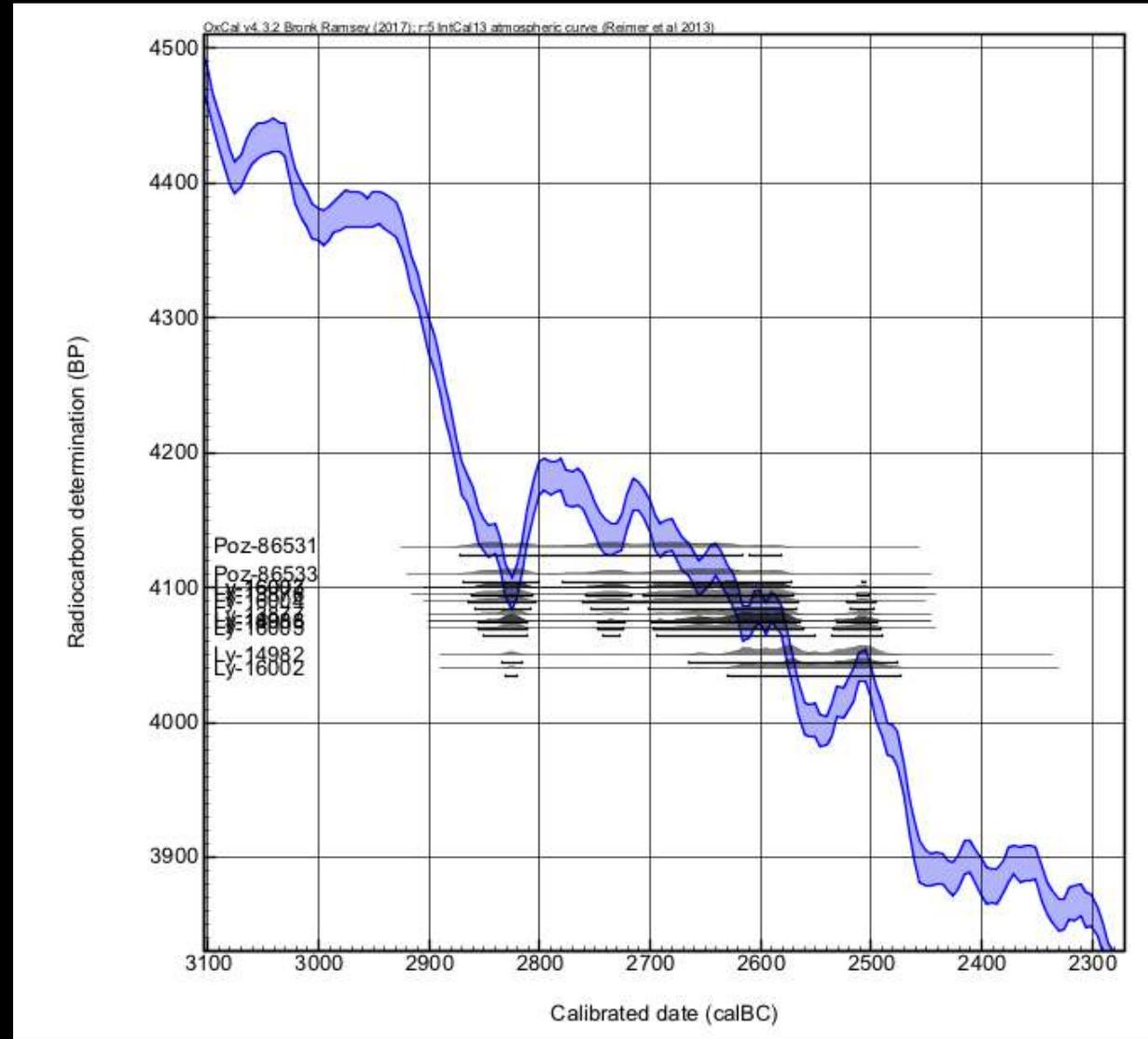
Datation

Douze datations ^{14}C AMS sur carporestes :

- Phases moyennes et récentes
- Toutes comprises entre 2873-2480 av. J.C.
- Phases anciennes non datées à ce stade

Archéomagnétisme sur 3 foyers :
2900-2500 av. J.C.

Dendrochronologie : possible plusieurs bois
>50 cernes : en cours

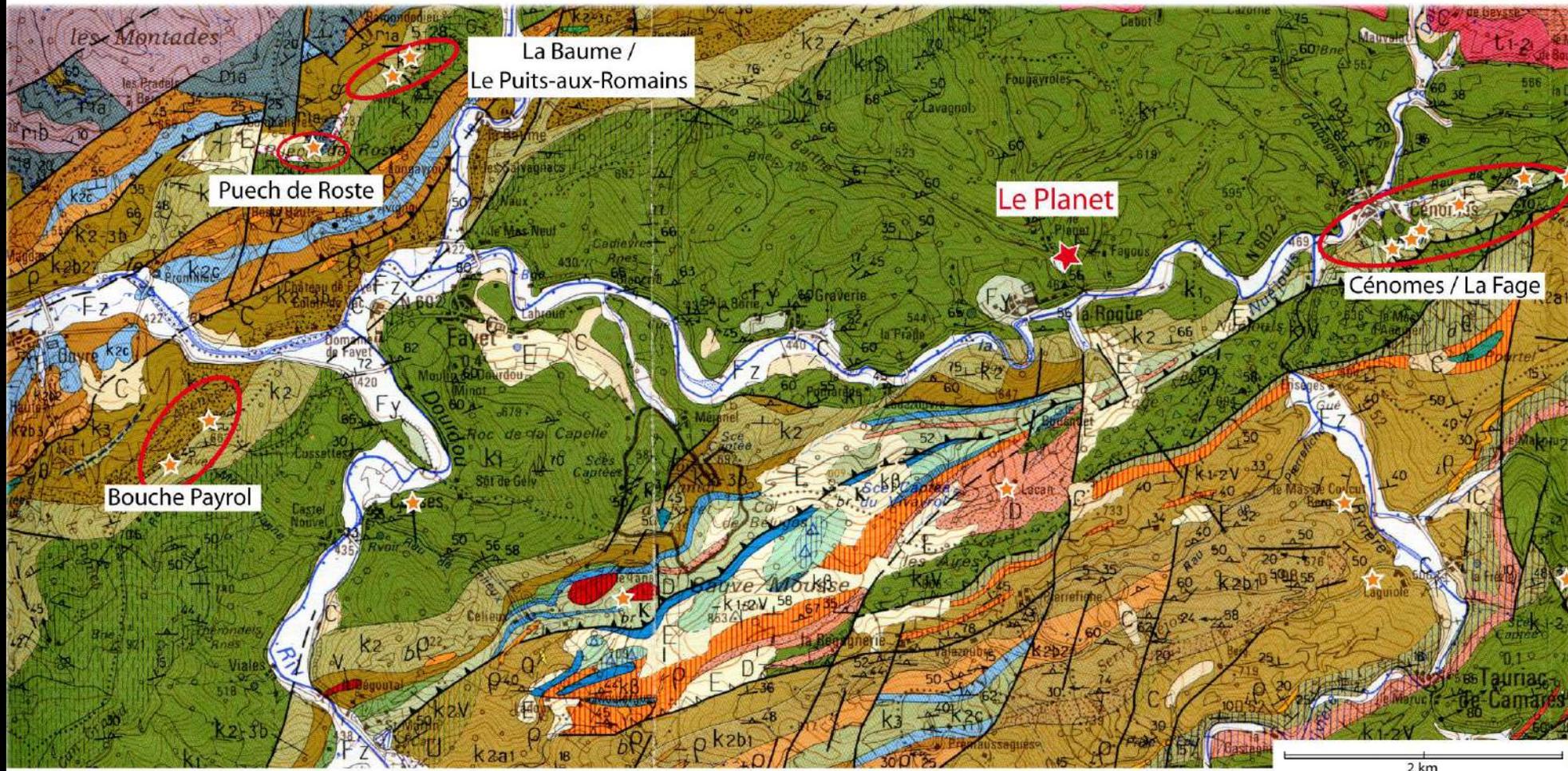


Site de comparaison : Cabrière-Peret (La capitelle du Broum)

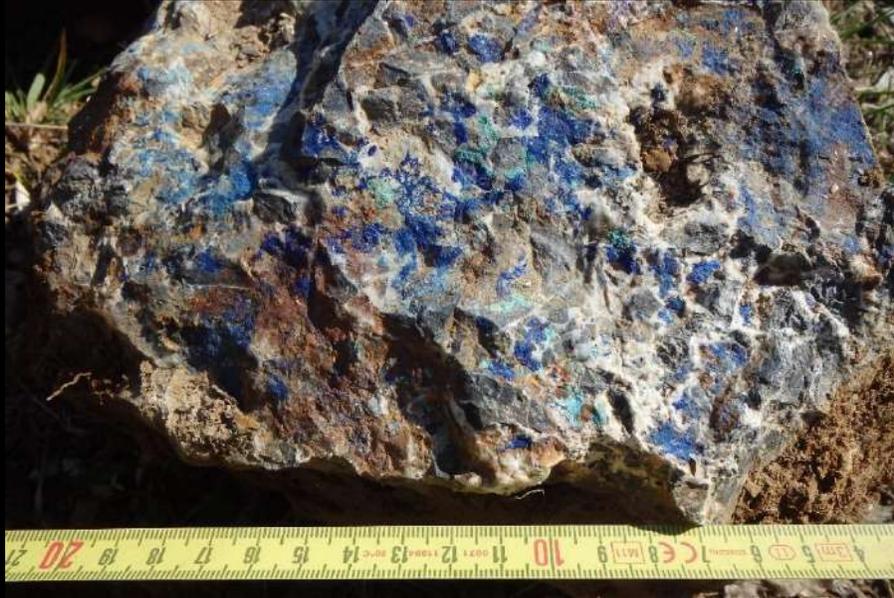


http://www.prehistoire.org/offres/file_inline_src/515/515_pj_090119_115533.pdf

Contexte minier du district de Fayet



De nombreux gîtes de minerais divers



Plusieurs types de minerais ont été trouvés en prospection

-Minerais sulfurés : Tétrahédrite et bournonite principalement

- Minerais d'altération oxydés ou carbonatés : Bindheimite (jaune), azurite (bleu) et malachite (verte)



Un environnement minier très riche



un district de 100 km²

protohistoriques

pré ou

Des milliers de marteaux de mineurs en roches magmatiques

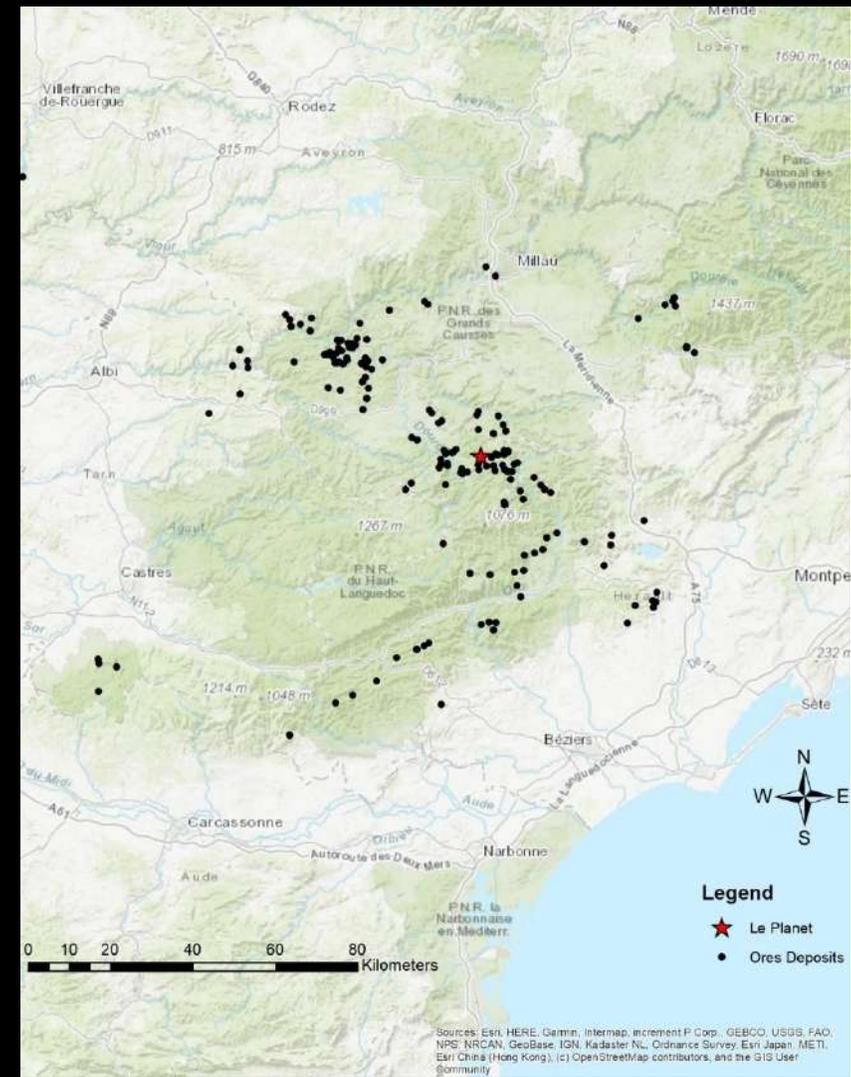


Programme collectif de recherches : Mines et métallurgies pré et protohistoriques en Occitanie

- Recenser et prospector les gisements de cuivre
- Constituer des bases de données (minerais et objets)
- Réaliser des analyses géochimiques (minerais et objets)
- Constituer un référentiel isotopique (minerais et objets)
- Mener des études environnementales et géomorphologiques
- Approches expérimentales



