



HAL
open science

Composition des petits anneaux en or et en bronze de Changis

Bernard Gratuze

► **To cite this version:**

Bernard Gratuze. Composition des petits anneaux en or et en bronze de Changis. Françoise Lafage. Occupations protohistoriques à Changis-sur-Marne “ Les Pétreaux ”, 27, CNRS Éditions; INRAP, pp.330-337, 2024, Recherches archéologiques 27,, 978-2-271-15334-0. hal-04849461

HAL Id: hal-04849461

<https://inrap.hal.science/hal-04849461v1>

Submitted on 19 Dec 2024

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.

Composition des petits anneaux en or et en bronze de Changis

Le corpus analysé

La composition d'un fragment de tôle d'or (n°M122) et de dix-neuf des vingt-et-un petits anneaux en or et en bronze de la nécropole à crémation de Changis a été déterminée par spectrométrie de masse couplée à l'ablation laser. Seul l'anneau n°24 (M124), emprisonné dans une gangue d'oxydes et de charbon de bois, n'a pas été analysé. Parmi les dix-neuf anneaux étudiés, la feuille d'or présente sur treize d'entre eux est bien conservée (n°129, 132, 133, 134, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143 et 144), pour les six autres (n°121, 125, 128, 130, 131 et 136), la structure est plus difficilement identifiable, et la feuille d'or semble soit avoir disparu, soit avoir été totalement absente (n°136). Ces six anneaux ont en effet un aspect de bronze plus ou moins oxydé et sont parfois recouverts d'une épaisse couche de corrosion sur laquelle apparaissent des empreintes de charbon de bois. Mis à part l'anneau n°136, pour lequel aucune trace d'or n'a été décelée, les analyses ont permis de mettre en évidence la présence d'or en quantité importante au sein des alliages métalliques des cinq autres anneaux fortement corrodés.

La méthode d'analyse

L'analyse élémentaire de la composition des anneaux a été réalisée au Centre de Recherche Ernest-Babelon (IRAMAT, UMR 5060 CNRS/Université d'Orléans), par spectrométrie de masse à plasma avec micro-prélèvements par ablation laser (LA- ICP-MS) à l'aide d'un spectromètre Element XR de Thermofisher Instruments. Il s'agit d'une méthode d'analyse multi-élémentaire séquentielle à la fois qualitative et quantitative, qui permet de doser les trois principaux éléments constitutifs des alliages à base d'or (or, argent, cuivre), ainsi que la plupart des impuretés naturellement présentes dans ces métaux, soient 18 éléments, jusqu'à l'échelle de la partie par million (ppm).

Les objets étudiés sont placés à l'intérieur d'une cellule en quartz et aluminium traversée par un flux d'argon. Un micro-prélèvement, invisible à l'œil nu, est effectué par un rayon laser (Nd YAG quadruplé à 266 nm). Le diamètre de l'impact est compris entre 0,02 et 0,08 mm, sa profondeur dépend de la durée de l'ablation et peut atteindre 1 mm. Cette durée est en fait adaptée au matériau étudié, et vise à atteindre une zone de composition stable à l'intérieur de l'objet. Dans le cas des anneaux de Changis, la durée d'ablation pratiquée, 80 à 160 secondes, correspond à une profondeur d'analyse comprise entre 0,3 et 0,5 mm. La matière prélevée (quelques microgrammes) est ensuite transportée par le flux d'argon vers une torche à plasma (environ 8000°C) où elle est dissociée et ionisée. Les différents constituants sont identifiés selon leur masse grâce à un secteur magnétique couplé à un secteur électrostatique, puis quantifiés par un détecteur de type channeltron associé à une cage de Faraday. Un système informatique récupère les données et permet le calcul de la composition.

De deux à quatre micro-prélèvements sont réalisés pour chaque analyse. La composition de l'objet analysé est obtenue en utilisant un programme informatique, développé au laboratoire, qui fait appel à une méthode originale de calcul par étalonnage interne (Gratuze 1999). Une adaptation récente de cette méthode permet de calculer la composition de l'objet au fur et à mesure de la pénétration du laser. Cette approche permet à la fois d'obtenir les teneurs des différents éléments de la surface de l'objet, souvent perturbée par des traitements métallurgiques et/ou la corrosion, mais aussi au cœur de celui-ci, zone qui correspond à celle de l'alliage travaillé. Dans le cas des anneaux, des informations peuvent aussi être obtenues sur l'alliage support de la feuille d'or et sur les interactions éventuelles entre cette dernière et le support lors de la crémation. Les teneurs des différentes zones sont obtenues à partir de la teneur moyenne des paliers de concentration observés.

Cette mesure en profil de concentrations concerne tous les éléments, majeurs, mineurs et traces. On peut ainsi vérifier l'homogénéité de l'alliage employé, pour l'ensemble de ses constituants. La précision des mesures varie selon la nature et l'homogénéité des alliages étudiés entre 3 et 5 % relatifs pour les éléments majeurs, et de 5 à 15 % relatifs pour les éléments mineurs et traces (Gratuze *et al.* 2004).

Résultats

Caractérisation des alliages employés

Les feuilles d'or

Les résultats obtenus pour les treize anneaux qui présentent une feuille d'or bien conservée mettent en évidence l'emploi d'un alliage ternaire (table bg 1 et figure bg1), composé d'environ 75,5 à 85,8% d'or (moyenne 80,4%), de 12,3 à 17,3 % d'argent (moyenne 14,7%) et de 1,8 à 7,5 % de cuivre (moyenne 4,7%). Cet alliage a pu être obtenu par ajout de cuivre à un or natif non purifié (présence naturelle d'argent de l'ordre de 12,6 à 18,6%) comme semblent l'attester les faibles teneurs en plomb mesurées (106 ppm en moyenne). Le fragment de feuille d'or isolé (n°122) a une composition moyenne identique à celles des feuilles présentes sur les anneaux (77,8 % Au, 16,2 % Ag et 5,8 % Cu).

