

**Rapport d'analyse sur les garnitures de
fusil en laiton des Magasins du Roi à
Québec**

Rapport de recherche No R-1190

2010

**Entente de
développement culturel**



*Culture,
Communications et
Condition féminine*



MUSÉE CANADIEN
DES CIVILISATIONS



CANADIAN MUSEUM
OF CIVILIZATION

Rapport d'analyse sur les garnitures de fusil en laiton des Magasins du Roi à Québec



par Yves Monette

Centre Eau Terre Environnement
Institut national de la recherche scientifique
Université du Québec

Rapport de recherche R-1190

Juin 2010

Résumé

Ce rapport rend compte de l'analyse compositionnelle de 24 garnitures de fusil (sous-gardes, porte-baguettes, contre-platines et plaques de couche) mise au jours dans les lots 2, 6 et 13 du site du Palais de l'intendant à Québec (CeEt-30).

Les résultats d'analyse indiquent que les pièces ont des compositions variables en cuivre et en zinc et s'accompagnent également d'impuretés en fer, étain, plomb, soufre et silice dont la présence relève de diverses raisons : affinage insuffisant, réduction et fusion incomplète, ajout volontaire, présence involontaire.

Dans notre corpus, nous distinguons au moins quatre groupes chimiques dont un seul intègre une seule catégorie de garnitures : les porte-baguettes ; les autres catégories se répartissent dans au moins trois groupes chimiques sur la base des teneurs en Fe et Sn.

Nos résultats se rapprochent de ceux d'Hamilton (1981) mais contrairement à ce qu'Hamilton proposait, nous ne pouvons nous prononcer sur les origines des pièces de laiton à partir de ces données. Les analyses permettent plutôt de dresser un portrait des procédés métallurgiques mis en cause et du caractère expérimentale de la production du laiton au cours de la première moitié du 18^e siècle.

Remerciements

Cette étude fait partie d'un programme de recherche visant à mettre en valeur la riche collection archéologique du site du Palais de l'intendant (CeEt-30) à Québec dans le but d'alimenter la réflexion entourant la mise en valeur projetée du site et de ses vestiges. Sous l'administration de feu la mairesse, la Ville de Québec prévoyait l'aménagement d'un musée sur les vestiges du premier Palais de l'intendant, projet subitement mis en veilleuse puis littéralement abandonné suite par l'administration suivante, après le décès subit de Mme Boucher.

Le programme de recherche en est un de collaboration entre le Ministère de la Culture, des Communication et de la Condition féminine du Québec, la Ville de Québec, l'Université Laval et l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre & Environnement. Cette recherche s'inscrit dans le volet « Recherches sur la culture matérielle » de ce projet de recherche que j'ai eu la responsabilité de coordonner.

Quelques personnes ont été impliquées de près ou de loin dans cette recherche. D'abord Anne Genachte-LeBail qui, à l'été 2005, faisait un stage dans le cadre d'un DESS entrepris à l'Université de Rennes et qui a entrepris une recherche sur les garnitures de fusil du Palais de l'intendant, mais qui malheureusement n'a pu être complétée avant son retour en France. Nous avons donc poursuivi ses recherches ici.

Merci à Marcel Moussette et Lise Jodoin qui ont pris de leur temps pour mettre à notre disposition cette riche collection et aidé à la sélection des pièces. Merci aussi à Marcel pour ses conseils.

Merci à Jean-Claude Bérubé de l'INRS-ETE pour la grande qualité des lames polies réalisées sur ces pièces de laiton. Merci à Marc Choquette pour la qualité des analyses effectuées au laboratoire de micro-analyse du département de génie géologique et de génie minier et métallurgique de l'Université Laval.

Merci à Marcos Martinon-Torres pour m'avoir aiguillé sur certains aspects techniques de la fabrication des alliages Cu-Zn à l'époque moderne.

Merci enfin à William Moss pour sa confiance et sa patience.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	<i>iii</i>
<i>Table des matières</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>v</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>vi</i>
1. Introduction	- 2 -
1.1 Objectifs	- 3 -
1.2 Le laiton : un alliage complexe	- 4 -
1.3 Le corpus à l'étude	- 6 -
1.4 Méthodologie	- 6 -
2. Résultats d'analyse	- 9 -
2.1 De la question des teneurs en plomb (Pb)	- 16 -
2.2 Répartition spatiale des éléments, le cas de l'échantillon 20.	- 17 -
3. Conclusion	- 20 -
<i>Références citées</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Annexe A</i>	<i>- 22 -</i>
<i>Annexe B</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Annexe C</i>	<i>- 30 -</i>

Liste des figures

- Figure 1. Plan des opérations de fouilles sur le site du Palais de l'intendant à Québec (CeEt-30) d'après un plan du ministère des Terres et Forêts, direction des relevés techniques, service de la reprographie, no Québec 2IL 14-0-10-1123. Plan adapté à partir de celui de Moussette (1994 : 12) pour mettre en évidence les opérations 6, 13 et la moitié est de l'opération 2 renfermant la riche collection de garnitures de fusil (en jaune). _____ - 2 -
- Figure 2. Les différentes composantes et garnitures de fusil (Tiré de Moussette 1994: 93). _____ - 3 -
- Figure 3. Diagramme binaire Cu-Zn qui met en évidence le groupe des porte-baguettes composé des échantillons 2, 3 et 6. Les trois autres catégories de garnitures de fusil se mêlent les unes aux autres pour former un ensemble diffus qui rend compte d'une variabilité chimique qui varie sur environ 15 % en Zn et environ 10 % en Cu. _____ - 9 -
- Figure 4. Fort grossissement de l'échantillon de sous-garde #12 qui présente une structure cristalline dendritique que l'on associe au refroidissement rapide des pièces coulées. Le réseau dendritique apparaît ici sous une forme plutôt linéaire (quadrillage mis en évidence par les nombreuses vésicules) car l'échantillon a été prélevé dans le sens vertical de la pièce. _____ - 11 -
- Figure 5. Diagramme binaire Fe-Sn des garnitures de fusil du palais. Au moins quatre groupes peuvent être identifiés sur la base de ces deux impuretés. _____ - 13 -
- Figure 6. Diagramme binaire Fe-Sn des garnitures de fusil du palais et des pièces analysées par Hamilton (1981). Le graphique rend compte d'affinités chimiques entre différentes certaines pièces du palais et d'autres auxquelles Hamilton attribuait des origines tantôt française, tantôt anglaise. _____ - 15 -
- Figure 7. Image en électrons retro-diffusés de l'échantillon de plaque de couche # 26. Les points blancs dissimulés dans la matrice correspondent à des globules de plomb. _____ - 16 -
- Figure 8. Images en électrons rétrodiffusés de la surface de l'échantillon 20. La partie encadrée correspond à la zone qui a fait l'objet de la cartographie chimique. _____ - 17 -
- Figure 9. Cartographie du Cu dans l'échantillon #20. _____ - 18 -
- Figure 10. Cartographie du Zn dans l'échantillon #20. _____ - 18 -
- Figure 11. Cartographie du Fe dans l'échantillon #20. _____ - 18 -
- Figure 12. Cartographie du S dans l'échantillon #20. _____ - 18 -
- Figure 13. Cartographie de la Si dans l'échantillon #20. _____ - 19 -

Liste des tableaux

Tableau 1. Description des garnitures de fusil soumis à l'analyse. Notez qu'il n'y a pas de numéros 16, 17 et 18. _____ - 7 -

Tableau 2. Description des étalons de calibration utilisés dans les différents spectromètres de la MET Cameca SX100 de l'Université Laval. _____ - 8 -

Tableau 3. Composition chimique moyenne des échantillons de lait. Pour chaque échantillon, les valeurs expriment la moyenne de 10 mesures. Par contre, la moyenne et l'écart-type qui figurent au bas du tableau expriment l'ensemble des mesures prises sur les 24 échantillons, donc 240 mesures par éléments. ____ - 10 -

Tableau 4. Matrice des coefficients de similarité s'appuyant sur le test de Pearson (intervalle -1/+1). En gras, valeurs significatives. _____ - 12 -

Tableau 5. Composition chimique des garnitures de fusil du Fort Michilimackinac (#3212, 789, 3482, 2034, 1389 et 1456) et du site Sullivan (#A7983 et A8270) étudiées par Hamilton (tiré de Hamilton 1981). La dernière colonne présente le résultat de l'interprétation d'Hamilton. _____ - 14 -

1. Introduction

La propriété que le zinc a de colorer le cuivre en jaune, n'a point échappé aux alchimistes, & quelques - uns d'eux n'ont point manqué d'en conclure que c'étoit cette substance qui devoit leur fournir la matiere colorante qu'il faut introduire dans les métaux, pour les convertir en or (Diderot et d'Alembert, tome 17, 1765 : 717)

Les fouilles archéologiques menées conjointement par l'Université Laval et le service d'urbanisme de la Ville de Québec depuis 1982¹ ont permis de dégager de nombreux éléments architecturaux liés aux différentes phases d'occupation de l'îlot des Palais et de mettre au jour des dizaines de milliers d'artefacts.

Au cours des années 1982, 1983 et 1984, les opérations 6, 13 et la moitié est de l'opération 2 ont livré une grande quantité de matériel qui comporte pas moins de 17 769 artefacts et écofacts, dont 2 101 pièces de fusils (Moussette 1994, 2000) (Fig. 1). Cette couche faisait de 20 à 23 cm d'épaisseur et reposait sur un plancher de bois qui témoigne de l'entreposage des marchandises dans les magasins du Roy au cours de la première moitié du 18^e siècle.

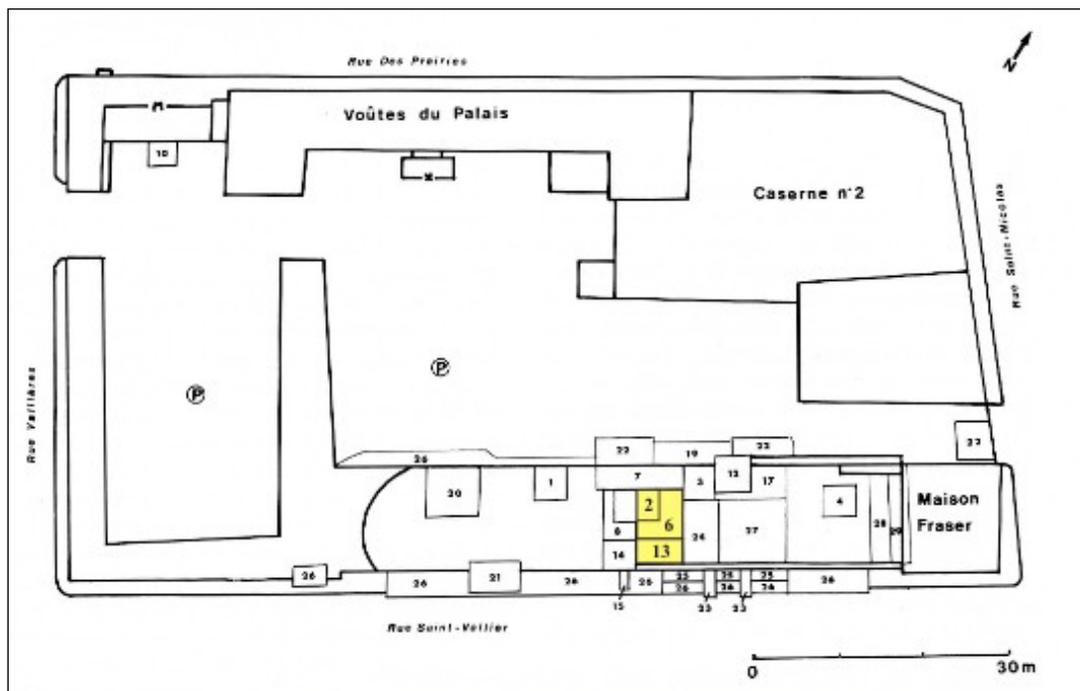


Figure 1. Plan des opérations de fouilles sur le site du Palais de l'intendant à Québec (CeEt-30) d'après un plan du ministère des Terres et Forêts, direction des relevés techniques, service de la reprographie, no Québec 2IL 14-0-10-1123. Plan adapté à partir de celui de Moussette (1994 : 12) pour mettre en évidence les opérations 6, 13 et la moitié est de l'opération 2 renfermant la riche collection de garnitures de fusil (en jaune).

¹ U. Laval = 1982-1990, 2000 à 2009 ; VdeQ = 2000 à 2006.

Ces garnitures de fusils faites de laiton ou de fer constituent différentes pièces décoratives. On y retrouve des plaques de couches (352), des contre-platines (321), des sous-garde et pontets (727) et des porte-baguettes (701) (Fig. 2).

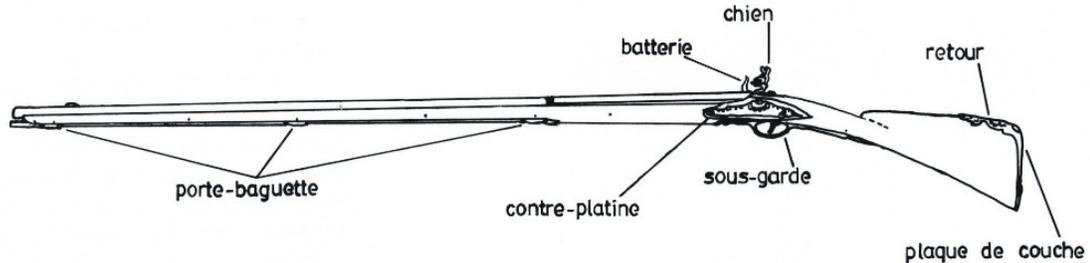


Figure 2. Les différentes composantes et garnitures de fusil (Tiré de Moussette 1994: 93).

1.1 Objectifs

Cette recherche vise d'abord à connaître la composition des laitons utilisés pour la fabrication des garnitures de fusils de traite. Le laiton est un alliage de cuivre (Cu) et de zinc (Zn) aux proportions variables. On parle ici d'un alliage donc d'un mélange *volontaire* de deux métaux et non pas simplement d'un artefact de cuivre contenant des traces de zinc. La nuance est importante car l'alliage implique réellement un travail explicite de l'Homme sur la matière, alors qu'il est possible de trouver des gisements de cuivre zincifère dans la nature. Ainsi, pour parler d'un alliage intentionnel, on a établie un seuil minimum fixé à 5 % de Zn (Rehren and Martín-Torres 2008).

