



HAL
open science

La tombe aristocratique gauloise de Warcq (Ardennes) : méthodes d'analyses des objets composites

Émilie Millet, Renaud Bernadet, Théophile Nicolas

► **To cite this version:**

Émilie Millet, Renaud Bernadet, Théophile Nicolas. La tombe aristocratique gauloise de Warcq (Ardennes) : méthodes d'analyses des objets composites. Archéologie : imagerie numérique et 3D, Sylvie Eusèbe; Théophile Nicolas; Valérie Gouranton; Ronan Gaugne, Jun 2018, Rennes, France. 10.34692/07f2-7756 . hal-02167717v3

HAL Id: hal-02167717

<https://inrap.hal.science/hal-02167717v3>

Submitted on 12 Jul 2019

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.

Copyright

Émilie Millet
Inrap Grand Est
UMR 8546 AOrOc
emilie.millet@inrap.fr

Renaud Bernadet
Restaurateur indépendant
rbernadet@hotmail.com

Théophile Nicolas
Inrap Grand Ouest
UMR 8215 Trajectoires
theophile.nicolas@inrap.fr

La tombe aristocratique gauloise de Warcq (Ardennes) : méthodes d'analyses des objets composites

La tombe aristocratique de Warcq (Ardennes), datée du milieu du II^e s. av. n. ère, est un ensemble exceptionnel et particulièrement atypique dans ce contexte chrono-culturel. Outre l'inhumation du défunt sur un char d'apparat à deux roues, orné de feuilles d'or, une véritable mise en scène funéraire apparaît également à travers la disposition de quatre chevaux. Placés dans l'axe du char, deux d'entre eux portaient encore des éléments de harnachement alors que leur garrot était surmonté d'un joug et d'anneaux passe-guides, donnant à l'ensemble un caractère spectaculaire. Le milieu humide de la tombe et la présence de pièces métalliques en bronze et en fer ont favorisé la préservation des matériaux organiques.

L'article présente le protocole méthodologique mis en place sur le terrain et en laboratoire à travers trois études de cas : le char, le joug et les chevaux harnachés. Sont exposées ici les diverses investigations menées au niveau de l'acquisition des données qui constituent les étapes nécessaires à l'analyse des objets : tomodensitométrie, micro-fouille en laboratoire, nettoyage pour étude des objets, photogrammétrie et scanner 3D. Le rôle essentiel des différentes techniques d'imagerie numérique est démontré, que ce soit pour l'exploitation scientifique de la documentation ou pour la sauvegarde pérenne des données.

1 Présentation

1.1 Le contexte de la découverte

La tombe de Warcq est localisée dans la vallée de la Meuse, dans la région des crêtes pré-ardennaises. Elle a fait l'objet d'une campagne de fouille conduite par une équipe mixte d'archéologues du Conseil départemental des Ardennes et de l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), durant l'été 2014.

Trois ans plus tôt, cette tombe avait été découverte de manière inattendue lors de la fouille d'un bâtiment gallo-romain mené par le Conseil départemental des Ardennes, sur le tracé de l'autoroute A304 reliant Charleville-Mézières à la frontière belge (direction Bertrand Roseau)¹. L'État ayant initialement prescrit la seule fouille de l'occupation gallo-romaine, une nouvelle prescription a été établie pour la fouille spécifique de la tombe aboutissant à une collaboration entre le Conseil départemental des Ardennes et l'Inrap (*ibid.*).

1.2 Une découverte funéraire exceptionnelle

Cette tombe aristocratique constitue une découverte exceptionnelle tout à fait originale dans le contexte régional ardennais du milieu du II^e s. av. n. ère (La Tène C2 ou à la transition C2/D1). D'une superficie de 15 m², la chambre funéraire de forme quadrangulaire, orientée sur un axe est-ouest, accueille un défunt portant un torque en or et une fibule en fer. Celui-ci est déposé sur un char d'apparat à deux roues (fig. 1), dont certaines parties sont recouvertes de feuilles d'or. Dans l'axe du char, deux chevaux harnachés sont mis en scène, un joug surmonté de six anneaux passe-guide, disposé sur leurs épaules. À l'arrière, deux autres chevaux sont placés au niveau des angles de la tombe, accompagnés de leur harnachement. Au sud

Mots clés

Archéologie préventive, tombe à char, La Tène C2/D1, char à deux roues, or, joug, harnachement de chevaux, prélèvement en bloc, nettoyage pour étude, tomodensitométrie, photogrammétrie, scanner 3D

Informations de publication

Publié le 25 juin 2019
<https://sstinrap.hypotheses.org/842>

Millet (Emilie), Bernadet (Renaud), Nicolas (Théophile). – La tombe aristocratique gauloise de Warcq (Ardennes) : méthodes d'analyses des objets composites. In : Eusèbe (S.), Nicolas (T.), Gouranton (V.), Gaugne (R.) dir. – *Archéologie : imagerie numérique et 3D* : actes du 3^e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 26-27 juin 2018, Rennes.

Fig. 1 : Vue générale de la tombe de Warcq (Ardennes). D. Glicksmann, Inrap



du char, un dépôt lié à l'alimentation comporte six céramiques, deux seaux, une offrande de viande (probablement un demi-cochon) et un long couteau en fer. Quelques accessoires « personnels » ont également été déposés dans cette zone et se composent d'une pince à épiler, d'un rasoir lunulaire et de forces, réunis dans une sacoche en fourrure.

Cet ensemble funéraire revêt un caractère atypique pour deux raisons. D'une part, les découvertes de tombes à char sont quasiment méconnues dans cet espace géographique ardennais, durant La Tène C-D (Flouest, 1984)². D'autre part, la norme funéraire dans le nord de la Gaule repose, à cette époque, sur la pratique de l'incinération généralement alliée à celle de la *pars pro toto*³ (Joachim, 1969⁴ ; Pion, Guichard, 1993⁵, p. 180 ; Metzler, 2002⁶, p. 176).