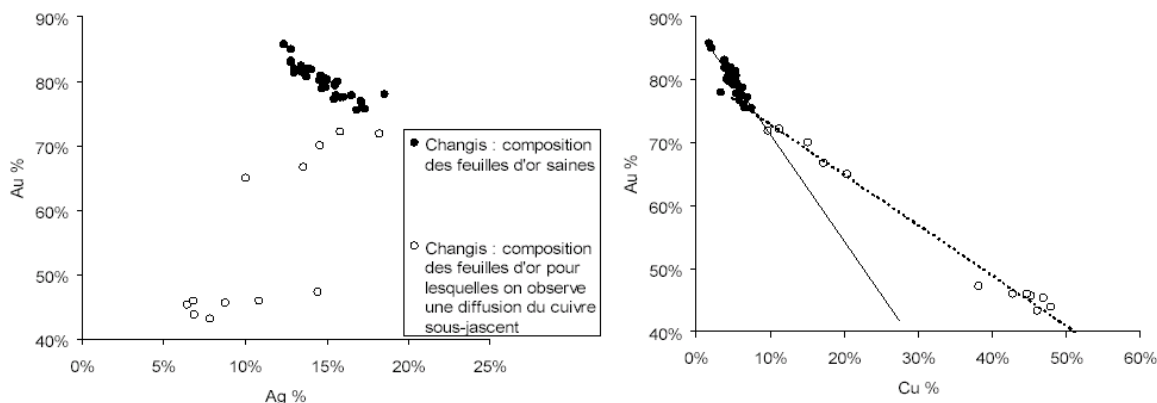


Figure bg1 : diagrammes binaires or/argent et or/cuivre pour les alliages constitutifs des anneaux de Changis (plusieurs mesures ont été effectuées par anneau). On observe deux groupes d'objets : le premier est constitué d'objets pour lesquels on n'observe pas de phénomène de diffusion du cuivre dans la feuille d'or (cercles pleins) et le second d'objets pour lesquels cette diffusion a eu lieu (cercles creux).

La majorité des profils de concentrations obtenus à partir de ces différents anneaux met toutefois en évidence une importante diffusion du cuivre sous-jacent à l'intérieur de la feuille d'or (figure bg2). Dans la plupart des cas, les profils mesurés pour l'or et le cuivre montrent en effet une évolution continue de la composition (diminution de la teneur en or et augmentation de celle du cuivre) de la surface vers l'intérieur de l'objet. On observe par ailleurs que le rapport or/argent reste constant de la surface vers l'intérieur au sein d'un même objet. La composition initiale de la feuille d'or apparaît avoir été conservée seulement au sein d'une couche de faible épaisseur à la surface de l'anneau (présence de paliers de composition horizontaux). Cette diffusion du cuivre au sein de la feuille d'or semble s'être produite naturellement lors de la crémation.

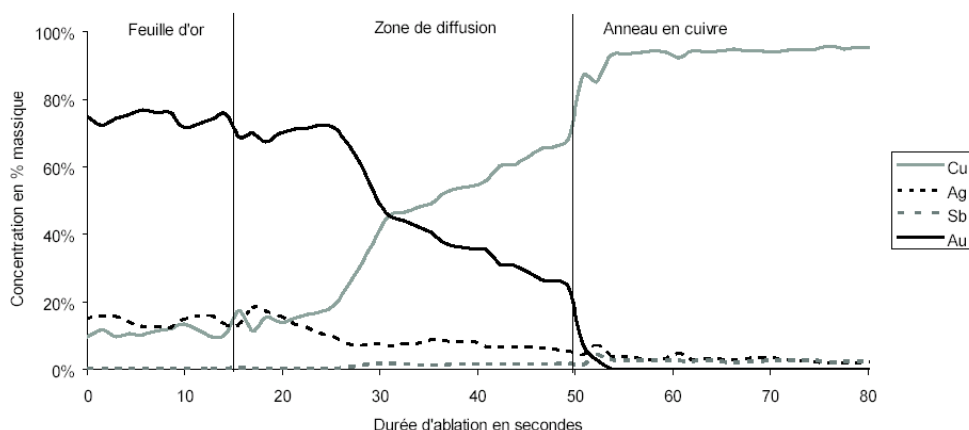


Figure bg 2 : Profils de concentration mesurés pour l'anneau n°135. Après une première zone de palier (feuille d'or saine), on observe une augmentation progressive de la teneur en cuivre au sein de l'alliage, due à la diffusion de cet élément à l'intérieur de la couche d'or durant la crémation. Une seconde zone de palier est obtenue lorsque le laser pénètre à l'intérieur de l'anneau en cuivre.

Dans quelques cas cependant, (principalement pour les anneaux n° 132, 133 et 141), ce phénomène de diffusion apparaît très limité et n'affecte qu'une zone de faible épaisseur, située à l'interface entre l'anneau de cuivre et la feuille d'or (figure bg3). Aucun phénomène de diffusion n'a été observé pour l'anneau n°140. Cet anneau est par ailleurs le seul pour lequel il n'a pas été possible de traverser la feuille d'or et d'atteindre l'anneau en cuivre (deux ablations d'une minute et demie et deux ablations de trois minutes).

