



HAL
open science

Etude d'un lot métallurgique (creusets et alliages) issu des fouilles du château de Blain

Florian Téreygeol

► **To cite this version:**

Florian Téreygeol. Etude d'un lot métallurgique (creusets et alliages) issu des fouilles du château de Blain. Société archéologique de Blain; CNRS (IRAMAT). 2025, pp.1-23. <halshs-05464086>

HAL Id: halshs-05464086

<https://shs.hal.science/halshs-05464086v1>

Submitted on 18 Jan 2026

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

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



HAL Authorization

Etude d'un lot métallurgique (creusets et alliages) issu des fouilles du château de Blain

La nomenclature des objets reprend celle fournie dans le listing. Il a été ajouté un numéro de rang pour pouvoir isoler des tessons provenant d'une même US. En revanche, pour l'étude sur les objets métalliques, aucun ajout au mode d'enregistrement n'a été jugé nécessaire.

Le lot des céramiques techniques

Dans le cadre de cette étude, il nous a été envoyé un lot de céramiques métallurgiques appartenant à la famille des creusets. Le corpus se compose de 21 tessons, 1 objet archéologiquement complet et 3 objets complets. Le groupe est issu très majoritairement de l'US 2030, seuls deux tessons proviennent d'une autre US (US2023). Des remontages ont eu lieu, ramenant le nmi à 20. Les tessons se répartissent entre 7 fragments de panse, 2 fragments de fond, 6 lèvres (dont 1 avec bec) et 1 fragment de fond et de bord. La masse des pièces varie de façon importante (de 1,82 à 82,72 g) trahissant les dimensions variables des tessons mis au jour. Les lèvres sont arrondies, parfois éversées, ou plates. Cela traduit des modes de façonnage et de séchage variables. Il ne s'agit donc pas d'un lot uniforme. Grâce aux 3 exemplaires complets, une détermination du volume total a été faite : il est de 17 ml pour le plus exemplaire, et de 46.5 ml pour le plus grand. Le corpus présente sûrement des pièces de plus grandes capacités comme en témoignent la hauteur conservée de certains fragments ainsi que les diamètres. Mais, dans l'ensemble, les objets sont dévolus à un travail de fonte sur de petites quantités de métal. À ce titre, les 3 exemplaires complets mis au jour sont représentatifs du corpus.



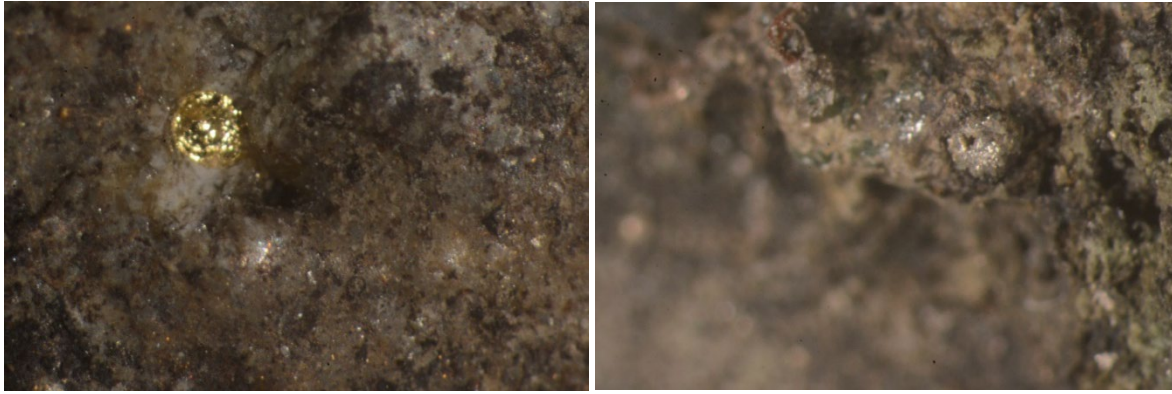
3 creusets intacts issus du corpus des céramiques métallurgiques

Numéro d'inventaire	Rang	Etat	Masse (g)	Volume (ml)	Ht ext (mm)	Ht int (mm)	Ep. Moy. Lèvre (mm)	Ep. Moy. Paroi (mm)	Ø ext. (mm)	Ø int. (mm)
1875_08-MTC_2030-99	1	4 tessons collés, incomplet	60,68	Ind.	75 (min)	Ind	6	4,8	90	80
1875_08-MTC_2030-99	2	1 tesson	27,34	Ind.	71	Ind	6,5	5,7	95	85
1875_08-MTC_2030-99	3	2 tessons	40,73	Ind.	Ind	Ind	Ind	4,8	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	4	1 tesson	18,24	Ind.	Ind	Ind	Ind	5,3	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	5	1 tesson	13,31	Ind.	Ind	Ind	Ind	6,2	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	6	1 tesson	5,78	Ind.	Ind	Ind	5	5,7	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	7	1 tesson	7,37	Ind.	Ind	Ind	Ind	6,1	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	8	2 tessons	16,28	Ind.	73 (min)	Ind	5,7	4,9	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	9	1 tesson	5,57	Ind.	Ind	Ind	Ind	5,7	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	10	1 tesson	10,72	Ind.	Ind.	Ind.	6,8	6,4	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	11	1 tesson	3,31	Ind.	Ind.	Ind.	Ind.	5,5	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	12	1 tesson	2,01	Ind.	Ind.	Ind.	Ind.	5	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-99	13	1 tesson	1,57	Ind.	Ind.	Ind.	Ind.	5	Ind	Ind
1877_34-MTC_2023-47	1	1 tesson	5,8	Ind.	33 (min)	Ind.	4,3	4,2	40	30
1877_34-MTC_2023-47	2	1 tesson	3,54	Ind.	Ind.	Ind.	Ind.	4,5	Ind	Ind
1877_34-MTC_2030-48	1	1 tesson	7,32	Ind.	46 (min)	Ind.	4,2	4,6	Ind	Ind
1875_08-MTC_2030-178	1	1 tesson	38,84	Ind.	60		4,2	4,9	80	70
1875_08-MTC_2030-177	1	Objet complet	82,72	46,5	49	44	4	Ind.	50	42
1875_08-MTC_2030-176	1	Objet complet	36,49	25	41	35	4,4	Ind.	50	39
1875_08-MTC_2030-175	1	Objet complet	26,2	17	35	26	5,36	Ind.	40	33

Numéro d'inventaire	Rang	Remarques			
1875_08-MTC_2030-99	1	Glaçure sur le bord	Goutte de glaçure Pb-Cu,	traves de lissage interne en biais	
1875_08-MTC_2030-99	2	Bord	Lèvre plate		
1875_08-MTC_2030-99	3	Fond	Points discrets de fusion de la pâte		
1875_08-MTC_2030-99	4	Fond			
1875_08-MTC_2030-99	5	Panse			
1875_08-MTC_2030-99	6	Bord	Lèvre arrondie		
1875_08-MTC_2030-99	7	Panse			
1875_08-MTC_2030-99	8	Bord et bec	Lèvre plate	En extérieur 1 point de fonte Pb	
1875_08-MTC_2030-99	9	Panse			
1875_08-MTC_2030-99	10	Bord			
1875_08-MTC_2030-99	11	Panse			
1875_08-MTC_2030-99	12	Panse			
1875_08-MTC_2030-99	13	Panse	Mise en résine		
1877_34-MTC_2023-47	1	Bord	Lèvre éversée	Partie scoriacée au fond avec argent	
1877_34-MTC_2023-47	2	Panse	Mise en résine		
1877_34-MTC_2030-48	1	Bord et fond	Avec résidus,	hauteur proche de la réalité	
1875_08-MTC_2030-178	1	Archéologiquement complet			
1875_08-MTC_2030-177	1	Complet			
1875_08-MTC_2030-176	1	lèvre plate	Scorification externe	marquant un renversement	
1875_08-MTC_2030-175	1	Lèvre en bouelet	Traces d'or,	traces d'argent et billes rouges (Au Cu ?)	

Inventaire des céramiques métallurgiques (en haut, données quantitatives ; en bas remarques)

Parmi ces creusets, 6 portent les traces évidentes de leur utilisation. Un des creusets intacts (1875_08-MTC_2030-175) laisse voir des résidus d'or et d'argent facilement identifiables par la couleur et l'absence de corrosion. Il tient également des billes plus rouges prises dans la vitrification. Cette couleur, eu égard aux autres métaux présents, se rapproche d'un alliage Au-Cu. La géométrie de l'objet ne permet malheureusement pas de procéder à des analyses sans engager l'intégrité de la pièce. La pièce 1877_34-MTC_2023-47 tient des billes d'argent également facilement identifiables. Les traces d'utilisation pour les autres pièces prennent la forme de glaçure se mettant en place à l'occasion de la fonte des métaux et de la montée en température qui en découle. Pour deux pièces (1875_08-MTC_2030-99/1 et 1875_08-MTC_2030-99/8), il est probable que les métaux fondus contenaient une proportion non négligeable de plomb.



Billes d'or (1875_08-MTC_2030-175/1) et d'argent (1877_34-MTC_2023-47/1) prises dans la glaçure

Préparation des tessons pour analyse EDS-MEB

Pour affiner la lecture sur ces pièces céramiques, des analyses plus poussées ont été conduites sur 2 tessons : 1875_08-MTC_2030-99/13 et 1877_34-MTC_2023-47/2. Le choix s'est porté sur ces deux tessons, car il s'agit de fragments de panse de taille très réduite n'apportant que peu d'informations métrologiques ou techniques. Chacune de ces pièces a été découpée de façon à disposer d'une coupe transverse permettant d'étudier les concentrations en métaux lourds depuis l'intérieur du creuset jusqu'à l'extérieur. Une fois la tranche disponible, elle est mise en résine à chaud dans un plot de 2,5 cm de diamètre. Il s'en est suivi un polissage au papier SiC jusqu'à un grain de 4000 (+/- 4 microns). Puis les échantillons sont recouverts d'un film de carbone et déposés dans la chambre d'analyse du MEB.