1.3 Contraintes et problématiques

Malgré le côté spectaculaire de la tombe lié à l'apparente bonne conservation de l'ensemble funéraire, plusieurs difficultés ont été rencontrées dès la phase de la fouille, conditionnant les choix méthodologiques :

- Le substrat argileux des Ardennes et le milieu humide de la tombe ont eu un fort impact sur la conservation des objets métalliques comme sur les parties organiques. Les objets ferreux sont très minéralisés et les alliages cuivreux (principalement constitués de tôles) sont extrêmement fragiles. Quant aux matériaux organiques, ils sont des vestiges discrets et partiels, conservés sous forme minéralisée au contact des métaux. Pour exemple, les éléments en bois du char et du joug n'étaient préservés qu'à l'état de traces ténues, de quelques millimètres d'épaisseur seulement. Les restes osseux du défunt et de la faune étaient malheureusement dégradés, sans aucune consistance, et apparaissaient sous la forme d'un sédiment brunâtre correspondant à l'altération de la matière spongieuse de l'os ; seules les dents ont pu être prélevées pour leur analyse en post-fouille.

- L'implantation de la tombe dans un milieu humide et l'imbrication des différentes pièces du dépôt funéraire a grandement complexifié les différentes interventions sur le terrain. En effet, outre la nécessité d'évacuer les remontées ponctuelles d'eau, plusieurs catégories d'objets dans des matériaux divers, encombrants et fragiles, étaient superposés constituant ainsi une vraie contrainte pour leur dégagement et surtout pour leur prélèvement.

– Le délai octroyé pour la fouille de la tombe, du plafond effondré de la chambre au dépôt funéraire, était limité à trois semaines avec une équipe réduite de trois à six personnes. Dans ce temps extrêmement restreint, seuls quatre jours ont été octroyés au spécialiste du métal et au conservateur-restaurateur pour réaliser les prélèvements des objets.

Dans le cadre d'une opération d'archéologie préventive, au délai d'intervention très limité, l'objectif consistait à préserver au maximum les informations livrées par le terrain sur cet ensemble original d'objets composites. La tombe offrait, en effet, la possibilité d'observer in situ des pièces qui ne sont généralement jamais découvertes de manière cohérente et fonctionnelle⁷, comme c'est le cas pour le char, l'attelage (le joug) et les harnachements des chevaux. Parmi eux, trois exemples sont employés pour exposer, ci-après, les protocoles méthodologiques employés sur le terrain et en laboratoire⁸, en considérant tout particulièrement les diverses investigations menées au niveau de l'acquisition des données à travers les techniques d'imagerie numérique. Il s'agissait de déterminer une manière pérenne de documenter ces vestiges fragiles, peu manipulables, et pour certains (comme le montant du char) très délicat à conserver.

1.4 Le protocole d'intervention

Compte tenu des diverses contraintes évoquées plus haut, le **prélèvement en bloc** a été privilégié sur le terrain pour le traitement du dépôt funéraire. En limitant la dissociation des objets de leur micro-contexte, ce procédé permet la conservation optimale des informations. Il est également bien adapté à l'emploi successif de techniques d'imagerie qui documentent et sauvegardent des « instantanés » du mobilier.

La complexité des objets composites retrouvés, leur mauvais état de conservation et le milieu humide du terrain posaient des difficultés en matière de prélèvements, ces derniers nécessitant l'intervention d'un conservateur-restaurateur. Leur qualité devait être optimale puisqu'elle conditionnait la suite des opérations. Pour se faire, l'emploi de cyclododécane (hydrocarbure cyclique solide qui sublime à température ambiante) a été choisi, non pas comme consolidant véritable, car celui-ci ne pénètre pas et adhère peu sur un matériau humide, mais pour la réalisation d'une gangue externe. Chaque objet ou ensemble d'objets étaient ainsi directement recouvert de plusieurs couches de cyclododécane renforcées de gazes de coton jusqu'à l'obtention d'une structure rigide (fig. 2), avant d'être prélevés par sappe puis retournés. Dans le cas d'un objet très volumineux identifié comme le montant du char, une strate supplémentaire externe de bandes plâtrées a été nécessaire (cf. *infra*, § 2.2). Il faut préciser que la réussite d'un prélèvement en bloc est dépendante du niveau de fouille de ces objets complexes. Leur dégagement doit constituer un acte réfléchi et équilibré, fondé sur une fouille restreinte de la surface des objets, visant à les comprendre dans leur globalité et à saisir leur forme.

Fig. 2 : Prélèvement en bloc.

- a** - consolidation au cyclododécane en cours d'un mors de cheval (D. Glicksmann, Inrap)
- b** - application de bandes de gazes lors de la consolidation du montant latéral du char à l'aide de cyclododécane (É. Millet, Inrap)
- c** - conditionnement en cours d'une des pièces du char (D. Glicksmann, Inrap).



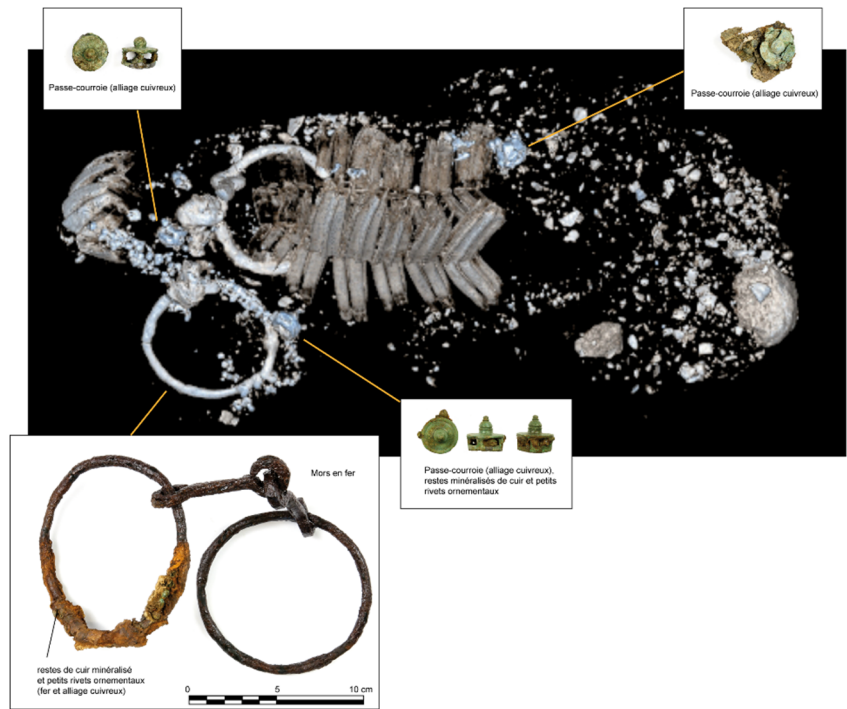
Après leur conditionnement, la première étape de l'étude en laboratoire a reposé sur la **tomodensitométrie** des blocs prélevés. Aussi appelée « scanographie par rayons X », cette technique est très utilisée dans l'imagerie médicale. Le but est de permettre l'acquisition axiale d'un objet et de le soustraire aux effets de superposition obtenus en radiographie classique. Les rayons X sont produits par un générateur X. Le tube générant ces rayons et le détecteur situé en face tournent autour de l'objet à analyser. Ces éléments sont contenus dans l'anneau entourant la table sur laquelle est placé l'objet. On obtient ainsi des images en coupe d'un objet à trois dimensions et le cumul de ces images permet sa reconstruction 3D. La tomodensitométrie réalise une cartographie de l'artefact ; elle propose un enregistrement systématique en valeur HU (*Hounsfield unit*) de la densité des matériaux qui le composent ainsi que sa lecture en trois dimensions. Cette analyse non destructive de la matière au cœur des objets fournit des paramètres qualitatifs et quantitatifs sur les matériaux utilisés. Elle permet ainsi de définir et de comprendre les structures internes de l'objet, son mode de fabrication et son état de conservation.