Pour cinq des anneaux (n°121, 125, 128, 130 et 131), il n'a pas été possible d'identifier la présence d'une feuille d'or non altérée (absence de palier de concentration). L'alliage présent à la surface de l'objet, ou légèrement en deçà de celle-ci (figures bg1 et bg4), est un alliage ternaire de composition moyenne (45% Cu, 45% Au et 9% Ag, les principaux autres éléments présents sont l'étain 0,7%, l'antimoine 0,14%, le plomb 0,14% et l'arsenic 0,1%) qui résulte de la diffusion du cuivre au sein de la feuille d'or. Cette zone de diffusion peut toutefois, comme dans le cas de l'anneau n°131, contenir une proportion d'or beaucoup plus importante (environ 66 %).

L'épaisseur et la teneur en or de cette zone de diffusion sont probablement liées à l'épaisseur de la feuille d'or qui recouvre l'anneau de bronze, et aux paramètres thermiques de la crémation (temps de chauffe et température atteinte localement). D'un anneau à l'autre et pour un même anneau d'un point de mesure à l'autre, les épaisseurs

relatives de chaque zone apparaissent en effet très variables. C'est ainsi que l'on observe localement des zones de diffusion qui atteignent la surface externe pour les anneaux n°135 et 142 : en fonction des zones analysées, la concentration en cuivre à la surface de l'objet varie de 7 à 15% pour l'anneau n°135, et de 3 à 11% pour l'anneau n°142. Un tel phénomène ne s'observe pas pour les anneaux mieux conservés : les teneurs en cuivre mesurées pour quatre points différents par anneau varient en effet de 4,1 à 4,6 % pour le n°140 et de 6,2 à 6,9 % pour le n°141.

Si l'on compare la composition des feuilles d'or saines composant les anneaux de Changis à celle des anneaux retrouvés à Trou de Han à Han-sur-Lesse, et analysés à la fois par PIXE (Warmenbol 1999 et 2004) et par LA-ICP-MS (étude en cours, résultats non publiés) on observe une grande similarité de composition des alliages employés pour fabriquer les anneaux retrouvés sur ces deux sites.

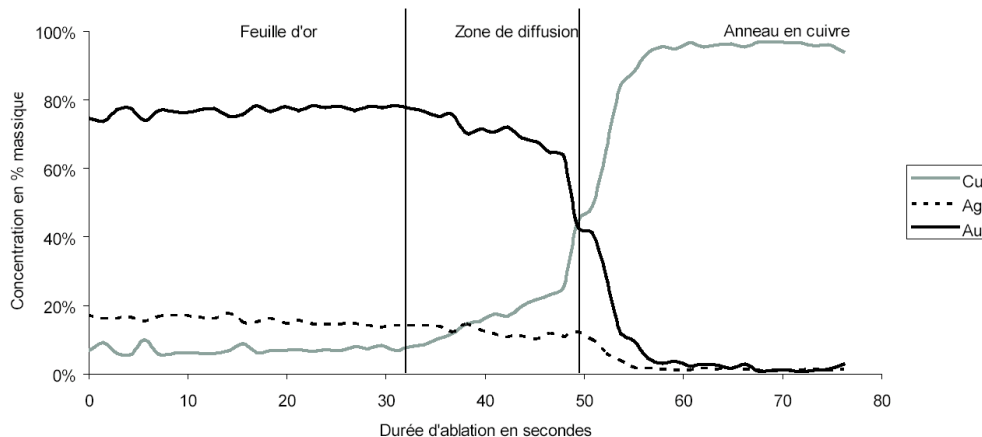


Figure bg 3 : Profils de concentration mesurés pour l'anneau n°141. On observe une zone de diffusion plus restreinte que dans le cas de l'anneau n°135.