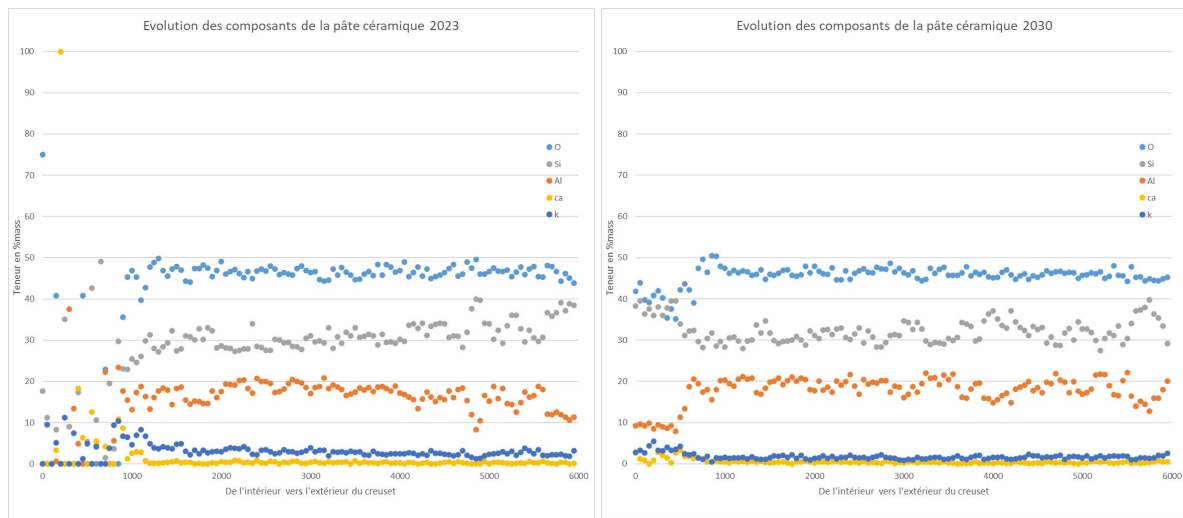
Protocole d'analyse

Le MEB-EDS permet une observation à fort grossissement de la surface carbonée de l'échantillon. Ce microscope est complété par un système d'analyse permettant différentes approches (cartographie, analyses de détail, réalisation de profil, etc.). Pour les deux échantillons, nous avons réalisé dans l'épaisseur de la pâte (6 mm) un profil moyenné sur la longueur disponible de l'échantillon (3 mm) pour une largeur de 50 micromètres, représentant ainsi 120 analyses de 10 minutes par échantillon, soit 20 h d'analyse. Nous avons dosé O, Si, Al, Ca et K pour définir la pâte, et les métaux lourds (Cu, Zn, As, Ag, Sn, Au et Pb) pour apprécier l'évolution de la contamination dans la pâte. L'objectif est de déterminer sur ces deux échantillons la nature des métaux qui ont pu y être travaillés, la nature des pâtes et celles des glaçures résultantes de l'interaction entre certains métaux (Pb, Sn, Cu) et la pâte céramique. Il ne s'agit pas de donner des valeurs absolues, très variables d'un point à l'autre, mais de définir les tendances.

Résultats

Les résultats bruts sont fournis en annexe. Le traitement des résultats et l'interprétation sont donnés ci-dessous.

Les pâtes

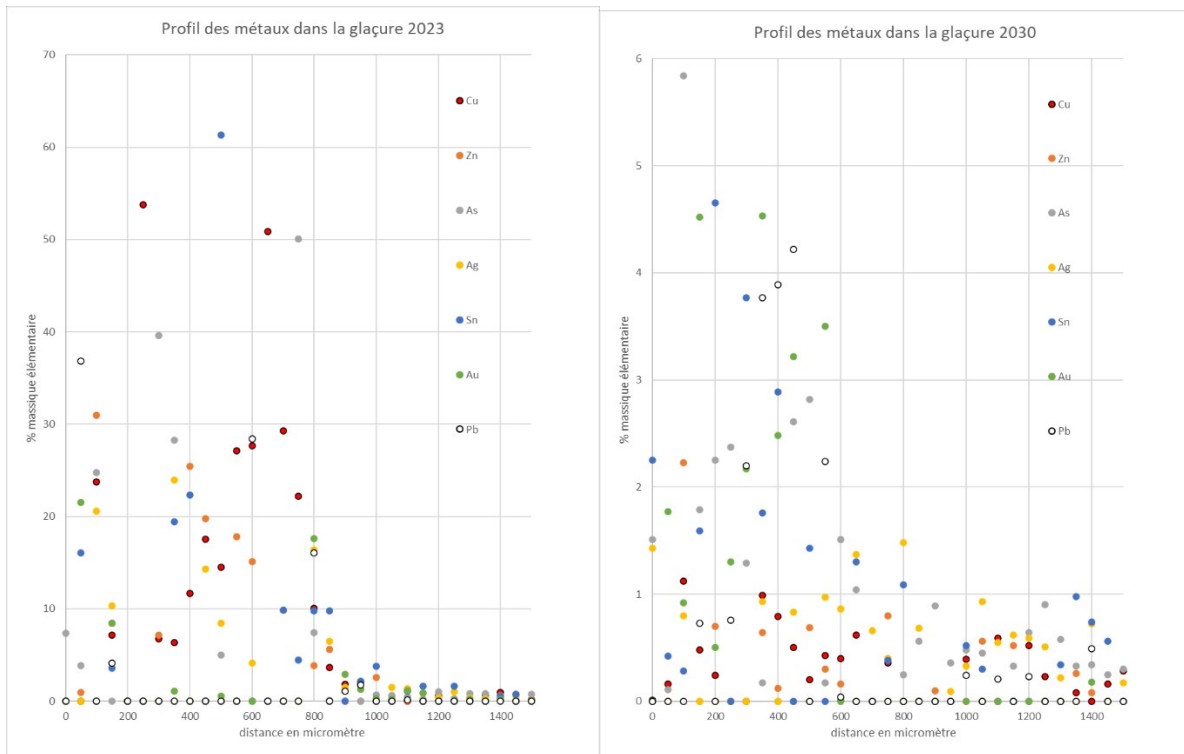


Profils de concentration des éléments constitutifs de la pâte des creusets

Le dosage est réalisé depuis l'intérieur du tessou vers l'extérieur. Le premier millier de micromètres correspond à la glaçure (cf infra), puis le profil correspond à la pâte proprement dite. On ne distingue pas de différences notables dans la composition chimique de celle-ci quel que soit l'échantillon considéré : +/- 30% de Si, +/- 20% Al. Il en va de même pour le calcium qui reste faiblement représenté. La seule, faible, différence provient du taux de potassium (autour de 3% pour l'échantillon 2023, et moitié moins pour l'échantillon 2030). Les deux pâtes sont chimiquement différentes, mais cela n'a pas porté à conséquence sur le plan de l'usage technique du creuset.

Les métaux présents dans les glaçures et les pâtes

La production métallique dont les creusets ont été les réceptacles se lie au travers de l'enregistrement des signatures des métaux dans la pâte. Deux niveaux existent ici : la couche de glaçure et la pâte céramique elle-même.



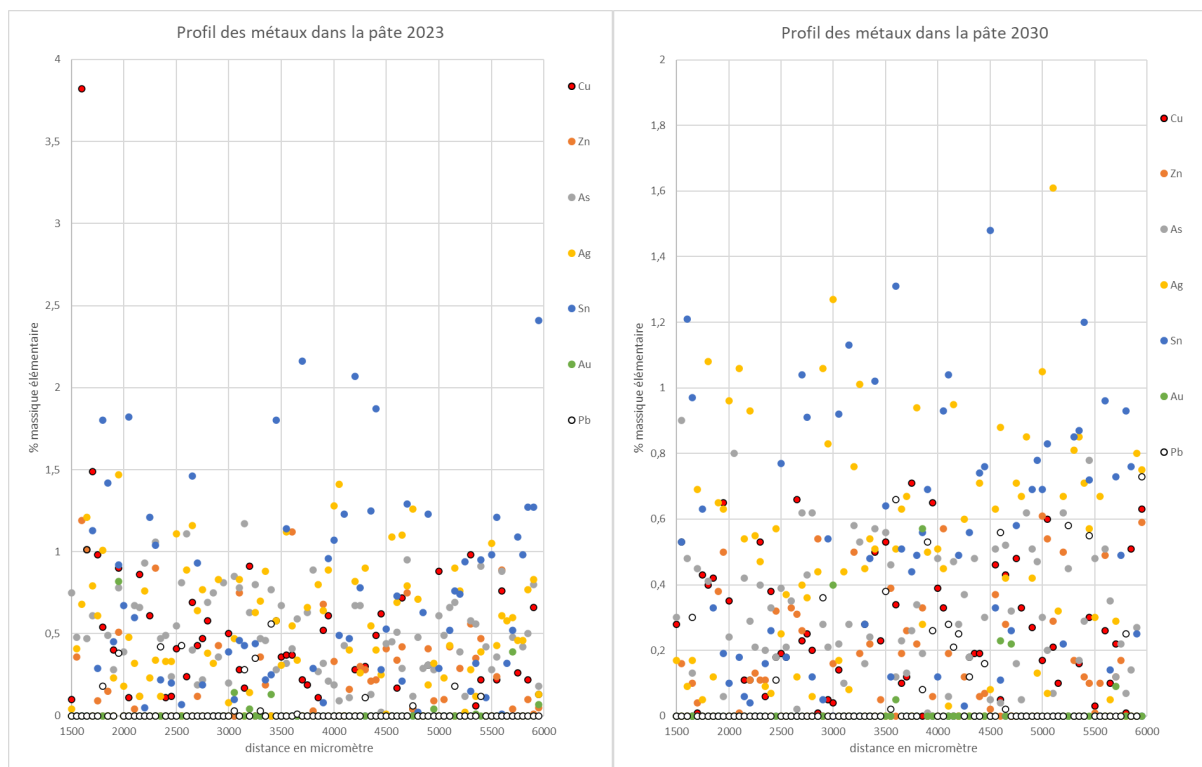
Profils de concentration des éléments métalliques dans la glaçure

Les deux graphiques ci-dessus montrent les différents métaux présents dans la glaçure (dans les 2 cas, l'épaisseur est de l'ordre du millimètre) et dans les 500 premiers micromètres de la pâte. Ce choix permet de mettre en évidence les hautes teneurs en métaux présents dans la couche interne.