Dans l'étude du mobilier de Warcq, la tomodensitométrie est un support fondamental sur lequel reposent les stratégies d'interventions menées sur les objets, de leur micro-fouille en laboratoire à leur nettoyage pour études et analyses. De nombreuses observations sont ainsi réalisées sur les prélèvements en bloc grâce au caractère tridimensionnel de la technique. Celle-ci aide à identifier les diverses pièces constitutives d'un ou plusieurs objets, à les quantifier, à définir leur emplacement, leur agencement et leur mode d'assemblage, mais aussi leur nature (les types de matériaux présents) et leur état de conservation (le degré de minéralisation, la présence de fractures, etc.). À noter que la qualité de l'image dépend des performances intrinsèques de l'appareil utilisé et des choix de l'opérateur qui réalise l'acquisition. En effet, si un grand nombre d'opérations complexes sont automatisées, il reste des choix techniques à effectuer concernant le champ et les épaisseurs de coupe, en fonction de la nature ou de la taille de l'objet et de la problématique de recherche. En outre, l'interprétation de l'imagerie demande une bonne sensibilisation de l'opérateur aux problématiques archéologiques et une très bonne connaissance du mobilier de la part de l'archéologue spécialiste et du conservateur-restaurateur.

En fonction des résultats obtenus en tomodensitométrie, la stratégie de **micro-fouille des blocs prélevés** est déterminée en concertation entre les deux spécialistes : elle constitue un guide pour le conservateur-restaurateur lors des opérations de **nettoyage pour étude**, qui restent absolument fondamentales pour la compréhension et l'analyse du mobilier archéologique. Ce nettoyage consiste en une intervention partielle effectuée sur les couches de corrosion recouvrant la surface de l'objet à étudier ; elle peut se faire sous la forme de fenêtres ponctuelles de quelques centimètres des parties de l'objet susceptibles d'être porteuses des informations recherchées ou par un nettoyage sommaire de toute la surface de l'objet. Le choix se fait toujours conjointement avec le spécialiste chargé de l'étude du matériel. Malgré la qualité de son apport pour la détermination et le ciblage des zones à nettoyer, la tomodensitométrie demeure toutefois un support de travail et ne peut se substituer aux travaux de micro-fouille et de nettoyage pour étude des spécialistes.

Enfin, selon les problématiques développées pour chaque objet, l'emploi de la **photogrammétrie** est venu compléter l'acquisition et la sauvegarde des données. Cette technique a été employée sur la plupart des blocs nettoyés et surtout sur ceux qui nécessitaient un démontage en vue d'être stabilisés ou étudiés.

Fig. 3 : Tomodensitométrie d'une des têtes de cheval et localisation des objets constituant le harnachement.
IRMA/ImagET ; R. Bernadet ; É. Millet, Inrap.



2 Études de cas

2.1. Les harnachements des chevaux

Parmi les quatre chevaux découverts dans la tombe, deux étaient clairement associés à l'attelage du char. Ils étaient mis en scène dans l'axe du véhicule à l'est de la tombe, harnachés et surmontés d'un joug composite (cf. *infra*, § 2.2). La fouille des crânes a révélé la présence d'un mors en fer, en place dans leur bouche. Chacun d'entre eux a été prélevé en bloc, permettant ainsi de réserver leur micro-fouille en laboratoire et de bénéficier, avant toute intervention, d'une tomodensitométrie.

Outre les mors en fer déjà identifiés sur le terrain, la tomodensitométrie a révélé sur l'un des crânes, grâce à des restitutions 3D avec un rendu chromatique des différentes densités de matériau, l'existence d'un harnais de tête (filet) composé de lanières en cuir⁹ ornées de petits rivets en fer aux têtes recouvertes d'une tôle en alliage cuivreux (fig. 3). De petits passe-courroies de même matière étaient conservés à la jonction des différentes lanières composant le harnais. La documentation par tomodensitométrie a constitué ici un support indispensable à la conduite des interventions de micro-fouille des blocs : lors de leur dégagement, les petits rivets ornementaux de deux millimètres de diamètre, recouverts d'une tôle extrêmement fine, étaient à peine perceptibles sous microscope stéréoscopique.

À la suite de la micro-fouille¹⁰ (fig. 4), le nettoyage pour étude a été effectué par microsablage¹¹ sous stéréomicroscope sur les objets en position fonctionnelle (mors en place dans la bouche du cheval), afin de récolter un maximum d'informations. Ce protocole a été appliqué sur le deuxième crâne de cheval qui ne comportait pas de pièces métalliques liées au harnais (fig. 5). Ces interventions ont été documentées par photogrammétrie (fig. 6) à chacune des étapes de nettoyage, c'est-à-dire sur chacune des faces dégagées. Avant de retourner la face nettoyée pour intervenir sur l'autre face, celle-ci était préalablement consolidée à l'aide d'une couche de cyclododécane.