Petite entrée Bouche-payrol



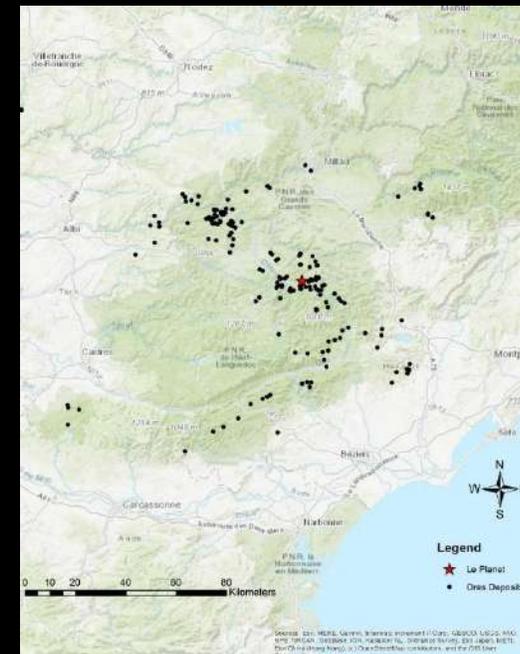
Quelques chiffres pour l'Aveyron

Minéralisation	150
Mines publiées	1 préhistorique, des mentions de travaux médiévaux
Mines référencées en 2019	45 de manière diachronique
Mobiliers archéologiques	900 objets néolithiques en cuivre
Sites métallurgiques pré/protohistoriques	1 en Aveyron, 1 Tarn et Garonne, 2 Tarn



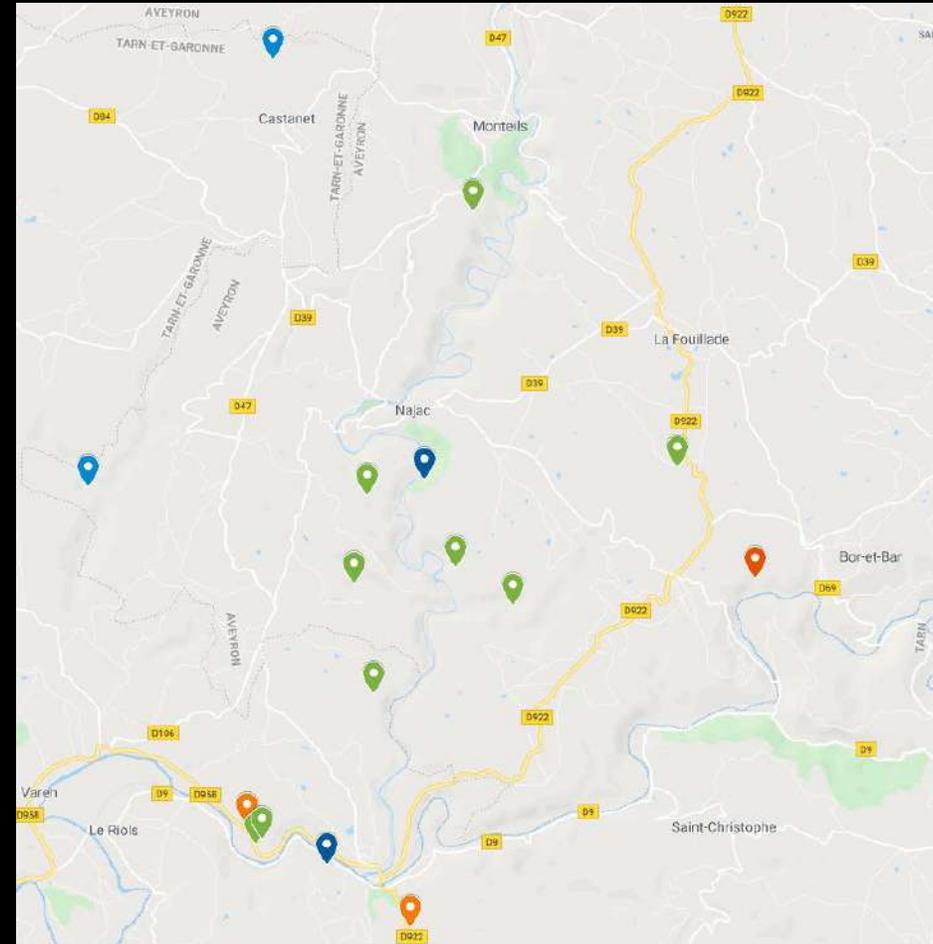
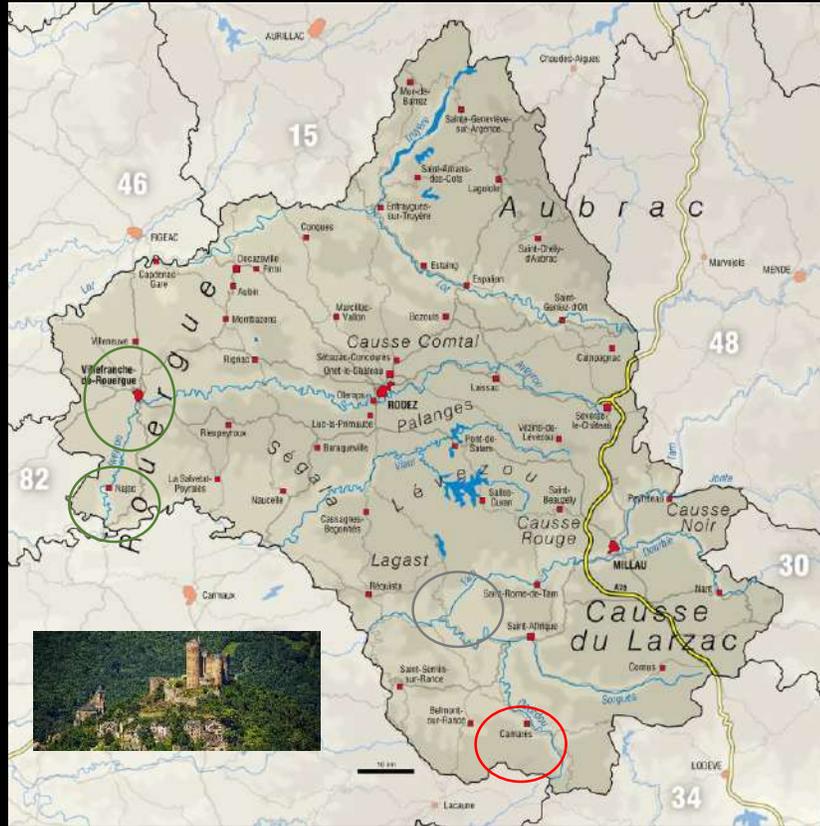
Quelques exemple de mines

District de Fayet (site du Planet)



Quelques exemple de mines

District de Najac (site du Al Clauss)



Quelques exemple de mines

District de Najac (site du Al Clauss)



Indices environnementaux

Impact géomorphologique

Impact sur les sols et les cours
d'eau

Déboisement ancien →
Dynamique érosive



Expérimentation



PLANCHE N°16

Expérimentation n°6 et n°7

60 % malachite RDC et 40 % minerai de Mourgis

Réduction (25/8/2019) et affinage (27 et 29/08/2019)

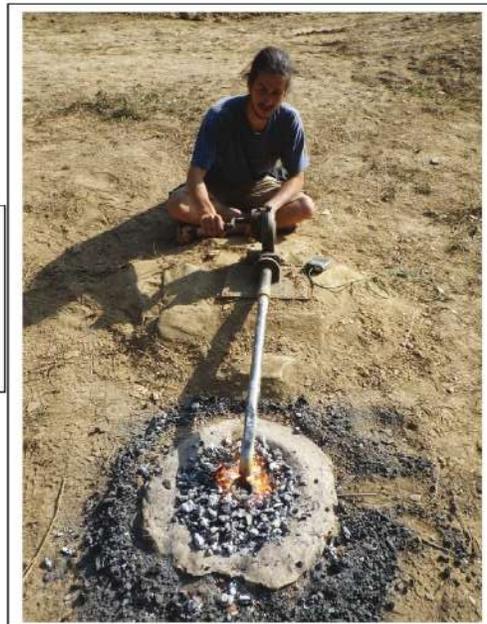
Opération de grillage/réduction : départ de dioxyde de soufre



Masse cuprifère avec scorie



Affinage avec fusion d'un
morceau de l'éponge
Manip 7 bis du 29 août
2019



Obtention d'une éponge
cuprifère de 523 g après
éparation des résidus de
scorie.



Intervenants : L'équipe de Planet





Photo 1

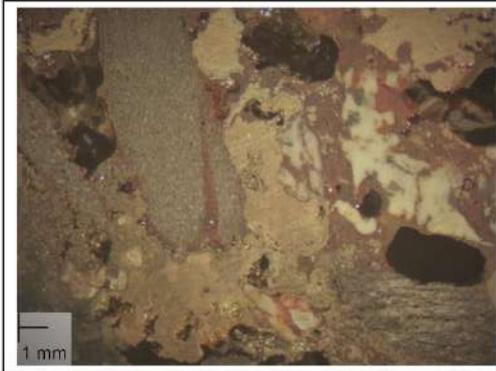


Photo 2

PLANCHE N°17
Examen binoculaire et
MEB
 Expérimentation n°6 et 7 bis

Structure très hétérogène avec nodules de cuivre chargés avec un peu de plomb et antimoine, zone très riche en composés soufre, antimoine, plomb, fragments de roches partiellement chauffés et fondus.

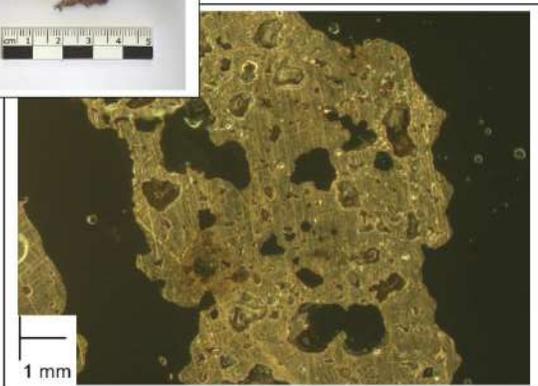


Photo 3

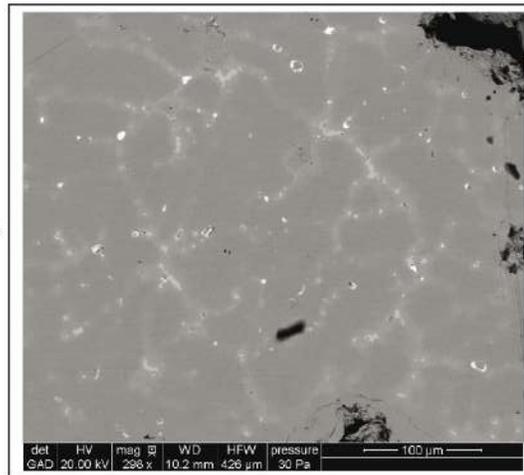
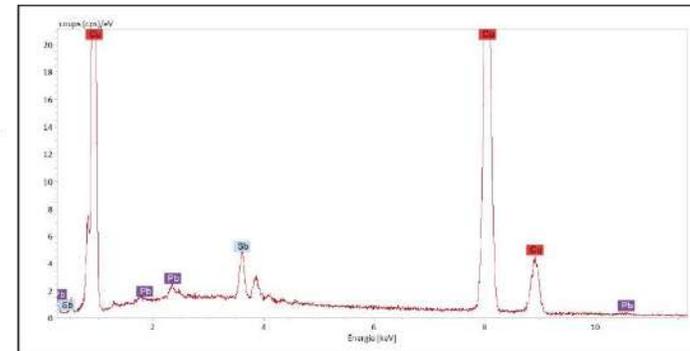


Photo 4

G x 426

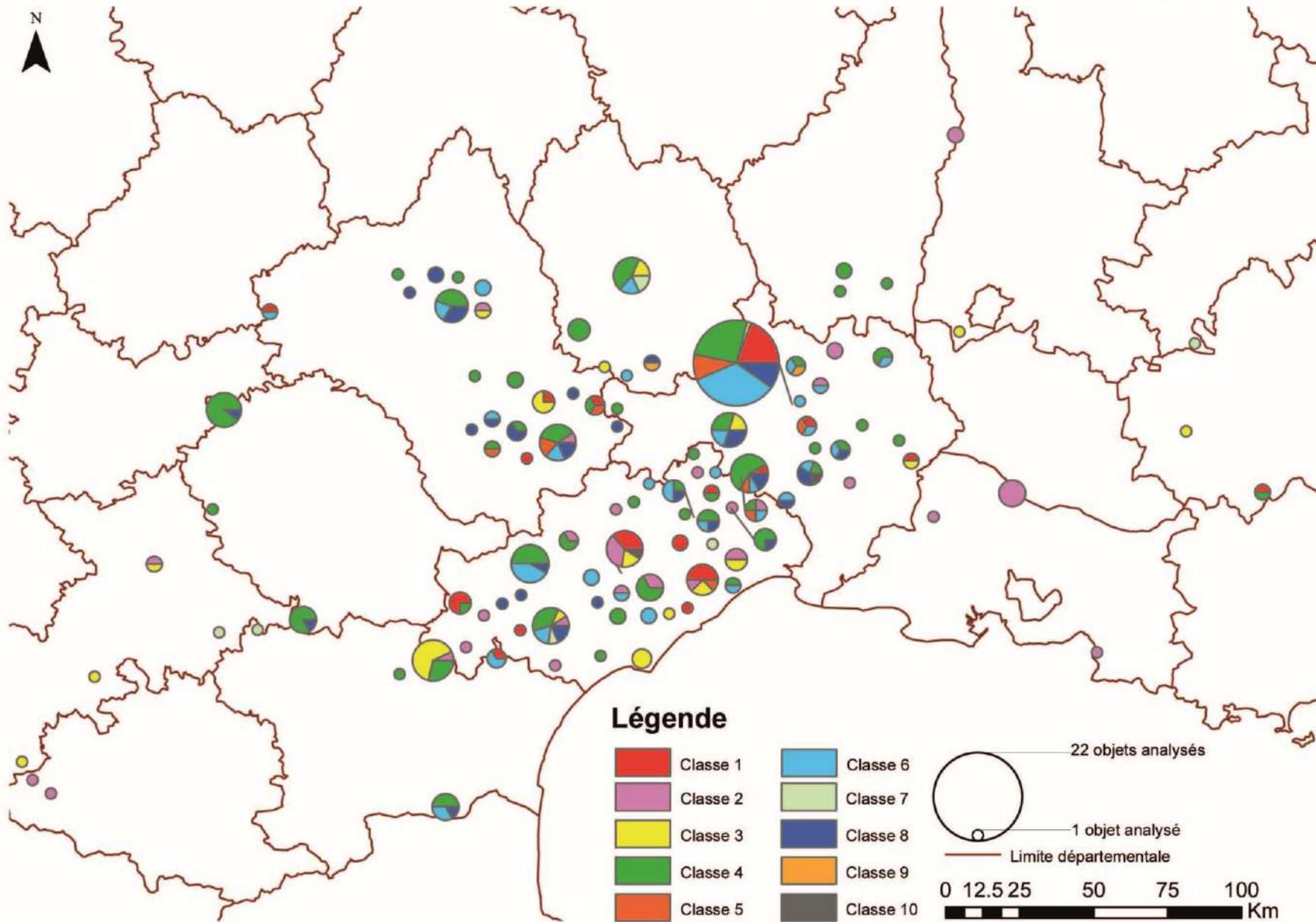
Analyse après fusion affinage :
 1% de plomb et 2,7 % d'antimoine.