Bien évidemment, les creusets sont utilisés à plusieurs reprises, ce qui explique la multiplication des éléments métalliques présents. Cependant lors du dernier usage aura a priori tendance à marquer de son empreinte le creuset bien mieux que les précédents qui subissent un effet de dilution/mélange à chaque fonte.

L'exemplaire noté 2023 indique un usage assez varié de métaux au sein du creuset. On retrouve les métaux précieux (or et argent), mais également le cuivre, le zinc, l'arsenic, l'étain et le plomb. Le cuivre et l'étain signent de façon majoritaire, semblant vouloir indiquer l'ajout de bronze dans le creuset. La présence de zinc, bien que moins importante, n'est pas anecdotique. Elle indique également l'usage de la famille des laitons. Assembler de facto le cuivre avec ses éléments d'alliages plus tôt que les interpréter seuls n'est pas innocent. Il est en effet bien plus probable que le métallurgiste ait souhaité ajouter un alliage cuivreux plutôt que des éléments purs pour abaisser le titre des métaux précieux utilisés. Cette pratique est normale afin d'augmenter la dureté de l'alliage d'or et/ou d'argent. Par ailleurs, eu égard à la période considérée, il n'est pas possible que le zinc soit ajouté seul.

L'exemplaire noté 2030 présente les mêmes éléments d'alliage, mais à des teneurs plus faibles. L'or a vraisemblablement été plus utilisé que l'argent dans ce creuset. Quant aux éléments d'alliage, ils sont dominés par l'étain, le plomb et dans une moindre mesure l'arsenic. Ainsi le travail effectué au sein de cette glaçure s'apparente majoritairement à la production d'un alliage d'or à l'aide de bronze et de bronze au plomb. Le zinc est faiblement présent (usage de laiton ou de laiton rouge) et l'arsenic peut simplement venir dans le cortège chimique du cuivre comme du plomb.



Profils de concentration des éléments métalliques dans la pâte des creusets

Sans surprise, nous retrouvons dans les pâtes les mêmes éléments que dans les glaçures. Les enrichissements dans la pâte se font principalement sous forme gazeuse circulant dans les porosités de la terre cuite. À la température de travail (inférieure à 1200°C), ce mode d'enrichissement limite drastiquement la circulation des métaux, notamment les précieux. Dans le cas de l'exemplaire 2023, l'étain prédomine accompagné par le cuivre, mais aussi le zinc et l'arsenic qui restent deux métaux très volatiles. La présence du plomb montre une tendance à décroître à mesure que l'on s'approche de la surface extérieure du creuset. L'or est présent de façon anecdotique dans la partie proche de la surface interne. Ce profil renforce la proposition d'usage principale d'un alliage d'or et de bronze qu'il s'agisse de produire l'alliage ou de l'utiliser.

Le cas du creuset 2030 est différent. Tout d'abord la présence de métaux est moindre ne dépassant pas ou peu le 1 % par élément (contre 1,5% précédemment). Surtout deux métaux prédominent : l'étain et l'argent. Si le cas de l'étain est simple en l'associant à l'usage du bronze, le cas de l'argent pourrait surprendre puisqu'il est aussi présent dans la pâte que l'étain. Il suffit de garder présent à l'esprit qu'entre les 2 métaux précieux, seul l'argent peut s'altérer. Ce profil ne remet donc pas en cause l'interprétation proposée pour la glaçure du creuset, il ne fait que la compléter.

Le lot du mobilier métallique cuivreux issu de l'US 2214

Le lot nous est parvenu en vrac, non lavé. Il représente une masse de 3978,4 g. Nous avons procédé à un tamisage à sec en colonne afin de définir 4 classes de granulométrie : les éléments supérieurs à 5 mm, ceux compris entre 5 et 2 mm, ceux entre 2 et 1 mm et, enfin, ceux inférieurs à 1 mm. Les résultats massiques sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Classe	Masse en g
Éléments supérieurs à 5 mm	2925,6 g
Éléments compris entre 5 et 2 mm	945,5 g
Éléments compris entre 2 et 1 mm	34 g
Éléments inférieurs à 1 mm	65,1g
Masse totale des éléments métalliques	3970,2 g

Classes du mobilier métallique de l'US 2214 selon la granulométrie

La différence entre la pesée initiale et la masse totale des éléments métalliques repose sur le retrait au cours du tri de 8,2 g de graviers. Il faut également considérer que la classe inférieure à 1 mm tient une quantité importante d'éléments minéraux, de terre et d'oxydes de cuivre (provenant du frottement dans le sac). Une observation sous loupe binoculaire après un lavage à l'éthanol d'une fraction de cette classe n'a révélé aucune partie métallique.

Parmi les plus gros éléments, nous avons détecté 4 pièces spécifiques. Il s'agit de deux objets finis (un passe-lacet et un clou de tapissier/bourrelier¹) et de deux chutes de découpe de tôle. Alors que l'ensemble du mobilier cuivreux de l'US 2214 oriente vers une activité de fonte, ces deux chutes s'inscrivent dans le travail à froid du métal. Cependant le faible nombre de ces vestiges de travail (2 objets représentant une masse de 1.31 g contre les 3978 g total !) incite pour l'heure à y voir une récupération de métal exogène dans le but d'un recyclage plutôt que la preuve d'une activité de découpe sur place.

¹ Ces deux objets témoignant de la vie domestique ne sont pas pris en compte.



Les 4 objets non coulés issus de l'US 2214

Toujours dans ces plus gros éléments qui représentent 341 g parmi les 2925,6 g de leur classe, nous isolons 3 fragments (11.94 g). Il s'agit de coulées d'alliage cuivreux pris ou reposant sur un substrat minéral (terre, plâtre ?). Ils pourraient marquer l'emploi de moules d'autant que de nombreuses autres coulures de cuivre indiquent que le métal chaud s'est refroidi dans un espace contraint. Cependant il peut parfaitement s'agir de coulées erratiques qui se sont infiltrées dans des sols de terres battues. Seule la découverte d'éléments de moulage plus probant permettrait de renforcer cette hypothèse.



Vestiges de coulée

L'immense majorité du corpus se compose donc de billes et coulures cuivreuses. Devant la quantité de coulées disponibles, il est apparu plus pertinent pour la compréhension globale d'avoir une approche statistique de la composition de ce mobilier, plutôt que d'analyser quelques éléments dans le détail. Nous avons donc choisi d'isoler un peu plus de 200 gouttes (218 pour être exact) et d'en définir la composition par pXRF.

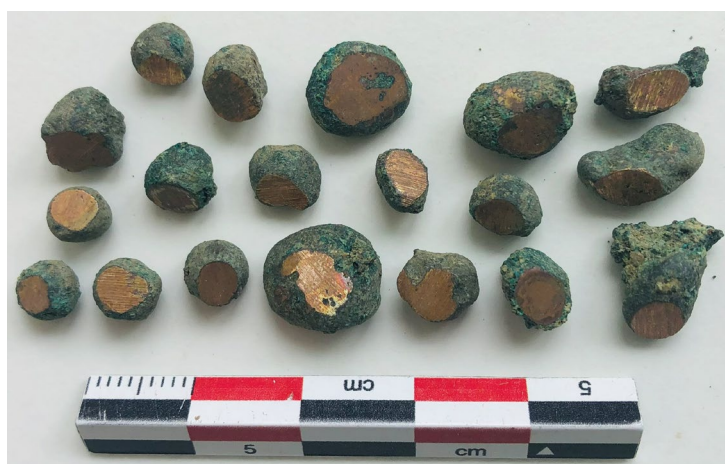


Lot pour analyses de gouttes d'alliage cuivreux

Préparation des billes

Chacune de ces gouttes est recouverte d'une couche d'oxyde. Pour espérer approcher la composition originelle, c'est le métal sain qui doit être analysé. Nous avons obtenu l'accord du RO pour pratiquer une abrasion sur chaque goutte de façon à dégager une surface de métal sain équivalente à la surface d'analyse de 3mm de diamètre que nous utilisons. L'abrasion a été effectuée sous eau avec un papier SiC 320 sur une polisseuse *Struers* de 200 mm. La dimension des gouttes a conduit à la mise d'un système de maintien. Il n'était pas envisageable de mettre en résine ce corpus pour des questions liées à la géométrie de la chambre d'analyse utilisée, au temps nécessaire à l'enrobage et au souhait de restituer le mobilier dans un état le plus proche de l'initial.

À l'issue de l'abrasion, le mobilier est passé à l'éthanol pour chasser l'eau et il est stocké avec du gel de silicate pour éviter les reprises de corrosion.