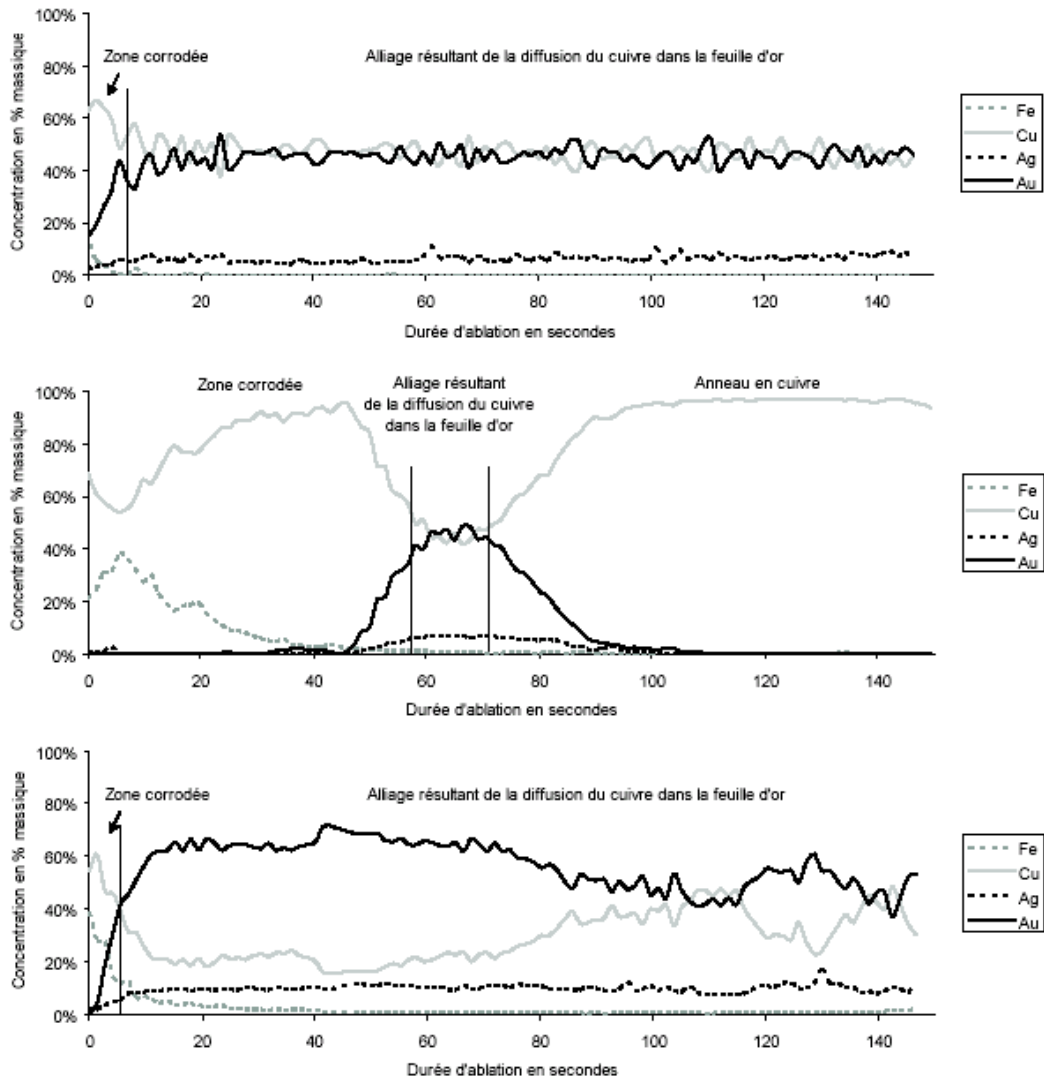


Figure bg4 : Profils de concentration mesurés pour les anneaux n°121 (haut), 125 (milieu) et 131 (bas). On observe la présence, sous une couche de corrosion d'épaisseur variable, d'une zone de diffusion cuivre-or plus ou moins importante.

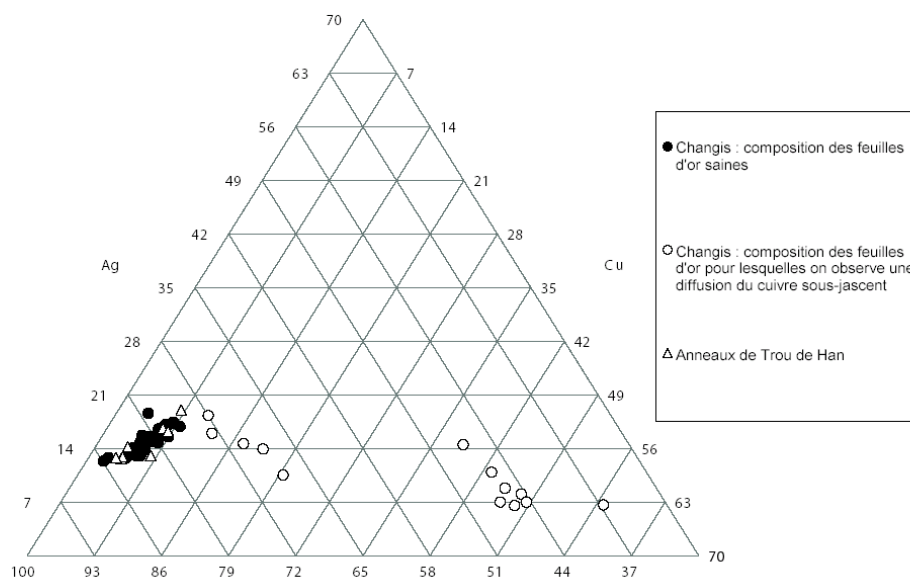


Figure bg5 : Diagramme ternaire or-argent-cuivre. On observe que les alliages des anneaux de Changis ont une composition similaire à ceux de Trou de Han (Belgique).

Les anneaux en cuivre

L'analyse directe de l'anneau en alliage cuivreux a été réalisée sur deux des objets (n°136 et 139). Ces deux anneaux sont fabriqués à partir d'un cuivre non allié, caractérisé par de fortes teneurs en arsenic et/ou en antimoine (Table bg1).

L'estimation de la composition de l'alliage cuivreux présent sous la feuille d'or ou sous les zones de corrosion et/ou de diffusion a été possible pour seize autres anneaux. Les compositions ainsi obtenues doivent toutefois être considérées avec précaution, car l'analyse peut concerner une zone de métal fortement oxydée. La quantification effectuée permet cependant une étude relative des différents matériaux supports des feuilles d'or.

Dans un cas seulement (n°140), il n'a pas été possible d'atteindre l'anneau en cuivre.

Neuf de ces seize anneaux (n° 121, 125, 132, 134, 135, 137, 138, 143 et 144) apparaissent être constitués de cuivre à fortes teneurs en arsenic (de 0,1 à 1%) et antimoine (0,1 à 5,6%).

La présence de ces deux éléments pour ces neuf anneaux ainsi que pour les n°136 et 139 dénote l'utilisation probable d'un minerai de cuivre de type cuivre gris pour leur fabrication.

Des teneurs significatives d'étain (3 à 5%) sont obtenues pour les anneaux 131, 138 et 143, qui pourraient donc être constitués d'un bronze à faible teneur en étain. A l'exception du fragment d'anneau n°130, pour lequel une concentration apparente de 36 % d'étain est calculée (analyse probable de produits de corrosion), les autres anneaux semblent être en cuivre relativement pur et non en bronze (moins de 1,5% d'étain).

