



HAL
open science

Nouvelles technologies numériques, nouveau regard posé sur les dépôts cinéraires

Isabelle Le Goff, Sylvie Culot, Jean-Jacques Bigot, Patrick Huard, Archibald
Poisson

► To cite this version:

Isabelle Le Goff, Sylvie Culot, Jean-Jacques Bigot, Patrick Huard, Archibald Poisson. Nouvelles technologies numériques, nouveau regard posé sur les dépôts cinéraires. *Archéologie : imagerie numérique et 3D*, Sylvie Eusèbe; Théophile Nicolas; Valérie Gouranton; Ronan Gagne, Jun 2018, Rennes, France. <https://sstinrap.hypotheses.org/856>, 10.34692/74qm-s229 . hal-02437147v1

HAL Id: hal-02437147

<https://inrap.hal.science/hal-02437147v1>

Submitted on 13 Jan 2020 (v1), last revised 21 Jan 2020 (v2)

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

Isabelle LE GOFF

Inrap, UMR 7206 Éco-Anthropologie et
Ethnobiologie
isabelle.le-goff@inrap.fr

Avec la collaboration de

Sylvie CULOT

Inrap

sylve-culot@inrap.fr

Jean-Jacques BIGOT

Inrap

jean-jacque.bigot@inrap.fr

Patrick HUARD

Inrap

patrick.huard@inrap.fr

Archibald POISSON

BCRX (Bretagne Contrôle par rayon X)

archibald.poisson@bcrx.fr

Nouvelles technologies numériques, nouveau regard posé sur les dépôts cinéraires

L'utilisation d'images reconstruites numériquement, par photogrammétrie ou tomodensitométrie, tend à se développer dans le cadre de l'archéologie funéraire, comme en témoigne la publication de différents travaux sur le sujet. Les dépôts cinéraires fournissent des cas d'étude particulièrement adaptés à l'introspection de la structure interne d'un artefact, voire même d'un site archéologique en miniature. Il est possible d'expérimenter, grâce à ce type de dépôt, l'usage du procédé de reconstruction informatisé TDM, à différentes étapes du processus archéologique. Par ailleurs, la pratique de l'archéologie funéraire convient tout particulièrement à une lecture tridimensionnelle des vestiges en raison de l'importance donnée à l'investigation taphonomique. Elle interroge effectivement la migration ou non de vestiges dans un volume donné. Toutefois, les retours d'expériences sont encore trop peu nombreux pour permettre de cerner l'apport de ces nouveaux outils dont l'usage pose encore de nombreuses questions.

1. Introduction

En archéologie, l'utilisation d'images reconstruites par photogrammétrie ou tomodensitométrie (TDM) constitue aujourd'hui plus qu'un phénomène de mode. Le modèle tridimensionnel surfacique d'un artefact ou sa visualisation interne sont susceptibles d'influer sur toutes les étapes du travail de l'archéologue : détection, identification, caractérisation, enregistrement, conservation des données associées ou du modèle 3D de l'objet lui-même, transmission des connaissances. Il est, par ailleurs, possible de retourner au processus d'acquisition des données, après la fouille.

Ces outils intéressent déjà, depuis quelque temps, l'archéologie funéraire. La modélisation 3D est utilisée pour visualiser la structure interne des vestiges (ossements et mobilier) ou pour en proposer une restitution. En 2014, le Groupe d'anthropologie et d'archéologie funéraire (GAAF) a consacré sa rencontre annuelle aux nouvelles approches de l'archéologie funéraire (De Larminat, Corbineau, Corrochano, Gleize & Soulat, 2017). La publication de travaux prospectifs montre le processus d'intégration des modèles 3D à l'œuvre en proposant, par exemple, des comparaisons entre le contenu fouillé d'un dépôt d'os brûlés et ce même contenu perçu d'après les images reconstituées (Le Puil-Texier, Nicolas & Tavernier, 2017 ; Vidal, 2017) [fig. 1]. Ce sont les possibilités d'anticipation offertes à l'archéologue, avec la perception en amont de sa fouille, des éléments présents à l'intérieur d'un dépôt qui sont le plus souvent mises en avant. Les essais de modélisation tridimensionnelle surfacique des niveaux successifs du remplissage d'une urne cinéraire, cette fois par photogrammétrie, sont un autre exemple de ces tentatives d'intégration (Saulière, 2012).