Exemples de gouttes préparées pour analyse

Protocole d'analyse

Le travail présenté ici a été conduit à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X (XRF) portable (Fondis, Niton XL3t GOLDD+). Celui-ci dispose de programmes de traitement du signal spécialement conçu pour l'analyse des métaux et alliages sous forme solide, des minerais et des sols. C'est bien sûr l'analyse en mode « métaux » qui a été utilisée. Les tension et intensité maximales du tube sont respectivement de 35 kV et 10 μ A délivrant une puissance de 1,7 W. Le tube générateur de rayons X est refroidi par air, son anode est en argent avec une fenêtre de sortie en béryllium de 0.127 mm d'épaisseur. La section du faisceau (spot) à l'endroit où il touche l'échantillon est approximativement de 3 mm de diamètre. Les éléments qu'il est possible de détecter vont du potassium (K, 19) au plutonium (Pu, 94). Le mode de traitement du spectre est en capacité de détecter 25 éléments : Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Ru, Mo, Nb, Zr, Bi, Pb, Se, As, Au, W, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti et Al. Dans le cas de notre étude, la durée de l'analyse est de 15 secondes par échantillon. Des durées plus longues ont été testées sans apporter d'améliorations notables par rapport à nos besoins. Le résultat est donné en %mass.

L'abrasion pratiquée sur les gouttes permet de dégager une surface de métal sain. L'analyse n'est donc pas influencée par la corrosion et le résultat obtenu correspond bien à l'alliage initialement produit.

Le tableau d'analyses donné en annexe est brut. Les résultats quantitatifs ne doivent pas être lus et considérés tels quels. Il convient d'abord de retirer les éléments dont nous savons qu'ils ne sont pas présents (dans la majeure partie des cas, ils sont déjà notés : « <LOD » c'est-à-dire « limit of detection »), soit qu'il s'agisse d'éléments rares ou métaux précieux qui n'ont pas de raison d'apparaître. Le choix d'exclure les métaux précieux (Au et Pd) alors que les creusets montrent l'usage d'or s'explique : l'or est toujours dosé en « <LOD ». Il reste ainsi les éléments suivants : Sn, Ag, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Fe. La détection d'un élément n'est significative que si l'erreur (colonne « //élément// error ») est 10 fois inférieure au dosage de l'élément considéré. L'argent par exemple ne semble être présent que dans 2 gouttes et pour une teneur très proche de la limite de détection de l'appareil employé (0,2%mass). Pour ces éléments dosés en faible quantité, plutôt que de donner une valeur numérique qui n'aurait pas beaucoup de sens, nous signalons leur présence dans la colonne « traces ». Ainsi, sur les 25 éléments de départ, le corpus a livré des mélanges de Cu, Sn, Pb, Zn avec des traces de Ag, Sb, As, Ni et Fe. Si Ag, Sb, As apparaissent classiquement dans les alliages cuivreux, les cas de Ni et Fe peuvent être discutés.

Pour le fer, il n'est pas possible de trancher à ce stade entre un effet de pollution taphonomique et/ou une présence en relation avec l'histoire métallurgique de l'alliage. C'est notamment le cas lorsque le taux de fer s'élève au-delà de 1 pourcent. En effet, la production de cuivre primaire à l'aide de la chalcopirite est très classique, notamment pour les périodes récentes. L'utilisation de ce minerai amène du fer au sein du cuivre. Le cas du nickel est similaire, mais la teneur dans le corpus étudié est suffisamment basse pour n'y voir qu'une pollution par le milieu environnant. Ainsi, la réflexion sur les alliages traités à Blain peut se cantonner aux quatre majeurs : Cu, Sn, Pb, Zn. C'est pourquoi le tableau ci-dessous reprend uniquement ses quatre éléments dont les dosages sont normés à 100. Les analyses sont donc, et restent, semi-quantitatives.

N°	Cu	Pb	Sn	Zn	Traces
145	92,56	1,49	5,95	0,00	Sb, Fe
146	89,74	1,50	8,48	0,28	Sb
147	89,44	2,83	7,74	0,00	
148	91,84	2,28	5,32	0,56	
149	90,96	1,90	3,69	3,45	Fe
150	93,36	1,47	4,85	0,32	Fe
151	93,18	1,24	5,58	0,00	Fe
152	90,51	3,16	6,34	0,00	
153	93,33	1,03	5,49	0,15	Fe
154	90,96	2,04	6,68	0,31	Fe
155	91,26	0,98	7,75	0,00	
156	90,93	1,73	6,21	1,13	
157	88,39	4,45	6,75	0,41	
158	86,34	3,94	8,67	1,05	
159	90,59	5,16	4,25	0,00	
160	90,67	1,89	7,25	0,19	
161	92,02	1,67	6,12	0,19	
162	93,42	1,28	4,49	0,81	
163	90,38	2,30	7,32	0,00	
164	92,00	1,87	6,13	0,00	Fe
165	64,31	27,18	8,51	0,00	Fe
166	91,19	1,56	7,26	0,00	
167	94,01	1,40	3,49	1,11	
168	86,62	2,11	11,27	0,00	
169	76,25	14,41	9,07	0,28	Fe
170	77,73	13,17	9,11	0,00	
171	91,25	1,93	6,63	0,19	
172	92,81	1,15	4,80	1,24	
173	90,59	1,87	7,54	0,00	
174	92,17	2,16	5,66	0,00	
175	89,83	2,77	7,19	0,22	
176	89,16	4,21	6,63	0,00	Fe
177	92,72	4,15	3,13	0,00	
178	91,27	1,70	7,03	0,00	Fe
179	91,57	2,53	5,90	0,00	Fe
180	90,51	2,56	6,71	0,22	Fe
181	83,34	5,22	4,67	6,76	
182	90,51	2,17	7,33	0,00	Fe
183	91,09	1,29	7,63	0,00	
184	91,34	2,32	6,34	0,00	
185	91,29	2,54	5,88	0,29	
186	91,15	2,36	6,05	0,45	
187	92,08	2,29	3,52	2,11	
188	90,58	2,78	6,64	0,00	
189	83,72	5,85	5,17	5,26	
190	88,92	2,54	4,69	3,86	
191	88,36	3,25	5,51	2,88	
192	90,10	4,12	5,58	0,20	Fe
193	89,64	4,48	5,87	0,00	Fe
194	89,39	2,60	6,49	1,52	
195	90,66	1,42	7,92	0,00	
196	86,34	6,43	5,02	2,21	Fe
197	93,45	0,63	5,92	0,00	Fe
198	91,92	1,82	6,08	0,18	Fe
199	91,44	2,55	5,66	0,36	Fe
200	88,84	2,02	6,28	2,87	
201	89,13	2,66	8,21	0,00	
202	91,70	2,17	6,13	0,00	Fe
203	89,38	5,38	5,24	0,00	
204	86,33	5,91	4,30	3,45	
205	88,34	3,23	7,86	0,58	
206	89,66	4,52	5,81	0,00	
207	92,54	1,04	6,42	0,00	Fe
208	92,51	1,83	5,67	0,00	
209	83,36	10,25	6,39	0,00	
210	89,64	2,13	4,63	3,61	
211	90,17	1,15	8,68	0,00	
212	91,39	1,67	6,94	0,00	Fe

N°	Cu	Pb	Sn	Zn	Traces
222	91,70	0,97	7,33	0,00	
223	87,05	7,49	5,46	0,00	Fe
224	92,42	1,12	6,46	0,00	
225	89,48	3,09	7,43	0,00	
226	90,07	2,09	7,84	0,00	
227	93,97	1,06	4,73	0,24	
228	92,46	1,66	5,75	0,13	Fe
229	92,80	0,57	6,63	0,00	
230	92,19	2,12	5,68	0,00	
231	90,89	2,67	6,44	0,00	Sb
232	89,59	1,94	8,47	0,00	Sb
233	91,23	1,71	7,06	0,00	
234	91,33	2,31	6,36	0,00	Sb, Fe
235	93,00	2,30	4,69	0,00	Fe
236	90,61	2,02	7,38	0,00	Sb, Fe
237	91,01	1,84	5,17	1,98	
238	90,92	1,06	8,02	0,00	Sb
239	90,85	2,35	6,54	0,26	
240	90,08	1,64	8,28	0,00	Sb
241	90,22	1,19	8,36	0,23	
242	94,91	0,85	4,23	0,00	Fe
243	87,89	4,69	7,15	0,27	Sb, Fe
244	89,55	3,82	6,29	0,34	Sb
245	91,44	2,42	6,13	0,00	Sb, Fe
246	76,53	14,34	8,82	0,31	Sb, Fe
247	90,54	2,19	7,28	0,00	
248	74,27	15,69	9,71	0,33	Fe
249	87,70	3,52	5,78	3,00	
250	91,16	2,83	4,85	1,16	Fe
251	81,84	8,86	9,30	0,00	Sb, Fe
252	93,08	1,83	4,74	0,34	
253	87,50	3,27	8,63	0,60	Sb
254	91,07	3,60	5,04	0,29	Sb
255	90,62	2,38	6,29	0,71	
256	91,59	2,13	6,28	0,00	Sb, Fe
257	91,09	2,32	6,09	0,50	
258	92,30	2,25	5,19	0,26	Sb
259	94,03	0,88	5,09	0,00	
260	93,54	1,12	4,56	0,78	Fe
261	85,52	2,58	11,90	0,00	
262	57,59	25,18	17,23	0,00	Fe
263	88,20	3,13	8,46	0,21	
484	91,42	1,21	7,37	0,00	Sb
485	92,29	2,56	4,72	0,43	Sb, Fe
486	90,95	1,56	7,48	0,00	Sb
487	77,93	9,02	12,75	0,30	Fe
488	94,29	1,16	4,55	0,00	Sb, Fe
489	92,92	2,84	3,98	0,26	Fe
490	96,86	0,47	2,34	0,32	Fe
491	80,46	11,53	4,22	3,79	Sb, Fe
492	92,73	1,50	5,77	0,00	Sb, Fe
498	92,49	1,61	5,64	0,25	Sb, Fe
499	92,35	2,10	5,43	0,11	Sb, Fe
500	93,49	1,72	4,68	0,11	Sb, Fe
501	91,46	2,69	5,21	0,63	Sb
502	89,21	3,48	5,62	1,69	Sb, Fe
503	91,86	2,76	5,22	0,16	Sb
504	90,99	2,45	6,55	0,00	Sb, Fe
505	93,32	1,83	4,85	0,00	Sb, Fe
506	94,51	1,06	4,43	0,00	Sb, Fe
507	92,41	2,53	4,77	0,30	Sb, Fe
508	92,87	1,21	5,74	0,18	Sb, Fe
509	90,24	2,65	7,11	0,00	Sb, Fe
510	94,66	1,01	4,33	0,00	Sb, Fe
511	94,26	1,75	3,99	0,00	Fe
512	92,87	1,14	5,99	0,00	Sb, Fe
513	93,57	1,32	5,12	0,00	Sb, Fe
514	82,10	10,64	3,18	4,08	Sb, Fe