La majorité des anneaux semblent donc avoir été fabriqués à partir d'un cuivre non allié obtenu à partir de minerais arséniés et antimoniés.

Les éléments mineurs et traces des feuilles d'or

Les teneurs en palladium et platine mesurées sur les treize anneaux bien conservés, ainsi que sur le fragment de feuille d'or ne permettent pas de différencier plusieurs groupes d'objets au sein de l'ensemble de Changis. Si l'on reporte sur un même graphique les rapports Pd/Au et Pt/Au pour l'ensemble des anneaux, on n'observe pas de différence entre les rapports des feuilles saines et ceux des feuilles pour lesquelles il y a eu diffusion du cuivre (figure bg6). Ce phénomène ne semble donc pas affecter les concentrations relatives de ces deux éléments traceurs de l'or. Le comportement des autres éléments traces (arsenic, antimoine, bismuth, étain et zinc) apparaît quant à lui beaucoup plus affecté par les phénomènes de diffusion, comme le montre par exemple le report des rapports Sn/Au et Bi//Au (figure bg7). Si l'on compare les rapports Pd/Au et Pt/Au mesurés sur les anneaux de Changis avec ceux mesurés sur les anneaux de Trou de Han, ainsi que sur d'autres objets en or (bracelets, perles...) de l'Age du Bronze final (Mathay, Pommerit, Guïnes, Louboutin *et al.* 2003, Armbruster *et al.* 2011) on observe que tous ces ors sont caractérisés par de faibles teneurs en platine et palladium (figure bg8). Sur ce diagramme, les objets provenant de Mathay, Guïnes et Changis semblent présenter des teneurs sensiblement plus fortes en palladium que les objets de Trou de Han, de Pommerit et de Kerboar. On remarquera toutefois la grande dispersion des points représentant les anneaux de Trou de Han.

Conclusion

Les feuilles d'or des anneaux de la nécropole à crémation de Changis ont probablement été fabriquées à partir d'un or natif (contenant environ 15% d'argent) allié à du cuivre. Une composition identique a été trouvée pour les anneaux retrouvés sur le site de Trou de Han (Belgique). L'étude de la composition des éléments traces ne permet pas de distinguer des groupes d'or d'origine différente au sein du mobilier de Changis. Sur la plupart des objets, on observe une diffusion du cuivre sous-jacent à l'intérieur de la feuille d'or. Il est probable que cette diffusion soit due au chauffage des anneaux lors de la crémation. La plupart des anneaux supports semblent être constitués d'un cuivre non allié contenant de fortes teneurs en arsenic et antimoine. Seuls quatre anneaux pourraient être en bronze.

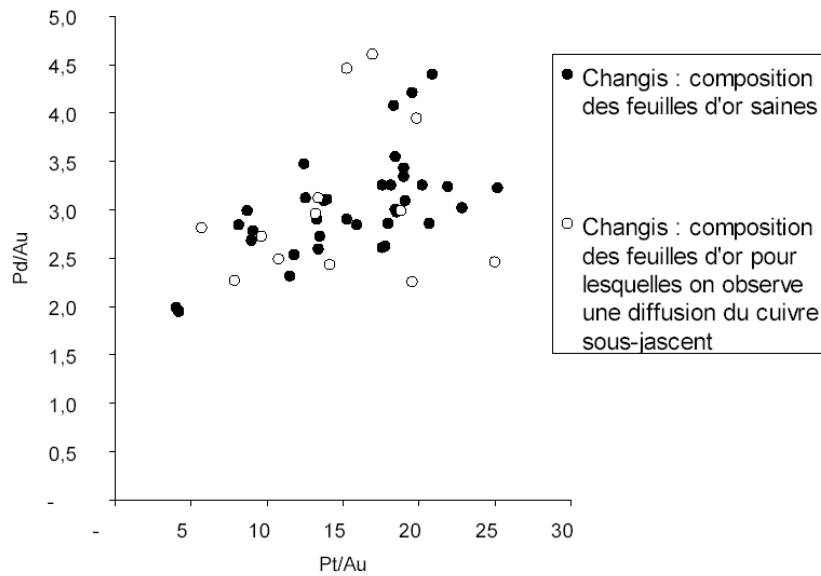


Figure bg6 : diagramme binaire Pt/Au-Pd/Au pour les alliages constitutifs des anneaux de Changis. Aucune modification des rapports n'est observée pour les anneaux pour lesquels il y a diffusion du cuivre dans la feuille d'or.

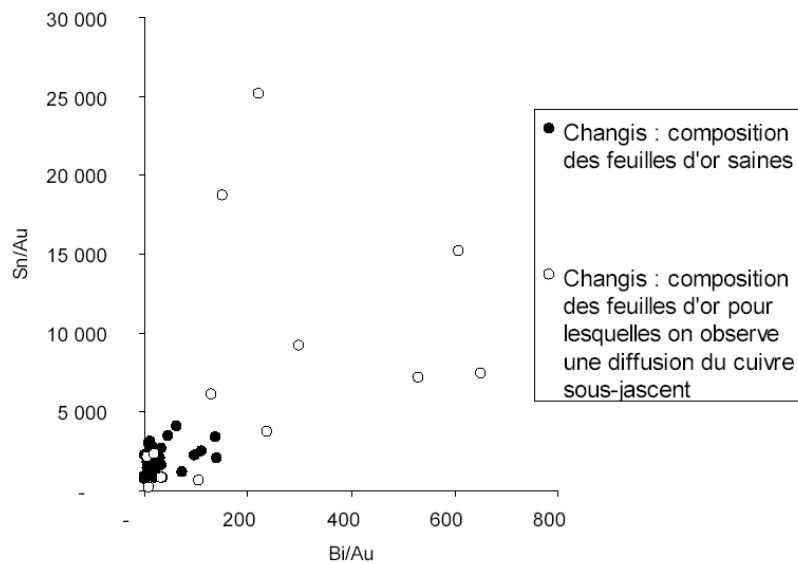


Figure bg7 : diagramme binaire Bi/Au-Sn/Au pour les alliages constitutifs des anneaux de Changis. Contrairement à ce qui est observé pour le platine et le palladium, la diffusion du cuivre dans la feuille d'or semble modifier la valeur de ces rapports.