Contrairement à d'autres alliages comme l'acier ou la fonte, il n'existe pas de classification des laitons établie selon leurs teneurs en Cu et Zn. Il n'y a pas non plus de seuil minimum de Zn dans une matrice de Cu pour pouvoir parler de laiton ; il suffit de pouvoir démontrer qu'il s'agit bien d'un alliage volontaire des deux métaux.

Ainsi, certains laitons peuvent contenir aussi peu que 5% de Zn alors que d'autres peuvent en présenter autant que 35 %, rarement au-delà (Rehren and Martín-Torres 2008 : 168). Quoiqu'il s'agisse toujours de laiton, les proportions de Zn vont en augmenter ou en réduire les qualités mécaniques et jouer un rôle déterminant au niveau technique lors de la coulée et du moulage des objets désirés. Au point de vue esthétique, le laiton a longtemps fasciné en raison de sa couleur qui le rapproche beaucoup de l'or. Cet alliage a également alimenté l'hypothèse de la transmutation des métaux et semé beaucoup d'espoir chez les alchimistes ! Mais comme l'écrivaient les auteurs de l'*Encyclopédie* : « La merveille que les ignorans voyent dans l'union de la calamine au cuivre rouge, & les espérances que les Alchymistes fondent sur le zinc, s'évanouissent donc aux yeux d'un homme un peu instruit » (Diderot et d'Alembert 1765 : 222).

1.2 Le laiton : un alliage complexe

Tel que mentionné précédemment, le laiton est un alliage binaire de cuivre et de zinc dont les proportions en zinc peuvent varier considérablement, et auquel peuvent aussi s'ajouter d'autres métaux sous forme de traces comme le plomb (Pb), l'étain (Sn), le manganèse (Mn), l'aluminium (Al), le fer (Fe), le silicium (Si), le nickel (Ni), l'arsenic (As), etc.

Contrairement à ce que l'on a longtemps cru, cet alliage métallique était connu dès l'Antiquité ; des évidences nous proviennent du Proche-Orient d'aussi loin que le 2^e millénaire av. J.-C. (Thornton and Ehlers 2003) de même que de l'Inde et de la Chine (Deshpande 1996). Au temps des Romains, le laiton connaît une grande popularité mais au cours du long Moyen Âge, la civilisation occidentale en a oublié le secret de sorte que c'est seulement au contact des Arabes à l'aube de la Renaissance que l'on redécouvrit cet alliage.

Le procédé de fabrication est à la fois délicat et complexe en raison de la grande volatilité du zinc. Soumis à des températures qui excèdent 906 °C, le zinc passe d'une forme solide à une forme gazeuse. Or, le cuivre a pour sa part un point de fusion qui se situe à 1083 °C. Pour réussir l'alliage, il faut donc procéder par cémentation, c'est-à-dire qu'il faut réduire les minerais de cuivre et de zinc, idéalement dans un creuset couvert et lutté de manière à retenir la vapeur de zinc, et chauffer le contenant suffisamment pour amener le cuivre dans sa phase soluble, de manière à forcer le mélange du zinc et du cuivre. Au refroidissement, le zinc et le cuivre se recristallisent pour former un alliage métallique stable. L'apport du zinc se fait à deux niveaux : d'abord il jaunit le cuivre et lui apporte brillance, ensuite il augmente sa dureté.

Ce procédé est unique en métallurgie ancienne puisque les autres alliages comme le bronze par exemple (alliage de cuivre et d'étain, Cu-Sn) s'effectue dans des creusets ouverts ; les minerais de cuivre et d'étain n'étant pas sujets à la volatilité.

C'est donc au terme du Moyen Âge et au début de la Renaissance, en accord avec l'esprit humaniste qui gagne le monde occidental que l'on cherche à découvrir le secret du cuivre jaune, ou laiton, une substance en apparence similaire à l'or. L'invention de l'imprimerie et la subséquente publication de traités de plus en plus scientifiques contribuent grandement à la diffusion des connaissances. Les traités de Vannoccio Biringuccio *De la pirotechnica* (1540), de Georgius Agricola *De natura fossilium* (1546) et *De Re Metallica* (1556) de même que *Beschreibung aller fürnemisten Mineralischen* de Lazarus Ecker (1580) constituent les ouvrages les plus importants de cette époque, à l'origine du développement de la métallurgie moderne. Quoique l'alchimie et les théories aristotéliennes teintes encore les mentalités, on sent que l'esprit et la démarche scientifique qui s'appuie sur l'observation et la reproductibilité se développent rapidement dans la seconde moitié du 17^e siècle. En revanche, il faudra attendre 1746 pour que l'allemand Andreas Sigismund Marggraf réussisse à isoler le zinc. De l'Antiquité à la Renaissance, les seuls métaux connus étaient l'or, l'argent, le cuivre, l'étain, le plomb, le fer et le mercure (France-Lanord et al. 1980 : 27).

Dans la deuxième moitié du 18^e siècle, au moment de produire leur *Encyclopédie ou Dictionnaire Raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, Diderot et d'Alembert reconnaissent que le zinc, ce « demi-métal » était une découverte très récente. Dans leur article portant sur le laiton, les auteurs s'emploient aussi à en décrire la fabrication, telle qu'elle se fait à l'époque à Namur en Belgique, l'un des principaux centres de production du laiton au 18^e siècle. Non seulement trouve-t-on de riches mines de calamine dans les alentours de Namur, mais également la derle, « une argile réfractaire qui sert à la fabrication des creusets comme à la préparation des moules et des fourneaux » (Ronvaux 2005 : 106) dont on se sert pour réaliser l'alliage.

Reflète de son importante activité d'extraction, le village de La Calamine situé dans la vallée de La Gueule entame son exploitation des mines environnantes dès 1344. Les Ducs de Bourgogne l'exploiteront de 1439 à 1654 et à compter de ce moment jusqu'en 1794, la mine sera administrée par un drossard, un agent du roi. (Ronvaux 2005 : 106). Quant au cuivre, matière première du laiton, on doit l'importer d'Allemagne, de Hollande, du grand-duché du Luxembourg mais surtout de Suède comme le mentionnent Diderot et d'Alembert (1765, Tome 4 : 540). À quelques 25 km de Namur, la ville de Dinant, dont le nom est très évocateur, a aussi dominé dans l'art de la fabrication du laiton et de la dinanderie depuis le 5^e siècle (Ronvaux 2005 : 108). Ce n'est qu'après la destruction de Dinant en 1466, puis celle de Bouvignes en 1554 (également active dans cette « industrie ») que Namur domina le marché du laiton sur une grande partie de l'Europe de l'Ouest.

À Namur, le laiton est produit par cémentation dans des creusets ouverts dans lesquelles on dispose en alternance des couches de la rosette de cuivre rouge, du minerai de zinc oxydé par grillage et de la poussière de charbon afin de maintenir une atmosphère réductrice dans le creuset lors de la chauffe (Ronvaux 2005 : 107). Le fait de produire dans un creuset ouvert complique beaucoup le contrôle sur la qualité du laiton produit en raison de la volatilité du zinc. En Autriche environ cent ans plus tôt, le laiton est produit dans des creusets de Hesse (Bavière) couverts et lutés, ce qui assure un meilleur contrôle sur la production et permet également au cuivre d'incorporer une plus grande proportion de zinc (Martinon-Torres and Rehren 2002).

Comme dans le cas de Dinant, Namur semble surtout transformer ses lingots et feuilles de laiton en fils, chaudrons et autres ustensiles, mais il n'est pas impossible qu'une partie des feuilles soit destinée à un tout autre usage... Notons toutefois que les documents ne le mentionnent pas.

Ainsi, les garnitures de fusil à l'étude ici représentent toujours de ces laitons fabriqués à partir d'un alliage de minerais de cuivre et de zinc selon un procédé qui n'avait pas beaucoup évolué depuis le 16^e siècle. En fait, tout au long des 16^e et 17^e siècles, les connaissances entourant la nature du zinc évoluent tranquillement. Les traités d'Ecker, Agricola et autres apportent des compléments d'information aux connaissances de leurs prédécesseurs. Sur près de deux siècles, on peut suivre le développement de la pensée scientifique qui s'applique à définir le zinc et à en expliquer la nature particulière.

1.3 Le corpus à l'étude

De la riche collection de garnitures de fusil, nous avons sélectionné 24 pièces appartenant soit à des platines, contre-platines, porte-baguettes et sous-gardes (Tableau 1). Les échantillons proviennent de trois unités archéologiques : 6C13 a fourni 15 échantillons ; 13C14 en a fourni deux ; et 2E17 en a fourni sept. Les pièces sélectionnées sont présentées à l'annexe C.

La sélection s'est faite de manière quelque peu arbitraire car au-delà des motifs rococo qu'arborent ces pièces décoratives (Moussette 2000) ou de la nature des pièces en question, il n'y a pas réellement de critères visuels qui nous permettraient de les départager ou de procéder à un échantillonnage sélectif qui permette une distinction en termes de technologie de fabrication ou de composition. L'un de nos critères de sélection était toutefois de limiter les dommages qu'entraînerait l'analyse. Puisqu'il nous fallait prélever une petite section des objets nous avons décidé d'échantillonner uniquement des pièces fragmentaires, donc aucune pièce complète n'a été retenue, et de privilégier les pièces dont les motifs avaient souvent perdu de leur éclat sous l'effet de la corrosion.

1.4 Méthodologie

Notre but étant de connaître la composition chimique de ces pièces et de les caractériser sur cette base, il fallait recourir à une technique d'analyse qui soit minimalement destructive pour les objets, qui puisse doser les éléments majeurs (Cu et Zn) avec précision (tout en étant également capable de détecter la présence d'autres métaux dont la concentration pourrait être des plus instructive) et qui offre aussi des possibilités d'imagerie afin d'observer la répartition spatiale des éléments chimiques dans la matrice et d'appréhender la question de la structure de ces alliages.

Avec autant d'exigences, deux possibilités s'offraient à nous : le microscope électronique à balayage (MEB) et la microsonde électronique (EPMA pour Electron Probe Micro Analyzer). Or même si le MEB offre de bien meilleures possibilités au niveau de l'analyse d'images (texture, relief, etc.), nous avons jugé qu'il valait mieux s'en remettre à la microsonde électronique dont les limites de détection sont faibles et qui est beaucoup plus précise quant aux résultats d'analyse chimique.

Les échantillons ont donc fait l'objet d'un prélèvement sous la forme d'une tranche de quelques millimètres d'épaisseur au moyen d'une scie abrasive. Ces prélèvements ont ensuite été montés sur des lames minces afin d'en produire des lames polies à raison de six échantillons par lame. Ces lames ont été produites à l'INRS-ETE.

#	Prov. Archéo.	Objet
1	CeEt30-6C13	Plaque de couche
2	CeEt30-6C13	Porte-baguettes
3	CeEt30-6C13	Porte-baguettes
4	CeEt30-6C13	Plaque de couche
5	CeEt30-6C13	Plaque de couche
6	CeEt30-6C13	Porte-baguettes
7	CeEt30-6C13	Sous-garde
8	CeEt30-6C13	Contre-platine
9	CeEt30-6C13	Contre-platine
10	CeEt30-6C13	Contre-platine
11	CeEt30-6C13	Sous-garde
12	CeEt30-6C13	Sous-garde
13	CeEt30-6C13	Contre-platine
14	CeEt30-6C13	Contre-platine
15	CeEt30-6C13	Contre-platine
19	CeEt30-13C14	Contre-platine
20	CeEt30-13C14	Contre-platine
21	CeEt30-2E17	Plaque de couche
22	CeEt30-2E17	Plaque de couche
23	CeEt30-2E17	Sous-garde (pontet)
24	CeEt30-2E17	Sous-garde
25	CeEt30-2E17	Sous-garde
26	CeEt30-2E17	Sous-garde
27	CeEt30-2E17	Sous-garde

Tableau 1. Description des garnitures de fusil soumis à l'analyse. Notez qu'il n'y a pas de numéros 16, 17 et 18.

Puisque la microsonde fonctionne sous le flux d'un faisceau d'électrons qui interagit avec la matière à caractériser, cette dernière doit être conductrice. Pour ce faire, les lames sont recouvertes d'une fine pellicule de métal conducteur (carbone ou un alliage d'or et de palladium) qui est déposé sur l'échantillon au moyen d'un métalliseur sous vide. Dans le cas présent, les lames ont été recouvertes d'une fine couche de carbone, faisant à peine quelques nanomètres d'épaisseur.

Les lames sont ensuite introduites dans la chambre d'analyse de la microsonde électronique et mise sous vide. Un porte-lame multiple permet d'insérer 4 lames à la fois pour l'analyse. Lorsque les lames sont en place, on met la chambre sous vide.

L'appareil utilisé est de marque Cameca, modèle SX 100 du laboratoire de microanalyse du département de géologie et génie géologique et du département de génie des mines, de

la métallurgie et des matériaux de l'Université Laval. Cette MET est équipée de 5 spectromètres de longueur d'ondes et d'un spectromètre à énergie dispersive. Pour nos besoins, le faisceau d'électrons a été réglé à 15 kV pour une intensité de 20 nA. Le diamètre du faisceau était de 5 microns tout au long de l'analyse.

Tout comme le MEB, le MET peut produire des images en électrons rétrodiffusés, dont les teintes reflètent la masse atomique des éléments présents. Par exemple, le cuivre a une masse atomique de 63 alors que le plomb a une masse de 207. En imagerie, ces différences de masse prendront des teintes différentes entre le blanc (masse élevée) et le noir (masse faible). La MET permet aussi de cartographier la répartition spatiale des éléments composant la matrice. Au-delà de cuivre et de zinc qui devraient normalement se retrouver dans des proportions similaires dans l'ensemble de la matrice, les éléments Fe, Sn, Pb, S et Si pourraient se présenter sous différentes formes. Certains pourraient afficher une répartition homogène alors que d'autres pourraient se présenter sous la forme d'inclusions et de nodules par exemple.