N°	Cu	Pb	Sn	Zn	Traces
515	91,45	3,10	5,44	0,00	Sb, Fe
516	92,15	2,13	5,73	0,00	Sb, Fe
517	93,65	1,28	5,07	0,00	Sb, Fe
518	92,78	1,81	5,21	0,20	Sb, Fe
519	88,63	5,31	4,79	1,27	Sb, Fe
520	94,44	0,80	4,56	0,21	Fe
521	92,94	2,16	4,33	0,57	Fe
522	91,66	2,96	4,66	0,72	Sb
523	86,28	5,17	8,09	0,46	Sb
524	90,29	4,20	5,51	0,00	Sb, Fe
525	94,62	1,28	4,10	0,00	Sb
526	94,50	0,75	4,75	0,00	Sb, Fe
527	93,55	1,15	5,30	0,00	Sb, Fe
528	93,06	1,37	5,43	0,14	Sb, Fe
529	94,46	1,48	3,88	0,18	Sb, Fe
530	91,94	3,25	4,36	0,45	Sb
531	81,94	8,24	3,87	5,94	Fe
532	95,77	0,48	3,74	0,00	Sb, Fe
533	94,95	0,83	4,22	0,00	
534	91,82	3,22	4,96	0,00	Sb, Fe
535	93,44	1,93	3,91	0,72	Fe
536	92,32	2,80	4,88	0,00	Sb, Fe
537	91,99	2,87	5,14	0,00	Sb, Fe
538	91,24	3,13	5,63	0,00	Sb
539	92,86	1,50	5,64	0,00	Sb, Fe
540	91,66	3,35	4,99	0,00	Sb, Fe
541	92,55	1,99	5,46	0,00	Sb, Fe
542	90,79	2,53	6,68	0,00	Sb, Fe
543	91,87	2,12	6,01	0,00	Sb, Fe
544	91,89	1,90	6,09	0,12	Sb, Fe
545	85,13	9,18	5,69	0,00	Sb, Fe
546	92,58	1,22	6,07	0,14	Sb
547	90,64	4,06	5,30	0,00	Sb, Fe
548	90,43	3,79	5,79	0,00	Ag, Sb
549	92,70	1,56	5,73	0,00	Sb
550	92,65	2,36	4,99	0,00	Sb
551	91,85	2,04	6,11	0,00	Sb, Fe
552	91,68	2,64	5,68	0,00	Sb, Fe
553	92,76	1,84	5,40	0,00	Sb, Fe
554	91,89	2,11	6,00	0,00	Sb
555	91,85	3,06	5,09	0,00	Sb, Fe
556	92,27	2,07	5,65	0,00	Sb, Fe
557	91,00	1,68	4,39	2,93	Fe
558	92,39	2,21	4,20	1,20	Sb, Fe
559	83,26	5,43	5,12	6,19	Ag
560	90,82	3,19	4,20	1,79	Sb, Fe
561	91,37	6,29	2,35	0,00	Sb
562	93,24	1,74	5,02	0,00	Fe
563	92,54	2,22	5,24	0,00	Sb, Fe
564	92,94	2,16	4,90	0,00	Sb, Fe
565	92,56	1,55	5,89	0,00	Sb
566	92,99	1,98	5,03	0,00	Sb, Fe
567	90,78	2,28	6,94	0,00	Sb, Fe
586	89,97	4,22	4,52	1,28	Sb, Fe
587	90,77	2,58	4,17	2,49	Sb, Fe
588	93,28	3,67	3,06	0,00	Sb, Fe
589	92,72	1,92	5,36	0,00	Sb, Fe
590	88,72	11,28	0,00	0,00	Ni
591	90,95	2,59	5,87	0,59	Sb, Fe
592	93,20	2,34	4,31	0,15	Sb
593	92,60	2,61	4,79	0,00	Sb, Fe
594	92,16	2,19	5,65	0,00	Sb, Fe
595	92,04	1,98	5,98	0,00	Sb, Fe
596	92,08	2,80	5,12	0,00	Sb, Fe
597	91,72	2,25	6,04	0,00	Sb, Fe
598	92,15	2,41	5,45	0,00	Sb, Fe
599	92,27	2,21	5,52	0,00	Sb, Fe
600	92,07	2,19	5,74	0,00	Sb, Fe

N°	Cu	Pb	Sn	Zn	Traces
601	91,43	2,47	6,11	0,00	Sb, Fe
602	93,84	1,34	4,81	0,00	Sb, Fe
603	92,35	2,24	5,41	0,00	Sb, Fe
604	88,47	5,68	5,85	0,00	Sb, Fe
605	92,54	2,62	4,85	0,00	Sb, Fe
606	93,76	1,81	4,42	0,00	Sb, Fe
607	90,51	2,90	6,59	0,00	Sb, Fe
608	87,21	7,74	4,70	0,35	Sb
609	91,21	3,11	2,70	2,98	Fe
610	93,96	1,10	4,94	0,00	Sb, Fe
611	93,50	1,64	4,70	0,16	Sb, Fe
612	84,25	3,98	11,77	0,00	Sb, As, Ni, Fe
613	92,62	1,60	5,79	0,00	Sb, Fe
614	1,14	93,54	5,31	0,00	Ni

Résultats analytiques normalisés avec Cu, Pb, Sn, Zn, et signalement de traces

Résultats

Les alliages cuivreux modernes sont classiquement des cuivre-étain (bronze) et des cuivre-zinc (laiton), le composant secondaire variant dans des proportions assez fortes et procurant à l'alliage des qualités mécaniques et esthétiques différentes. À cette base, vient s'ajouter le plomb (bien que ce dernier métal ne forme pas un alliage avec le cuivre stricto sensu). Avec ces 3 métaux, nous couvrons la majorité des alliages en circulation. Mais il ne faut pas oublier que d'autres ont pu exister (les cuivres arséniés, les cuivres antimonieux, *caldarium* etc.) et que par le jeu des recyclages il est également fréquent d'observer des alliages quaternaires (ou plus). L'utilisation d'une classification adaptée aux alliages anciens est indispensable et celle proposée par Bayley reste d'actualité avec quelques modifications portant sur la nomenclature (Bayley J., « Alloy nomenclature », *In Egan G. et Pritchard F. (éd.), Medieval Finds from Excavations in London: 3. Dress Accessories c.1150- c.1450*, HMSO, Londres, 1991, p. 16 et ss.).

La méthodologie proposée pour représenter les compositions élémentaires repose sur l'utilisation d'un diagramme ternaire dont les sommets sont occupés par le zinc, l'étain et le plomb. Chaque axe représente la proportion relative des éléments d'alliage contenus dans le matériau à base de cuivre. Le report sur le diagramme ternaire des domaines de composition des différents alliages (bronzes, laitons...) permet de classer rapidement un corpus de mobilier et d'évaluer la variabilité des compositions. Depuis son élaboration, le modèle présenté a fait l'objet de plusieurs ajustements qui concernent essentiellement la dénomination des alliages et leurs domaines de concentrations. La lecture du diagramme ci-dessous doit se faire en gardant présent à l'esprit que la distribution est normée à 100% et ne représente pas une proportion réelle d'éléments d'alliage, mais uniquement une proportion relative entre les 3 éléments.

Classification des alliages cuivreux de l'US 2214

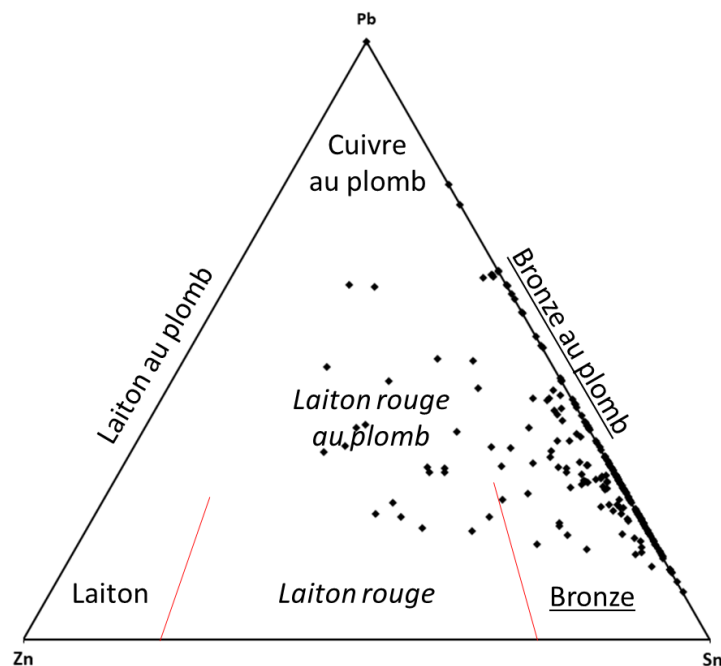


Diagramme ternaire de la répartition des compositions des gouttes analysées

Dans le cas des gouttes de l'US 2214, il apparaît clairement qu'il s'agit d'un corpus de bronze. Il est majoritairement composé de bronzes sans ajout significatif et de bronzes au plomb. La classe secondaire la plus présente est faite d'un laiton rouge au plomb. Cette dénomination ne doit pas induire en erreur. Placée au centre du graphique, elle signe des éléments d'alliages (Pb-Zn-Sn) présents dans des proportions similaires. Enfin, plus discret, il faut noter la présence du laiton rouge (6 éléments) et de 4 cuivres au plomb. Ni le bronze, ni, a fortiori, le bronze au plomb ne peuvent être qualifiés d'alliages binaires purs. La présence de plomb, mais également de zinc montre une propension au recyclage à partir d'un stock métallique hétérogène, bien que sûrement perçu comme du bronze par l'utilisateur. Les laitons rouges au plomb ou non s'inscrivent dans cette même logique. Le travail du métallurgiste a consisté à refondre des objets, mais non à produire un alliage à une teneur spécifique voulu comme en atteste la distribution assez large des gammes d'alliages représentées.