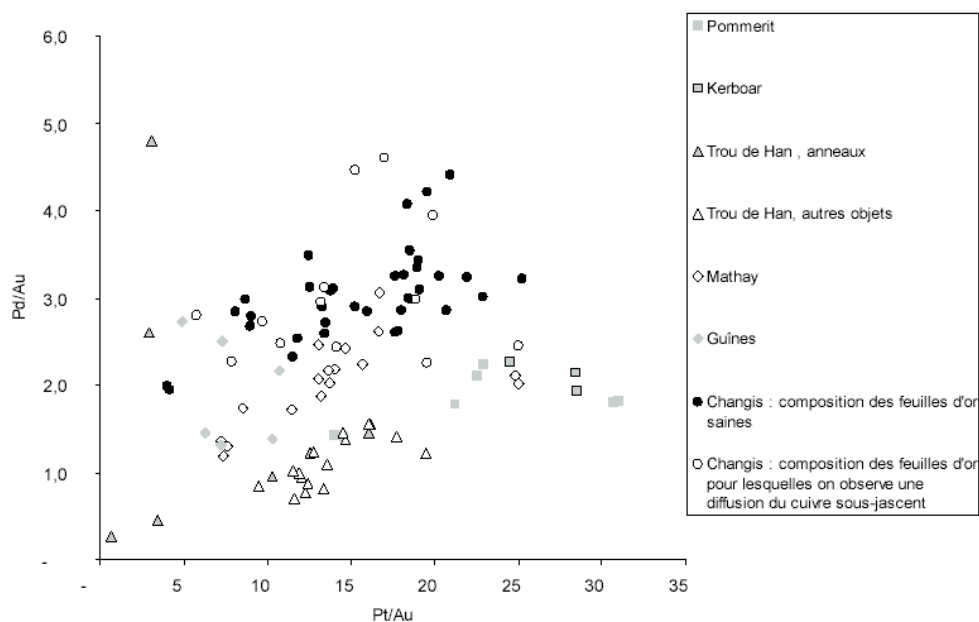


Figure bg8 : diagramme binaire Pt/Au-Pd/Au pour les alliages constitutifs des anneaux de Changis et différents autres objets en or retrouvés sur des sites du Bronze final.

Tableau bg1 : compositions moyennes mesurées à partir des profils de concentrations pour les feuilles d'or et les supports en cuivre des anneaux de Changis. Or, argent et cuivre en % massique, autres éléments en parties par millions. Contrairement au graphiques ou toutes les valeurs mesurées ont été reportées, seules les teneurs moyennes significatives (non altérées par la diffusion du cuivre pour les anneaux à feuille d'or apparente) sont reportées dans le tableau.

	Concentrations en %			Concentrations en ppm								
	Au	Ag	Cu	Sn	Sb	As	Pb	Pd	Pt	Bi	Fe	Zn
Feuille d'or isolée												
M122	77,7	16,2	5,9	1 758	35	4	427	2,3	16,9	21	95	84
Anneaux à feuille d'or apparente												
M129	85,4	12,6	1,9	915	29	6	58	1,7	3,5	4	148	23
M132	81,7	13,5	4,5	1 720	119	14	62	2,3	7,1	2	84	46
M133	79,2	14,9	5,7	1 864	50	3	100	2,7	14,3	7	50	17
M134	79,9	14,7	5,1	1 352	234	13	286	2,2	10,7	42	375	49
M135	75,5	16,8	7,5	816	206	2	30	2,6	9,4	27	116	9
M137	77,5	16,4	5,8	2 043	212	8	13	2,5	18,2	9	93	126
M138	80,2	15,1	4,5	1 550	21	5	76	2,4	14,9	7	126	25
M139	82,1	13,8	4,0	1 548	65	17	43	2,3	11,6	6	137	33
M140	80,2	15,1	4,4	2 669	41	33	58	2,4	15,1	9	215	40
M141	77,4	15,8	6,4	2 500	51	4	170	2,7	14,4	94	95	47
M142	77,4	17,8	4,6	1 157	24	9	28	3	16	15	486	53
M143	82,2	13,0	4,4	3 033	38	36	378	2,3	10,2	35	151	53
M144	79,3	14,7	5,7	1 306	27	2	142	2,2	13,3	18	355	38

Anneau à feuille d'or non conservée												
M121	44,6	6,7	47,5	7 262	1 293	790	1 994	1,1	8,7	263	354	199
M125	40,7	6,6	49,7	9 453	5 121	4 075	3 761	1,0	3,5	162	7 166	266
M128	46,3	11,4	42,1	1 526	67	25	8	1,5	7,4	5	676	21
M130	43,2	7,8	46,2	25 126	527	471	252	1,3	5,7	96	1 304	34
M131	65,9	11,8	18,8	13 921	84	4 942	2 920	1,7	5,4	149	12 933	47
Analyse directe de l'anneau en cuivre												
M136	0,0	0,9	97,0	965	11 525	6 592	14			129	1 989	37
M139	0,0	0,2	98,2	1 621	56	1 731	397			90	12 274	29

Références

Armbruster *et al.* 2011 : Armbruster (B.), Blet-Lemarquand (M.), Fily (M.), Gratuze (B.), Menez (Y.). L'ensemble de bracelets en or de Pommerit-Le-Vicomte : une découverte récente dans les Côtes-d'Armor en Bretagne. *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Age du Bronze*, n°8, mars 2011, p. 51-55.