Fig. 4 : La micro-fouille du crâne de cheval à la recherche du harnachement.

R. Bernadet, Inrap.



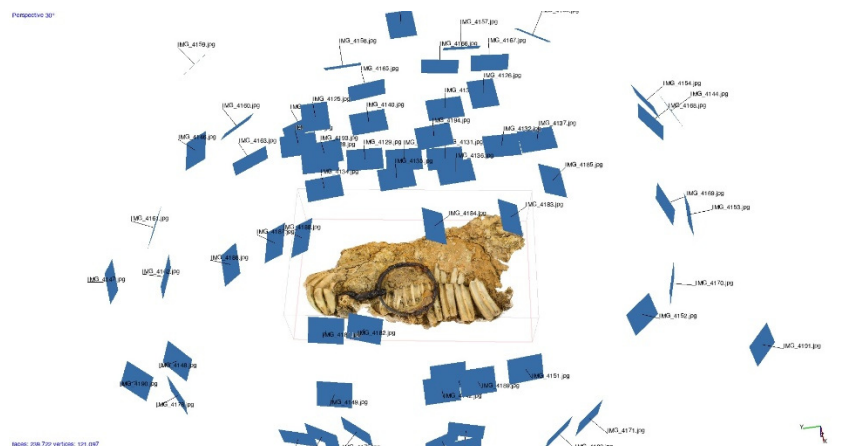
Fig. 5 : Les deux faces de la tête d'un cheval après micro-fouille et nettoyage pour étude par micro sablage du mors en fer, encore en place.

R. Bernadet, Inrap.



Fig. 6 : Vue de la photogrammétrie d'une des têtes de cheval.

R. Bernadet, Inrap.



En documentant les différentes pièces du harnais dans leur position fonctionnelle, l'imagerie numérique 3D a permis de sauvegarder une information vouée à disparaître au cours des étapes ultérieures de l'étude. Les crânes des chevaux étaient en effet très mal conservés (la matière osseuse est inexistante et seules les dents sont préservées) et difficilement manipulables. Ils ont été démontés afin d'en extraire les parties ou pièces nécessaires à une analyse poussée par les différents spécialistes. Ainsi, les pièces métalliques ont été prélevées afin de finaliser leur nettoyage et d'être stabilisées par le conservateur-restaurateur, avant d'être soumises au spécialiste du mobilier pour leur analyse morphologique, technologique et typologique. L'archéozoologue a pu, pour sa part, récupérer les dents des chevaux en vue de déterminer leur âge et d'évaluer leur sexe. Pour pallier aux pertes d'information liées au dégagement ou au prélèvement de certaines parties d'objets, des photogrammétriques ont été réalisées afin de documenter l'information volumétrique et la position des différentes pièces au sein des ensembles. À terme, cette documentation digitale a une valeur patrimoniale puisqu'elle équivaut à une sauvegarde virtuelle permanente de ces derniers.

L'exercice a été ensuite prolongé par un tirage en impression numérique 3D d'un des deux prélèvements en bloc. Après segmentation 3D, au sein des données de volume obtenues par tomographie, le mobilier métallique et les dents ont été isolés à défaut de pouvoir faire de même avec le crâne du cheval. La retranscription physique de l'ensemble avec des jeux de transparence et de couleur (ciblage des objets présents dans le bloc)¹² constituait un outil d'analyse autant scientifique que pédagogique et permettait une sauvegarde pérenne tangible (fig. 7).

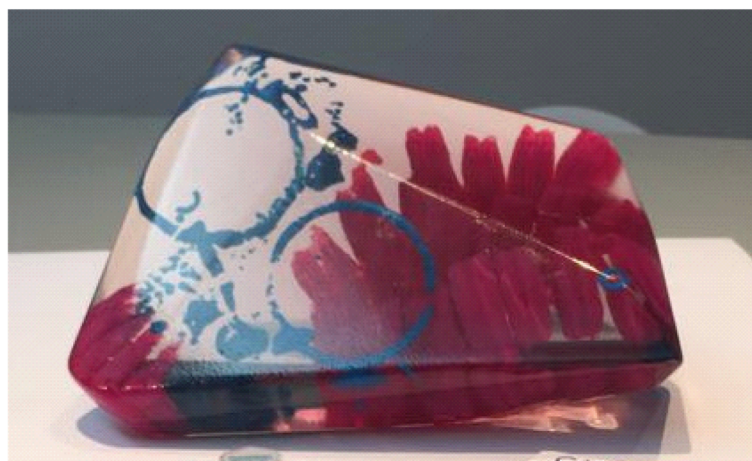
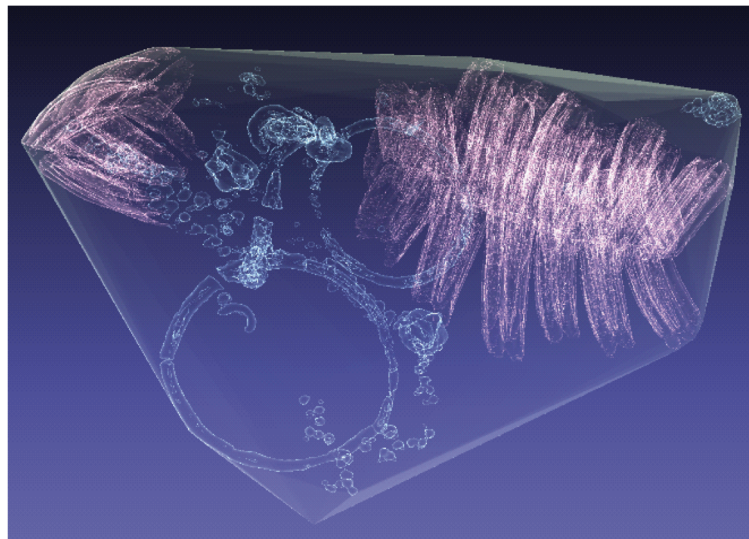


Fig. 7 : Impression numérique 3D du crâne de cheval harnaché.