La seule analyse de ce dépôt ne permet pas d'aller plus loin que l'affirmation d'un travail au creuset pour couler des objets métalliques à recycler. La finalité de ce travail métallurgique reste à découvrir : production de bibeloterie, de fausses monnaies, de vaisselles, etc.

Premières conclusions

Le mobilier qui nous a été confié est le reflet d'une activité métallurgique portant à la fois sur les métaux précieux et le bronze au sens large. L'analyse des gouttes métalliques a montré l'usage par recyclage d'alliages de type bronze dans le cadre d'une activité de fonte à l'aide de métaux et alliages à recycler.

Dans les creusets, c'est le travail lié à l'or et à l'argent qui est caractérisé. Les autres éléments métalliques présents indiquent également des ajouts pour améliorer les qualités mécaniques des métaux précieux, et, peut-être, en modifier la couleur autant qu'en abaisser le titre.

Les quantités qu'il est possible de traiter dans les creusets mis au jour orientent vers le travail d'un orfèvre. Parallèlement, les vestiges de coulée métallique portent à croire qu'un artisan bronzier est à l'œuvre. La double capacité n'est pas à exclure.

Il reste à comprendre quelles sont les finalités de ces activités métallurgiques. En l'état des trouvailles et des analyses, deux hypothèses peuvent être proposées, mais l'une comme l'autre manquent d'éléments de preuve :

- Une production opportuniste de petits objets de la vie quotidienne, à côté du travail des métaux précieux.

- La production d'un support en alliage cuivreux que viendraient recouvrir une argenture et/ou une dorure. Le cas le plus évident serait la production de fausses monnaies.

ANNEXE analyses brutes par SEM-EDX

Echantillon 1877_34-MTC_2023-47/2

Distance (µm)	O	Al	Si	K	Ca	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Au	Pb
0	74,98	0	17,65	0	0	0	0	7,37	0	0	0	0
50	0	0,06	11,24	9,55	0	0	0,95	3,84	0	16,05	21,49	36,83
100	0	0	0	0	0	23,76	30,95	24,73	20,56	0	0	0
150	40,76	0,58	8,29	5,18	3,29	7,16	8,4	0	10,29	3,54	8,41	4,09
200	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	35,05	11,19	0	53,76	0	0	0	0	0	0
300	0	37,47	9,01	0	0	6,75	7,17	39,59	0	0	0	0
350	0	13,43	0	7,48	0	6,34	0	28,24	23,94	19,46	1,1	0
400	0	4,92	17,31	0	18,3	11,69	25,44	0	0	22,34	0	0
450	40,77	0	0	1,26	6,42	17,52	19,76	0	14,28	0	0	0
500	0	0	5,33	4,85	0	14,48	0	5	8,45	61,35	0,54	0
550	0	0	42,57	0	12,51	27,09	17,83	0	0	0	0	0
600	0	4,45	10,61	4,16	5,46	27,64	15,13	0	4,14	0	0	28,41
650	0	0	49,11	0	0	50,89	0	0	0	0	0	0
700	22,96	22,3	1,52	0,02	4,17	29,29	0	0	9,87	9,87	0	0
750	0	0	19,47	3,86	0	22,17	0	50,04	0	4,45	0	0
800	0	5,65	3,73	9,36	0	10,08	3,86	7,4	16,42	9,79	17,64	16,06
850	0	23,45	29,71	10,4	10,86	3,67	5,63	0,05	6,49	9,75	0	0
900	35,56	17,73	22,99	6,72	8,72	1,79	1,09	0	1,45	0	2,89	1,05
950	45,31	15,43	22,97	6,51	1,26	2,09	0	0	1,26	2,13	1,3	1,72
1000	46,88	13,15	25,5	4,68	2,53	0	2,59	0,64	0,01	3,76	0,28	0
1050	45,27	17,37	24,61	6,96	3	0	0,51	0,61	1,45	0	0,22	0
1100	39,72	18,82	26,06	8,32	2,88	0	0	0,47	1,38	1,08	1,13	0,15
1150	42,73	16,4	29,87	6,69	0,76	0	0	0,18	0,85	1,64	0,87	0
1200	47,8	13,31	31,33	4,91	0,17	0,58	0,54	1,02	0,33	0	0	0
1250	48,78	16,11	28,06	3,91	0,21	0,05	0	0,27	0,99	1,64	0	0
1300	49,78	17,71	27,22	3,74	0,2	0	0	0,83	0,34	0	0,18	0
1350	46,83	18,43	28,4	4,21	0,31	0,69	0	0,83	0,29	0	0	0
1400	45,56	17,88	29,36	3,94	0,37	0,93	0,58	0,37	0,2	0,56	0,22	0,02
1450	47,22	14,34	32,26	3,74	0,48	0	0	0,71	0,51	0,76	0	0
1500	47,84	18,32	27,47	4,78	0,71	0,1	0	0,75	0,04	0	0	0
1550	46,96	18,61	27,88	4,96	0,33	0	0,36	0,48	0,41	0	0	0
1600	44,38	15,51	31,04	3,03	0,34	3,82	1,19	0	0,68	0	0	0
1650	44,07	14,54	30,8	2,24	0,37	5,28	1,01	0,47	1,21	0	0	0
1700	47,37	15,21	30,04	3,35	0	1,49	0	0,61	0,79	1,13	0	0
1750	47,43	15,15	32,79	2,48	0,18	0,98	0,09	0	0,61	0,29	0	0
1800	48,28	14,63	30,22	3,34	0	0,54	0	0	1,01	1,8	0	0,18
1850	47,53	14,62	33,02	2,74	0,03	0	0,15	0,49	0	1,42	0	0
1900	45,4	17,62	32,29	3,01	0,32	0,4	0	0,28	0,23	0,45	0	0
1950	46,85	16,09	28,11	3,06	0,11	0,9	0,51	0,78	1,47	0,92	0,82	0,38

Distance (µm)	O	Al	Si	K	Ca	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Au	Pb
2000	49,07	17,52	28,67	2,95	0,56	0	0	0,39	0,18	0,67	0	0
2050	46,08	19,34	28,2	3,52	0,45	0,11	0	0	0,48	1,82	0	0
2100	46,65	19,25	28,07	3,97	0,44	0	0,04	0,67	0,32	0,6	0	0
2150	47,11	19,18	27,34	3,76	0,87	0,86	0,12	0,66	0,12	0	0	0
2200	46,12	20,18	27,56	3,63	0,78	0	0	0,93	0,76	0,05	0	0
2250	45,15	20,39	27,92	4,18	0,3	0,61	0	0	0,23	1,21	0	0
2300	46,62	18,25	27,86	3,56	0,37	0	0,9	1,06	0,34	1,04	0	0
2350	44,98	17,2	34	2,39	0,19	0	0	0,47	0,12	0,22	0	0,42
2400	46,75	20,69	28,57	2,23	0,84	0,11	0	0,49	0,33	0	0	0
2450	47,26	19,95	28,27	3,34	0,28	0,12	0	0,24	0,33	0,2	0	0
2500	46,73	19,95	27,55	3,5	0,2	0,41	0	0,55	1,11	0	0	0
2550	47,97	19,55	27,56	3	0,62	0	0	0,81	0	0,07	0	0,43
2600	47,31	17,28	30,17	2,42	0,57	0,24	0	1,11	0,89	0	0	0
2650	45,92	17,5	30,07	2,73	0,06	0,69	0	0,4	1,16	1,46	0	0
2700	46,45	18,17	29,33	3,38	0,37	0,43	0,12	0,19	0,64	0,93	0	0
2750	46,01	19,53	29,52	2,97	0,33	0,47	0	0,22	0,77	0,19	0	0
2800	45,78	20,43	28,53	3,01	0,59	0,58	0	0,69	0,38	0	0	0
2850	47,39	19,95	28,43	2,56	0,6	0	0	0,75	0,32	0	0	0
2900	48,01	19,62	27,75	2,78	0,2	0	0,43	0,36	0,83	0	0	0
2950	46,88	18,48	30,43	3,22	0,19	0	0	0,81	0	0	0	0
3000	46,34	17,04	31,07	3,94	0,44	0,5	0	0,2	0,08	0,39	0	0
3050	46,66	18,51	29,66	2,95	0,62	0	0	0,85	0,47	0,1	0,14	0,03
3100	44,72	18,78	29,88	3,27	0,23	0,28	0,75	0,78	0,83	0,46	0	0
3150	44,37	20,83	29,38	3,26	0,1	0,17	0	1,17	0	0,43	0	0,28
3200	44,54	18,28	32,98	2,01	0,46	0,91	0	0,63	0,14	0	0,04	0
3250	47,3	19,17	28,08	3,01	0,22	0	0	0,8	0,63	0,44	0	0,35
3300	45,78	18,7	30,79	2,83	0,34	0	0,36	0,47	0,7	0	0	0,03
3350	47,64	18,02	29,25	2,91	0,43	0	0,19	0,46	0,88	0,22	0	0
3400	46,54	16,62	31,96	2,67	0,49	0	0	0,77	0	0,25	0,13	0,56
3450	45,8	16,89	31,01	3,04	0,01	0,58	0	0,28	0,58	1,8	0	0
3500	44,64	17,43	32,99	2,85	0,75	0,36	0	0,67	0,31	0	0	0
3550	44,85	18,39	30,67	3,01	0,12	0,37	0	0,32	1,12	1,14	0	0
3600	45,99	17,96	30,94	2,21	0,46	0,37	1,12	0,41	0,55	0	0	0
3650	46,66	18,49	31,49	2,08	0,33	0	0	0,59	0,34	0	0	0,01
3700	45,68	17,51	31,06	3,08	0,28	0,22	0	0	0	2,16	0	0
3750	48,32	18,63	28,91	2,5	0,15	0,19	0	0,63	0,66	0	0	0
3800	45,85	18,75	31,47	2,33	0,39	0	0,03	0,89	0	0,29	0	0
3850	48,29	18,29	29,44	2,26	0,54	0,11	0	0,27	0,8	0	0	0
3900	47,79	17,69	29,63	2,51	0,14	0,52	0,68	0,32	0,64	0,08	0	0
3950	46,48	18,88	29,24	2,51	0,23	0,61	0	0,21	0,89	0,96	0	0