Dépendant des éléments chimiques que l'on désire doser, on utilisera des étalons de calibration différents. Dans le cas présent, les éléments chimiques d'intérêt était naturellement Cu et Zn, mais aussi Fe, Pb, S, Si et Sn. Pour chaque élément ciblé, nous avons sélectionné des étalons afin de mesurer précisément les concentrations des éléments recherchés dans nos inconnus. Le Tableau 2 présente les différents étalons utilisés.

Étalons	Description
NDS C1119	laiton (National Bureau of Standards)
Std de Zinc	Sphalérite (ZnS)
Std de Fe	Hématite (Fe ₂ O ₃)
Std de Pb	Galène (PbS)
Std de S	Pyrite (FeS ₂)
Std de Si	Quartz (SiO ₂)
Std de Sn	Étain métal

Tableau 2. Description des étalons de calibration utilisés dans les différents spectromètres de la MET Cameca SX100 de l'Université Laval.

2. Résultats d'analyse

Les résultats rendent d'abord compte de différents types de laitons. La proportion moyenne de zinc dans nos échantillons varie généralement de 11.2 à 30.8 %. La proportion de cuivre varie quant à elle de 69 à 85 %, ce qui laisse peu de place pour les autres éléments. Le Tableau 3 rend compte des valeurs moyennes et écart type de chacun des échantillons et on remarque qu'après de Cu et le Zn, les teneurs des autres éléments se présente comme suit en termes de proportionnalité : Sn, Fe, Pb, Si et S.

De ces résultats d'analyse, on peut tirer un premier constat : les porte-baguettes forment un petit ensemble chimiquement cohérent qui présente à la fois les plus faibles proportions de Cu et les plus fortes en Zn. On enregistre en effet des teneurs en Zn de 30,8 %, 28,7 % et 26,9 % respectivement pour les échantillons 2, 3 et 6. La figure 3 en rend compte tout comme le fait que les autres pièces, qu'il s'agisse de contre-platines, de sous-gardes ou de plaques de couche se mêlent les unes aux autres pour former un ensemble beaucoup plus diffus en raison de teneurs variables à la fois en Cu et en Zn. Les porte-baguettes sont également les pièces qui affichent les plus faibles teneurs en étain et en fer.

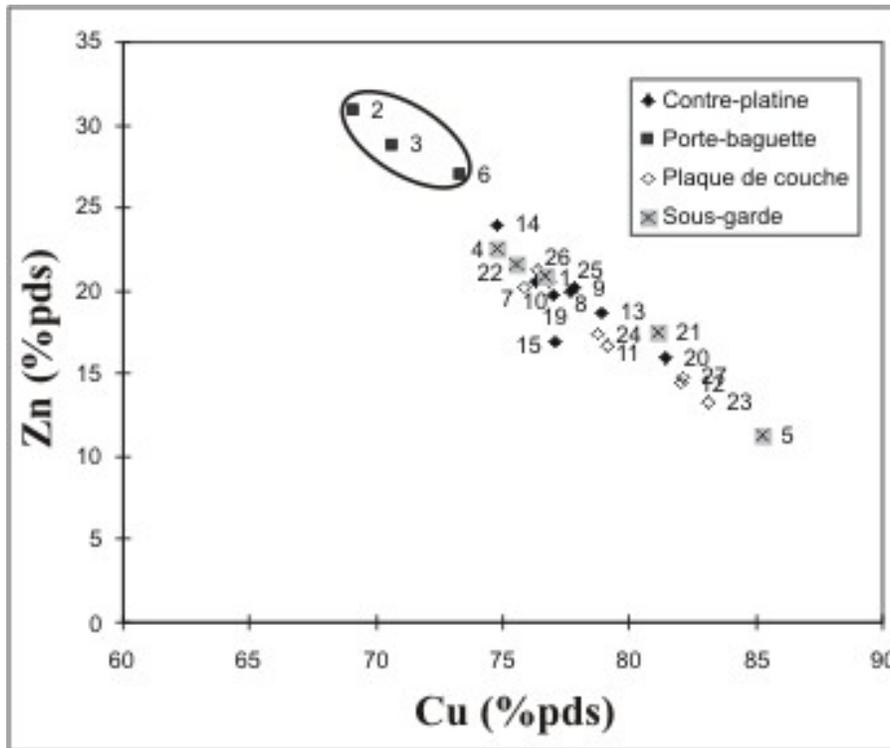


Figure 3. Diagramme binaire Cu-Zn qui met en évidence le groupe des porte-baguettes composé des échantillons 2, 3 et 6. Les trois autres catégories de garnitures de fusil se mêlent les unes aux autres pour former un ensemble diffus qui rend compte d'une variabilité chimique qui varie sur environ 15 % en Zn et environ 10 % en Cu.

	Cu		Zn		Sn		Fe		Pb		S		Si		Total
	WT %	Écart type	WT %	Écart type	WT %	Écart type	WT %	Écart type	WT %	Écart type	WT %	Écart type	WT %	Écart type	Total
1	76,838	0,591	21,142	0,270	1,416	0,087	0,462	0,822	0,090	0,043	0,014	0,006	0,005	0,006	99,858
2	68,599	0,288	31,036	0,299	0,043	0,016	0,000	0,013	0,120	0,032	0,008	0,006	0,017	0,005	100,084
3	70,865	1,775	29,349	1,166	0,006	0,022	0,000	0,027	0,087	1,861	0,000	0,010	0,011	0,006	100,322
4	74,601	0,432	22,764	0,240	1,299	0,062	1,004	0,307	0,088	0,023	0,014	0,005	0,010	0,008	99,616
5	85,217	0,424	11,488	0,238	2,534	0,192	0,592	0,078	0,051	0,047	0,007	0,006	0,014	0,007	99,491
6	74,732	0,737	26,113	0,545	0,036	0,018	0,026	0,019	0,040	0,040	0,004	0,007	0,023	0,010	100,403
7	76,003	0,450	20,036	0,156	2,223	0,034	0,333	0,340	0,381	0,082	0,011	0,006	0,001	0,005	98,908
8	77,500	0,372	19,893	0,315	1,507	0,298	0,370	0,117	0,112	0,037	0,006	0,005	0,011	0,008	99,404
9	77,228	0,646	20,339	0,323	0,811	0,038	0,702	0,111	0,188	0,058	0,001	0,005	0,013	0,007	99,355
10	77,599	3,523	19,681	1,229	0,918	0,112	1,035	0,241	0,145	0,564	0,012	0,028	0,017	0,008	98,664
11	79,321	0,376	16,273	0,460	3,192	0,271	0,603	0,065	0,137	0,094	0,004	0,006	0,000	0,023	99,373
12	81,760	0,385	14,548	0,240	1,897	0,114	1,129	0,172	0,338	0,083	0,000	0,006	0,133	0,052	99,566
13	78,363	1,986	19,468	1,946	1,392	0,086	0,686	0,433	0,071	0,043	0,010	0,005	0,038	0,014	99,890
14	75,105	0,200	23,904	0,122	0,721	0,056	0,273	0,048	0,086	0,041	0,000	0,006	0,000	0,011	99,791
15	79,498	8,045	17,475	1,444	1,485	0,092	1,293	0,654	0,124	0,465	0,023	0,071	0,021	0,027	96,734
19	76,982	0,309	19,617	0,118	1,911	0,053	0,723	0,061	0,141	0,042	0,013	0,007	0,000	0,020	99,422
20	81,491	0,990	15,913	0,628	1,390	0,060	1,277	0,543	0,086	0,042	0,011	0,006	0,056	0,034	99,947
21	81,065	0,301	17,677	0,231	0,666	0,145	0,461	0,172	0,091	0,106	0,012	0,006	0,023	0,044	100,054
22	76,187	2,029	21,767	0,669	1,086	0,061	0,347	0,137	0,093	2,775	0,009	0,023	0,002	0,017	99,687
23	82,915	0,593	13,756	0,354	2,139	0,268	0,807	0,124	0,175	0,065	0,017	0,006	0,000	0,020	99,421
24	79,247	2,054	17,417	0,535	1,850	0,067	0,890	0,679	0,036	2,801	0,014	0,007	0,014	0,019	100,170
25	76,863	0,250	20,310	0,111	1,368	0,148	0,841	0,145	0,078	0,037	0,004	0,005	0,018	0,010	99,577
26	76,771	1,028	21,423	0,274	1,172	0,037	0,625	0,510	0,126	0,040	0,005	0,011	0,000	0,016	99,787
27	82,758	0,425	15,215	0,216	2,210	0,027	0,498	0,186	0,134	0,077	0,002	0,005	0,000	0,036	99,801
Moyenne	77,569		19,791		1,343		0,592		0,232		0,010		0,019		99,555
<i>Écart-type</i>	<i>3,706</i>		<i>4,561</i>		<i>0,738</i>		<i>0,293</i>		<i>0,285</i>		<i>0,006</i>		<i>0,009</i>		<i>0,709</i>

Tableau 3. Composition chimique moyenne des échantillons de laiton. Pour chaque échantillon, les valeurs expriment la moyenne de 10 mesures. Par contre, la moyenne et l'écart-type qui figurent au bas du tableau expriment l'ensemble des mesures prises sur les 24 échantillons, donc 240 mesures par éléments.

Les porte-baguettes forment un ensemble homogène contrairement aux autres catégories de garnitures. Une homogénéité qui rend possiblement compte d'une technologie de fabrication différente. Ces porte-baguettes sont formés d'une mince couche de laiton recourbée sur elle-même pour former un cylindre ; aucun décor n'apparaît sur ces pièces. Une forme probablement réalisée par martelage à froid sur enclume puis simplement enroulée sur un cylindre d'acier ou de fer et pressé de manière à en épouser la forme.

Quant aux contre-platines, plaques de couche et sous-gardes, leur mise en forme nécessite vraisemblablement un moulage. La mise en forme par moulage laisse effectivement des traces dans la structure des objets ainsi façonnés. On y retrouve alors un arrangement cristallin en forme d'arborescence que l'on nomme dendrite (France-Lanord 1980 : 20-21) et que l'on reconnaît sur certaines pièces, mais surtout sur les sous-gardes (Fig. 4). À l'intérieur de chacune de ces trois catégories de garnitures, les teneurs en cuivre et en zinc ne permettent pas d'y déceler des sous-ensembles qui puissent rendre compte de la fabrication ou de l'utilisation d'alliages différents pour confectionner telle ou telle pièce. Toutes se confondent pour former un même groupe au sein duquel les teneurs des différents éléments dosés reflètent une forte hétérogénéité intra-groupe.

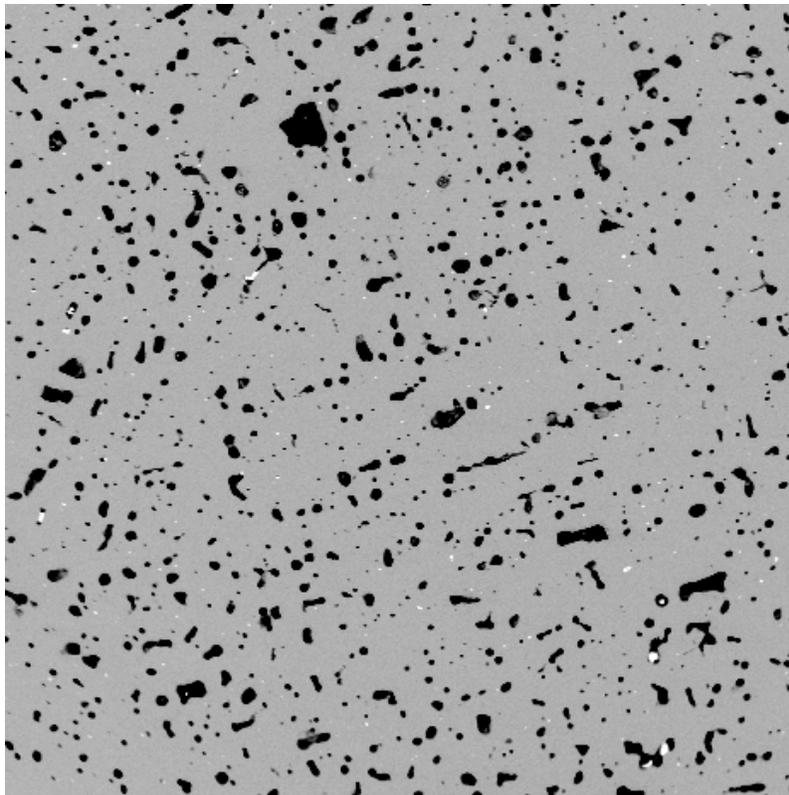


Figure 4. Fort grossissement de l'échantillon de sous-garde #12 qui présente une structure cristalline dendritique que l'on associe au refroidissement rapide des pièces coulées. Le réseau dendritique apparaît ici sous une forme plutôt linéaire (quadrillage mis en évidence par les nombreuses vésicules) car l'échantillon a été prélevé dans le sens vertical de la pièce.

De ce constat, on ne peut pas nécessairement en déduire que les portes-baguettes ne proviennent pas du même atelier que les autres pièces, mais seulement qu'elles découlent peut-être d'un lot de pièces fabriquées en un même moment à partir des mêmes matières premières. Quant aux autres pièces, on pourrait avancer que les différences de compositions renvoient possiblement à une production de laitons plus ou moins bien contrôlée.

Dépendant de la nature du zinc introduit dans l'alliage, que ce soit sous la forme de calamine ou de cadmie (zinc de fourneau), et du mode de fabrication de l'alliage, par cémentation en creuset fermé ou par couches successives de cuivre, calamine, charbon disposées dans un creuset et couvert de fragments de verre, on obtiendra alors des laitons aux qualités très variables.

En s'appuyant sur la teneur en zinc des échantillons, deux classes se dessinent au sein du corpus. Une première pour les porte-baguettes riches en zinc, et une seconde pour les autres pièces ; ou alors une première qui semble refléter la technique de cémentation en creuset fermé, et une deuxième produisant en creuset ouvert.