Notons que les retours d'expériences sont encore trop peu nombreux pour permettre de cerner l'apport de ces nouveaux outils comme nos capacités à en faire un outil opérationnel. Leur usage pose encore de nombreuses questions. Comment travailler avec des images reconstituées ? Comment fouiller en visualisant, au préalable, la structure interne d'un artefact ? Comment intégrer la troisième dimension à une démarche plus « classique » ? Obtiennent-ils un réel gain de temps et surtout, plus de sens ?

Mots clés

Tomodensitométrie, photogrammétrie, crémation, inhumation, plan de fouille, contenant périssable, taphonomie

Référence électronique

LE GOFF, Isabelle, CULOT, Sylvie (coll.), BIGOT, Jean-Jacques (coll.), HUARD, Patrick (coll.), POISSON, Archibald (coll.). (2019). Nouvelles technologies numériques, nouveau regard porté sur les crémations. Dans S. Eusèbe, T. Nicolas, V. Gouranton, R. Gagne (dir.), *Archéologie : imagerie numérique et 3D : actes du 3^e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 26-27 juin 2018, Rennes*. <<https://doi.org/10.34692/74qm-s229>>.

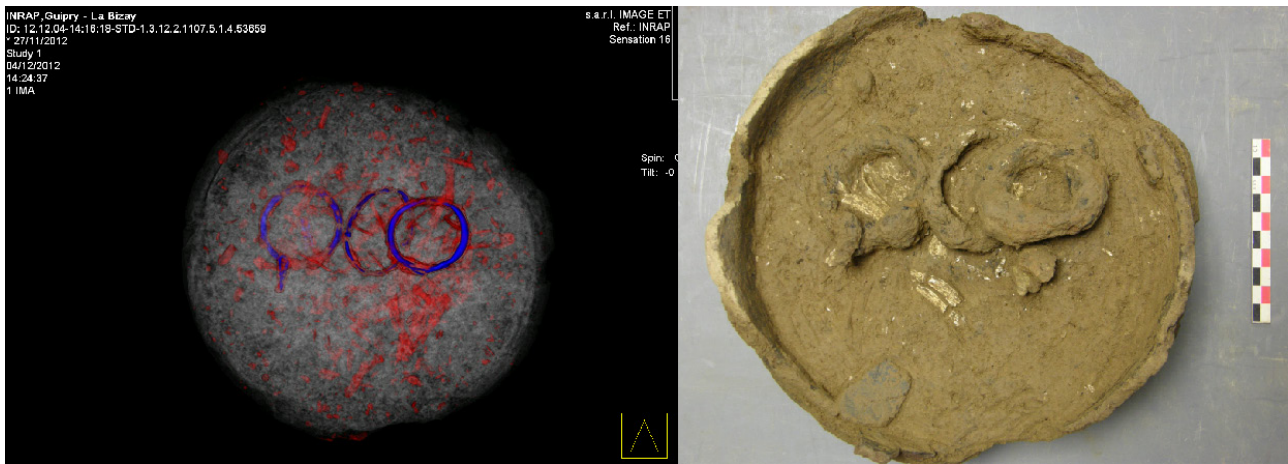


Fig. 1 - Guipry (Ille-et-Vilaine).