Distance (µm)	O	Al	Si	K	Ca	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Au	Pb
4000	46,94	17,18	30,23	2,48	0,31	0	0,33	0,19	1,28	1,07	0	0
4050	48,95	16,85	29,76	2,45	0	0	0	0,09	1,41	0,49	0	0
4100	45,47	16,22	33,61	2,66	0,38	0	0	0,43	0	1,23	0	0
4150	46,39	15,67	33,94	2,56	0,3	0	0,16	0,11	0,4	0,47	0	0
4200	47,68	13,39	32,95	2,09	0,06	0,28	0	0,67	0,82	2,07	0	0
4250	45,55	15,72	34,12	2,5	0,1	0	0,3	0,67	0,26	0,78	0	0
4300	47,31	17,48	31,16	2,05	0,41	0,3	0,28	0	0,9	0	0	0,11
4350	45	16,26	33,43	3,14	0,04	0	0,21	0,13	0,55	1,25	0	0
4400	45,41	15,08	33,89	2,55	0,09	0,49	0,22	0	0,4	1,87	0	0
4450	45,85	16,15	34,07	2,59	0,16	0,62	0	0,02	0,25	0,28	0	0
4500	46,37	15,59	33,95	2,33	0,37	0	0,41	0,44	0,01	0,53	0	0
4550	47,38	17,63	30,74	2,21	0,49	0	0	0,45	1,09	0	0	0
4600	48,35	16,1	31,02	1,92	0,17	0,17	0,34	0,51	0,69	0,73	0	0
4650	45,5	18,04	30,99	2,24	0,49	0,72	0,42	0,29	1,1	0,21	0	0
4700	46,06	18,38	28,28	3,23	0,27	0	0,75	0,95	0,79	1,29	0	0
4750	48,93	15,36	31,96	2,07	0,15	0,04	0,04	0,12	1,26	0	0	0,06
4800	47,46	12,01	37,68	1,64	0,01	0	0	0,48	0,71	0,02	0	0
4850	49,62	8,28	39,89	1,22	0,07	0	0	0,29	0	0,63	0	0
4900	46,09	10,48	39,65	1,33	0	0,31	0,41	0,31	0,19	1,23	0	0
4950	46	16,61	34,14	1,92	0,59	0	0,09	0,28	0,32	0	0,04	0
5000	46,62	15,28	33,95	2,35	0,01	0,88	0	0,61	0	0,29	0	0
5050	47,44	18,74	30,19	2,43	0,38	0	0,1	0,49	0,23	0	0	0
5100	46,71	15,8	32,46	2,6	0,39	0	0,42	0,66	0,43	0,52	0	0
5150	46,64	18,31	29,26	2,94	0,32	0	0	0,69	0,9	0,76	0	0,18
5200	47,04	14,69	33,53	2,43	0,13	0	0,29	0,39	0,76	0,74	0	0
5250	45,37	14,43	36,04	3,08	0,01	0	0	0,12	0,02	0,94	0	0
5300	46,53	12,55	36,04	2,16	0,17	0,98	0,56	0,58	0,28	0,15	0	0
5350	47,75	14,93	32,77	2,86	0,27	0,06	0,35	0,56	0,12	0,32	0,01	0
5400	45,92	17,49	29,56	3,79	0,19	0,22	0,47	0,91	0,39	0,95	0	0,12
5450	47,21	16,18	32,37	3,14	0,56	0	0	0,42	0	0,11	0	0
5500	47,82	16,54	30,58	2,51	0,24	0	0	0,28	1,05	0,98	0	0
5550	45,38	18,78	29,68	3,42	0,3	0,22	0,24	0,36	0,43	1,21	0	0
5600	45,36	18,06	30,66	2,14	0,63	0,76	0,89	0,88	0,61	0,01	0	0
5650	48,16	12,11	36,64	1,94	0,25	0	0	0	0,58	0,32	0	0
5700	47,82	11,9	35,87	2,25	0,14	0	0,04	0,48	0,6	0,52	0,39	0
5750	46,66	12,56	36,66	2,22	0,09	0,26	0	0	0,46	1,09	0	0
5800	44,29	11,99	39,1	2,31	0,45	0	0	0,42	0,46	0,98	0	0
5850	46,2	11,41	37,21	1,93	0,39	0,22	0,1	0,5	0,77	1,27	0	0
5900	45,1	10,58	38,86	1,89	0	0,66	0,01	0,8	0,83	1,27	0	0
5950	43,83	11,34	38,49	3,16	0,21	0,13	0,05	0,18	0,13	2,41	0,07	0

Echantillon 1875_08-MTC_2030-99/13

Distance (µm)	O	Al	Si	K	Ca	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Au	Pb
0	41,82	9,21	38,33	2,75	2,68	0,01	0	1,51	1,43	2,25	0	0
50	43,93	9,54	39,56	3,29	1,23	0,16	0	0,11	0	0,42	1,77	0
100	39,73	9,26	36,32	2,65	0,85	1,12	2,23	5,84	0,8	0,28	0,92	0
150	39,15	9,86	37,53	4,36	0	0,48	0	1,79	0	1,59	4,52	0,73
200	40,82	8,54	36,02	5,43	0,86	0,24	0,7	2,25	0	4,65	0,5	0
250	41,98	9,43	38,05	3,32	2,8	0	0	2,37	0	0	1,3	0,76
300	40,29	9,01	36,01	3,17	2,1	0	0	1,29	0	3,77	2,17	2,2
350	35,42	8,62	37,79	3,94	1,45	0,99	0,64	0,17	0,93	1,76	4,53	3,77
400	37,53	9,21	39,55	3,29	0,25	0,79	0,12	0	0	2,89	2,48	3,89
450	35,09	7,92	39,54	3,45	2,6	0,5	0	2,61	0,83	0	3,22	4,22
500	42,13	11,31	33,91	4,21	3,29	0,2	0,69	2,82	0	1,43	0	0
550	43,62	13,38	31,15	2,4	1,86	0,43	0,3	0,17	0,97	0	3,5	2,24
600	42,16	18,76	32,17	2,17	1,78	0,4	0,16	1,51	0,86	0,01	0	0,04
650	39	20,56	32,31	2,44	1,36	0,62	0	1,04	1,37	1,3	0	0
700	47,39	19,41	29,64	1,45	1,45	0	0	0	0,66	0	0	0
750	49,63	17,43	28,22	1,13	1,23	0,36	0,8	0,4	0,4	0,38	0	0
800	46,48	17,97	30,44	1,81	0,47	0	0	0,25	1,48	1,09	0	0
850	50,51	15,55	31,73	0,47	0,51	0	0	0,56	0,68	0	0	0
900	50,36	17,98	28,54	1,47	0,66	0	0,1	0,89	0	0	0	0
950	47,93	20,12	29,71	1,37	0,43	0	0	0,36	0,09	0	0	0
1000	47,46	20,26	28,29	1,57	0,46	0,39	0	0,48	0,33	0,52	0	0,24
1050	46,2	19,45	30,51	1,34	0,26	0	0,56	0,45	0,93	0,3	0	0
1100	46,91	18,86	30,72	1,49	0,66	0,59	0	0	0,55	0	0	0,21
1150	46,37	20,49	29,81	1,41	0,45	0	0,52	0,33	0,62	0	0	0
1200	46,75	21,14	28	1,55	0,58	0,52	0	0,64	0,59	0	0	0,23
1250	46,53	20,56	29,78	1,19	0,31	0,23	0	0,9	0,51	0	0	0
1300	45,67	20,74	30,08	1,66	0,7	0	0	0,58	0,22	0,34	0	0
1350	45,97	17,22	33,68	1,18	0,3	0,08	0,26	0,33	0	0,98	0	0
1400	47,09	16,93	31,78	1,11	0,55	0	0,08	0,34	0,72	0,74	0,18	0,49
1450	44,73	18,3	34,6	1,1	0,31	0,16	0	0,25	0	0,56	0	0
1500	45,97	19,83	31,7	1,49	0,26	0,28	0	0,3	0,17	0	0	0
1550	45,75	20,04	29,84	1,87	0,38	0,53	0,16	0,9	0	0,53	0	0
1600	46,15	20,73	29,21	1,76	0,38	0	0	0,48	0,09	1,21	0	0
1650	46,97	19,17	29,64	2,05	0,5	0	0,1	0,13	0,17	0,97	0	0,3
1700	47,07	20,13	29,79	1,6	0,22	0,01	0,04	0,45	0,69	0	0	0
1750	45,7	21	30,02	2,18	0	0,43	0	0	0,05	0,63	0	0
1800	45,44	20,02	30,89	1,26	0,49	0,4	0	0,41	1,08	0	0	0
1850	45,84	20,8	30,05	2,02	0,42	0,42	0	0	0,12	0,33	0	0
1900	47,85	20,4	28,8	1,23	0,69	0	0,38	0	0,65	0	0	0
1950	46,35	18,02	32,27	0,93	0,41	0,65	0,5	0,06	0,63	0,19	0	0