Si on regarde maintenant du côté des impuretés, et notamment en fer et étain, de petits ensembles bien circonscrits se dessinent (fig. 5). Ces impuretés proviennent vraisemblablement des minerais de cuivre tels que l'indiquent les coefficients de similarités du tableau 4. On y lit que les deux impuretés (Fe et Sn) ont une corrélation positive et significative avec le cuivre. La silice a également un coefficient de corrélation positif avec le cuivre, mais à un moindre degré. En revanche, le plomb et le soufre n'y sont pas du tout corrélés ; même entre ces deux éléments il ne semble pas y avoir de corrélation significative. Nous reviendrons plus substantiellement sur le cas du plomb sous peu.

L'association du fer et du cuivre est facilement compréhensible lorsque l'on considère le fait que l'un des principaux minerais de cuivre est la chalcopryrite, laquelle se compose à la fois de cuivre et de fer (CuFeS_2). Quoiqu'une grande partie du fer ait été éliminée lors de l'extraction du cuivre, il en subsiste encore de petites proportions mais la répartition de ce fer ne semble pas homogène dans la matrice de l'essentiel des échantillons comme l'exprime l'écart type du fer au tableau 3. La répartition n'est pas homogène d'un échantillon à l'autre, ni même dans un même échantillon.

	Cu	Zn	Sn	Fe	Pb	S	Si
Cu	1.000	-0.969	0.722	0.529	-0.221	-0.186	0.533
Zn	-0.969	1.000	-0.825	-0.615	0.151	0.002	-0.477
Sn	0.722	-0.825	1.000	0.522	-0.097	0.000	0.114
Fe	0.529	-0.615	0.522	1.000	-0.015	0.160	0.479
Pb	-0.221	0.151	-0.097	-0.015	1.000	0.281	-0.101
S	-0.186	0.002	0.000	0.160	0.281	1.000	-0.062
Si	0.533	-0.477	0.114	0.479	-0.101	-0.062	1.000

Tableau 4. Matrice des coefficients de similarité s'appuyant sur le test de Pearson (intervalle -1/+1). En gras, valeurs significatives.

Du côté de l'étain, on rencontre sensiblement le même phénomène, à la différence que le cuivre et l'étain sont rarement associés dans la nature. Le principal minerai d'étain est la cassitérite et le fer ne fait normalement pas parti des éléments accessoires. Par contre, on connaît depuis longtemps la technique d'alliage du cuivre et de l'étain pour en obtenir du bronze. Dans le cas présent, la teneur en étain est somme toute assez négligeable avec une concentration moyenne de $1,34 \pm 0,74$ % pds, mais affichant des seuils extrêmes moyens de 0,006 (échantillon 23) et de 3,192 (échantillon 11).

Dans les laitons modernes, il n'est pas rare de trouver de petites quantités d'étain. Même à faible dose comme de l'ordre de 0.1 à 0.12 %, l'étain améliore la tenue du cuivre et maintient ses propriétés mécaniques. Ainsi, on peut chauffer l'alliage à 350°C pendant une heure sans que la structure en soit affectée.

Dans le cas des garnitures du palais, les teneurs en Sn sont généralement plus fortes et on ne peut préciser s'il s'agit d'un ajout volontaire ou non. Mais au-delà de cette question d'intentionnalité, le rapport Fe-Sn de la figure 5 rend compte de regroupements qui semblent bien réels.

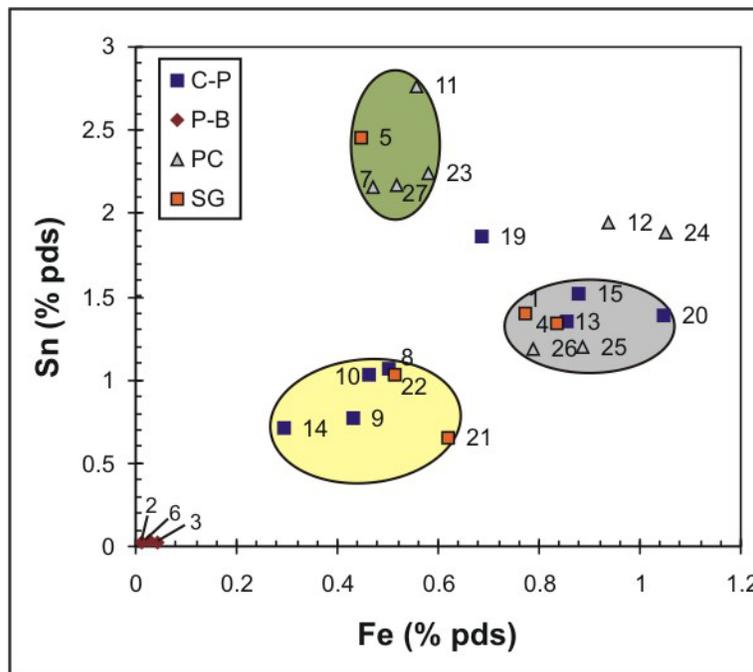


Figure 5. Diagramme binaire Fe-Sn des garnitures de fusil du palais. Au moins quatre groupes peuvent être identifiés sur la base de ces deux impuretés.

En bas à gauche du diagramme, on retrouve à nouveau les porte-baguettes (# 2-3-6) qui forment à nouveau un ensemble cohérent avec des valeurs pratiquement nulles tant en Fe qu'en Sn. Ensuite en jaune, on retrouve un ensemble regroupant quatre contre-platines et deux sous-gardes qui présentent des valeurs faibles pour les deux métaux. On découvre ensuite deux autres groupes, l'un caractérisé par de plus fortes valeur en Sn (plaques de couche # 7-11-23-27 et sous-garde #5), l'autre plus fortes en Fe (contre-platines # 13-15-20 ; sous-garde #1-4 et plaques de couche # 25-26). Les échantillons 12, 19 et 24

affichent par ailleurs une proportion relativement constante d'étain, mais plutôt variable en fer et c'est pourquoi nous ne les avons pas regroupés.

Ces groupes reflètent-ils des origines de fabrication différentes ou représentent-ils simplement différents lots de production d'un même atelier ? Les données comparatives sont rares mais on dispose de quelques résultats d'analyse issue de garnitures de fusil dont certaines sont présumées françaises, d'autres anglaises.

Dans le passé, Hamilton (1981) a procédé à l'analyse compositionnelle de quelques garnitures de fusil en laiton recouvertes sur le site du Fort Michilimackinac au Michigan et sur le site Sullivan en Illinois. L'échantillonnage s'est fait dans des contextes différents témoignant d'occupations française et anglaise. Formulé de façon très sommaire et analytique, le rapport d'Hamilton nous permet quand même d'étendre notre corpus et d'y intégrer la dimension comparative des origines « française vs anglaise ». Notons toute fois que l'échantillon #1456 d'Hamilton présente une composition nettement différente du reste du corpus avec plus de 81 % de Cu et 8 % de Zn. Au tableau 5, nous avons inscrit un point d'interrogation dans la colonne « Origine » car la composition de #1456 est vraiment distincte des autres pièces dites « anglaise » et qu'il n'y a pas lieu de regrouper toutes ces pièces dans un même ensemble. Pour la suite, lorsque l'on parlera des pièces « anglaises », l'appellation exclura d'office l'échantillon 1456.

	Cu	Zn	Sn	Fe	Pb	Sb	Ni	Origine
	WT%							
3212	71.90	17.20	2.20	1.20	6.50	0.75	0.15	France
789	72.70	15.50	1.30	0.90	8.20	1.15	0.10	France
3482	72.85	17.10	0.40	1.30	7.10	1.20	0.15	France
2034	76.00	18.50	0.10	1.15	3.20	0.80	0.03	France
1456	81.30	8.00	3.60	0.70	5.40	0.78	0.10	(?)
1389	70.70	26.00	0.40	0.43	2.20	0.10	0.01	Angleterre
A7983	75.64	19.40	0.47	0.64	3.50	0.30	nil	Angleterre
A8270	69.44	24.00	0.53	0.60	5.10	0.26	0.02	Angleterre

Tableau 5. Composition chimique des garnitures de fusil du Fort Michilimackinac (#3212, 789, 3482, 2034, 1389 et 1456) et du site Sullivan (#A7983 et A8270) étudiées par Hamilton (tiré de Hamilton 1981). La dernière colonne présente le résultat de l'interprétation d'Hamilton.

De manière générale, on note une variabilité assez prononcée pour Cu et Zn, de même que des impuretés de plomb, d'étain et de fer qui représente une proportion important de la matrice dans certains cas.

Chez les pièces qu'Hamilton attribue aux contextes français, le cuivre varie en teneur d'environ 72 à 76 %, et de 15.5 à 18.5 % en zinc. Du côté anglais l'échelle est plus large et s'étend d'environ 69 à 75 % pour le cuivre, et de 19 à 26 % pour le zinc. Au niveau des impuretés, on remarque également beaucoup de variabilité chez l'un et l'autre des groupes d'origine. Par contre, l'échelle des valeurs des éléments Fe et Sn semble permettre de circonscrire les deux groupes en question. Du côté français on a mesuré des

valeurs en Fe allant de 0.9 à 1.3 % et en Sn de 0.1 à 2.2 % alors que du côté anglais, les valeurs sont respectivement de 0.43 à 0.7 pour Fe et de 0.4 à 0.53 pour Sn.

Nous avons cru bon de reporter ces valeurs sur un diagramme binaire Fe-Sn (figure 6) et de voir si les pièces dites « françaises » et « anglaises » pouvaient se retrouver au sein des groupes que l'on identifiait la figure 5.

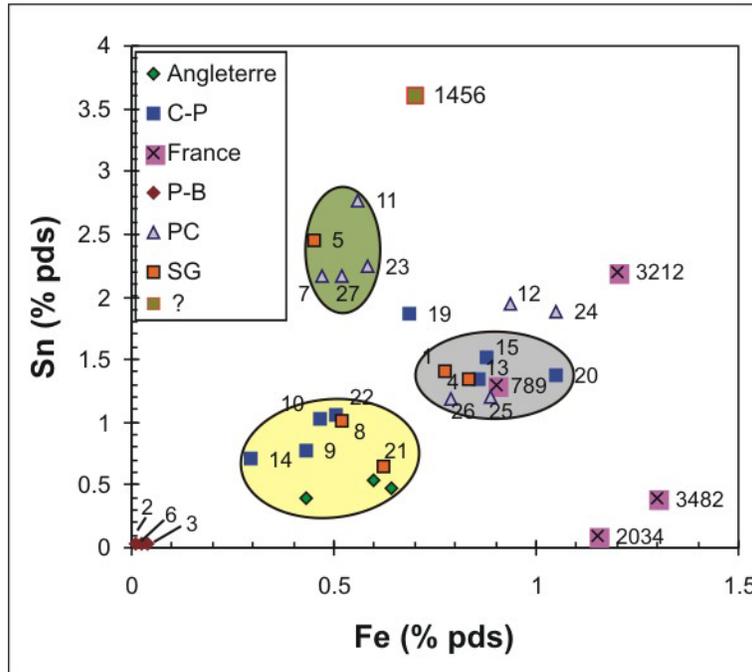


Figure 6. Diagramme binaire Fe-Sn des garnitures de fusil du palais et des pièces analysées par Hamilton (1981). Le graphique rend compte d'affinités chimiques entre différentes certaines pièces du palais et d'autres auxquelles Hamilton attribuait des origines tantôt française, tantôt anglaise.

Or les résultats sont surprenants ! Non seulement le groupe (en jaune) formé des échantillons de contre-platines # 9-10-14-22 et des sous-gardes #8-21 inclut-il des pièces analysées par Hamilton, mais en plus il s'agit des trois pièces « anglaises » ! Du côté français, le #789 vient s'insérer au cœur du groupe précédemment formé des sous-gardes #1-4, des contre-platines #13-15-20 et des plaques de couche #25-26 (en bleu). L'échantillon #3212 se retrouve à proximité des échantillons #12-19-24 au centre du graphique avec lesquels il partage une teneur en Sn similaire mais plus forte en Fe. Les échantillons « français » #2034 et 3482 forment un tandem caractérisé par de faibles teneurs en Sn (similaires à celles des porte-baguettes #2-3-6) et les plus fortes en Fe. Enfin, l'échantillon #1456 présente une composition très différente de tous les autres échantillons analysés.

Sans pouvoir effectivement confirmer que certaines pièces sont effectivement anglaises et que d'autres sont françaises, le résultat est intéressant en ce qu'il permet de constater que certaines pièces de Michilimackinac ou du site Sullivan présentent des affinités chimiques évidentes avec des pièces du Palais de l'intendant.

2.1 De la question des teneurs en plomb (Pb)

Les teneurs en plomb que l'on peut lire dans le tableau 3 rendent compte de la composition de la matrice, laquelle se compose essentiellement de l'alliage binaire Cu-Zn accompagné de teneurs variables pour des impuretés de Sn et Fe particulièrement. Sur l'ensemble des lectures, la teneur moyenne en plomb se situe à $0,232 \pm 0,285$. Autant dire que le plomb y constitue une composante marginale. Pourtant, certaines analyses font état de concentrations beaucoup plus fortes, atteignant le 8 % dans certains cas !

Les images en électrons rétro-diffusés permettent de statuer sur une présence en plomb beaucoup plus forte que ne le laisse croire les résultats d'analyse, simplement parce que le plomb ne se mêle pratiquement pas à l'alliage Cu-Zn mais forme plutôt des inclusions de Pb pur dissimulés dans la matrice. Le meilleur exemple de ce phénomène est présenté à la figure 7 qui présente l'image en électrons rétro-diffusés de la plaque de couche #26 (les images de chaque échantillon sont présentées à l'Annexe A).

Le plomb s'y présente ainsi sous la forme de globules isolés de dimensions variables d'un échantillon à l'autre selon la proportion de plomb présent dans le mélange et peut-être aussi en fonction des conditions de coulée.