À droite : vue numérisée par scanner. En bleu, les objets métalliques et en rouge, les ossements. La segmentation de plusieurs densités permet de différencier les éléments contenus dans l'urne. (Inrap / S.A.R.L Image, 2017)

À gauche : vue du niveau de remplissage de l'urne avec l'apparition des objets métalliques. (B.M. Le Puil-Textier, Inrap, 2017)

Fig. 2 - Cassel (Pas-de-Calais). Exemple d'une « fouille 3D » qui favorise la vue simultanée de plusieurs pièces métalliques situées à différents niveaux dans la tombe. Ce dénivelé crée un « effet volume » qui favorise la perception du coffre disparu et, de ce fait, son rôle dans le maintien des récipients en situation instable. (G. Laperle, Inrap, 2004)



2. Fouille de dépôts cinéraires en laboratoire

Le cas d'étude présenté concerne la fouille en laboratoire de dépôts cinéraires, extraits en bloc d'un site archéologique. La pratique de l'archéologie funéraire sensibilise tout particulièrement à une lecture tridimensionnelle des vestiges en raison de l'importance donnée à la taphonomie. De ce fait, les tombes se fouillent souvent en laissant en place les vestiges dégagés à différents niveaux. L'effet « volume » ainsi créé favorise la détection des phénomènes taphonomiques : perte du volume initial d'un contenant affaissé, de celui du corps, maintien d'éléments en équilibre instable, existence d'effets de paroi, etc. [fig. 2]. Les principes de fouille « en 3D » se prêtent bien à l'intégration d'un outil d'analyse et d'enregistrement tridimensionnel. De plus, la faible dimension des prélèvements permet leur passage dans l'anneau du scanner qui émet et reçoit les rayons X.

Deux technologies d'imagerie numérique ont été testées : la photogrammétrie et la tomodensitométrie. Dans le premier cas, c'est Jean-Jacques Bigot qui a assuré la réalisation des photographies et leur traitement informatique. Pour le deuxième, l'acquisition des images numériques et leur post-traitement ont été réalisés par la société Bretagne Contrôle par Rayon X en collaboration avec l'auteur de la fouille – en l'occurrence l'une d'entre nous – afin d'identifier les paramètres de réglages les plus concluants. Certaines des phases d'application ont été documentées par l'enregistrement vidéo des actes de fouille et d'étude, assuré par Sylvie Culot.

1. Le projet d'ANR Introspect est mené sous la responsabilité de Valérie Gouranton (INSA-Rennes) et de Réginald Auger (Université de Laval, Québec). Plus d'informations sur : <https://anr.fr/> ; <http://introspect.info/> ; <https://sstinrap.hypotheses.org/474>

Cette démarche s'insère dans l'ANR « Introspection du mobilier archéologique à l'ère numérique » (Introspect)¹. Ce projet franco-canadien s'intéresse aux méthodes d'introspection numérique interactive qui combinent la tomodensitométrie avec des technologies de visualisation 3D : réalité virtuelle, interactions tangibles et impression 3D (Gaugne & Gouranton, 2019). L'objectif est notamment de permettre à des archéologues de les explorer et, ainsi, de créer de nouveaux usages qui intègrent non seulement la surface des artefacts mais aussi leur structure interne. Les dépôts cinéraires figurent parmi les cas explorés.

Nous concentrerons ce retour d'expériences sur trois volets : révéler et préserver l'intégrité du vestige osseux ; identifier le potentiel informatif d'un plan de fouille ; révéler et caractériser une urne en matière organique disparue.

2.1. Révéler et préserver l'intégrité du vestige osseux

2.1.1. Problématiques et besoins méthodologiques associés

Un des enjeux de la fouille d'un amoncellement d'os porte sur l'identification *in situ* de ses composantes, opération d'autant plus complexe que les os sont fragmentés et brûlés. Ils apparaissent effectivement déformés ou sous un angle inhabituel, ce qui complique la lecture des contours de la portion osseuse enchâssée dans le conglomérat d'esquilles, à l'image comme à la fouille d'ailleurs. Ces spécificités nécessitent, par exemple, l'adaptation de la collection ostéologique de comparaison à l'état du matériel étudié, avec l'ajout d'os fendus et tronçonnés ce qui augmente les critères de détermination des portions d'os [fig. 3a]. Qu'il soit réel ou virtuel, la position du vestige osseux *in situ* est déterminante pour son identification ostéologique [fig. 3b].