Distance (µm)	O	Al	Si	K	Ca	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Au	Pb
2000	47,94	17,72	31,13	1,37	0,19	0,35	0	0,24	0,96	0,1	0	0
2050	46,71	20,09	30,43	1,48	0,49	0	0	0,8	0	0	0	0
2100	46,06	17,84	32,43	1,9	0,51	0	0,01	0	1,06	0,18	0	0
2150	46,01	18,62	32,57	1,27	0,39	0,11	0	0,42	0,54	0,06	0	0
2200	47,58	17,38	31,35	1,76	0,44	0,11	0,11	0,29	0,93	0,04	0	0
2250	44,59	20,04	32,68	1,25	0,55	0	0,13	0,21	0,55	0	0	0
2300	44,56	19,13	32,91	1,52	0,38	0,53	0,11	0,4	0,47	0	0	0
2350	46,81	19,87	30,6	1,59	0,5	0,06	0,11	0,2	0,09	0,16	0	0
2400	44,78	21,66	30,14	2,1	0,28	0,38	0	0,33	0,07	0,26	0	0
2450	46,19	18,86	31,52	1,57	0,51	0,18	0,32	0,18	0,57	0	0	0,11
2500	46,85	16,91	32,99	1,49	0,17	0,19	0	0,39	0,25	0,77	0	0
2550	47,26	20,42	29,25	1,52	0,6	0,18	0	0,21	0,37	0,18	0	0
2600	46,4	19,26	32,22	1,16	0,28	0	0,33	0,35	0	0	0	0
2650	46,31	19,82	30,79	1,6	0,36	0,66	0,31	0,02	0,12	0	0	0
2700	47,62	19,54	28,26	1,78	0,26	0,23	0,26	0,62	0,4	1,04	0	0
2750	47,3	20,18	28,32	2,15	0,11	0,25	0	0,43	0,36	0,91	0	0
2800	47,18	20,19	29,39	1,59	0,65	0,2	0	0,62	0,06	0,12	0	0
2850	48,62	17,4	31,07	1,48	0,44	0,01	0,54	0	0,44	0	0	0
2900	46,53	18,86	31,36	1,36	0,14	0	0	0,28	1,06	0,05	0	0,36
2950	47,44	18,54	31,07	1	0,31	0,05	0	0,21	0,83	0,54	0	0
3000	46,36	16,06	34,65	0,83	0,22	0,04	0,16	0	1,27	0	0,4	0
3050	45,88	16,85	34,29	1,09	0,44	0,14	0	0,22	0,17	0,92	0	0
3100	46,77	18,69	32,53	0,98	0,5	0	0	0,1	0,44	0	0	0
3150	45,02	17,41	34,27	1,55	0,25	0	0	0,28	0,08	1,13	0	0
3200	44,37	19,43	32,68	1,22	0,48	0	0,5	0,58	0,76	0	0	0
3250	44,79	22,05	29,83	1,21	0,38	0	0,19	0,53	1,01	0	0	0
3300	47,41	20,78	28,87	1,46	0,31	0,28	0	0,16	0,45	0,28	0	0
3350	46,21	20,91	29,41	1,6	0,39	0	0,22	0,24	0,54	0,48	0	0
3400	47,12	19,17	29,3	1,54	0,27	0,5	0	0,57	0,51	1,02	0	0
3450	47,63	21,53	29,1	1,02	0,44	0,23	0,05	0	0	0	0	0
3500	45,72	20,36	30,42	1,14	0,25	0,53	0	0,56	0	0,64	0	0,38
3550	45,75	21,69	29,89	1,42	0,26	0	0,39	0,46	0	0,12	0	0,02
3600	45,71	18,68	30,63	1,97	0,03	0,34	0	0,12	0,51	1,31	0,05	0,66
3650	46,37	16,2	34,27	1,34	0,15	0,1	0,19	0,23	0,63	0,51	0	0
3700	47,76	15,9	33,97	1,05	0,13	0,12	0,26	0,13	0,67	0	0	0
3750	45,62	18,05	33,25	1,53	0,14	0,71	0	0,26	0	0,44	0	0
3800	46,41	19,44	29,76	1,97	0,42	0	0,22	0,34	0,94	0,49	0	0
3850	45,98	19,6	30,23	2,01	0,16	0	0,33	0,19	0,28	0,56	0,57	0,08
3900	46,39	15,9	34,62	1,11	0,25	0	0	0,01	0,5	0,69	0	0,53
3950	45,31	15,78	36,38	1,35	0,2	0,65	0,06	0	0	0	0	0,26

Distance (µm)	O	Al	Si	K	Ca	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Au	Pb
4000	45,05	14,8	37,02	1,57	0,07	0,39	0	0,48	0,51	0,12	0	0
4050	45,17	15,55	35,11	1,6	0,3	0,33	0,57	0	0,45	0,93	0	0
4100	46,45	16,54	33,55	1,63	0,23	0	0,19	0,06	0,03	1,04	0	0,28
4150	47	17,07	32,95	1,22	0,13	0	0	0,47	0,95	0	0	0,21
4200	45,89	14,83	37,1	1,07	0,09	0	0	0,28	0	0,49	0	0,25
4250	44,74	18,08	34,43	1,22	0,41	0	0,12	0,37	0,6	0,03	0	0
4300	45,55	18,6	33,06	1,41	0,34	0,18	0	0,18	0	0,56	0	0,12
4350	46,1	19,13	32,3	1,59	0,21	0,19	0	0,48	0	0	0	0
4400	44,73	19,98	31,17	2,29	0,13	0,19	0,06	0	0,71	0,74	0	0
4450	45,61	17,75	33,31	1,94	0,1	0	0,07	0,3	0	0,76	0	0,16
4500	45,21	18,43	32,53	1,97	0,22	0	0,02	0,05	0,08	1,48	0	0
4550	45,79	17,3	33,1	1,46	0,06	0,46	0,37	0,51	0,63	0,33	0	0
4600	46,84	19,82	29,32	1,74	0,41	0,05	0	0,04	0,88	0,11	0,23	0,56
4650	46,16	19,5	30,8	1,54	0,34	0,43	0,28	0,52	0,42	0	0	0,02
4700	46,56	21,87	28,76	1,75	0,27	0	0	0,32	0	0,26	0,22	0
4750	46,67	20,29	28,64	2,1	0,38	0,48	0	0,16	0,71	0,58	0	0
4800	46,15	19,77	31,71	1,04	0,27	0,33	0	0,05	0,67	0	0	0
4850	46,41	17,29	32,81	1,65	0,37	0	0	0,62	0,85	0	0	0
4900	46,26	19,9	30,05	1,76	0,13	0,27	0	0,51	0,42	0,69	0	0
4950	44,94	17,58	34,46	1,65	0	0	0	0,47	0,13	0,78	0	0
5000	45,72	16,94	32,73	1,4	0,39	0,17	0,61	0,3	1,05	0,69	0	0
5050	45,79	17,19	32,73	1,87	0,18	0,6	0,54	0,2	0,07	0,83	0	0
5100	46,26	18,16	31,83	1,14	0,41	0,21	0,29	0,07	1,61	0	0	0
5150	46,07	21,46	29,95	1,53	0,57	0,1	0	0	0,32	0	0	0
5200	46,51	21,79	27,46	1,87	0,36	0	0,5	0,62	0,67	0,22	0	0
5250	44,96	21,65	30,34	1,41	0,6	0	0	0,45	0	0	0	0,58
5300	45,51	18,91	31,74	1,78	0,22	0	0,17	0	0,81	0,85	0	0
5350	48,06	16,79	31,1	1,9	0,09	0,16	0	0,17	0,85	0,87	0	0
5400	45,69	16,51	33,47	1,75	0,26	0	0,12	0,29	0,71	1,2	0	0
5450	45,6	20,13	28,96	1,97	0,32	0,3	0,1	0,78	0,57	0,72	0	0,55
5500	44,31	22,15	30,35	1,78	0,6	0,03	0,01	0,48	0,3	0	0	0
5550	47,75	16,35	33,99	0,99	0,15	0	0,1	0	0,67	0	0	0
5600	45,28	14	37,09	1,1	0,32	0,26	0,49	0,51	0	0,96	0	0
5650	45,34	15,19	37,26	1,43	0,12	0,1	0	0,35	0,05	0,14	0	0
5700	44,41	14,44	37,96	1,45	0,17	0,22	0,12	0,12	0,29	0,73	0,09	0
5750	44,81	12,76	39,81	1,33	0,4	0	0,17	0,22	0	0,49	0	0
5800	44,52	15,9	36,38	1,48	0,45	0,01	0	0,07	0	0,93	0	0,25
5850	44,42	15,95	35,43	2,01	0,78	0,51	0	0,14	0	0,76	0	0
5900	44,85	17,95	33,47	1,92	0,48	0	0	0,27	0,8	0,25	0	0
5950	45,17	20,03	29,15	2,53	0,41	0,63	0,59	0	0,75	0	0	0,73