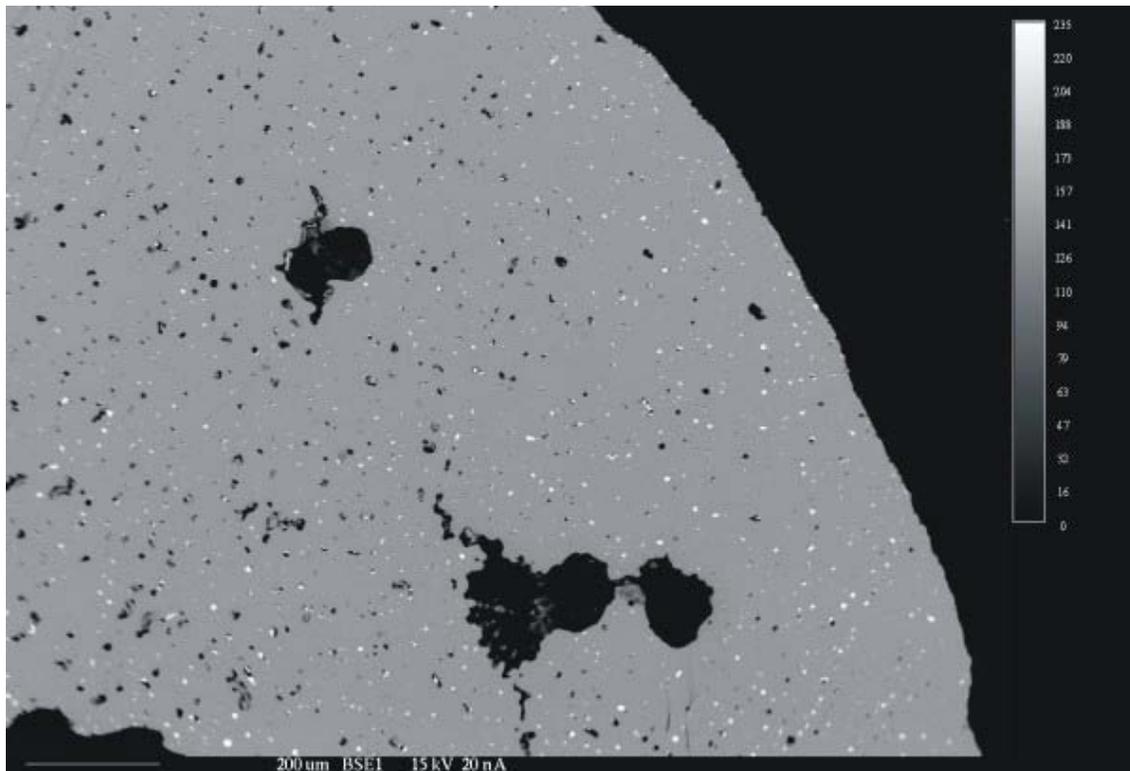


Figure 7. Image en électrons rétro-diffusés de l'échantillon de plaque de couche # 26. Les points blancs dissimulés dans la matrice correspondent à des globules de plomb.

Si on se rapporte aux analyses d'Hamilton présentés au tableau 5, qui contrairement aux analyses par MET portent sur un volume d'interaction de la matière beaucoup plus grand,

on remarque que les teneurs en plomb varient globalement de 2.2 à 8.2 %. Ces teneurs seraient à notre avis plus représentatives de la proportion de plomb présente dans les différents échantillons analysés.

2.2 Répartition spatiale des éléments, le cas de l'échantillon 20.

Tel que mentionné précédemment, les analyses à la MET ont été faites avec les mêmes paramètres pour chacun des échantillons et même si les 10 analyses effectuées sur chacun des échantillons sont consistantes, elles ne rendent compte que de la composition de 10 points mesurant chacun 5 μm de diamètre (l'ensemble des résultats est rapporté à l'Annexe B).

Afin de nous faire une idée plus juste de la composition de la matrice et de voir comment se présentent les différents éléments, nous avons procédé à la cartographie chimique élémentaire (*chemical mapping*) de l'échantillon 20 (contre-platine). L'échantillon a été sélectionné au hasard mais sa composition est plutôt représentative de la composition moyenne de l'ensemble des pièces analysées (cf. Tableau 3).

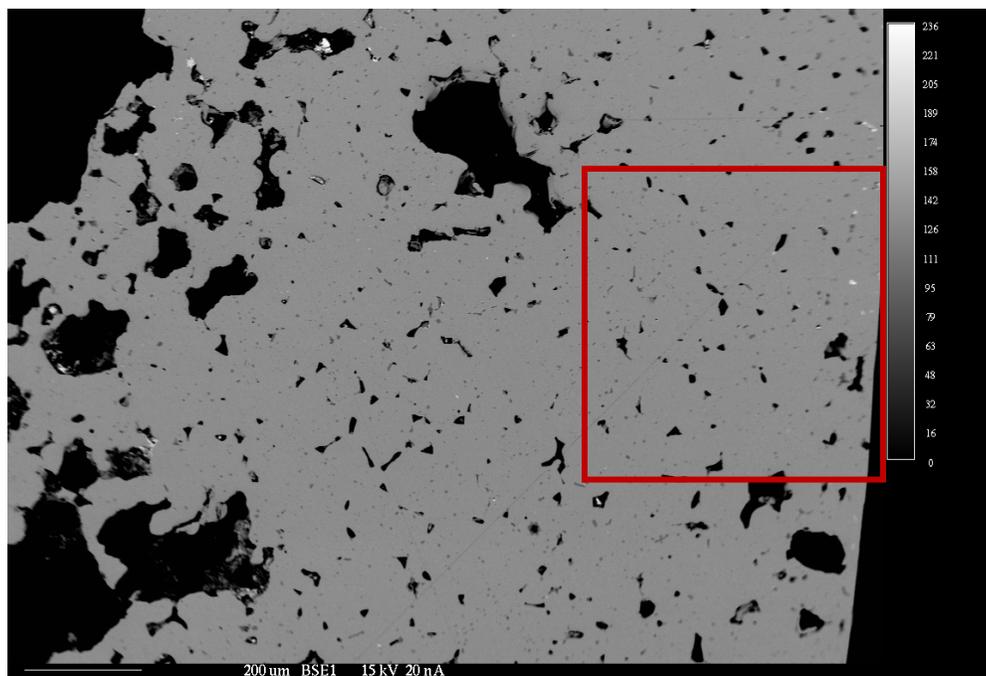


Figure 8. Images en électrons rétrodiffusés de la surface de l'échantillon 20. La partie encadrée correspond à la zone qui a fait l'objet de la cartographie chimique.

D'abord, disons que l'échantillon 20 comporte une forte porosité représentée par de grosses vésicules irrégulières de formes arrondies et allongées (Fig. 8) qui font parfois près de 250 μm de longueur dans l'axe le plus long. Aussi, contrairement à la majorité des pièces analysées, le #20 comporte peu de nodules de plomb isolés dans la matrice.

Le cuivre et le zinc sont répartis de manière très homogène dans la matrice. Sur la figure 9, la teneur en cuivre, qui correspond dans ce cas à une moyenne d'environ 81,5 % est très uniforme ; dans le cas du zinc toutefois, la couleur bleu domine largement sur la figure 10, ce qui indique que la proportion de Zn est sensiblement la même sur toute la surface analysée, à l'exception des quelques endroits qui prennent une coloration verte où on note alors de plus fortes concentrations.

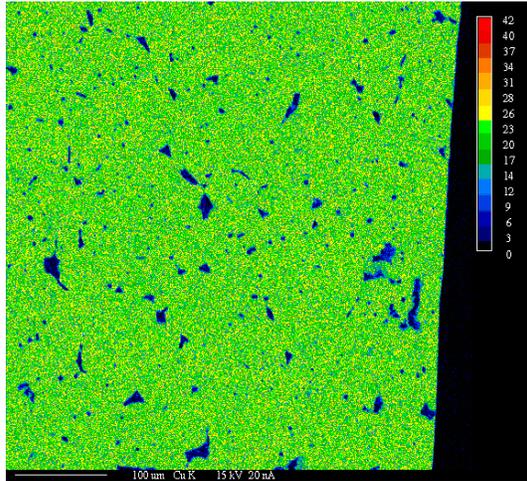


Figure 9. Cartographie du Cu dans l'échantillon #20.

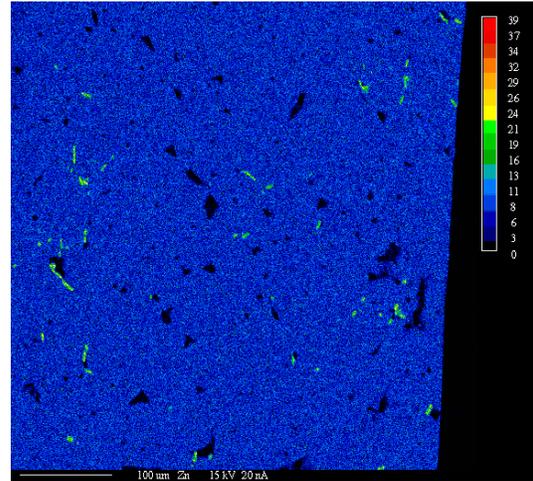


Figure 10. Cartographie du Zn dans l'échantillon #20.

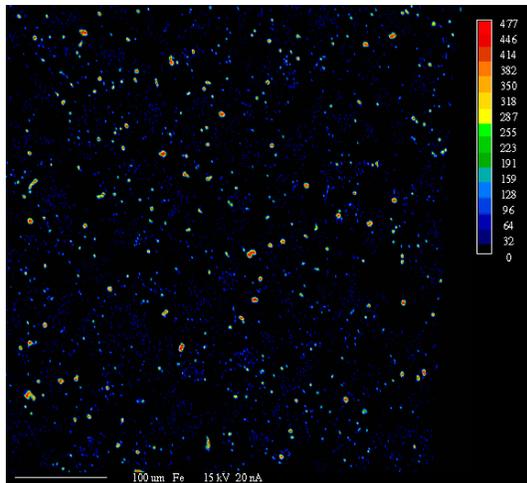


Figure 11. Cartographie du Fe dans l'échantillon #20.

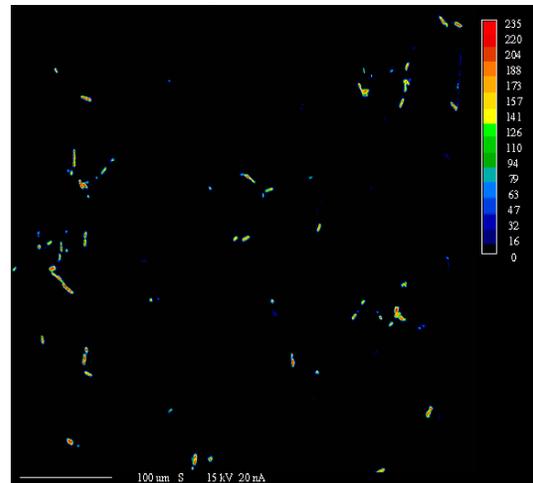


Figure 12. Cartographie du S dans l'échantillon #20.

Du côté de la proportion de fer, elle paraît anodine à la lecture du tableau 3, mais la figure 11 permet de lire autrement le résultat moyen de $1,277 \pm 0,543$ %. En effet, le Fe se présente sous la forme de petites inclusions dissimulées de manière assez homogène dans l'ensemble de la matrice mais affichant des teneurs très variables comme l'indique l'échelle de couleurs.

Quant au soufre, sa répartition spatiale est très inégale (fig 12). Dans certains cas, il semble qu'il soit associé au fer, mais encore plus au Zn. En effet, là où on notait plus tôt de plus fortes concentrations de Zn on y retrouve aussi maintenant du S. Ces inclusions plus riches en zinc seraient donc des minéralisations de sulfure de Zn, ou de sphalérite (ZnS).

Enfin, la silice constitue une impureté sous-représentée dans l'ensemble des échantillons. Avec une teneur moyenne de 0.019 ± 0.009 , autant dire que la silice y est très marginale et que sa présence n'est vraisemblablement pas intentionnelle. La figure 13 montre que dans l'échantillon #20, la silice se présente sous la forme d'inclusions très localisées exemptes de toutes formes d'association avec les autres impuretés.

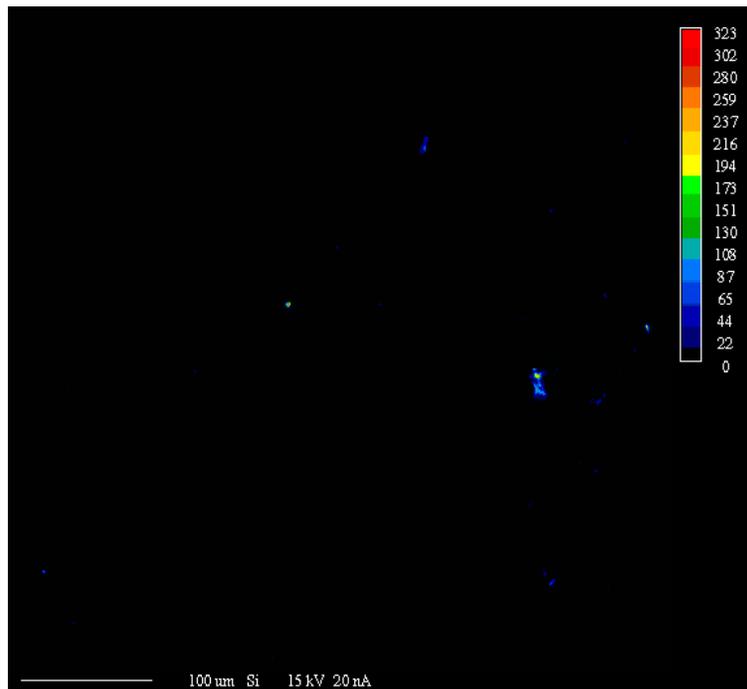


Figure 13. Cartographie de la Si dans l'échantillon #20.

Au-delà de la matrice Cu-Zn, la cartographie des éléments chimiques est très informative. Elle permet d'avancer que le cuivre provient probablement de la chalcoppyrite (bisulfure de cuivre et de fer) dont on n'aura possiblement pas réussi à éliminer complètement le fer. Ce cuivre comportant des impuretés de fer aurait donc été mélangé à du minerai de zinc (sphalérite) et mis à chauffer dans un creuset couvert mais la réduction n'aura pas été complétée. Ainsi, le laiton produit pour fabriquer la contre-platine #20 comporte non seulement des inclusions de fer, mais également du soufre associé aux concentrations plus fortes en zinc. Voilà représenté le cas de la grande majorité des pièces de laiton analysées, à l'exception des porte-baguettes.