T. Nicolas, Inrap.

2.2. Le joug

Le joug a été découvert en position fonctionnelle, placé à l'avant des vertèbres cervicales des deux chevaux (cf. *supra*). Il était constitué d'une pièce en bois minéralisée, dans un très mauvais état de conservation, recouverte d'un long manchon profilé en alliage cuivreux. Celui-ci était surmonté de six anneaux passe-guides bivalves : une paire était fixée sur le manchon, deux autres l'étaient sur le bois du joug (fig. 8). Pour des raisons pratiques, le prélèvement en bloc a été réalisé en deux parties : d'un côté, le joug et les trois anneaux passe-guides encore solidaires et, de l'autre, les anneaux désolidarisés du bois du joug.

En l'état de la recherche, cet objet est une pièce tout à fait remarquable¹³ qui offre l'occasion unique de documenter les différentes pièces en position, comme par exemple les anneaux passe-guides, généralement connus sous une forme lacunaire ou incomplète dans les contextes domestiques ou funéraire (cf. *supra*, § 1.2).

Avant les étapes de micro-fouille et de nettoyage pour étude, la tomographie, tout en documentant cet objet composite, a sauvé en 3D les informations liées aux relations existantes entre les diverses pièces. Elle a permis ici d'appréhender l'objet et sa fonction dans sa globalité, particulièrement sur la manière dont sont placés les anneaux passe-guides sur le joug ainsi que sur la morphologie et la technologie des différentes parties métalliques fixées sur son bois (fig. 9). Elle a également permis l'accès aux premières informations techniques de l'objet via différentes coupes transversales et longitudinales. Par exemple, le long manchon en alliage cuivreux n'était pas composé d'une seule pièce mais d'au moins neuf éléments mis en forme par martelage et fixés au bois du joug par de petits clous. Concernant les anneaux passe-guides, deux types peuvent être définis : ceux dotés d'un socle épousant le manchon du joug et ceux dotés d'une bélière insérée dans le bois. Jusqu'alors, on ne saisissait pas pourquoi il existait deux formes différentes de socle et surtout qu'ils pouvaient être associés sur un même objet.

Fig. 8 : Vue de détail du joug et des anneaux passe-guides en position fonctionnelle sur les chevaux.

É. Millet, Inrap.



Fig. 9 : Tomodensitométrie du joug (alliage cuivreux, fer) et bois minéralisé.

IRMA/ImagET.

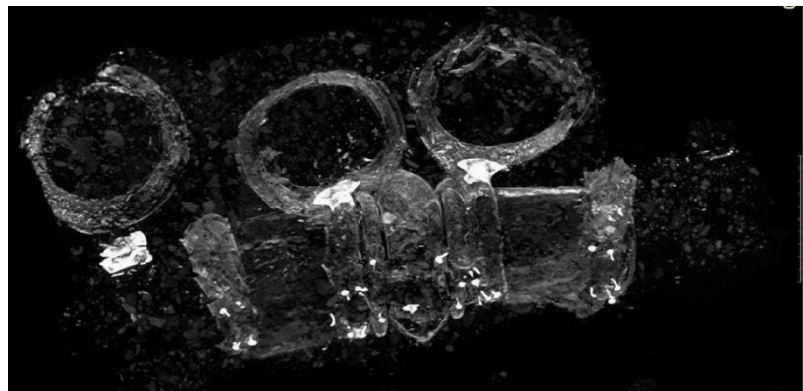


Fig. 10 : La micro-fouille du joug. R.
Bernadet, Inrap.



Fig. 11 : Le joug, en cours de nettoyage pour étude.
Bernadet, Inrap.



Le nettoyage de la surface originelle du manchon a été réalisé de manière exclusivement mécanique, sous loupe binoculaire, à l'aide de scalpels chirurgicaux et d'outils en bois. Le dégagement de la première face s'est révélé long et difficile à cause de la très grande fragilité de la tôle de bronze due à son état de conservation. Toute l'intervention a été guidée par l'observation des images réalisées par tomodensitométrie (fig. 10). Une fois le dégagement terminé (fig. 11) et la documentation faite par photogrammétrie, les anneaux passe-guides ont été retirés¹⁴. Ensuite la surface du joug a été consolidée à l'aide de cyclododécane, comme lors de son prélèvement, puis l'objet a été retourné afin d'entreprendre la micro-fouille et le nettoyage de l'autre face. Une fois le nettoyage terminé, l'objet a été préparé pour que le bois encore présent puisse être stabilisé par les équipes d'ARC-Nucléart¹⁵.

2.3. Le char à deux roues : le montant latéral de la caisse du char

L'existence d'un char à deux roues est attestée par plusieurs pièces métalliques qu'il faut interpréter et tenter de restituer ensemble, malgré l'état de dégradation important des matériaux organiques. Le véhicule se composait majoritairement de bois dont une infime partie était préservée au contact des garnitures métalliques en alliage cuivreux, fer et or. Chacune des deux roues matérialisées par un bandage en fer étaient dotées de deux frettes de moyeu en alliage cuivreux (fig. 12). Deux clavettes et un capuchon d'extrémité de l'essieu, en alliage cuivreux et pâte de verre jaune, étaient également conservés. Le char se composait d'une caisse bipartite constituée, à l'avant, de pièces en forme de balustres équivalentes aux ridelles et, à l'arrière-train, de montants latéraux recouverts de feuilles d'or. Il faut préciser ici qu'un des montants (au nord) ainsi qu'une

partie du moyeu d'une des roues avaient disparus lors des sondages pratiqués avant la fouille, en 2013, par le Conseil départemental des Ardennes afin d'effectuer un test dans la chambre funéraire alors non identifiée comme telle à l'époque. D'autres éléments participaient à l'ornementation de la caisse du char comme des pastilles en pâte de verre de couleur bleu ou rouge et un disque ajouré en bois recouvert de feuilles d'or.

Plusieurs étapes de prélèvement en bloc ont été nécessaires sur le char (les bandages, le moyeu de la roue, les ridelles, etc.). On s'intéressa plus particulièrement au montant latéral du char.