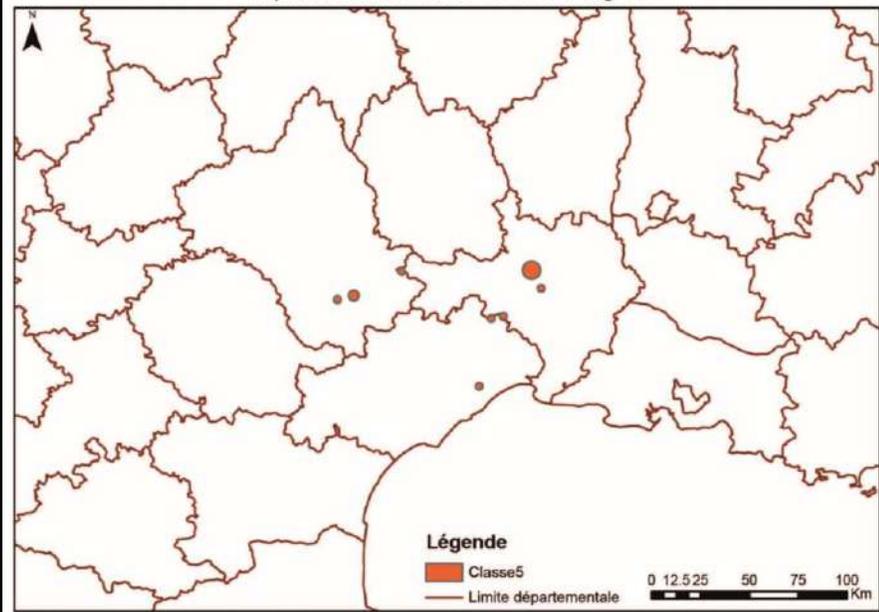
- Accès à des collections locales
 - Matériel de fouilles anciennes
 - Matériel de collection privé (découverte ancienne)
 - Dépôt dans des anciens lieux d'exposition municipaux ou mairie



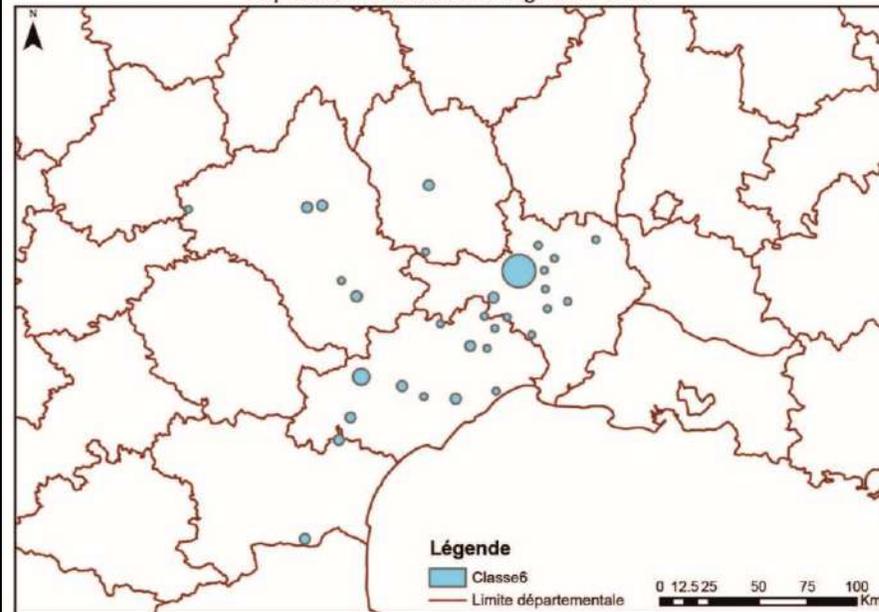
Répartition des classes statistiques des cuivres (Données issues de la bibliographie)



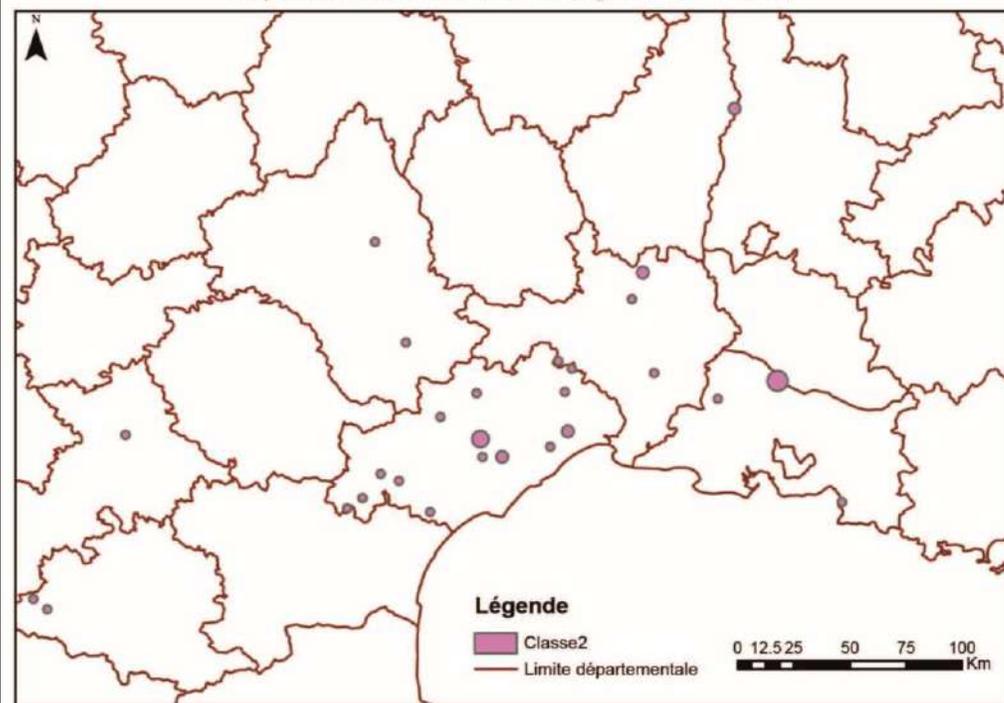
Répartition de la classe 5 : Sb>Pb>Ag>Ni