Gratuze 1999 : Gratuze (B.). Obsidian characterisation by laser ablation ICP-MS and its application to the prehistoric trade in the Mediterranean and the Near East : The sources and distribution of obsidian within the Aegean and Anatolia. *Journal of Archaeological Sciences*, 26, 1999, p. 869-881.

Gratuze *et al.* 2004 : Gratuze (B.), Blet-Lemarquand (M.), Barrandon (J.-N.), 2004, Caractérisation des alliages monétaires à base d'or par LA-ICP-MS, *Bulletin de la Société Française de Numismatique*, 6, p. 162-168.

Louboutin *et al.* 2003 : Louboutin (C.), Gratuze (B.), Barrandon (J.-N.), Parures en or de l'Age du Bronze de Balinghem et Guînes (Pas-de-Calais) : caractérisation de la composition des alliages, *Antiquités nationales*, 35, 2003, p. 83-94.

Warmenbol 1999 : Warmenbol (E.). Le Soleil des morts. Les ors protohistoriques de Han-sur-Lesse (Namur, Belgique). *Germania*, 77 fasc. 1, 1999, p. 39-69.

Warmenbol 2004 : Warmenbol (E.). Gold picking and PIXE analysis: more about the Bronze age gold found in the cave of Han-sur-Lesse (Namur, Belgium). *Nuclear instruments and methods in physics research (Section B) - Beam interactions with materials and atoms*, vol. 226, Issues 1-2, november 2004, p. 208-221.

Angelini *et al.* 2004 : Angelini (I.), Artioli (G.), Bellintani (P.), Diella (V.), Gemmi (M.), Polla (A.), Rossi (A.). Chemical analyses of Bronze Age glasses from Frattesina di Rovigo, Northern Italy. *Journal of Archaeological Science*, 31, 2004, p. 1175-1184.

Azemar *et al.* 2000 : Azemar (R.), Billaud (Y.), Costantini (G.), Gratuze (B.). Les perles protohistoriques de l'Aveyron. *Cahiers d'Archéologie Aveyronnaise*, n° 14, 2000, p. 75-88.

Baray *et al.* 1994 : Baray (L.), Deffressigne (S.), Leroyer (C.), Villemeur (I.) dir. *Nécropoles protohistoriques du Sénonais*. Paris : Maison des Sciences de l'Homme, 1994, 230 p. (DAF ; 44).

Bellintani *et al.* 1998 : Bellintani (P.), Biavati (A.), Verità (M.). *Alcune considerazioni su materiali vetrosi da contesti dell'età del Bronzo media e recente dell'Italia settentrionale*. Atti 2e Giornate Nazionali di Studio AIHV, Il vetro dall'antichità all'età contemporanea: aspetti tecnologici, funzionali e commerciali. Milano, 1998, p.15-24.

Bellintani *et al.* 2000 : Bellintani (P.), Pallechi (P.), Zaninii (A.), Materiali vetrosi nell'età del Bronzo italiana. In : *Preistoria e Protostoria in Etruria, Quarto Incontro di Studi, L'Etruria tra Italia, Europa e*