Sur le terrain, le dégagement d'une feuille d'or a révélé la présence d'un objet identifié par la suite comme l'un des montants en bois du char, recouvert d'or sur ses deux faces. Cet objet se trouvait en position oblique incliné vers le sud, masquant en partie un des bandages de la roue. Sa partie inférieure était écrasée sur le fond de la chambre funéraire (fig. 12). Son extrême fragilité et sa complexité ont rapidement été établies, induisant la nécessité d'un léger dégagement puis d'un prélèvement en bloc afin de réserver son analyse en laboratoire (fig. 2b). En effet, le bois extrêmement dégradé du montant était préservé par endroits entre les feuilles d'or, sur moins d'1 mm d'épaisseur. La forme générale de celui-ci, bien qu'en partie déformée, n'était déterminable que par la conservation des feuilles d'or au contact du sédiment argileux de la tombe. De fait, le dégagement du sédiment pendant la fouille aurait entraîné la destruction de l'objet. Son prélèvement, inévitablement massif, englobait l'ensemble sur toute la hauteur du montant effondré jusqu'au fond de la chambre funéraire (environ 40 cm de long).



Fig. 12 : Vues in situ du char à deux roues et vue de détail de son montant latéral.

É. Millet, Inrap

Contre toute attente, la tomodynamométrie du bloc prélevé a révélé, outre deux agrafes en fer participant au maintien des pièces de bois du montant, l'existence d'un tout autre objet : la seconde frette du moyeu de la roue, piégée dans le sédiment du fond de la chambre, sous le montant (fig. 13) (la première frette avait été identifiée lors de la fouille, cf. fig. 12). En revanche, les feuilles d'or recouvrant le bois du montant, d'une extrême finesse (épaisseur évaluée entre 5 et 10 microns) étaient imperceptibles à la tomodynamométrie. On touche ici aux limites techniques de l'appareillage utilisé qui, en raison de l'importante masse de sédiment prélevé et de l'extrême finesse du matériel, ne permettait pas d'appréhender la forme des différentes pièces constituant le montant. Effectuée en laboratoire¹⁶, la micro-fouille sous microscope stéréoscopique constituait une étape absolument nécessaire pour la compréhension de cet *unicum*. Elle a permis d'identifier la morphologie des différentes pièces assemblées, leurs décors et d'aborder la question du mode d'application des feuilles d'or sur le bois. Long d'une quarantaine de centimètres, le montant se composait d'un bandeau semi-circulaire en bois de 5 cm de large (fig. 14). De son intrados portaient quatre rayons et cinq plaquettes triangulaires ajourées prenant la forme d'un motif celtique. La partie basse du montant, d'où convergeaient les rayons, n'était hélas plus conservée. L'analyse sous loupe binoculaire de chacune des pièces a permis de proposer une première restitution du montant (fig. 15).

Fig. 13 : Tomodynamométries, vues zénithale et de face du montant latéral de la caisse du char et des pièces masquées dans le prélèvement (frette de moyeu, agrafes).
IRMA/ImagET.

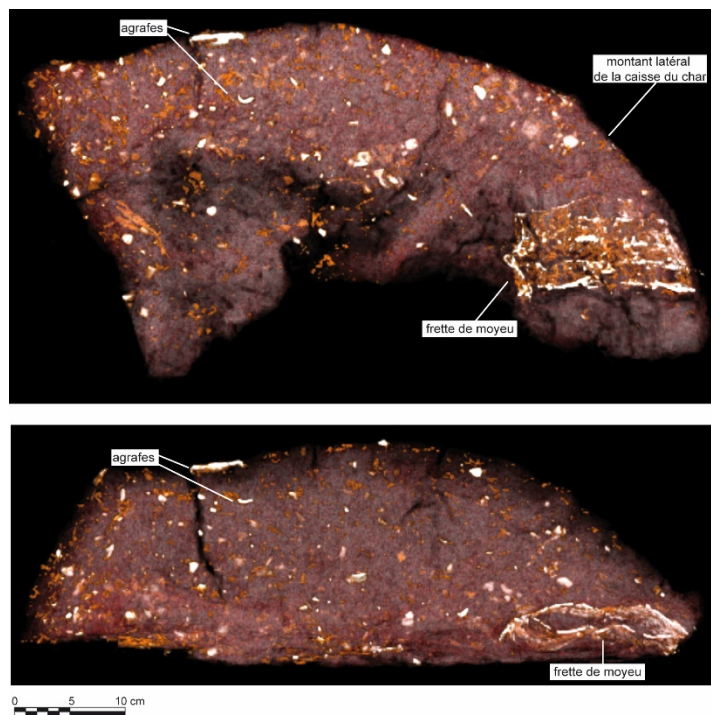


Fig. 14 : Vue zénithale du montant du char après sa micro-fouille.
R. Bernadet, Inrap.



Fig. 15 : Essai de restitution du montant latéral du char.

É. Millet, Inrap.

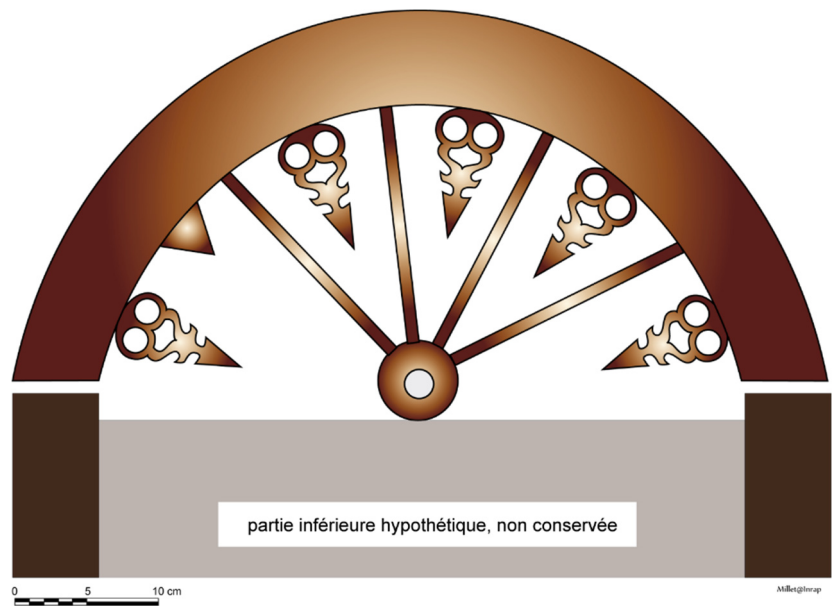


Fig. 16 : État de conservation du montant latéral du char : vue de détail du bandeau d'une des plaques ornementales.