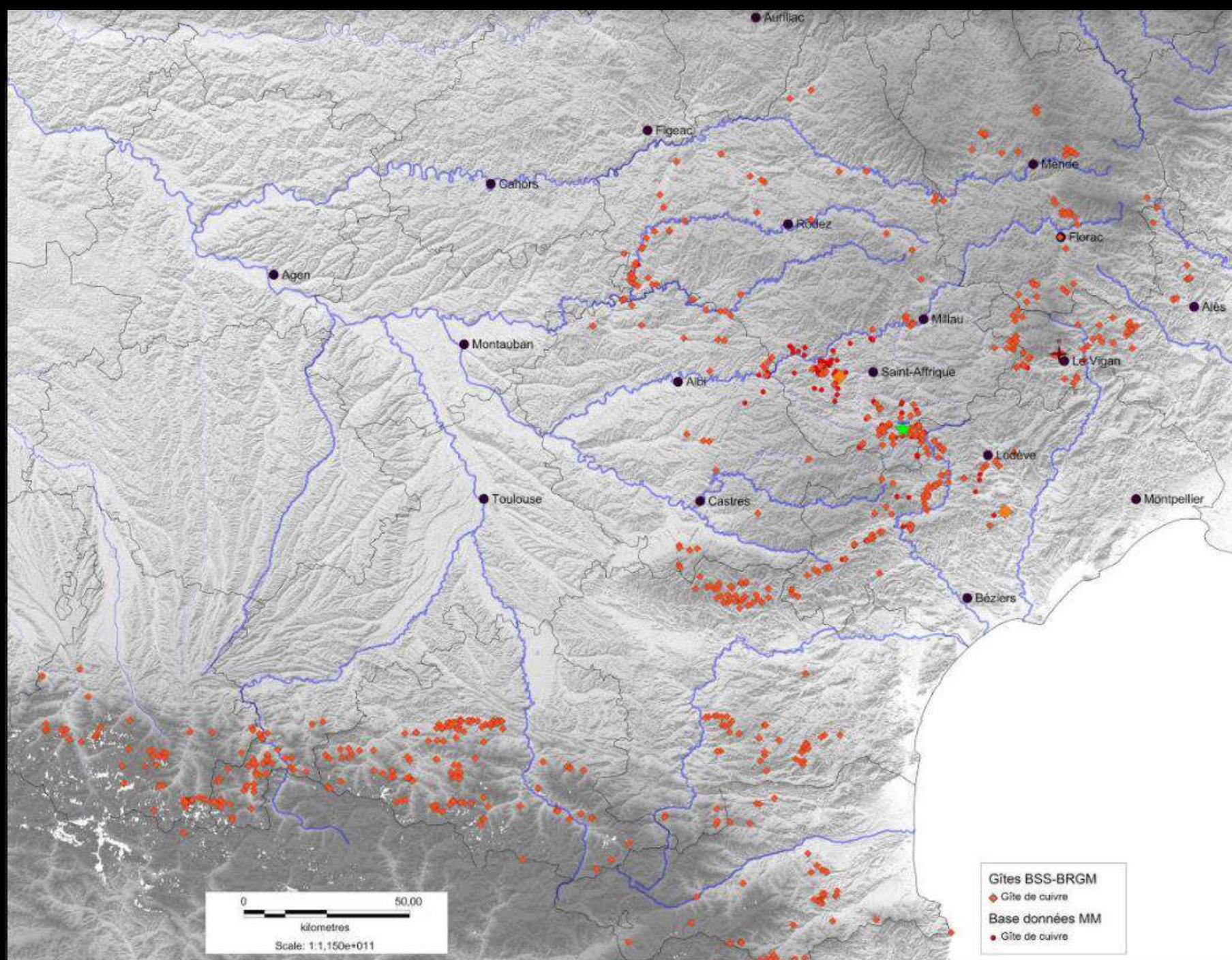


Répartition de la classe 6 : Ag>Sb>Pb>Ni

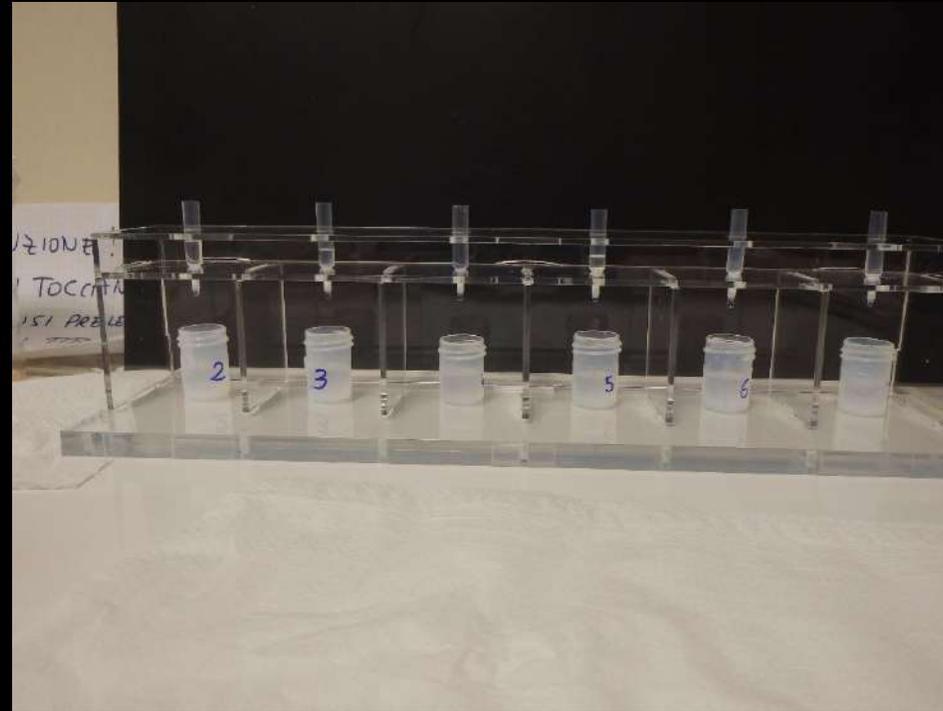


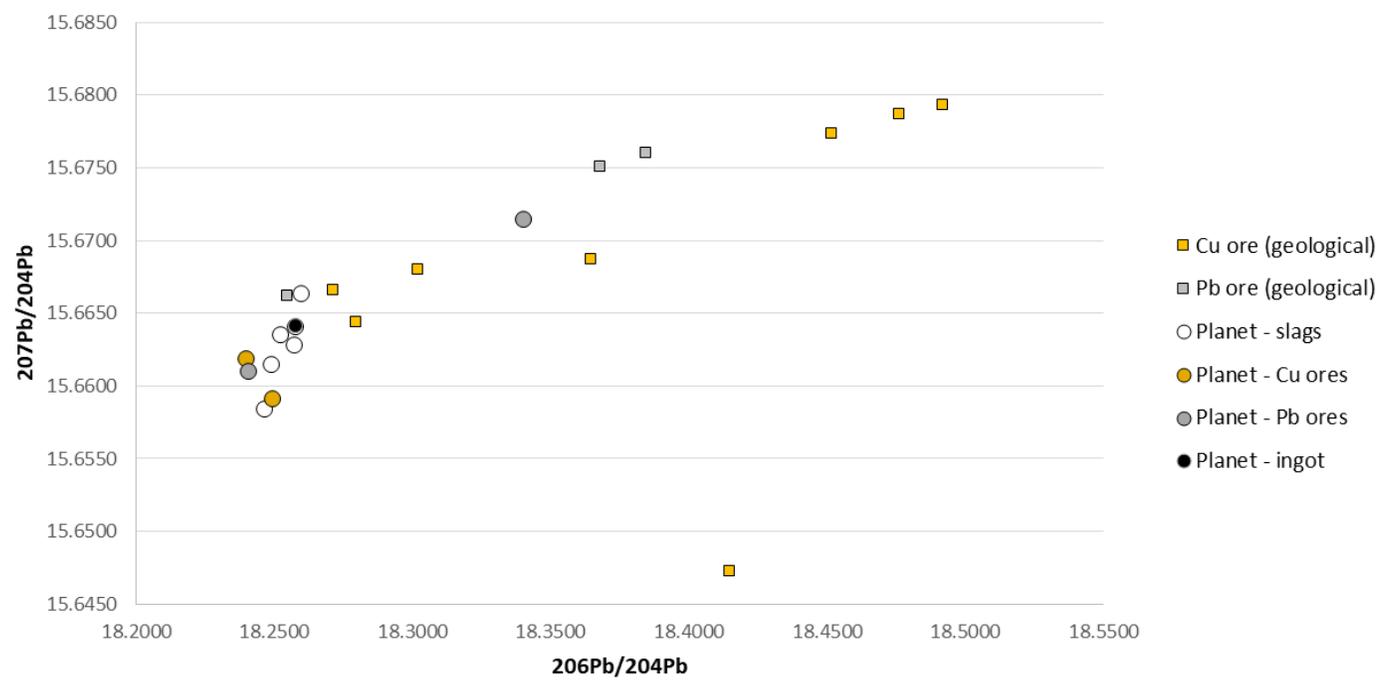
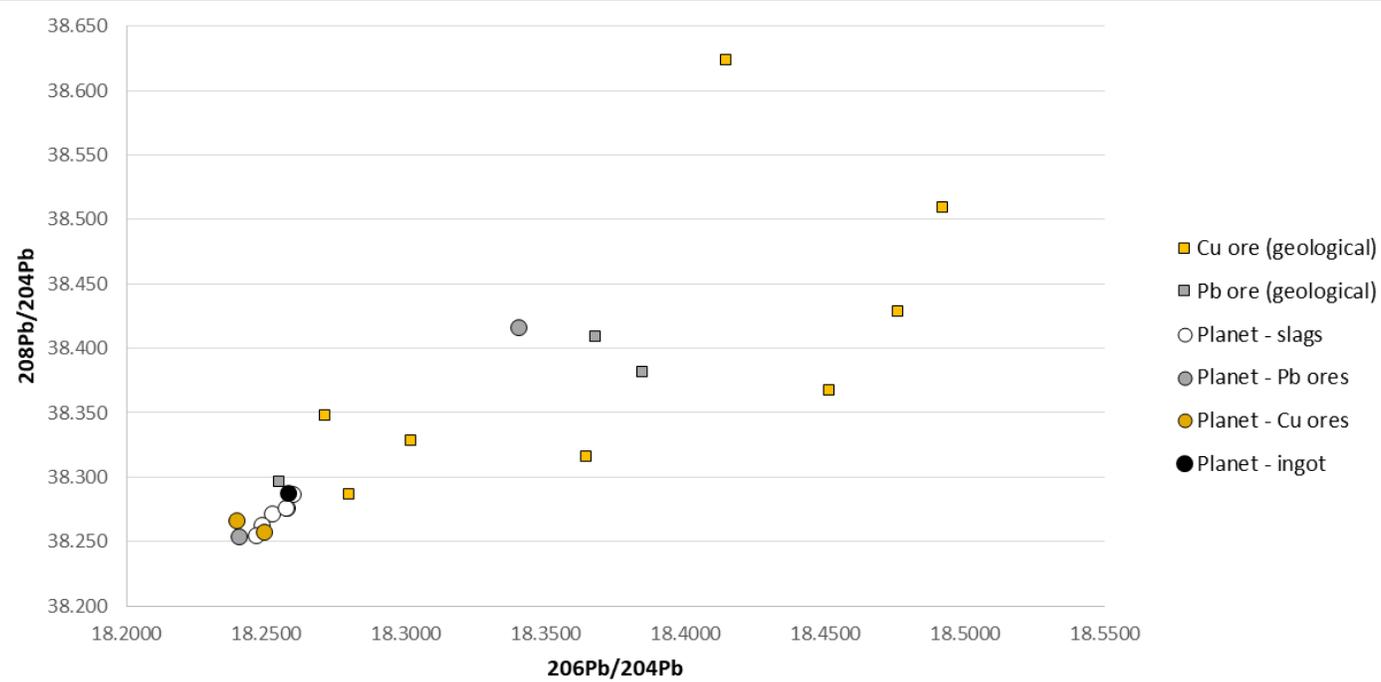
Répartition de la classe 2 : As>Ag>Ni>Pb>=Sb=Bi