Les porte-baguettes comportent globalement d'infimes quantités de Fe. Cette faible représentativité semble indiquer que le cuivre utilisé pour produire le laiton de ces garnitures provient d'un affinage beaucoup plus complet du cuivre, ayant permis une élimination beaucoup plus substantielle du fer.

3. Conclusion

Les garnitures de fusil étudiées dans le cadre de ce rapport présentent des teneurs variables en Cu et Zn qui s'accompagnent aussi de certaines impuretés comme le fer, l'étain et le plomb notamment. Des quatre catégories de garnitures, seules les porte-baguettes constituent un ensemble homogène et cohérent qui comporte une proportion importante de Zn et des quantités négligeables de Fe et de Sn.

Sur la base de ces deux derniers éléments, nous distinguons au moins quatre groupes chimiques qui semblent refléter des stades différents d'affinage du cuivre, extrait de la chalcopryrite. En intégrant les garnitures du fort Michilimackinac et du site Sullivan étudiées par Hamilton (1981), on observe une correspondance étonnante entre un des groupes chimiques du Palais et les pièces qu'Hamilton interprétaient comme étant originaire d'Angleterre.

Au-delà des impuretés en Fe et Sn, on note aussi une proportion importante en plomb qui se présente sous la forme de globules dissimulés dans la matrice. En plus de son rôle de fondant, le plomb jouerait un rôle au niveau mécanique, augmentant sa ductilité et facilitant sa mise en forme.

La cartographie des éléments chimiques de l'échantillon #20 permet d'apprécier l'homogénéité de l'alliage Cu-Zn et de voir sous quelle forme se présentent les impuretés en Fe et S. Le fer forme de petites inclusions réparties dans la matrice alors que le soufre se présente sous la forme d'inclusions très localisées, lesquelles correspondent aussi à de plus fortes concentrations de zinc. Ainsi, les matrices comporteraient des grains de sphalérite (ZnS) non dissouts dans la matrice.

Alors qu'Hamilton (1981) croyait pouvoir lire l'origine « française » ou « anglaise » des pièces en s'appuyant sur les contextes archéologiques d'une part, et les compositions d'autres parts, il nous semble que les résultats ne peuvent servir de traceurs de provenance. La fabrication du laiton au cours de la première moitié du 18^e siècle semble toujours procéder de manière un peu expérimentale et le contrôle de la qualité des alliages n'est pas une pratique standardisée comme l'indiquent les proportions variables de Zn. Le cuivre étant essentiellement extrait de la chalcopryrite (peu importe qu'il provienne de mines hollandaises, anglaises ou suédoises), on ne pourra s'appuyer sur les teneurs en fer pour en déterminer les origines de fabrication. Le problème est d'autant plus grand que le cuivre fait l'objet d'un commerce à grande échelle à cette époque.

Références citées

Deshpande, V. 1996. A note on ancient zinc-smelting in India and China. *Indian Journal of History of Science* 31(3): 275-279.

Diderot, Denis et Jean Le Rond d'Alembert. 1751-1765. *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Paris, Le Breton.

France-Lanord, Albert. & Keith, Marie Christine. & International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property. 1980 *Ancient metals : structure and characteristics = Metaux anciens : structure et caractéristiques* ICCROM, Rome. 66 p.

Hamilton, T. M. 1981. An Attempt to Determine the Origin of Eighteenth-Century Brass by Metallurgical Analysis, in D. P. Heldman and R. T Grange Jr. *Excavations at Fort Michilimackinac: 1978-1979. The Rue de la Babillarde*. Archaeological Completion Report Series 3, Mackinac Island State Park Commission, Mackinac Island, Michigan, pp. 467-470.

Martinón-Torres, M. and T. Rehren. 2002. Agricola And Zwickau: theory and practice of Renaissance brass production in SE Germany, in *Historical Metallurgy* 36(2): 95-111.

Moussette, M. 2000. Les garnitures de fusil de traite des magasins du roi à Québec : un autre chemin de l'univers baroque en Amérique du Nord, *Archéologiques* 14 : 50-78.

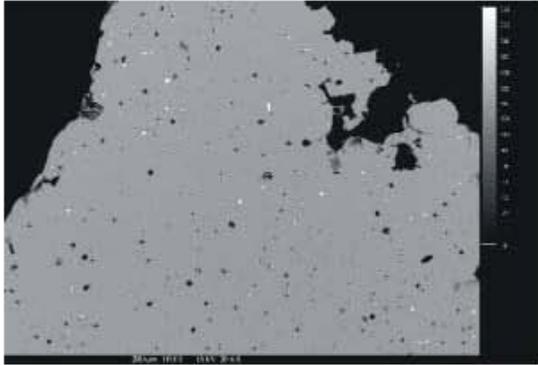
Moussette, M. *Le site du Palais de l'intendant à Québec. Génèse et structuration d'un lieu urbain*. Septentrion, Sillery. 229 p.

Rehren, T. and M. Martinón-Torres. 2008. Naturum ars imitate: European Brassmaking between Craft and Science, in M. Martinón-Torres and T. Rehren (eds.), *Archaeology, History and Science. Integrating Approaches to Ancient Materials*. Left Coast Press inc., Walnut Creek, pp. 167-188.

Ronvaux, Marc. « L'industrie du cuivre à Namur », dans *Namur, passés composés*. Namur, 2005, p. 106-135. [Consulté en ligne le 2/06/2010 à <http://ns56.hosteur.com/~marcr/L%20industrie%20du%20cuivre%20a%20Namur.pdf>]

Thornton, C. P. and C. B. Ehlers. 2003. Early Brass in Ancient Near East, *iams* 23: 3-8.