R. Bernadet, Inrap.

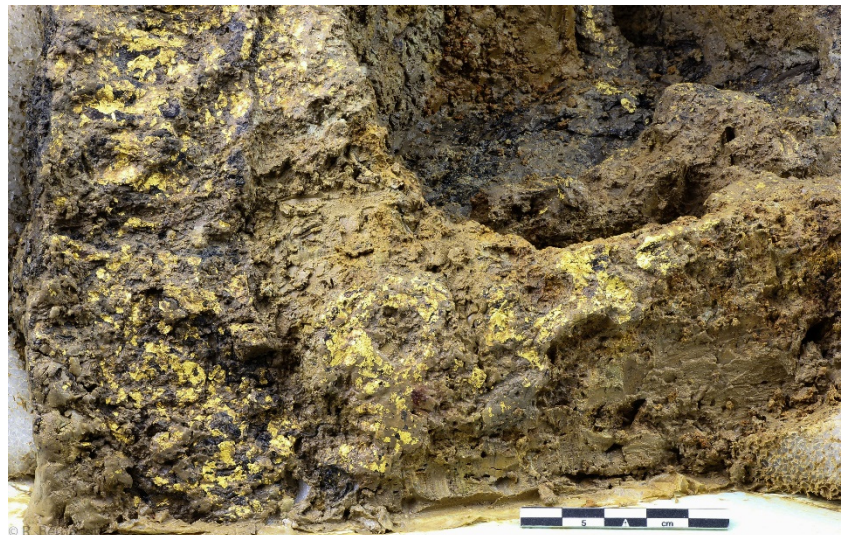
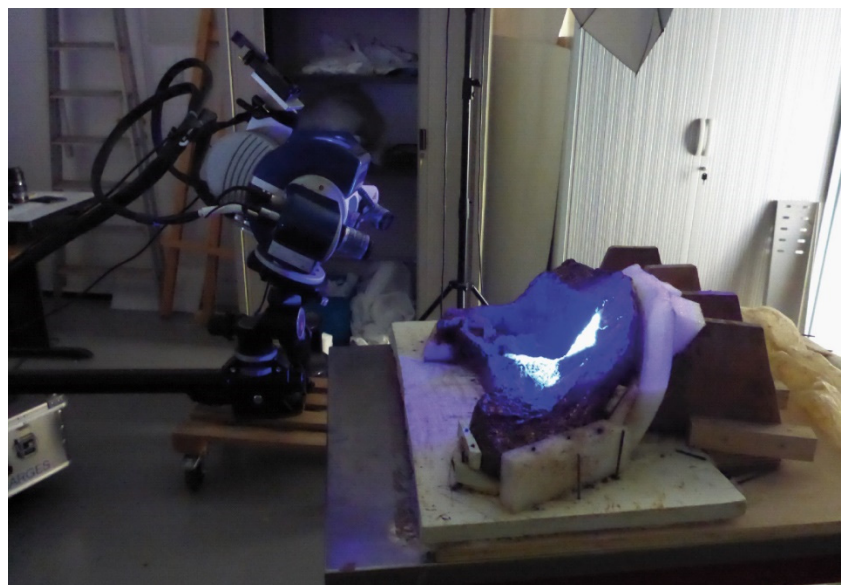


Fig. 17 : Scanner 3D du montant latéral du char.

É. Millet, Inrap.



Le caractère instable du montant du char et son extrême fragilité ne garantissent sa conservation sur le long terme. Non manipulable, l'objet est maintenu en l'état grâce au sédiment argileux avec lequel il a été prélevé, conservé en milieu humide et en chambre froide afin d'éviter tout dessèchement. Le devenir du montant pose de nombreux problèmes, tant du point de vue de sa conservation future que de sa lisibilité et sa présentation au public dans le cas d'un environnement muséal. À terme, seule une consolidation du bloc est envisageable car la structure en bois du montant n'a plus aucune tenue. En outre, la finesse de la feuille d'or ne permet pas de la détacher de son support¹⁷ (fig. 16).

Dans ce cas extrême, la sauvegarde documentaire virtuelle à travers les techniques d'imagerie modernes est essentielle. Tomodensitométrie et photogrammétrie ont ainsi été complétées par un relevé au scanner 3D¹⁸, effectué après la micro-fouille du montant (fig. 17). Nous avons aussi enrichi notre documentation des décors grâce à la technologie d'imagerie RTI¹⁹ et au procédé nommé *Focus-stacking*²⁰, avec l'obtention des images les plus nettes et précises possibles.

3 Conclusion

L'analyse du mobilier de la tombe de Warcq était avant tout dépendante de la qualité des interventions réalisées sur le terrain, de leur dégagement à leur prélèvement. Dans le cas de cet ensemble complexe et inédit, les prélèvements en bloc effectués par un conservateur-restaurateur ont été privilégiés car ils conditionnaient la chaîne opératoire de l'exploitation scientifique des données. Ils ont permis, en outre, d'exploiter les techniques d'imagerie numérique, bases essentielles pour l'interprétation, l'analyse et la sauvegarde virtuelle et pérenne de l'artefact (avant et en cours d'intervention).

Leur emploi pour l'analyse du mobilier funéraire de Warcq a constitué un enjeu décisif sur ce dossier délicat à appréhender. Les premiers résultats mettent déjà en valeur tout le potentiel de ces acquisitions pour une approche pluridisciplinaire et une analyse scientifique exhaustive d'un mobilier funéraire exceptionnel. Certaines techniques peuvent être facilement mises en place dans le cadre des interventions de post-fouille, comme la photogrammétrie, alors que d'autres requièrent des collaborations externes avec des laboratoires spécialisés telles que la tomodensitométrie et les relevés par scanner 3D.

L'exemple de Warcq démontre enfin la pertinence d'anticiper ces démarches, dès la phase de fouille, et l'intérêt qu'il y aurait à développer la pratique du prélèvement en bloc dans le cas d'ensembles complexes et/ou exceptionnels. Cette méthode d'intervention suppose nécessairement de renoncer, durant la fouille, à un niveau de lecture poussé des artefacts au profit d'un dégagement plus restreint des objets afin de garantir la sauvegarde de données impossibles à identifier autrement. Loin d'être un réflexe, la méthode mérite à notre sens d'être davantage systématisée en raison de son potentiel scientifique considérable et de sa capacité à apporter une matière archéologique ouvrant sur de nouvelles problématiques de recherche.