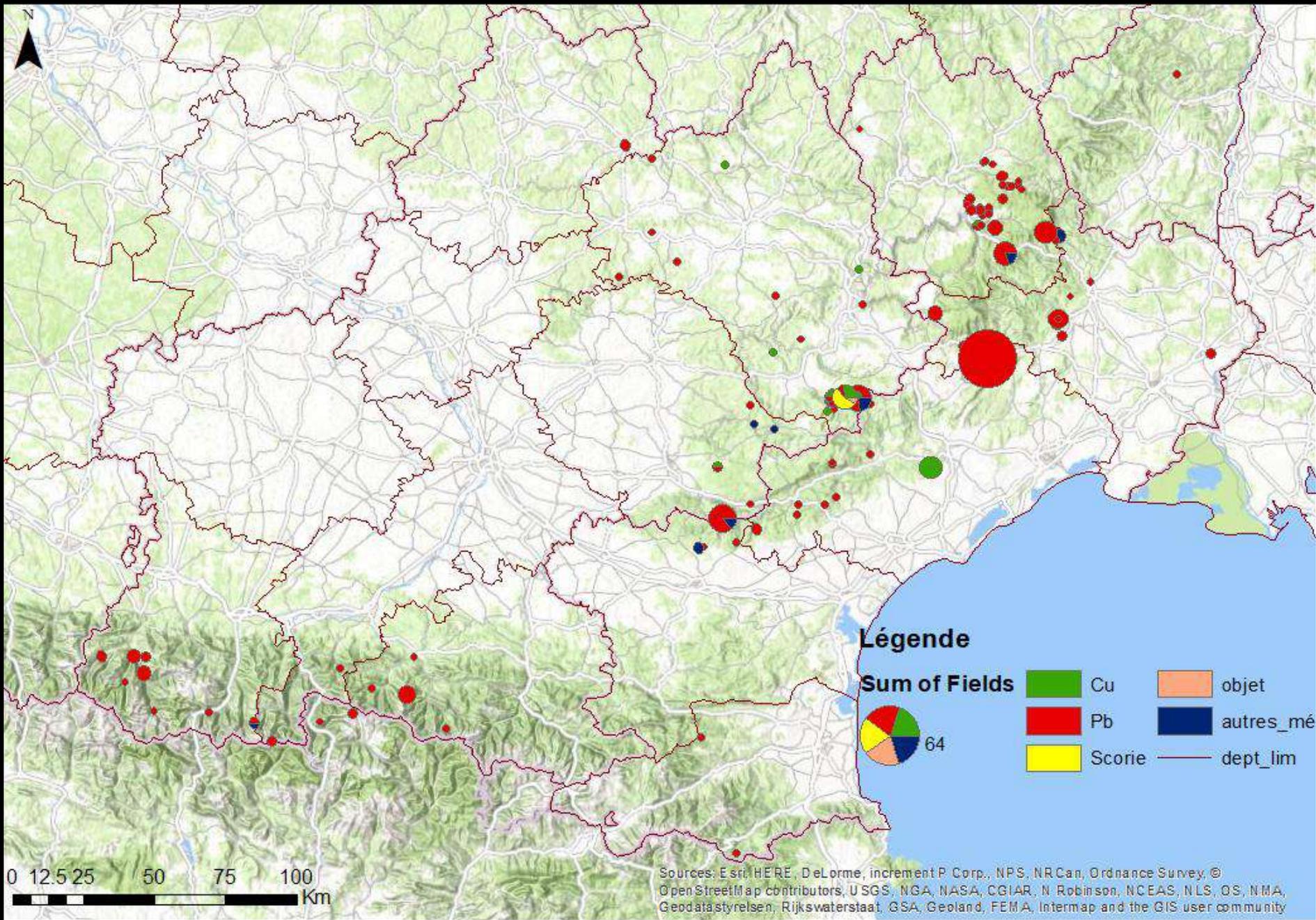


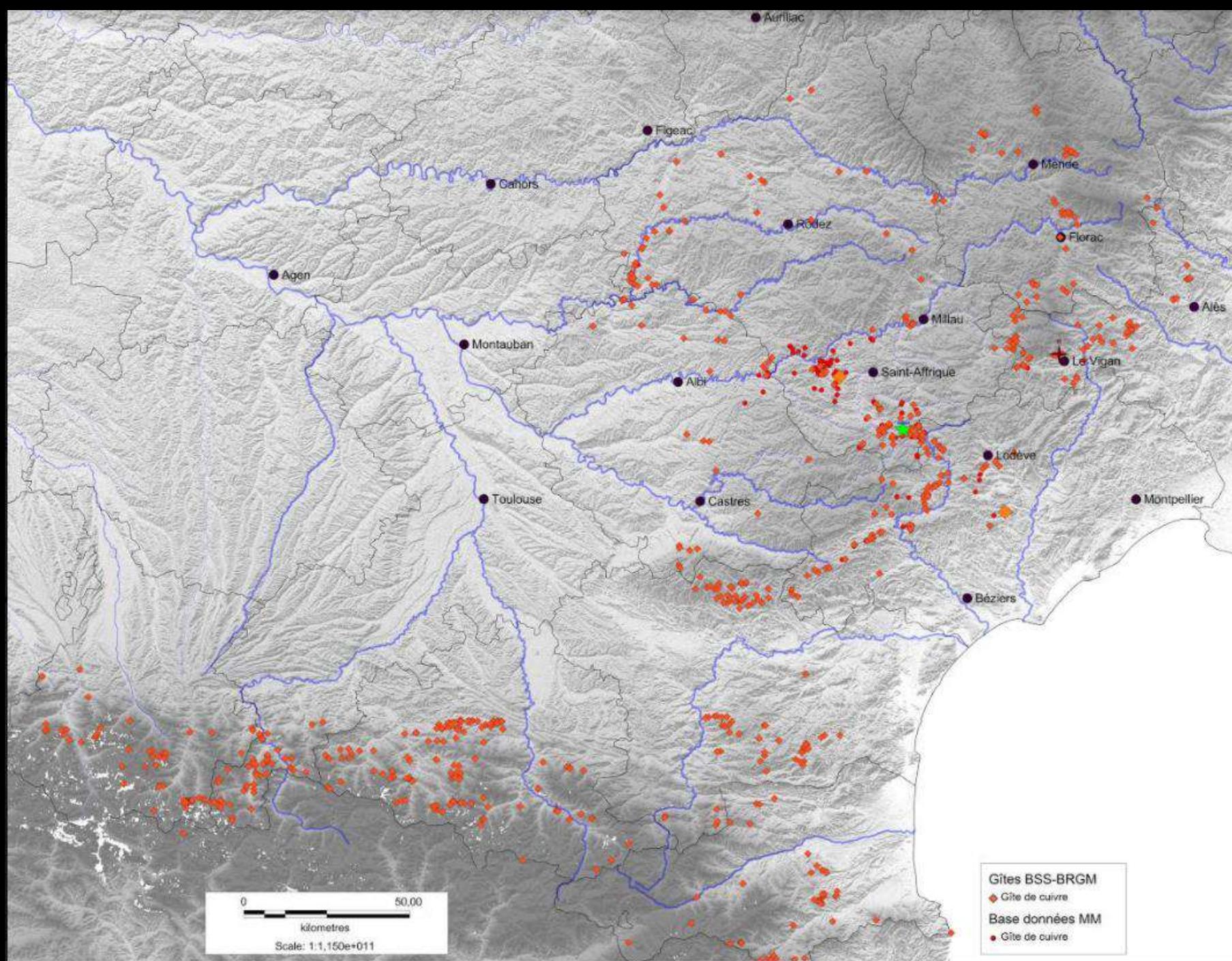


Analyses en cours

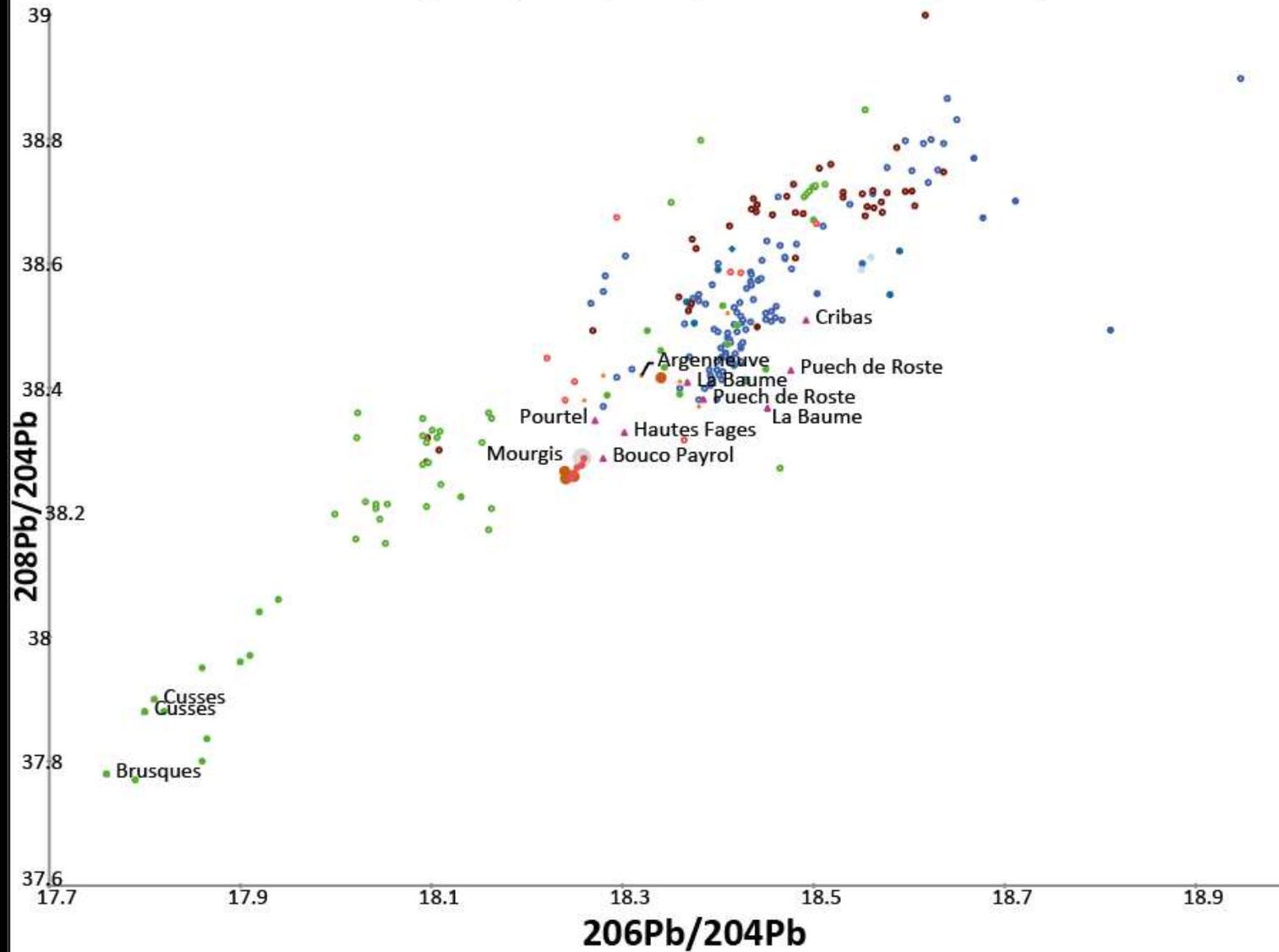






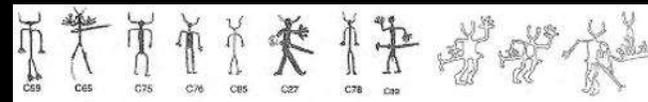
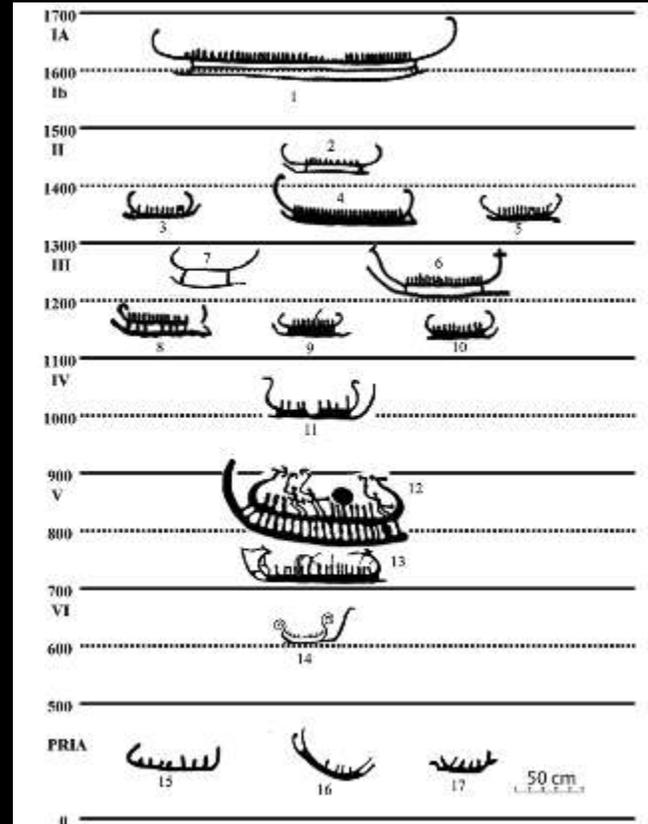
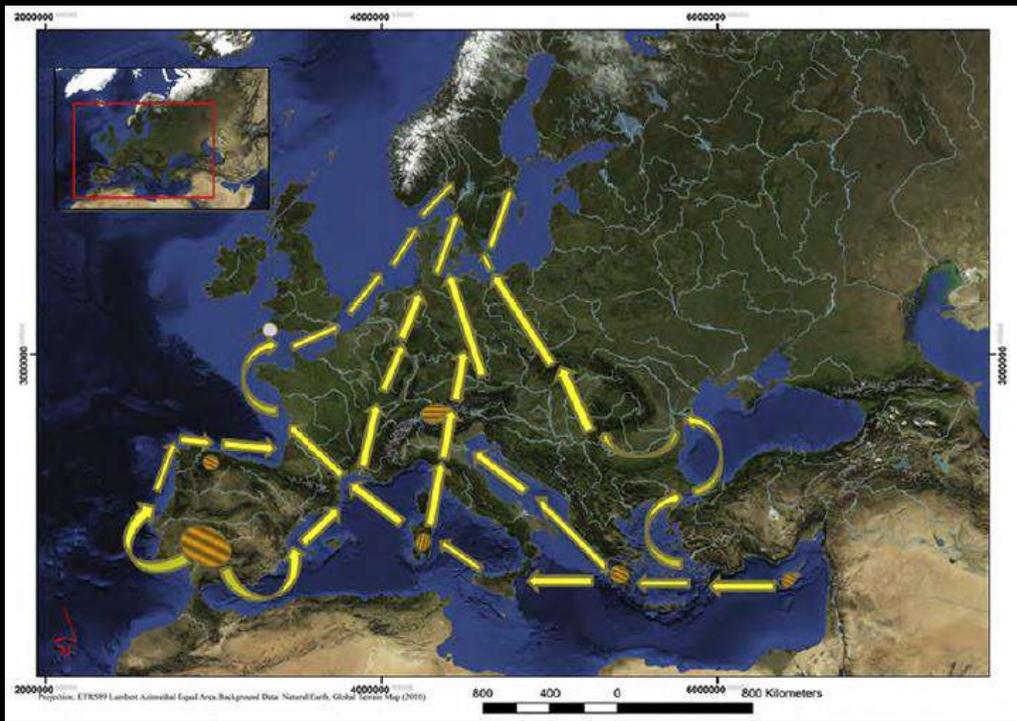


Nuage de points(208Pb/204Pb vs 206Pb/204Pb)



- | | | | |
|------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| • Cabrière | • Millavois | • Montagne Noire | • Lingot |
| • Cévennes | • Mont Faulat | • Pyrénées | • Scorie Planet |
| • Fayet | • Mont Lacaune | • Vallée du tarn | • Minerais Planet |
| • Massif Central | • Mont Lozère | • Vallée de l'Aveyron | |

Témoignages de transports à longue distance en Europe

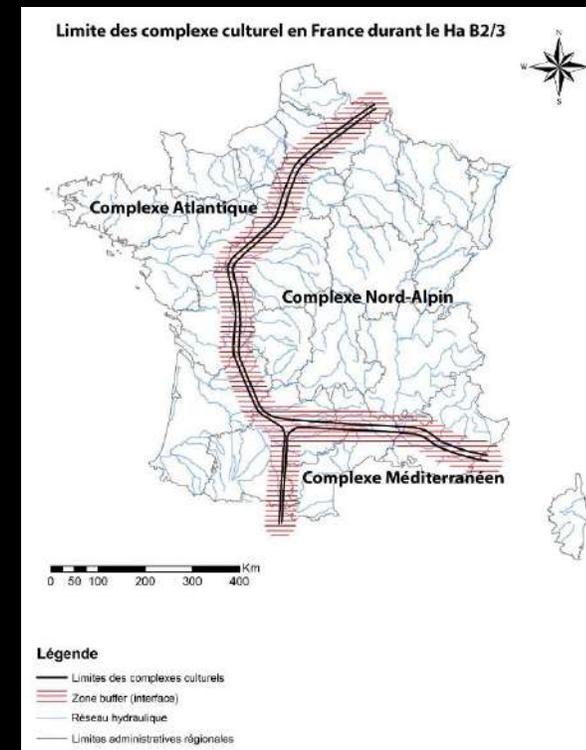
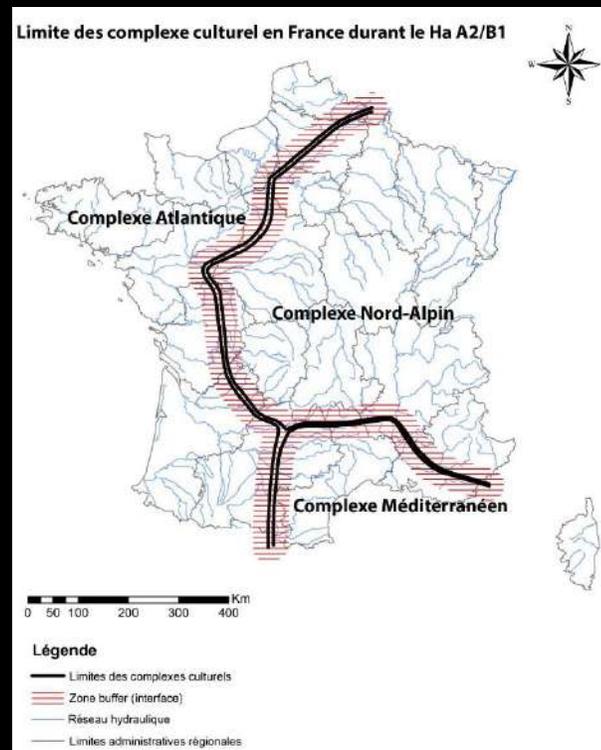


- Peintures rupestres (embarcations, guerriers, lingots de cuivre)
- Transport terrestre
- Lingots de cuivre mycéniens figurés partout en Europe
- Commerce de l'ambre
- Commerce d'objets finis (armements en bronze, parures en or et bronze)

Cadre chronologique

Age du Bronze			Age du Fer
Bronze Ancien	Bronze moyen	Bronze final	1 ^{er} Age du Fer
2000 av.	1600 av.	1350 av.	800 av.
			400 av.

Cadre géographique et culturel



Corpus et méthode

- **Bases de données** à l'échelle de la France, du dépôt et de l'objet
 - Datations (du site, du mobilier)
 - Typologies des objets
 - Détails des analyses archéométallurgiques réalisées

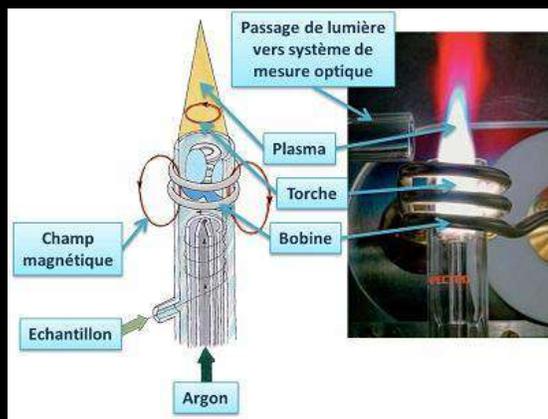
Période	Nombres de dépôts	Nombre d'objets	Nombres d'analyses disponible
Néolithique récent/final	190	240	-
Bronze Ancien	994	1730	72
Bronze Moyen 1	849	2162	218
Bronze Moyen 2	2466	11375	313
Bronze final I/IIa	980	4149	212
Bronze final IIb/IIIa	726	5998	575
Bronze final IIIb	1706	15423	1270
Ha C	34	93	0
Ha D1	424	33422	Moins de 100
Ha D2/3	79	177	Moins de 10 analyses

Objectifs

- Adopter une approche novatrice dans l'étude des dépôts non funéraires à l'échelle d'un territoire comme la France
- Réalisation d'une thèse pluridisciplinaire fondée sur l'archéologie, la géologie, la géochimie, la chimie, les statistiques et la cartographie.
- Déterminer l'importance des facteurs naturels et culturels sur le choix des matières premières et les réseaux d'approvisionnement en cuivre.