Annexe A



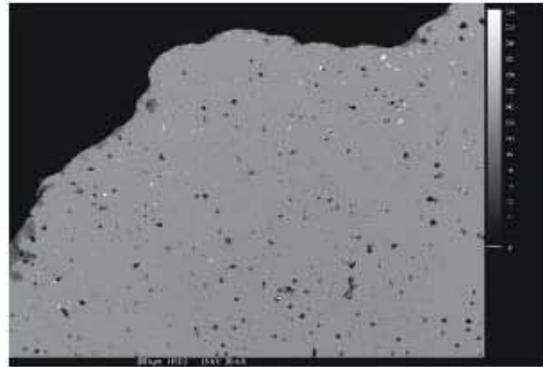
01



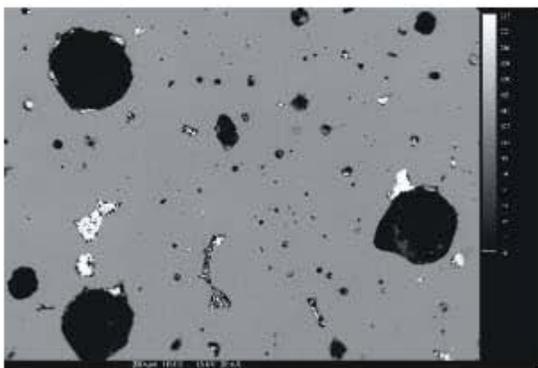
02



03



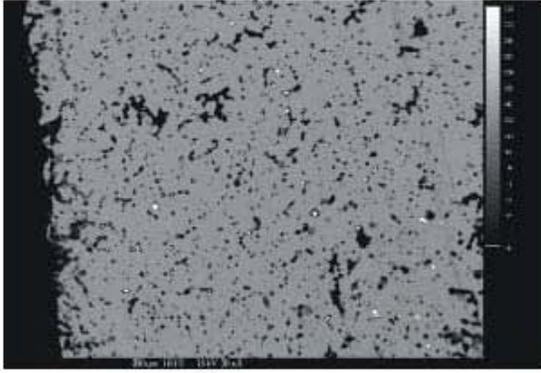
04



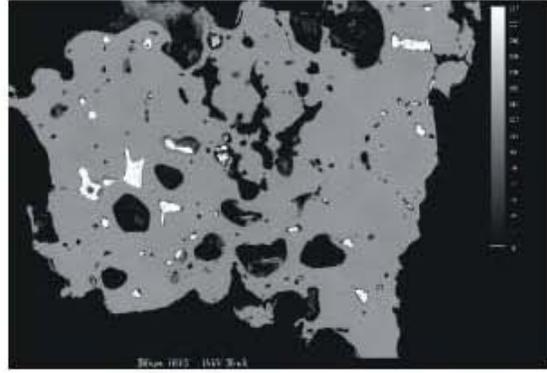
05



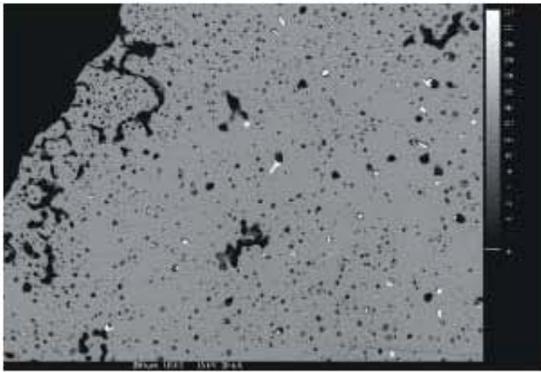
06



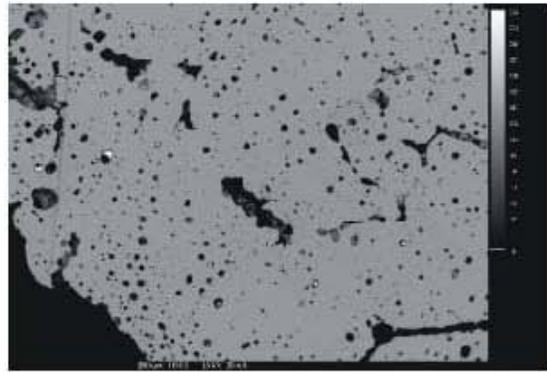
07



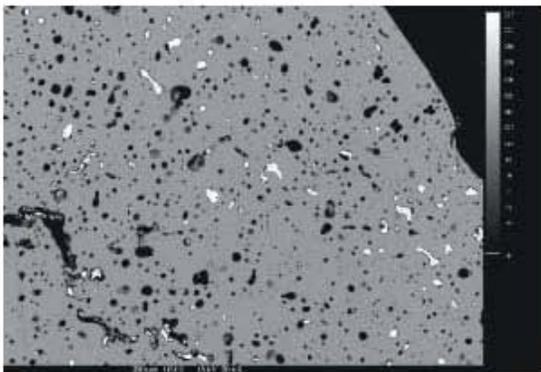
08



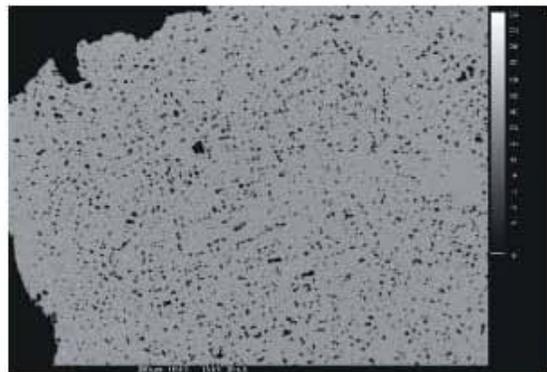
09



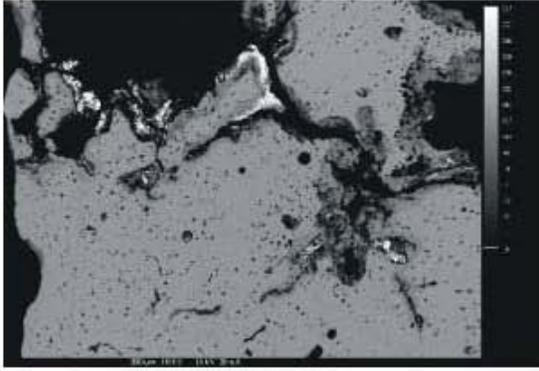
10



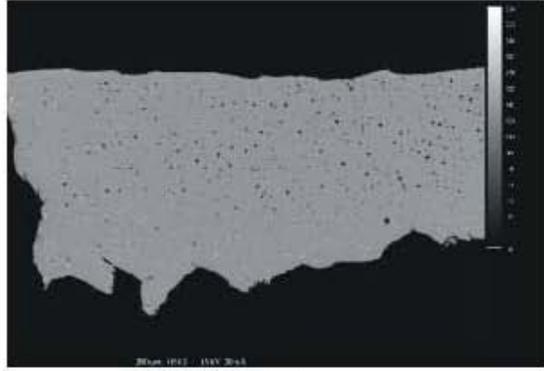
11



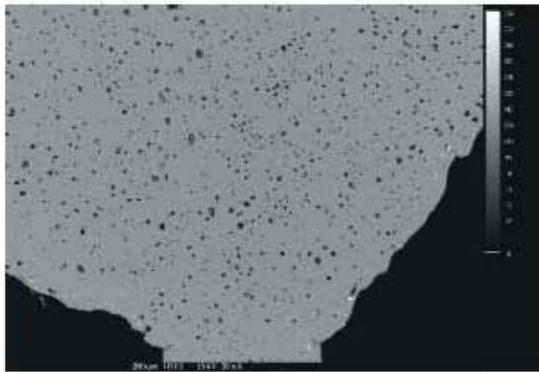
12



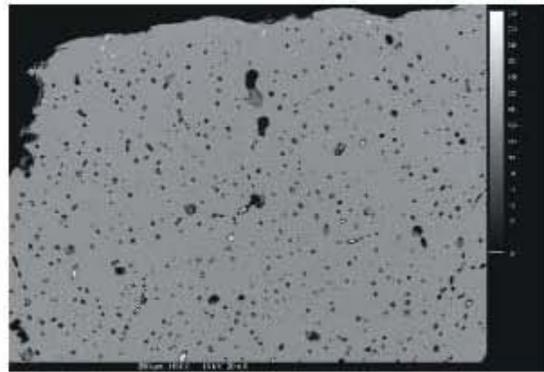
13



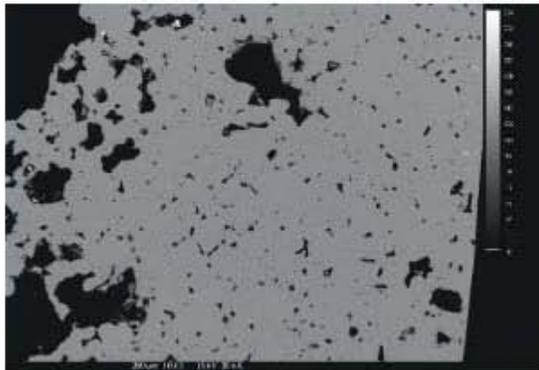
14



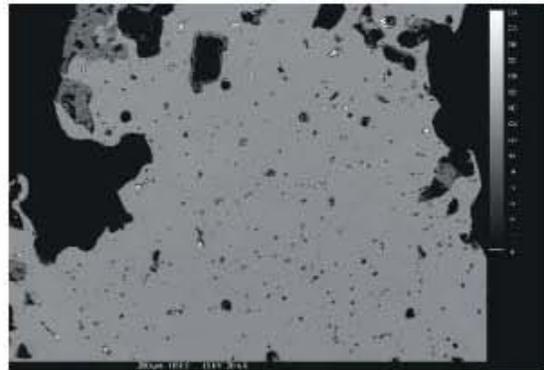
15



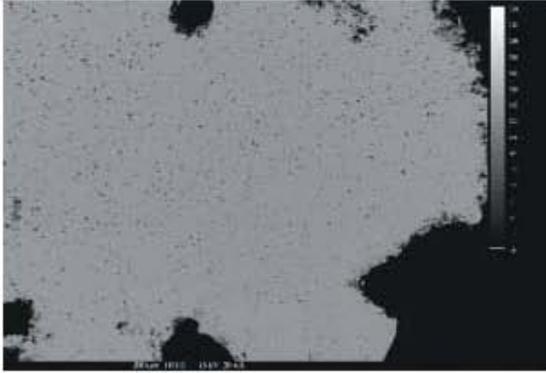
19



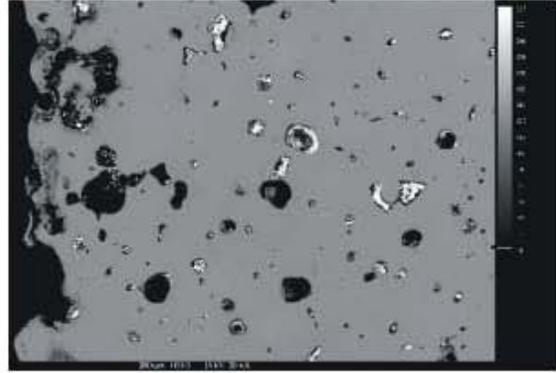
20



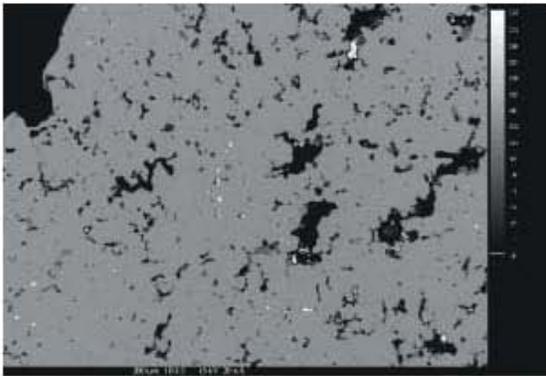
21



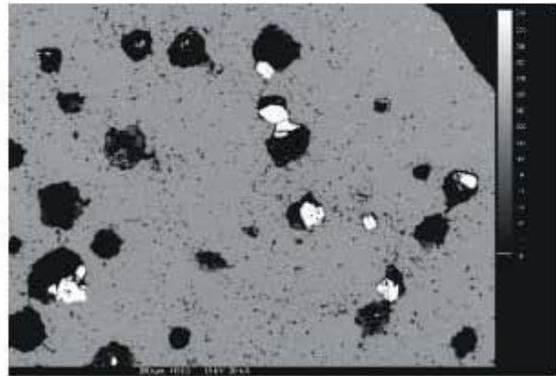
22



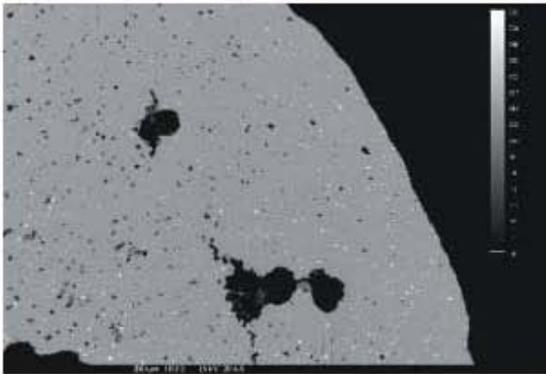
23



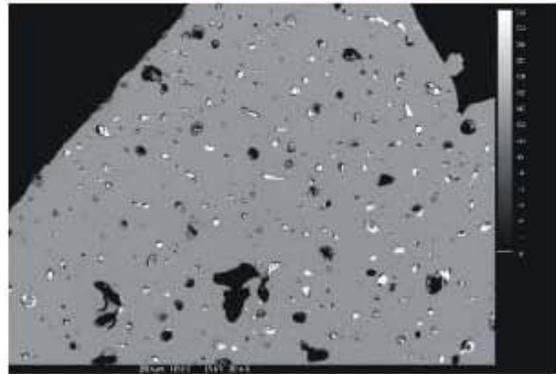
24



25



26



27

Annexe B

Analyse	Échantillon	Cu	Zn	Sn	Fe	Pb	S	Si	Total
		WT/o/o	Total						
#1	1	76.958	20.962	1.341	0.482	0.105	0.011	0.014	99.873
#2	1	76.770	20.971	1.177	0.550	0.115	0.024	0.008	99.615
#3	1	76.786	20.887	1.472	0.352	0.022	0.017	0.014	99.550
#4	1	75.119	20.137	1.432	3.099	0.170	0.011	0.010	99.978
#5	1	77.188	20.948	1.393	0.492	0.114	0.005	0.026	100.166
#6	1	77.179	20.972	1.463	0.463	0.088	0.018	0.011	100.194
#7	1	76.940	20.926	1.441	0.537	0.108	0.017	0.012	99.981
#8	1	76.579	20.775	1.441	0.683	0.086	0.005	0.008	99.577
#9	1	76.608	20.837	1.420	0.623	0.175	0.010	0.009	99.682
#10	1	76.838	21.142	1.416	0.462	0.090	0.014	0.005	99.967
#11	2	69.036	30.979	0.035	0.011	0.100	0.015	0.007	100.183
#12	2	69.140	30.322	0.021	0.002	0.081	0.008	0.008	99.582
#13	2	69.314	30.738	0.031	0.008	0.095	0.000	0.018	100.204
#14	2	69.137	30.793	0.032	0.022	0.014	0.006	0.011	100.015
#15	2	69.291	30.552	0.027	0.000	0.120	0.009	0.017	100.016
#16	2	69.126	30.912	0.052	0.040	0.107	0.017	0.007	100.261
#17	2	68.975	31.396	0.038	0.020	0.094	0.007	0.003	100.533
#18	2	69.641	30.616	0.000	0.014	0.059	0.000	0.014	100.344
#19	2	68.785	30.977	0.006	0.000	0.085	0.015	0.010	99.878
#20	2	68.599	31.036	0.043	0.000	0.120	0.008	0.017	99.823
#21	3	71.864	28.100	0.006	0.053	0.021	0.001	0.003	100.048
#22	3	72.029	28.311	0.000	0.062	0.024	0.014	0.000	100.440
#23	3	68.456	26.455	0.032	0.035	5.748	0.018	0.013	100.757
#24	3	72.753	27.642	0.074	0.020	0.035	0.002	0.014	100.540
#25	3	72.301	28.547	0.016	0.090	0.043	0.015	0.008	101.020
#26	3	71.056	29.319	0.026	0.014	0.073	0.020	0.000	100.508
#27	3	67.323	29.515	0.041	0.047	2.373	0.029	0.016	99.344
#28	3	69.436	30.359	0.010	0.062	0.268	0.006	0.010	100.151
#29	3	70.141	29.855	0.027	0.031	0.042	0.002	0.000	100.098
#30	3	70.865	29.349	0.006	0.000	0.087	0.000	0.011	100.318
#31	4	74.767	22.095	1.388	1.191	0.129	0.003	0.004	99.577
#32	4	74.582	22.186	1.403	1.123	0.103	0.008	0.010	99.415
#33	4	75.206	22.528	1.400	0.802	0.060	0.005	0.014	100.015
#34	4	74.857	22.610	1.250	0.527	0.093	0.016	0.024	99.377
#35	4	75.136	22.590	1.370	0.499	0.071	0.009	0.028	99.703
#36	4	75.457	22.779	1.262	0.672	0.117	0.003	0.017	100.307
#37	4	73.911	22.510	1.385	1.326	0.060	0.008	0.008	99.208
#38	4	74.494	22.818	1.296	0.702	0.091	0.012	0.008	99.421
#39	4	74.747	22.577	1.405	0.491	0.103	0.017	0.017	99.357
#40	4	74.601	22.764	1.299	1.004	0.088	0.014	0.010	99.780
#41	5	84.763	11.464	2.224	0.399	0.029	0.002	0.022	98.903
#42	5	84.650	11.315	2.230	0.480	0.154	0.000	0.009	98.838
#43	5	84.985	11.296	2.456	0.411	0.010	0.019	0.010	99.187
#44	5	85.657	11.442	2.269	0.364	0.139	0.007	0.024	99.902
#45	5	85.724	11.214	2.627	0.473	0.104	0.002	0.027	100.171
#46	5	84.726	11.463	2.358	0.552	0.074	0.005	0.009	99.187
#47	5	85.363	10.740	2.826	0.452	0.041	0.005	0.012	99.439
#48	5	85.582	11.044	2.528	0.355	0.068	0.013	0.007	99.597
#49	5	85.655	11.132	2.514	0.408	0.048	0.011	0.016	99.784
#50	5	85.217	11.488	2.534	0.592	0.051	0.007	0.014	99.903
#51	6	73.108	27.708	0.025	0.029	0.087	0.012	0.013	100.982
#52	6	73.751	26.578	0.027	0.000	0.119	0.021	0.028	100.524
#53	6	73.035	27.441	0.058	0.022	0.114	0.003	0.010	100.683
#54	6	73.982	26.252	0.048	0.068	0.066	0.000	0.031	100.447
#55	6	73.091	26.770	0.045	0.020	0.000	0.002	0.029	99.957
#56	6	73.373	26.967	0.008	0.023	0.059	0.000	0.015	100.445
#57	6	72.843	27.194	0.000	0.039	0.083	0.001	0.000	100.160
#58	6	73.005	27.073	0.036	0.000	0.029	0.012	0.008	100.163
#59	6	71.991	27.603	0.030	0.032	0.017	0.010	0.016	99.699
#60	6	74.732	26.113	0.036	0.026	0.040	0.004	0.023	100.974