- Mondo Mediterraneo, Ricerche e Scavi*, Milano, Centro Studi di Preistoria e Archeologia, 2000, p. 83-96.
- Bellintani et Stephan 2009 : Bellintani (P.), Stefan (L.), *Nuovi dati sul primo vetro europeo: il caso di Frattesina*. Atti del Primo Convegno Interdisciplinare sul Vetro nei Beni Culturali e nell'Arte di Ieri e di Oggi, Parma 27-28 Novembre 2008, 2009, p. 71-86.
- Biavati et Verità 1989 : Biavati (A.), Verità (M.). The glass from Frattesina, a glassmaking center in the late Bronze Age. *Rivista della Staz. Sper. Vetro*, n°4, 1989, p. 295-299.
- Billaud et Gratuze 2002 : Billaud (Y.), Gratuze (B.). Les perles en verre et en faïence de la Protohistoire française. In Guilaine (J.) dir. *Matériaux, productions, circulation, du Néolithique à l'Age du Bronze*, Séminaires du Collège de France, Errance, 2002, p. 193-212.
- Brill 1992 : Brill (R.H.). Chemical analysis of some glasses from Frattesina. *Journal of Glass Studies*, 34, 1992, p. 11-22.
- Cosyns et al. 2008 : Cosyns (P.), Warmenbol (E.), Bourgeois (J.), Degryse (P.). *Pre-Roman glass beads in Belgium*. Annales du 16e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre, London 2003, AIHV Nottingham 2005, 2008, p.323-326.
- Foy et al. 2003 : Foy (D.), Picon (M.), Vichy (M.), Thirion-Merle (V.). Caractérisation des verres de la fin de l'Antiquité en Méditerranée occidentale. Actes du colloque de l'AFAV, Echanges et commerce du verre dans le monde antique, Aix-en-Provence-Marseille 7-9 juin 2001, Montagnac, Monographie Instrumentum 24, Monique Mergoïl, 2003, p. 41-85.
- Gebhard 1989 : Gebhard (R.), Pour une nouvelle typologie des bracelets celtiques en verre, In : Feugère (M.) dir. *Le verre préromain en Europe occidentale*, Montagnac : Monique Mergoïl, 1989, p. 73-83.
- Gratuze 2010 : Gratuze (B.). Les perles en verre. In : Segurier (J.-M.) et al., *Les nécropoles protohistoriques de « La Haute Grève » à Gouaix (Seine-et-Marne). Contribution à l'étude des pratiques funéraires au cours de l'étape moyenne du Bronze final (XII^e-XI^e siècle avant J.-C.) et au début du second âge du Fer (Ve-III^e siècle avant J.-C.) dans le sud du Bassin parisien*, FERCF, Tours, 2010, p. 57-62.
- Gratuze et al. 1997 : Gratuze (B.), Soulier (I.), Barrandon (J.-N.). L'analyse chimique, un outil au service de l'histoire du verre, *Verre*, 1, 1997, p. 9-20.
- Gratuze et al. 1998 : Gratuze (B.), Louboutin (C.), Billaud (Y.). Les perles protohistoriques en verre du musée des Antiquités nationales. *Antiquités nationales*, 30, 1998, p. 13-24.
- Gratuze et al. 2001 : Gratuze (B.), Blet-Lemarquand (M.), Barrandon (J.-N.). Mass spectrometry with laser sampling : A new tool to characterize archaeological material. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247-3, 2001, p. 645-656.
- Gratuze et Billaud 2003 : Gratuze (B.), Billaud (Y.). *La circulation des perles en verre dans le Bassin méditerranéen de l'Age du Bronze moyen jusqu'au Hallstatt*. Actes du colloque de l'AFAV, Echanges et commerce du verre dans le monde antique, Aix-en-Provence-Marseille 7-9 juin 2001, Montagnac, Monographie Instrumentum 24, Monique Mergoïl, 2003, p. 11-15.
- Guilaine et al. 1991 : Guilaine (J.), Gratuze (B.), Barrandon (J.-N.). *Les perles de verre du chalcolithique et de l'Age du Bronze. Analyses d'exemplaires trouvés en France*. Actes du 1er colloque du parc archéologique de Beynac, L'Age du Bronze Atlantique, Association des musées du Sarladais, Beynac et Cazenac, 1991, p. 255-266.
- Hartmann et al. 1997 : Hartmann (G.), Kappel (I.), Grote (K.), Arndt (B.). Chemistry and technology of prehistoric glass from Lower Saxony and Hesse. *Journal of Archaeological Science*, 24, 1997, p. 547-559.
- Henderson 1988 : Henderson (J.). Electron probe microanalysis of mixed-alkali glasses. *Archaeometry*, 30/1, 1988, p. 77-91.
- Henderson 1989 : Henderson (J.). The earliest glass in Britain and Ireland. In : Feugère (M.) dir. *Le verre préromain en Europe occidentale*, Montagnac : Monique Mergoïl, 1989, p. 13-24.

- Henderson 1993 : Henderson (J.). Chemical analysis of the glass and faience from Hauterive-Champréveyres, Switzerland. In : Rychner-Faraggi (A-M.) dir. *Hauterive-Champréveyres 9, Métal et Parure au Bronze Final*, Neuchâtel : Musée Cantonal d'Archéologie, Archéologie neuchâteloise, 17, 1993, p. 111-117.
- Ingram 2005 : Ingram (R.S.), *Faience And Glass Beads From The Late Bronze Age Shipwreck At Uluburun*, Thèse de doctorat de l'Université de Texas A&M University, 2005, 210 p.
- Mildner *et al.* 2009 : Mildner (S.), Falkenstein (F.), Schmidt (J.-P.), Schüssler (U.), Materialanalytische Untersuchungen an ausgewählten Glasperlen des bronzezeitlichen Hortfundes von Neustrelitz. In : Lampe (W.) Wetzels (G.) dir. *Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern*, 57, Lübstorf, 2009, p. 43-63.
- Ploin *et al.* à paraître : Ploin (S.), Koenig (M.-P.), Gratuze (B.). *Les perles en verre de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer d'Alsace et de Lorraine*. Actes du colloque de l'AFAV, Metz, novembre 2011, à paraître.
- Prampart 1984 : Prampart (J.-Y.). *Du Bronze final à la Tène dans le Nord-Sénonais*. Actes du 109^e congrès national des sociétés savantes. La Transition Bronze final Hallstatt ancien : problèmes chronologiques et culturel, Dijon 1984, CTHS, 1984, p.19-33.
- Raftery et Henderson 1987 : Raftery (B.), Henderson (J.). Some glass beads of the Later Bronze Age in Ireland. In : Frey (O.-H.) dir. *Glasperlen der vorrömischen Eisenzeit I*, Mayence, 1987, p. 39-53.
- Rolland 2012 : Rolland (J.). *Les bracelets en verre du second âge du Fer en Europe : enjeux, problèmes et méthodes d'études*. Mémoire de Master 2, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2 vol, 2012, 196 p.
- Sayre et Smith 1961 : Sayre (E.V.), Smith (R.W.). Compositional categories of ancient glass, *Science*, 133, 1961, p. 1824-1826.
- Venclová *et al.* 2011 : Venclová (N.), Hulínský (V.), Henderson (J.), Chenery (S.), Šulová (L.), Hložek (J.). Late Bronze Age mixed-alkali glasses from Bohemia, Skla typu mixed alkali mladší doby bronzové v Čechách, *Archeologické rozhledy*, LXIII, 2011 p. 559–585.
- Wagner (H.), 2006 *Glasschmuck der Mittel- und Spätlatènezeit am Oberrhein und den angrenzenden Gebieten*, Grunbach, Greiner , 2006, 507p.