Fig. 3 - Identification des portions d'os brûlés à l'aide d'ossements de comparaison et de captures d'écran. (S. Culot, Inrap, 2018)

a (en haut) : en direct

b (en bas) : sur écran

L'image d'une coupe d'amas osseux reconstituée par ordinateur traduit, par des niveaux de gris, les mesures de densité d'absorption de rayons X. Pour chaque pixel d'image, une valeur va être définie qui correspond à la densité de l'objet. Cette perception des os à l'écran est suffisante pour évaluer le potentiel informatif des fragments. Leurs dimensions dont les possibilités d'identification dépendent sont lisibles ; il est également possible d'aller jusqu'à préciser la partie anatomique en présence (par ex. calotte crânienne, os longs) et parfois, le type d'os [fig. 4].

Par son caractère non invasif, l'examen des images numériques favorise l'observation d'indices ostéologiques supplémentaires. Par exemple, la structure trabéculaire des os spongieux devient accessible contribuant ainsi à leur détection [fig. 5]. Habituellement, ces os résistent mal aux traitements en laboratoire : ils s'effritent sous le jet d'eau lors du tamisage et s'érodent lors de leur dégagement, même si ce dernier est réalisé avec un outil de dentiste. Leur visualisation favorise leur préservation : les pièces osseuses mieux repérées sont extraites de l'agglomérat d'os avec des gestes de fouille adaptés. Par ailleurs, elles peuvent être imprimées en 3D, à partir des données numériques acquises par TDM.

Plus avant, grâce à des effets de transparence et de 3D, l'archéologue ou le spécialiste peut, avant fouille, varier les plans d'observation et placer les pièces osseuses dans le plan le plus favorable à leur identification.

Ce sont ces informations qui détermineront le potentiel informatif des pièces osseuses et les méthodes de fouille à adopter.

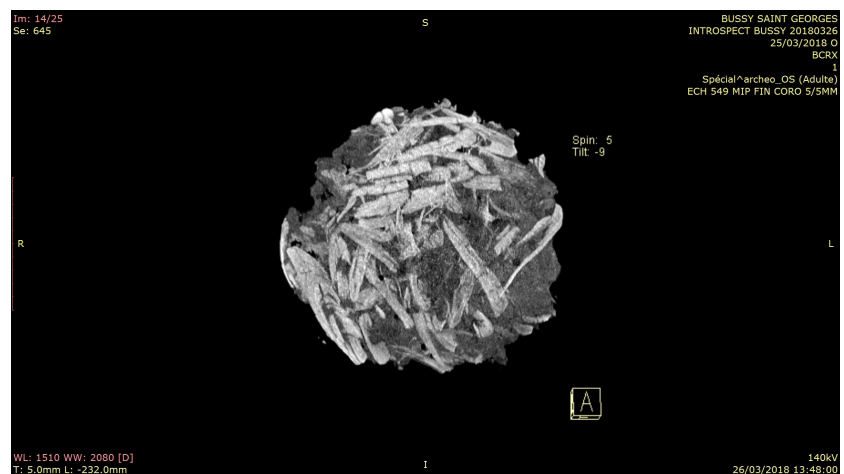


Fig. 4 - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri » (Seine-et-Marne). Exemple d'évaluation du potentiel informatif avant la fouille, d'après une vue zénithale TDM (MIP) avec un rendu volumique. (Inrap, BCRX, 2018)