Méthode



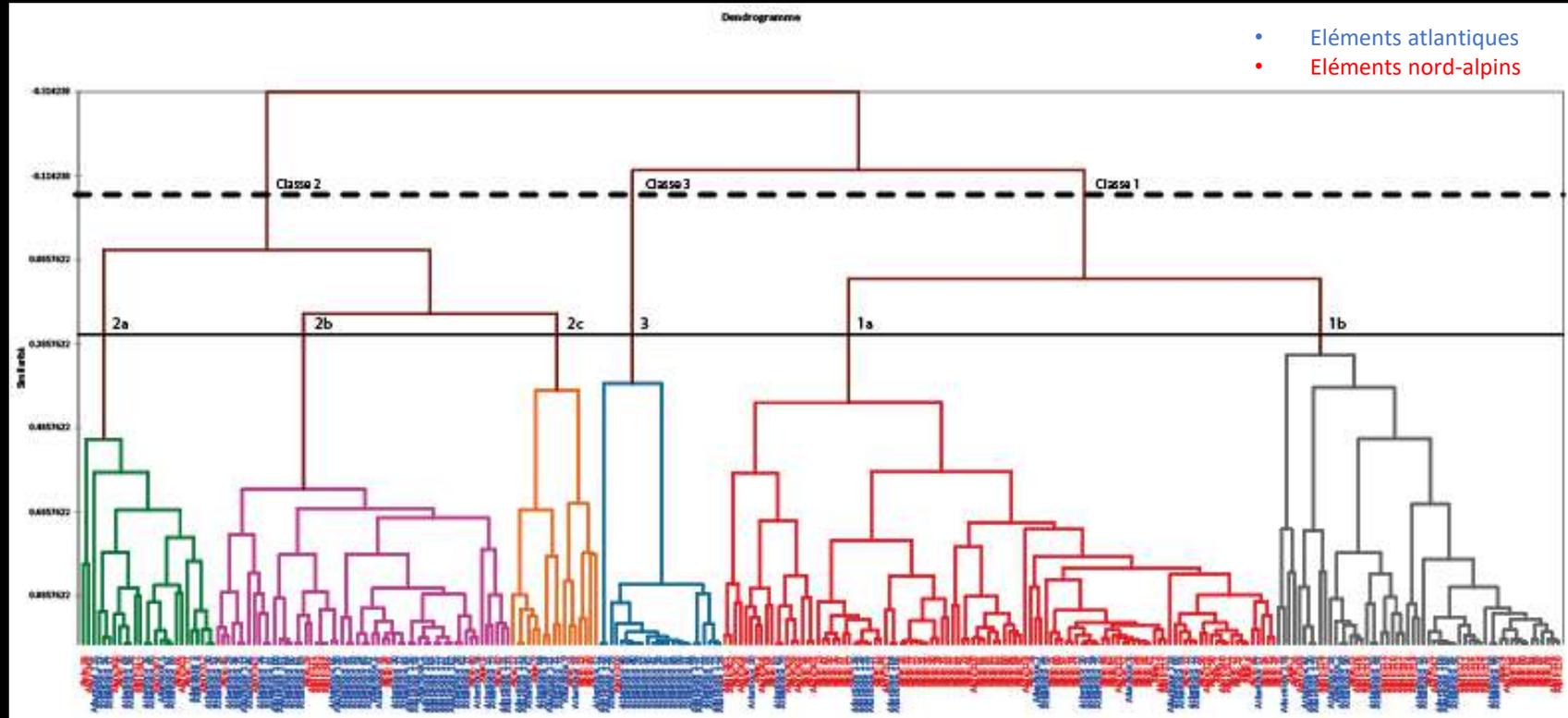
Catégorie	Datation	Cu	Sn	Pb	Ag	As	Bi	Fe	Ni	Sb	Zn	Mn
Hache	Bronze Final IIIb	86.21	13.5	0.2	0.02	0.05	0.002	0.001	0.001	0.015	0.0001	0.0001
Hache	Bronze Final IIIb	87.7	10.2	1.9	0.03	0.05	0.001	0.005	0.02	0.07	0	0.001
Hache	Bronze Final IIIb	62.3	10.2	21.2	0.005	0.05	0.001	0.08	0.001	0.01	0	0
Armement	Bronze Final IIIb	86	9	4	0.07	0.07	0.005	0.001	0.01	0.07	0	0
Armement	Bronze Final IIIb	87.3	6.4	1.9	0.05	0.08	0.001	0.001	0.07	0.1	0	0.001
Armement	Bronze Final IIIb	84.5	10.2	4.7	0.07	0.1	0.007	0	0.01	0.2	0	0
Armement	Bronze Final IIIb	88	6.4	1.6	0.07	0.1	0.003	0.001	0.07	0.1	0	0.001
Parure	Bronze Final IIIb	71.2	13.2	10.5	0.1	0.2	0.003	0.001	0.05	0.5	0	0
Armement	Bronze Final IIIb	88.5	8.5	1.7	0.1	0.2	0.1	0.001	0.2	0.3	0	0.001
Armement	Bronze Final IIIb	80.5	9.2	1.4	0.05	0.25	0.002	0.001	0.01	0.15	0	0
Hache	Bronze Final IIIb	85.8	13	1	0.015	0.008	0.001	0.04	0.03	0.1	0.0001	0.001
Parure	Bronze Final IIIb	71.9	4.5	7.15	0.4	0.3	0.08	0.5	0.1	0.25	14.8	0

- Analyses de composition élémentaires :
 - Vision sur les éléments issus des minerais réduits : nature, approvisionnement
 - Insuffisant pour des questions de provenances précises
 - Vision sur les pratiques métallurgique : choix anthropique, technique et traitement métallurgique

Méthode

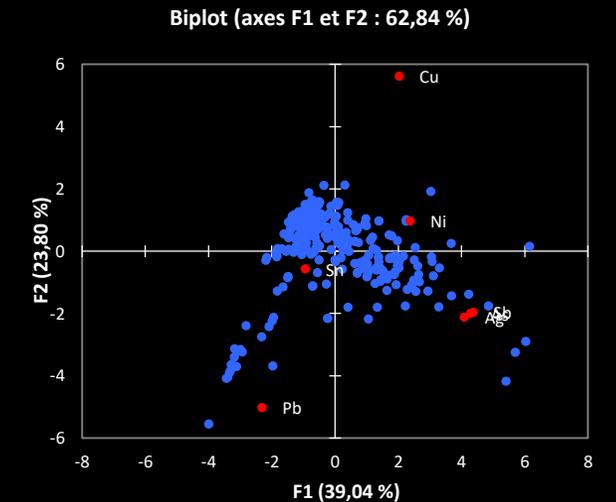
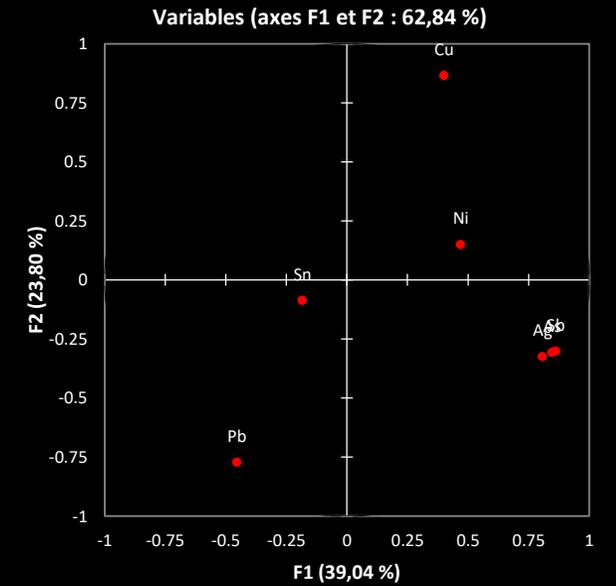
- **Traitements statistiques**

- Normalisation des données archéométallurgiques
- Analyses en composante principale (ACP)
- Classification ascendante hiérarchique (CAH)

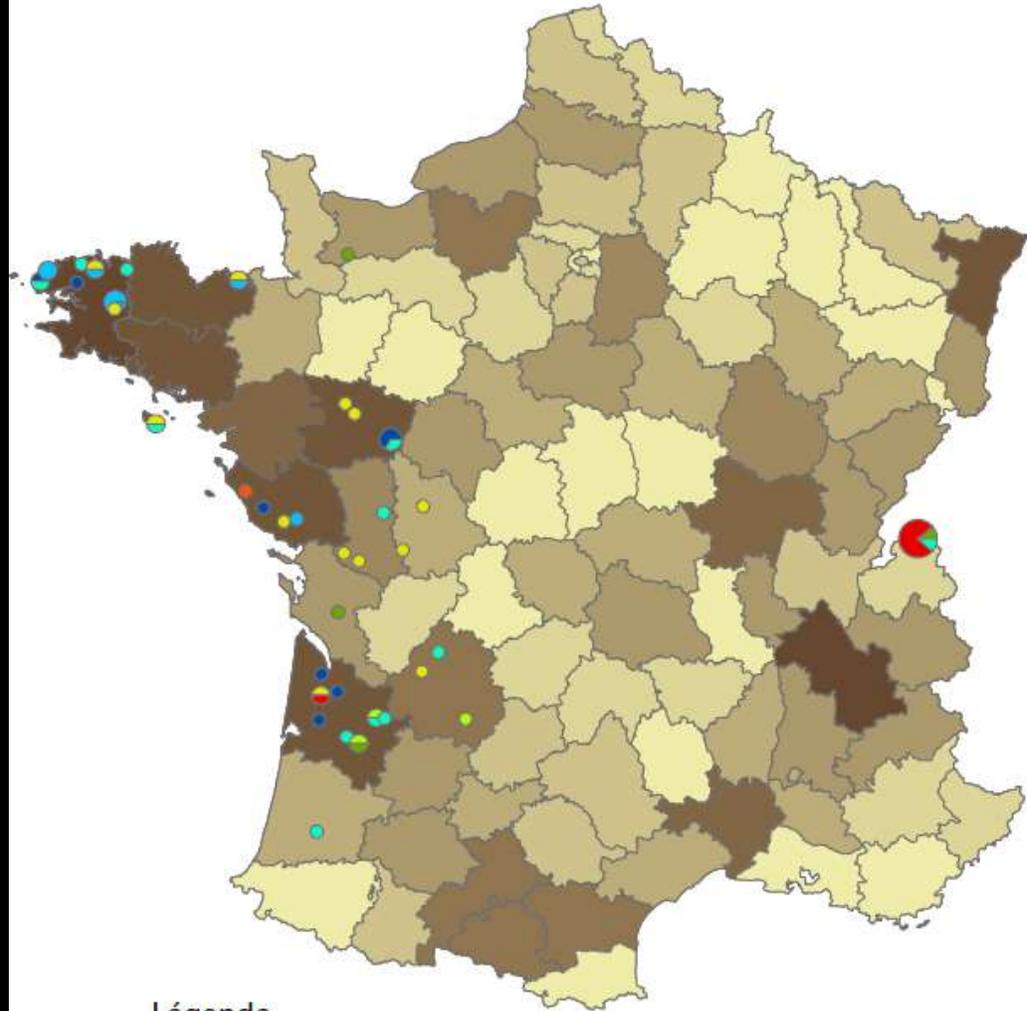


- **Cartographie**

- Report des classes statistiques dans le SIG
- Analyses spatiales de la répartition de ces classes



Etudes des éléments traces des dépôts de l'âge du Bronze Ancien.



Légende

Classes statistiques

Classe1	Classe6
Classe2	Classe7
Classe3	Classe8
Classe4	Classe9
Classe5	Classe10

Décomptes des dépôts

0 - 2	15 - 18
3 - 4	19 - 21
5 - 7	22 - 25
8 - 10	26 - 31
11 - 14	32 - 44

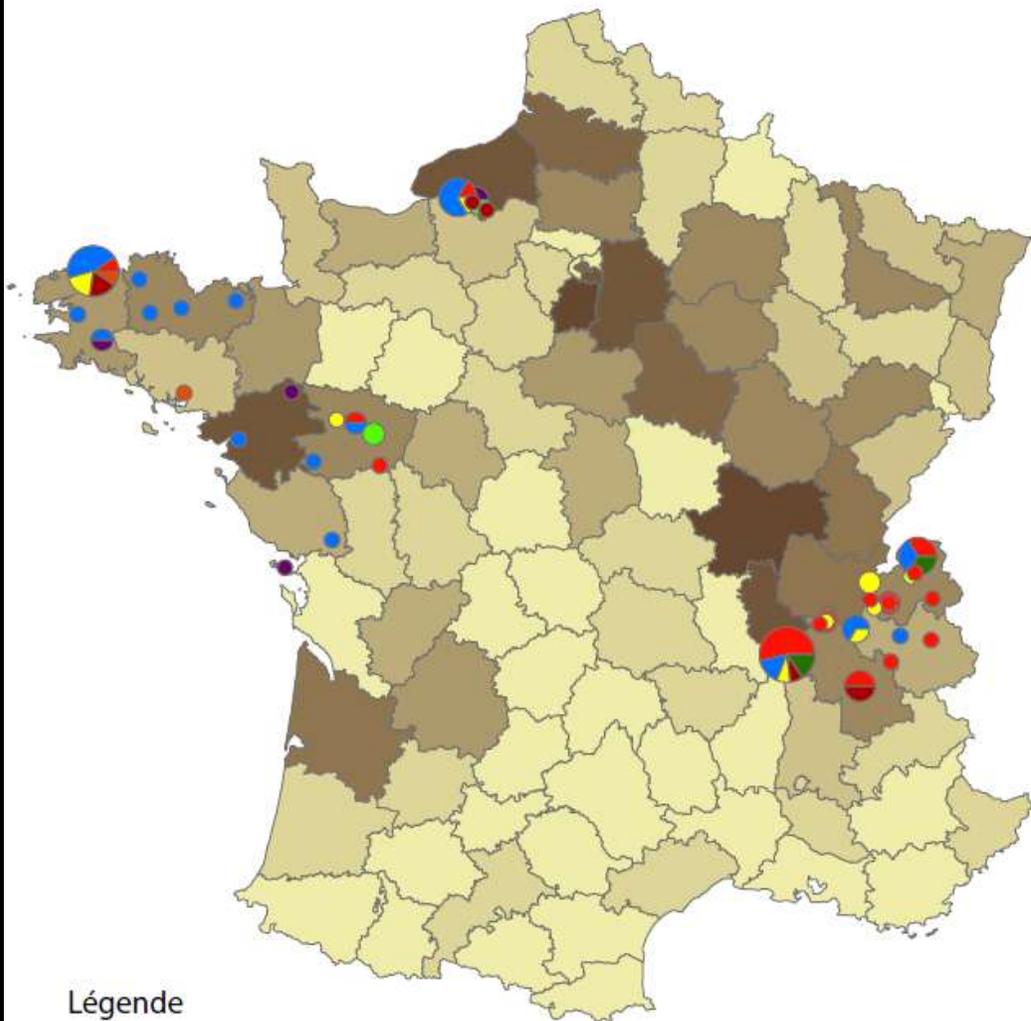
Bronze Ancien (2200 – 1600 BCE)

Analyses statistiques des analyses d'éléments traces :

- Différences entre les données alpines et atlantique et différence entre le Centre Ouest et le massif armoricain

Lacunes : Bretagne, Normandie

Etudes des éléments traces des dépôts de l'âge du Bronze Final 1.