- ¹ ROSEAU (B.), MILLET (E.), THIOL (S.). – La tombe à char de Warcq (Ardennes). Présentation des premiers éléments à l'issue de la fouille. *Journée archéologique régionale de Champagne Ardenne, Bulletin de la Société archéologique champenoise*, t. 108, 2015/1, p. 23-25.
- ² FLOUEST (J.-L.). – Les tombes à char de La Tène en Champagne-Ardenne : Résultats des recherches effectuées entre 1938 et 1983. In : GUSTIN (M.), PAULI (L.) eds. – *Keltski voz : keltski grabovi z vozom = Keltische Wagengräber*. Brežice : Posavski muzej, 1984, p. 61-69. (*Posavski Muzej Brežice* ; 6).
- ³ La pratique funéraire de la *pars pro toto* (« une partie pour le tout ») implique un choix symbolique de certaines pièces ou parties d'un objet pour représenter celui-ci dans son intégralité.
- ⁴ JOACHIM (H. E.). – Unbekannte Wagengräber der Mittel bis - spätlatènezeit aus dem Rheinland. In : FREY (O.H.) dir. – *Marburger Beiträge zur Archäologie der Kelten : Festschrift für W. Dehn zum 60. Geburtstag am 6. Juli. 1967*. Bonn : R. Habelt, 1969, p. 84-111. (*Fundberichte aus Hessen* ; Beiheft 1).
- ⁵ PION (P.), GUICHARD (V.). – Tombes et nécropoles en France et au Luxembourg entre le III^e et le I^{er} siècles avant J.-C. : essai d'inventaire. In : CLIQUET (D.), REMY-WATTÉ (M.), GUICHARD (V.), VAGINAY (M.) dir. – *Les Celtes en Normandie : les rites funéraires en Gaule (III^e-I^{er} siècle avant J.-C.)* : actes du 14^e colloque de l'AFEAF, Evreux, mai 1990. Rennes : Revue archéologique de l'Ouest, 1993, p. 175-200. (*Revue archéologique de l'Ouest* ; suppl. 6).
- ⁶ METZLER (J.). – Réflexions sur les sépultures aristocratiques en pays trévire. In : GUICHARD (V.), PERRIN (F.) dir. – *L'aristocratie celte à la fin de l'âge du Fer (I^{er} s. av. J.-C., I^{er} s. ap. J.-C.)* : actes de la table ronde du Centre archéologique européen du Mont Beuvray, 1-11 juin 1999. Glux-en-Glenne : CAE du Mont Beuvray, 2002, p. 175-186. (*Bibracte* ; 5).
- ⁷ Cf. *supra* la pratique de la *pars pro toto* pour le domaine funéraire et généralement en contexte d'habitat, les découvertes sont incomplètes et fragmentaires.
- ⁸ La majorité des interventions a été réalisée au centre archéologique Inrap de Saint-Martin-sur-le-Pré (51), grâce au laboratoire mobile de Renaud Bernadet.
- ⁹ Le cuir est conservé sous forme minéralisée au contact du métal.
- ¹⁰ La micro-fouille encadrée par R. Bernadet a été réalisée par l'étudiante Elisabeth Mignon, dans le cadre de son stage de fin d'année en Master 2 CRBC de l'Université Paris Panthéon-Sorbonne.
- ¹¹ La technique de nettoyage employée est adaptée au matériau, à l'état de

conservation de l'objet et à la dureté et à l'épaisseur des couches de corrosion à éliminer. Dans le cas présent, des microbilles de verre (90-150 µm) ont été utilisées comme abrasif.

¹² NICOLAS (T.), GAUGNE (R.), TAVERNIER (C.), MILLET (E.), BERNADET (R.), GOURANTON (V.). – Lift the veil of the block samples from the Warcq chariot burial with 3D digital technologies. In : *Digital Heritage 2018: 3rd International Congress Expo*, IEEE, Oct 2018, San Francisco, United States, p. 1-8. <hal-01875702>.

¹³ Un joug en fer découvert dans une tombe à char de Sberchamps *Au Fersay (Luxembourg)* constitue, malgré de réelles différences technologiques, un proche exemplaire. Cf. CAHEN-DELHAYE (A.), GRATIA (H.), ANSSEAU (M.) collab., DOUTRELEPONT (H.) collab., DURANT (M.) collab., FRAITURE (D.) collab., HURT (V.) collab., LECLERCQ (M.) collab., MATHIEU (S.) collab., PIERMARINI (S.) collab., ROTIERS (R.) collab., ZENNER (F.) collab. – Une tombelle celtique à deux chars et enclos à Sberchamps-Au Fersay (Libramont-Chevigny, province de Luxembourg, Belgique). *Archéo-situla*, 35, 2015, p. 21-81.

¹⁴ La présence des anneaux passe-guides et leurs extrêmes fragilités ne permettaient pas de retourner le joug pour fouiller l'autre face sans risquer de les briser. Les anneaux ont donc été traités à part.

¹⁵ Référente du dossier : Floriane Hélias, ARC-Nucléart ; Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ; 17, avenue des Martyrs ; 38054 Grenoble cedex 9.

¹⁶ Réalisée par Floriane Hélias, ARC-Nucléart.

¹⁷ Une telle intervention n'aurait de toute façon, selon nous, aucun sens.

¹⁸ Numérisation 3D par projection de franges (Smartscan Aicon). Réalisée par Benjamin Houal, avec le prêt d'un scanner 3D par l'UMR 8546 AORoc, que nous remercions vivement.

¹⁹ La *Reflectance Transformation Imaging (RTI)* produit une image dynamique à partir d'une série de photographies zénithales réalisée sous des éclairages artificiels disposés à intervalles réguliers mais avec des angles différents.

²⁰ Le *Focus Stacking* est une technique photographique numérique qui consiste à effectuer une série de prises de vue d'un même sujet, chacune sur un plan de mise au point différent, afin d'obtenir une image finale recomposée possédant une profondeur de champ supérieure à celle pouvant être obtenue avec des techniques traditionnelles.