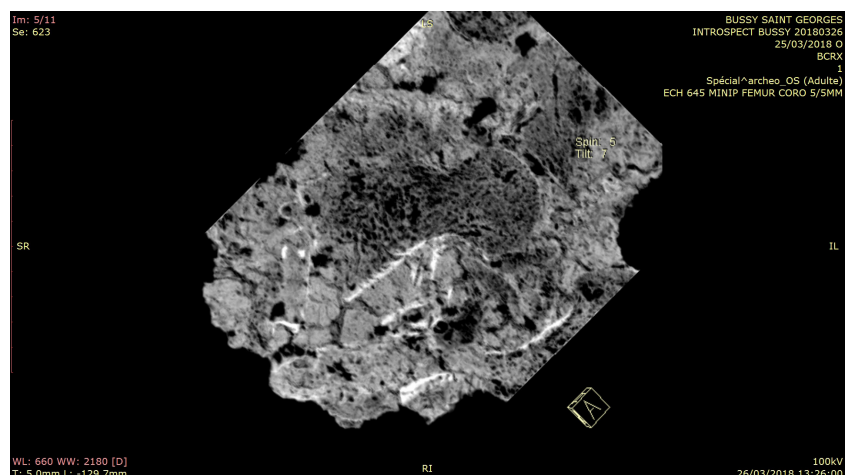
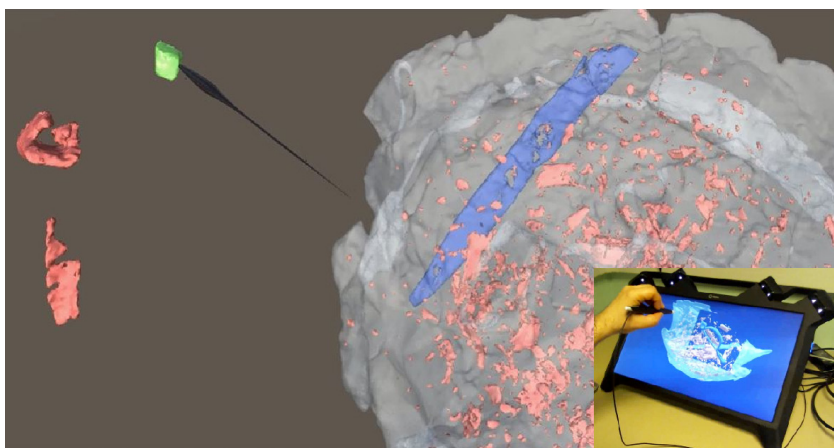


Fig. 5 - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri » (Seine-et-Marne). Vue d'une coupe TDM zénithale, d'une épaisseur de 5 mm. La tête fémorale avec sa partie composée d'os trabéculaire parfaitement identifiable est mesurable. (Inrap, BCRX, 2018)

Fig. 6 - Guipry (Ille-et-Vilaine). Capture d'écran. Interaction avec un environnement virtuel : le fouilleur « sort » les os (en rose) de l'urne à l'aide d'un stylet, pour les positionner de manière à les identifier et les classer. (INSIDE, fouille virtuelle B. Arnaldi, IRISA, 2018)



Au-delà de l'utilisation d'images numériques, ces techniques ouvrent la perspective d'agir dans un environnement de fouille virtuelle qui permet à l'anthropologue de « sortir » virtuellement les fragments de l'urne pour les placer dans un plan d'observation choisi et ce, sans être soumis aux contraintes topographiques. Il ne bouleverse pas les relations stratigraphiques puisqu'après manipulation virtuelle, les éléments retrouvent leur position d'origine dans le récipient. L'expérience de fouille virtuelle de l'urne de Guipry (Ille-et-Vilaine) propose un exemple de ce type d'interaction (Lécuyer et coll., 2018) [fig. 6].

2.1.2. Interaction entre l'acte de fouille et le document TDM : l'exemple de Matougues

En 2017, une portion d'enclos quadrangulaire du Haut-Empire a été découverte sur le site de Matougues « La Grosse Haie » (Marne). Dans le fossé, était présente une petite fosse correspondant probablement à la tombe d'un enfant. Si les os de ce défunt n'étaient pas conservés, il subsistait à une extrémité de la fosse, un pot couvert par un fond de cruche posé à l'envers [fig. 7a]. Le contenu pulvérulent a motivé un prélèvement en bloc en vue d'une fouille différée en laboratoire, précédée par une acquisition d'image TDM.