Légende

Classes statistiques

 Classe1	 Classe6
 Classe2	 Classe7
 Classe3	 Classe8
 Classe4	 Classe9
 Classe5	 Classe10

Décomptes des dépôts

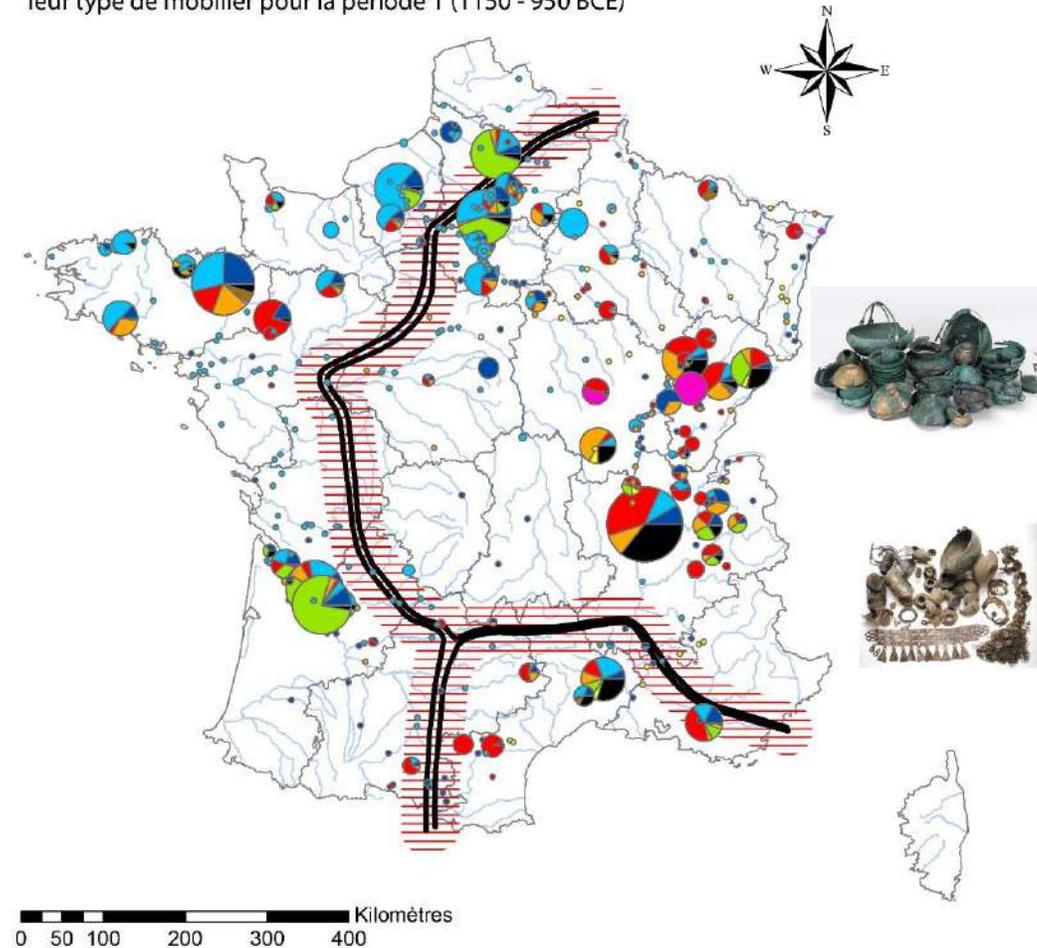
 0 - 2	 15 - 18
 3 - 5	 19 - 25
 6 - 8	 26 - 35
 9 - 11	 36 - 42
 12 - 14	 43 - 70

Bronze Final 1 (1350 – 1150 BCE)

- Classes statistiques :
 - Spécifiques des Alpes (Classe 1, 5 et 9)
 - Spécifiques du massif armoricain (Classe 2 et 3)
- Lacunes :
 - Centre de la France
 - Bassin parisien
 - Sud Ouest
 - Bourgogne

Corpus

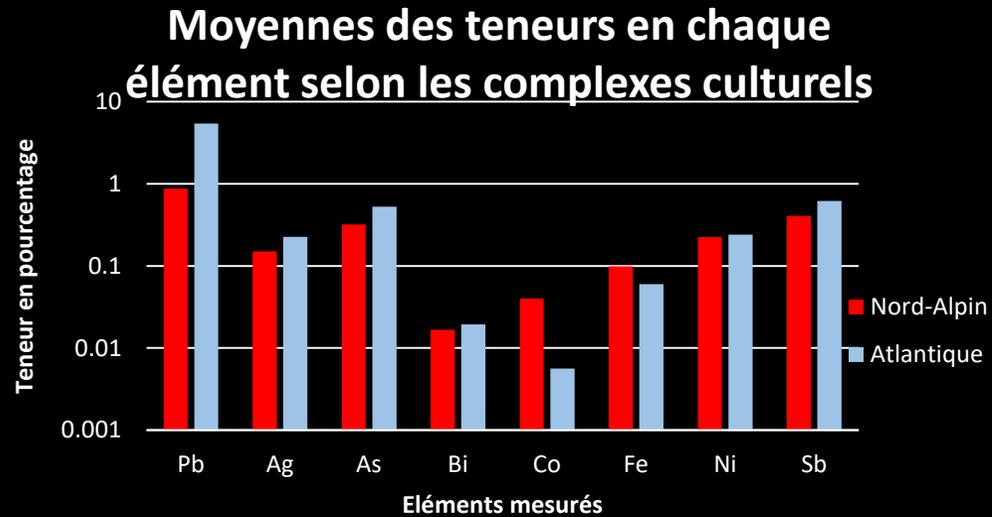
Répartition spatiale des dépôts non funéraires en France selon leur type de mobilier pour la période 1 (1150 - 950 BCE)



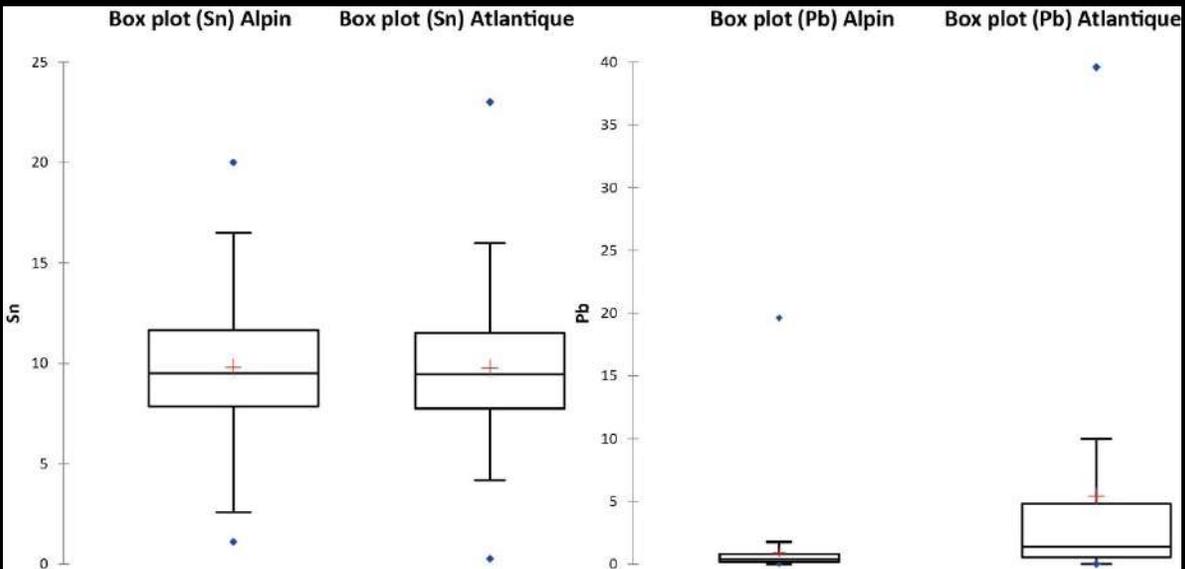
- 726 dépôts
 - 466 dépôts nord-alpins
 - 229 dépôts atlantiques
 - 31 dépôts méditerranéens
- Complexe nord-alpin :
 - Parures
 - Outils
- Complexe atlantique :
 - Armes
 - Haches

Résultat

Période 1 (1150 – 950 BCE)



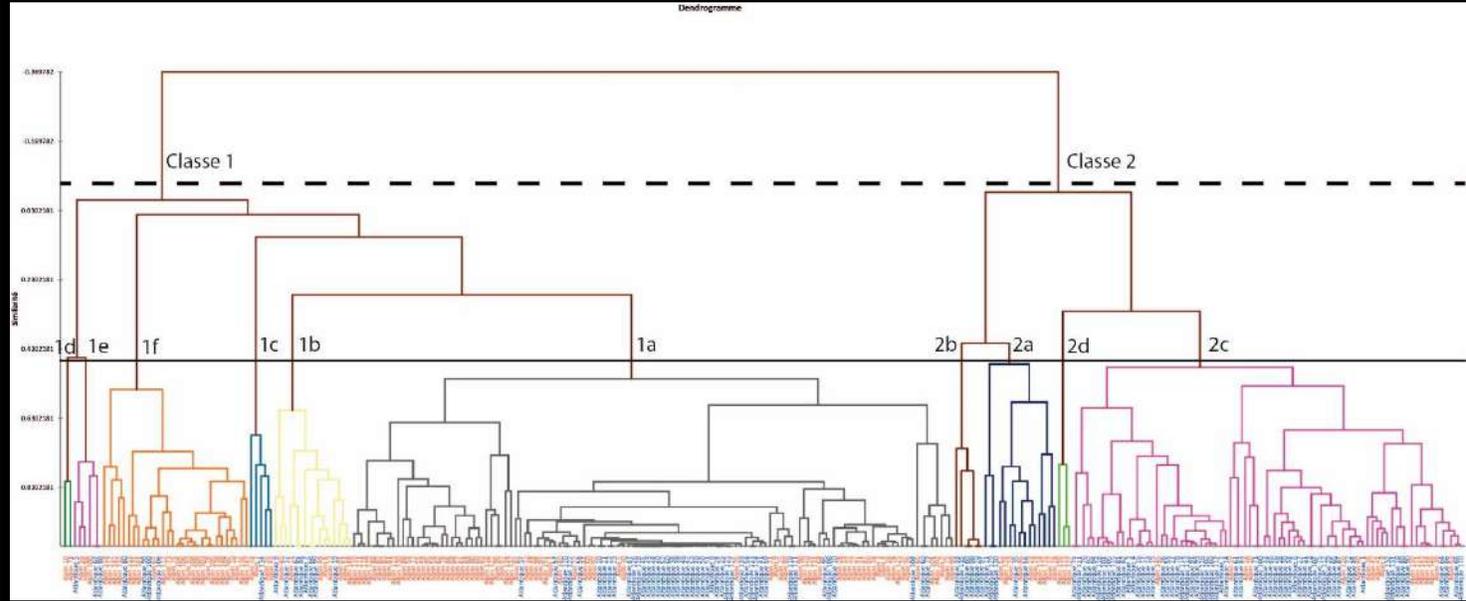
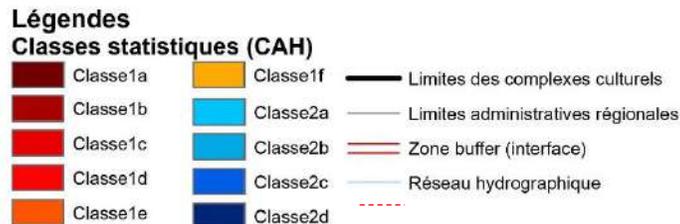
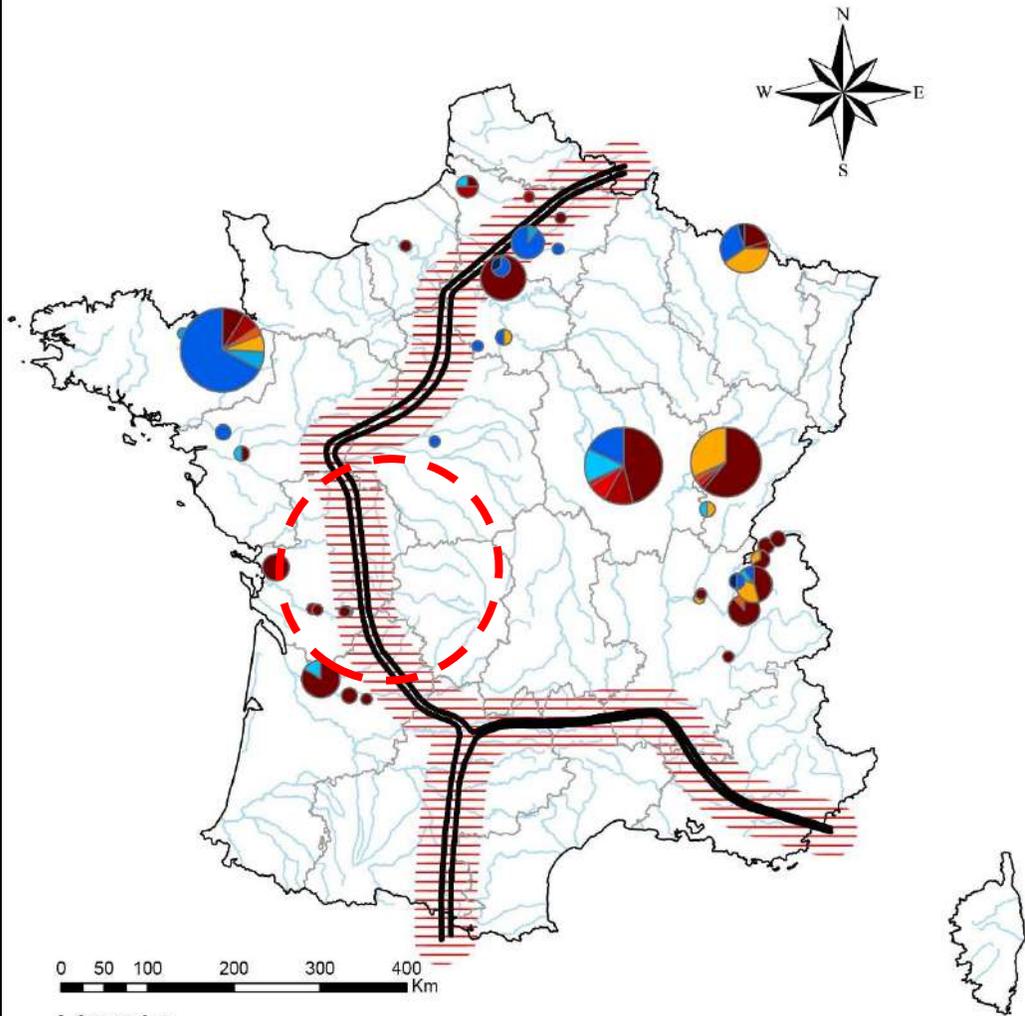
- Teneurs :
 - Atlantique : Pb, Ag, As et Sb
 - Nord-alpin : Co, Fe
- Type de bronze:
 - Atlantique : cuivres riches en éléments traces et ajout de plomb intentionnel
 - Nord-alpin : cuivres plus pauvres en éléments traces