Analyse	Échantillon	Cu WTo/o	Zn WTo/o	Sn WTo/o	Fe WTo/o	Pb WTo/o	S WTo/o	Si WTo/o	Total Total
#61	7	75.679	20.125	2.172	0.697	0.165	0.015	0.006	98.859
#62	7	75.365	20.173	2.174	0.438	0.237	0.001	0.016	98.404
#63	7	75.971	20.497	2.153	0.214	0.156	0.007	0.016	99.014
#64	7	74.889	20.294	2.175	1.086	0.191	0.006	0.013	98.654
#65	7	75.797	19.979	2.106	1.008	0.208	0.020	0.009	99.127
#66	7	76.427	20.222	2.143	0.233	0.151	0.001	0.016	99.193
#67	7	76.239	20.364	2.136	0.209	0.103	0.014	0.011	99.076
#68	7	76.169	20.217	2.126	0.223	0.086	0.005	0.010	98.836
#69	7	75.948	20.335	2.194	0.248	0.173	0.013	0.017	98.928
#70	7	76.003	20.036	2.223	0.333	0.381	0.011	0.001	98.988
#71	8	77.775	19.434	1.041	0.653	0.086	0.016	0.000	99.005
#72	8	77.796	19.802	0.922	0.601	0.091	0.004	0.012	99.228
#73	8	78.440	19.751	0.878	0.414	0.102	0.005	0.006	99.596
#74	8	77.684	20.025	0.659	0.624	0.174	0.017	0.009	99.192
#75	8	78.059	20.001	0.703	0.651	0.062	0.000	0.024	99.500
#76	8	77.427	20.311	1.179	0.496	0.172	0.006	0.016	99.607
#77	8	77.076	20.501	1.508	0.394	0.093	0.008	0.023	99.603
#78	8	77.483	20.153	1.259	0.392	0.131	0.009	0.012	99.439
#79	8	77.657	20.298	0.990	0.433	0.086	0.008	0.000	99.472
#80	8	77.500	19.893	1.507	0.370	0.112	0.006	0.011	99.399
#81	9	78.352	20.107	0.778	0.322	0.067	0.009	0.022	99.657
#82	9	77.285	20.280	0.829	0.408	0.114	0.012	0.018	98.946
#83	9	77.797	20.488	0.800	0.302	0.019	0.011	0.020	99.437
#84	9	77.552	20.181	0.788	0.444	0.196	0.011	0.032	99.204
#85	9	77.349	20.473	0.740	0.401	0.093	0.002	0.012	99.070
#86	9	77.236	20.535	0.762	0.408	0.184	0.006	0.024	99.155
#87	9	77.930	19.637	0.777	0.415	0.152	0.014	0.006	98.931
#88	9	78.995	19.853	0.702	0.504	0.088	0.000	0.019	100.161
#89	9	78.722	19.741	0.740	0.392	0.100	0.000	0.016	99.711
#90	9	77.228	20.339	0.811	0.702	0.188	0.001	0.013	99.282
#91	10	77.560	21.098	0.990	0.544	0.153	0.006	0.004	100.355
#92	10	77.425	20.465	0.979	0.550	0.003	0.011	0.008	99.441
#93	10	79.940	17.808	1.313	0.553	0.139	0.022	0.015	99.790
#94	10	76.330	21.828	0.968	0.339	0.167	0.010	0.000	99.642
#95	10	77.116	21.211	1.038	0.349	0.053	0.027	0.005	99.799
#96	10	77.666	20.061	1.065	0.514	0.000	0.009	0.011	99.326
#97	10	76.452	21.610	1.007	0.319	0.114	0.008	0.004	99.514
#98	10	66.742	20.101	0.942	0.201	1.873	0.096	0.027	89.982
#99	10	76.210	21.726	1.073	0.236	0.129	0.000	0.008	99.382
#100	10	77.599	19.681	0.918	1.035	0.145	0.012	0.017	99.407
#101	11	79.504	16.649	2.594	0.499	0.134	0.016	0.010	99.406
#102	11	79.564	16.284	2.606	0.577	0.110	0.000	0.002	99.143
#103	11	79.709	16.095	2.854	0.603	0.057	0.015	0.005	99.338
#104	11	78.646	17.285	2.453	0.683	0.125	0.016	0.038	99.246
#105	11	78.875	17.316	2.683	0.459	0.163	0.007	0.072	99.575
#106	11	78.718	17.146	2.431	0.495	0.410	0.021	0.008	99.229
#107	11	78.899	17.119	2.704	0.555	0.195	0.008	0.000	99.480
#108	11	79.219	16.410	3.177	0.524	0.163	0.011	0.012	99.516
#109	11	78.927	16.636	2.937	0.569	0.183	0.010	0.000	99.262
#110	11	79.321	16.273	3.192	0.603	0.137	0.004	0.000	99.530
#111	12	82.514	14.087	1.932	0.995	0.154	0.014	0.003	99.699
#112	12	82.844	14.304	1.994	0.703	0.154	0.000	0.004	100.003
#113	12	81.975	14.494	1.782	1.064	0.271	0.005	0.000	99.591
#114	12	82.059	14.574	1.934	0.650	0.146	0.000	0.006	99.369
#115	12	81.908	14.855	2.029	0.787	0.079	0.009	0.008	99.675
#116	12	81.578	14.670	1.903	1.080	0.163	0.014	0.009	99.417
#117	12	82.144	14.274	1.785	1.059	0.228	0.002	0.077	99.569
#118	12	81.832	14.183	2.066	1.042	0.062	0.004	0.116	99.305
#119	12	81.737	14.278	2.137	0.872	0.194	0.010	0.000	99.228
#120	12	81.760	14.548	1.897	1.129	0.338	0.000	0.133	99.805
#141	13	78.853	19.441	1.300	0.351	0.000	0.000	0.020	99.965
#142	13	78.372	19.526	1.285	1.060	0.000	0.010	0.022	100.275
#143	13	78.285	19.897	1.358	0.848	0.000	0.006	0.022	100.416
#144	13	80.988	17.685	1.399	0.507	0.101	0.006	0.020	100.706
#145	13	78.328	19.433	1.340	0.779	0.031	0.013	0.017	99.941
#146	13	77.663	20.032	1.386	0.348	0.102	0.004	0.015	99.550
#147	13	76.302	19.474	1.423	1.781	0.074	0.001	0.011	99.066
#148	13	78.698	18.100	1.158	1.039	0.083	0.013	0.053	99.144
#149	13	83.544	13.547	1.457	1.157	0.088	0.006	0.007	99.806
#150	13	78.363	19.468	1.392	0.686	0.071	0.010	0.038	100.028

Analyse	Échantillon	Cu	Zn	Sn	Fe	Pb	S	Si	Total
		WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	Total
#121	14	74.758	23.829	0.715	0.286	0.021	0.009	0.007	99.625
#122	14	74.601	23.946	0.645	0.318	0.050	0.015	0.034	99.609
#123	14	74.665	24.075	0.740	0.323	0.021	0.000	0.027	99.851
#124	14	74.608	23.963	0.679	0.345	0.090	0.000	0.000	99.685
#125	14	74.725	23.896	0.657	0.286	0.092	0.008	0.012	99.676
#126	14	74.807	24.031	0.675	0.296	0.040	0.011	0.010	99.870
#127	14	74.720	23.740	0.708	0.365	0.054	0.010	0.013	99.610
#128	14	74.477	23.912	0.739	0.227	0.050	0.005	0.018	99.428
#129	14	75.076	24.165	0.841	0.214	0.157	0.000	0.017	100.470
#130	14	75.105	23.904	0.721	0.273	0.086	0.000	0.000	100.089
#131	15	80.486	17.737	1.608	0.423	0.050	0.010	0.047	100.361
#132	15	79.175	17.333	1.593	1.150	0.053	0.002	0.005	99.311
#133	15	80.202	17.540	1.579	0.417	0.060	0.004	0.013	99.815
#134	15	79.224	17.360	1.543	0.501	1.494	0.011	0.025	100.158
#135	15	79.306	17.290	1.524	1.363	0.088	0.002	0.021	99.594
#136	15	79.732	17.371	1.512	0.691	0.084	0.009	0.006	99.405
#137	15	80.405	17.381	1.560	0.423	0.101	0.004	0.025	99.899
#138	15	54.261	12.859	1.294	0.185	0.611	0.234	0.093	69.537
#139	15	78.681	16.877	1.443	2.321	0.000	0.016	0.000	99.338
#140	15	79.498	17.475	1.485	1.293	0.124	0.023	0.021	99.919
#151	19	77.314	19.722	1.904	0.702	0.129	0.001	0.042	99.814
#152	19	77.550	19.897	1.876	0.648	0.036	0.001	0.011	100.019
#153	19	76.673	19.797	1.883	0.664	0.144	0.015	0.003	99.179
#154	19	77.209	19.720	1.792	0.672	0.071	0.000	0.018	99.482
#155	19	76.781	19.605	1.919	0.844	0.119	0.009	0.046	99.323
#156	19	76.560	19.793	1.770	0.652	0.156	0.014	0.010	98.955
#157	19	76.763	19.807	1.806	0.630	0.132	0.012	0.051	99.201
#158	19	76.895	19.742	1.880	0.655	0.172	0.000	0.000	99.344
#159	19	76.897	19.995	1.840	0.691	0.083	0.000	0.007	99.513
#160	19	76.982	19.617	1.911	0.723	0.141	0.013	0.000	99.387
#161	20	81.430	16.155	1.347	0.626	0.036	0.000	0.015	99.609
#162	20	80.895	16.503	1.439	0.789	0.067	0.013	0.119	99.825
#163	20	81.318	16.378	1.380	0.704	0.081	0.008	0.057	99.926
#164	20	81.390	15.941	1.400	0.915	0.024	0.003	0.024	99.697
#165	20	83.694	14.315	1.519	0.941	0.029	0.000	0.016	100.514
#166	20	79.739	15.766	1.345	2.450	0.108	0.006	0.012	99.426
#167	20	80.960	16.292	1.326	1.236	0.136	0.014	0.037	100.001
#168	20	81.398	16.140	1.322	0.919	0.000	0.019	0.053	99.851
#169	20	81.988	16.353	1.350	0.615	0.077	0.005	0.005	100.393
#170	20	81.491	15.913	1.390	1.277	0.086	0.011	0.056	100.224
#171	21	81.465	17.250	0.807	0.370	0.041	0.000	0.015	99.948
#172	21	81.136	17.144	0.908	0.499	0.067	0.013	0.010	99.777
#173	21	81.087	17.244	0.776	0.573	0.074	0.003	0.122	99.879
#174	21	80.876	17.386	0.562	0.638	0.303	0.012	0.123	99.900
#175	21	81.217	17.462	0.552	0.757	0.088	0.000	0.011	100.087
#176	21	80.724	17.876	0.667	0.470	0.336	0.013	0.021	100.107
#177	21	81.430	17.384	0.521	0.755	0.184	0.013	0.018	100.305
#178	21	81.647	17.471	0.452	0.842	0.078	0.005	0.050	100.545
#179	21	80.807	17.703	0.553	0.847	0.057	0.000	0.029	99.996
#180	21	81.065	17.677	0.666	0.461	0.091	0.012	0.023	99.995
#181	22	76.261	21.901	1.123	0.470	0.045	0.010	0.047	99.857
#182	22	75.743	21.947	1.071	0.556	0.098	0.002	0.016	99.433
#183	22	76.252	21.485	1.051	0.660	0.000	0.006	0.010	99.464
#184	22	69.846	19.717	0.945	0.347	8.881	0.080	0.037	99.853
#185	22	75.277	21.486	0.973	0.794	0.809	0.005	0.000	99.344
#186	22	76.339	21.712	1.082	0.496	0.090	0.007	0.024	99.750
#187	22	76.478	21.670	1.120	0.415	0.000	0.011	0.014	99.708
#188	22	76.183	21.943	1.045	0.501	0.012	0.002	0.038	99.724
#189	22	76.606	21.921	1.120	0.487	0.100	0.008	0.000	100.242
#190	22	76.187	21.767	1.086	0.347	0.093	0.009	0.002	99.491

Analyse	Échantillon	Cu	Zn	Sn	Fe	Pb	S	Si	Total
		WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	WTo/o	Total
#191	23	84.562	12.507	2.270	0.511	0.127	0.003	0.013	99.993
#192	23	83.392	13.138	1.964	0.648	0.264	0.003	0.000	99.409
#193	23	83.572	13.246	2.220	0.486	0.033	0.005	0.011	99.573
#194	23	82.949	13.063	2.420	0.670	0.075	0.003	0.025	99.205
#195	23	82.479	13.177	2.512	0.636	0.202	0.001	0.070	99.077
#196	23	82.912	13.412	2.335	0.543	0.132	0.001	0.012	99.347
#197	23	83.073	13.608	1.730	0.616	0.184	0.015	0.011	99.237
#198	23	82.637	13.328	2.668	0.347	0.159	0.009	0.007	99.155
#199	23	82.889	13.591	2.204	0.547	0.160	0.003	0.011	99.405
#200	23	82.915	13.756	2.139	0.807	0.175	0.017	0.000	99.809
#201	24	79.760	17.916	1.974	0.769	0.082	0.009	0.004	100.514
#202	24	79.511	17.884	1.987	0.824	0.064	0.012	0.011	100.293
#203	24	78.055	17.585	1.938	2.901	0.115	0.002	0.006	100.602
#204	24	79.717	17.428	1.907	0.678	0.115	0.005	0.001	99.851
#205	24	79.743	17.439	1.866	0.688	0.537	0.025	0.051	100.349
#206	24	79.681	17.530	1.838	0.995	0.064	0.005	0.021	100.134
#207	24	79.416	17.562	1.856	0.820	0.043	0.010	0.054	99.761
#208	24	79.383	17.527	1.802	1.299	0.155	0.009	0.026	100.201
#209	24	73.092	15.990	1.796	0.630	8.980	0.020	0.018	100.526
#210	24	79.247	17.417	1.850	0.890	0.036	0.014	0.014	99.468
#211	25	76.393	20.648	1.424	0.987	0.093	0.002	0.000	99.547
#212	25	76.917	20.544	1.181	0.864	0.107	0.006	0.024	99.643
#213	25	76.813	20.545	1.231	0.885	0.074	0.001	0.008	99.557
#214	25	77.240	20.557	1.152	0.768	0.115	0.003	0.000	99.835
#215	25	76.761	20.461	0.950	1.217	0.191	0.012	0.024	99.616
#216	25	76.597	20.612	1.096	0.806	0.155	0.010	0.000	99.276
#217	25	77.117	20.607	1.207	0.822	0.095	0.014	0.011	99.873
#218	25	76.969	20.544	1.358	0.701	0.140	0.013	0.016	99.741
#219	25	76.652	20.352	1.068	0.982	0.134	0.007	0.000	99.195
#220	25	76.863	20.310	1.368	0.841	0.078	0.004	0.018	99.482
#221	26	76.412	21.363	1.239	0.896	0.083	0.008	0.000	100.001
#222	26	77.026	21.305	1.197	0.533	0.121	0.014	0.000	100.196
#223	26	76.630	21.545	1.205	0.719	0.072	0.000	0.009	100.180
#224	26	73.580	20.613	1.219	2.165	0.136	0.036	0.045	97.794
#225	26	76.632	21.518	1.154	0.470	0.016	0.003	0.020	99.813
#226	26	76.367	21.367	1.143	0.764	0.067	0.016	0.028	99.752
#227	26	76.548	21.100	1.121	0.325	0.081	0.016	0.036	99.227
#228	26	76.718	21.279	1.208	0.704	0.079	0.000	0.008	99.996
#229	26	77.289	21.480	1.178	0.679	0.148	0.004	0.015	100.793
#230	26	76.771	21.423	1.172	0.625	0.126	0.005	0.000	100.122
#231	27	82.867	14.600	2.160	0.502	0.112	0.010	0.011	100.262
#232	27	81.932	14.582	2.169	1.002	0.156	0.013	0.000	99.854
#233	27	81.977	14.687	2.164	0.549	0.293	0.003	0.009	99.682
#234	27	82.150	14.668	2.136	0.407	0.230	0.013	0.019	99.623
#235	27	82.106	14.929	2.188	0.462	0.141	0.004	0.000	99.830
#236	27	81.946	14.854	2.146	0.572	0.082	0.003	0.078	99.681
#237	27	81.499	14.843	2.222	0.362	0.077	0.013	0.011	99.027
#238	27	81.688	15.031	2.156	0.335	0.027	0.007	0.102	99.346
#239	27	82.031	15.082	2.165	0.504	0.103	0.000	0.000	99.885
#240	27	82.758	15.215	2.210	0.498	0.134	0.002	0.000	100.817

Annexe C

Photographies des garnitures de fusil analysées



Plaques de couche



Contre-platines



Porte-baguettes



Sous-gardes