- Variances :
 - Éléments d'alliages : Différence de variance pour le plomb
 - Éléments traces : variances semblables
- Atlantique : composition hétérogène à l'échelle du complexe culturel au niveau des éléments d'alliages

Résultat

Répartition des classes statistiques déterminées par CAH pour l'ensemble des éléments traces durant la périodes du Ha A2/B1

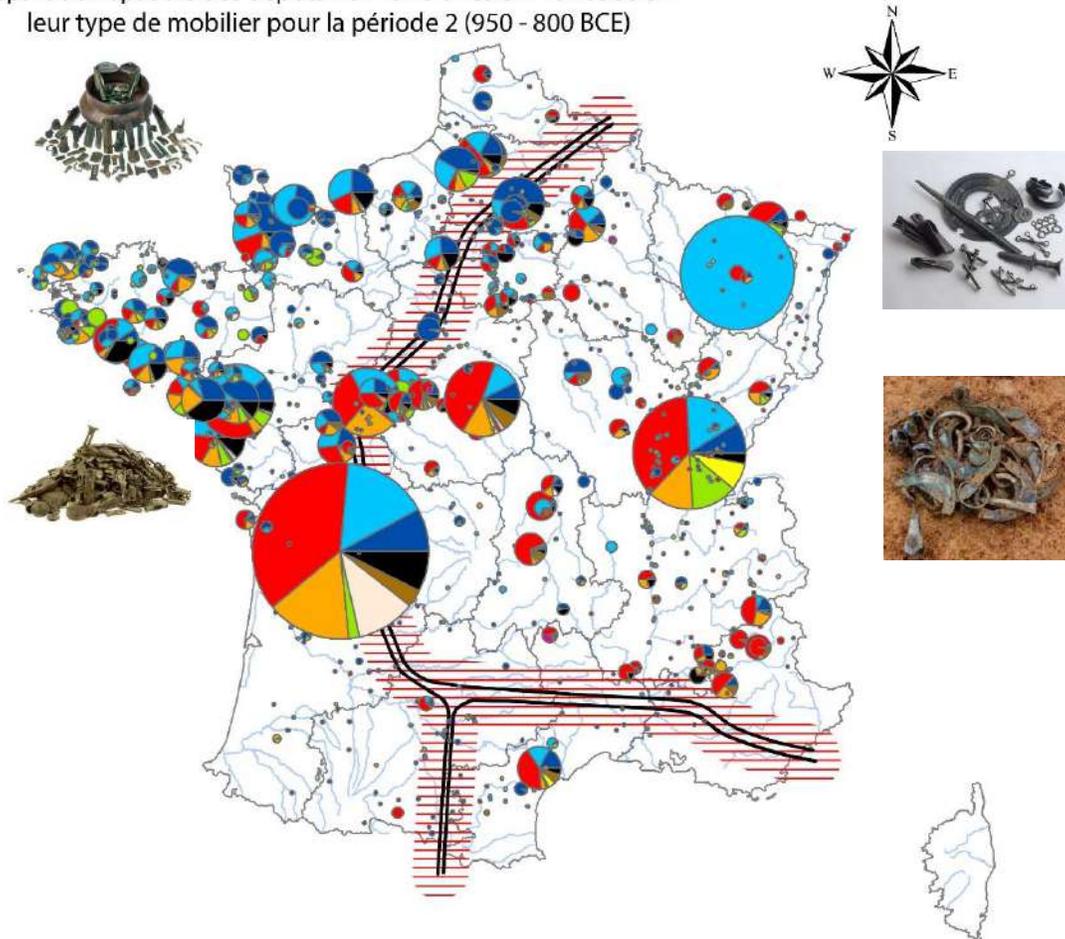


Période 1 (1150 – 950 BCE)

- Classes statistiques :
 - Classe 1 et 2a : Est et Centre-Ouest
 - Classe 2 : Ouest

Corpus

Répartition spatiale des dépôts non funéraires en France selon leur type de mobilier pour la période 2 (950 - 800 BCE)

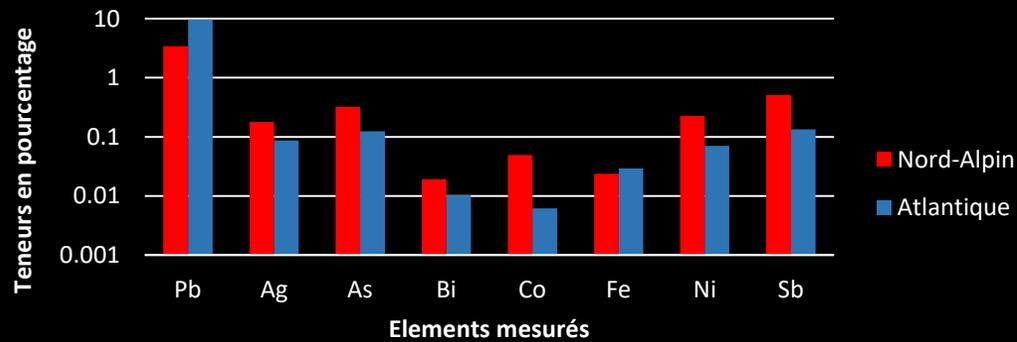


- 1706 dépôts
 - 1051 dépôts nord-alpins
 - 603 dépôts atlantiques
 - 52 dépôts méditerranéens
- Complexe nord-alpin :
 - Parures
 - Outils
- Complexe atlantique :
 - Armes
 - Haches

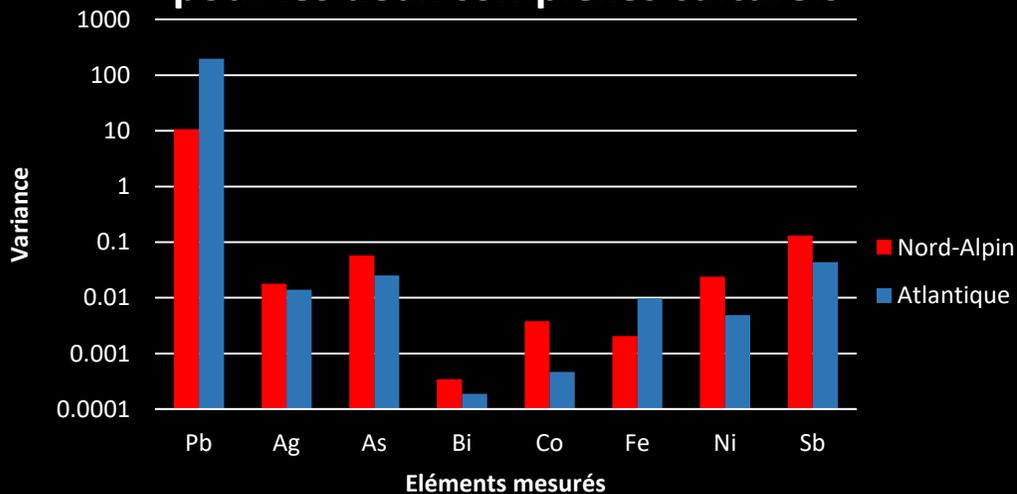
Résultat

Période 2 (950 – 800 BCE)

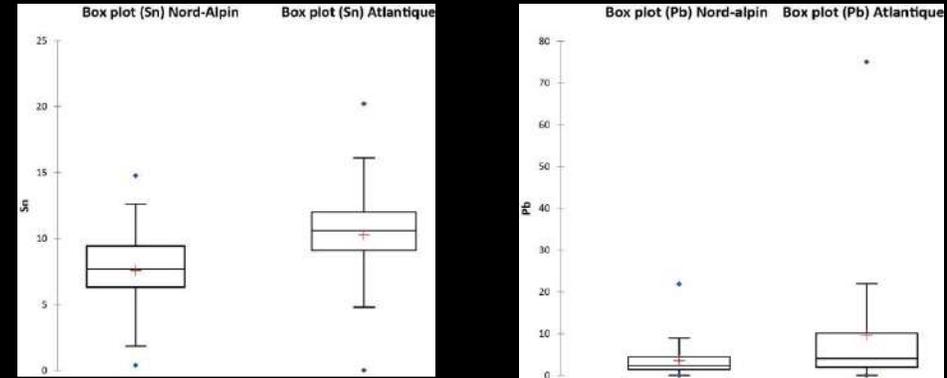
Moyennes des teneurs en chaque élément pour les deux complexes culturels



Variances des teneurs en chaque élément pour les deux complexes culturels



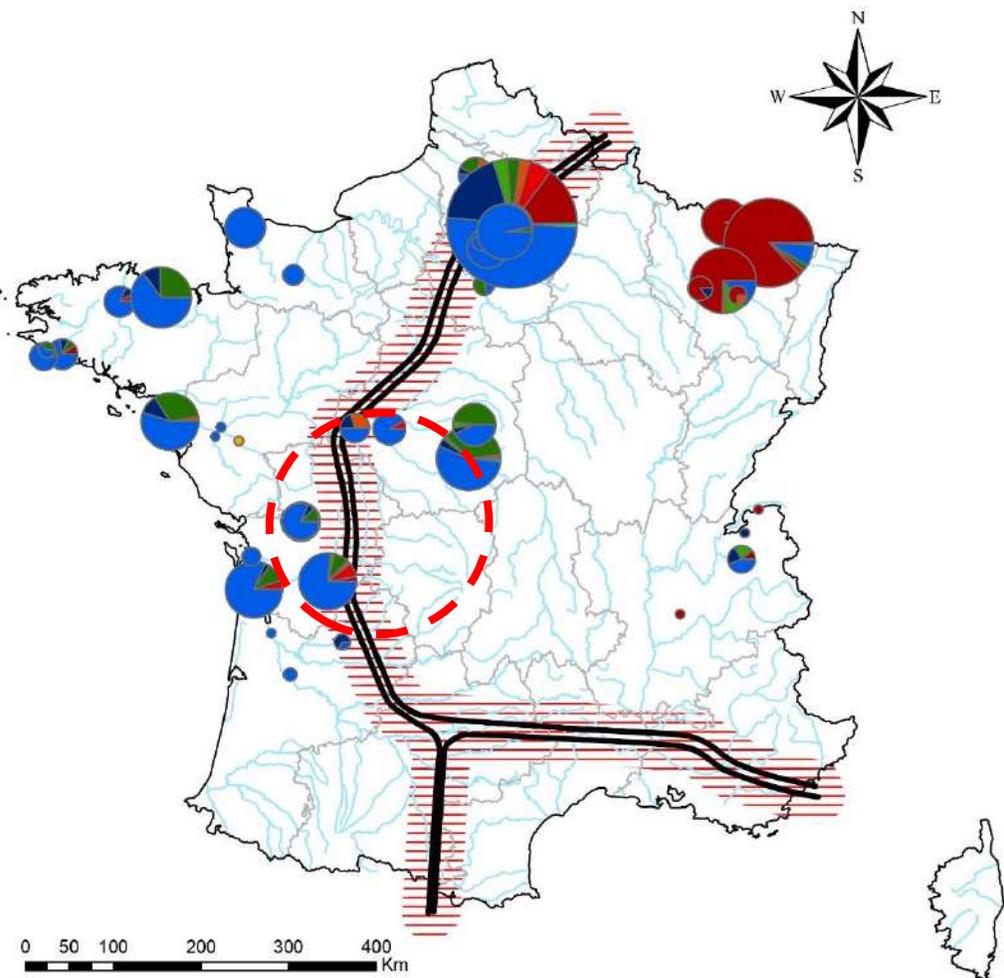
- Teneurs :
 - Atlantique : Pb
 - Nord-alpin : Ag, As, Bi, Co, Ni, Sb
- Type de bronze:
 - Atlantique : cuivres pauvres en éléments traces et riches en éléments d'alliages (étain et plomb)
 - Nord-alpin : cuivre riche en éléments traces et teneur plus faible en éléments d'alliages



- Variances :
 - Éléments d'alliages : le plomb a une plus grande variabilité dans le complexe atlantique
 - Éléments traces : variances supérieures dans le complexe Nord-alpins

Résultat

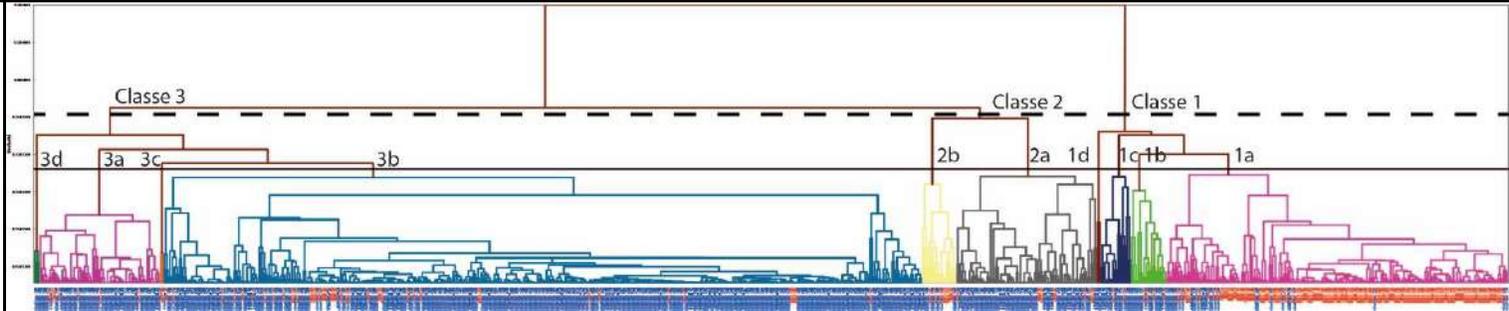
Répartition des classes statistiques déterminées par CAH pour l'ensemble des éléments traces durant la périodes du Ha B2/3



Légende

Classes CAH

Classe1a	Classe2b	— Limites des complexes
Classe1b	Classe3a	— limites administratives régionale
Classe1c	Classe3b	— réseau hydrographiques
Classe1d	Classe3c	— Zone buffer (interface)
Classe2a	Classe3d	



Période 2 (950 – 800 BCE)

- Classes statistiques :
 - Classe 1a : Est et Centre-Ouest
 - Classe 1b et c : zone limitrophe
 - Classe 2a : Ouest et zone limitrophe
 - Classe 2b : Zone limitrophe
 - Classe 3 : Ouest

Merci pour votre attention