L'objectif était de déterminer la nature du contenu fragile de cet assemblage de tessons : os brûlés, dépôt alimentaire carné, squelette d'un nourrisson ? Les images numériques ont éliminé les deux premières hypothèses et orienté la fouille vers l'extraction d'os d'un nouveau-né. Ces données validaient, de fait, la nature sépulcrale de la structure et, plus globalement, la fonction funéraire de l'enclos. De plus, elles documentaient le traitement d'une tranche de la population antique plus difficilement détectable que les sujets adultes (par ex. os fragiles, tombe moins profonde). Les différents plans de coupe zénithales et frontales ont effectivement précisé le médiocre état de conservation des ossements dont la densité était proche de celle de l'air. La trace des vestiges osseux apparaît en noir dans le remplissage sédimentaire du dépôt [fig. 7b].

L'analyse préalable des images a déterminé la stratégie d'intervention ; le traitement classique par passe horizontale a été délaissé au profit d'une fouille en volume, de manière à dégager la forme ovalaire détectée sur les images, sans doute la tête du bébé. Il s'agissait de faire connaître, par un acte de fouille adapté, un vestige qui se manifestait par des signes indubitables (portions et poussière d'os) mais qui n'était pas perceptible dans son intégrité (tête). La « fouille 3D » a respecté l'information volumique du vestige maintenue même au niveau des lacunes osseuses [fig. 7c]. L'absence des membres inférieurs et supérieurs a été confirmée par la fouille qui, en revanche, a révélé des dents à partir desquelles l'âge du décès du jeune enfant a pu être estimé.



Fig. 7a - Matougues « La Grosse Haie » (Marne).
Vue du récipient prélevé, en place dans la sépulture. (I. Le Goff, Inrap, 2017)

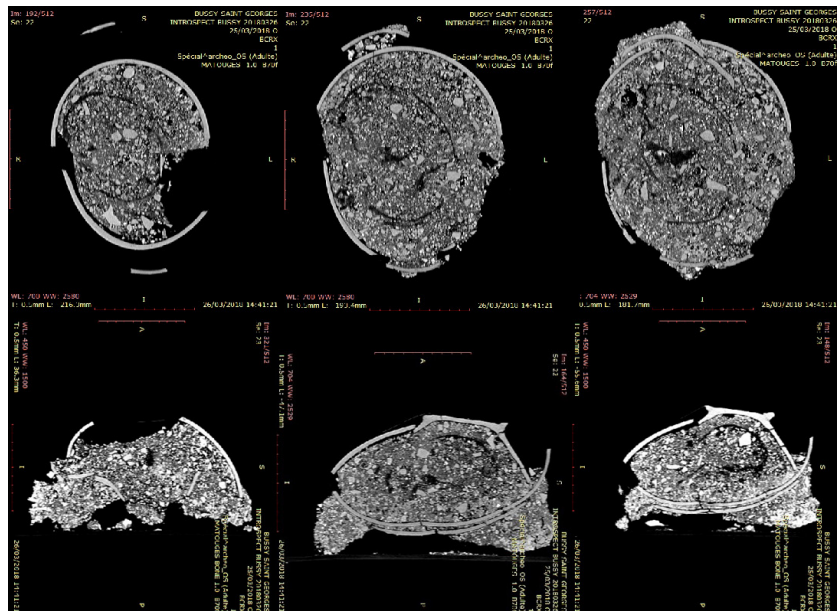


Fig. 7b - Matougues « La Grosse Haie » (Marne).
Coupes TDM zénithales et frontales (2D) du récipient. Le liseré noir correspond au signal de très faible densité de la calotte crânienne du bébé avec, en son centre, des éléments des temporaux. (Inrap, BCRX, 2018)



Fig. 7c - Matougues « La Grosse Haie » (Marne).
Vue des vestiges de la calotte crânienne in situ avec maintien du volume de la tête. (S. Culot, Inrap, 2018)

Ces choix méthodologiques ont favorisé la vision de la tête de l'enfant dans leur contexte, c'est-à-dire posée sur l'embouchure d'un récipient puis recouverte par un fond de vase et favorisent l'analyse du traitement funéraire du nourrisson. En effet, comment expliquer l'absence des membres (biais taphonomique, gestes funéraires) ? Comment déposer un enfant de 6-9 mois dans le volume réduit de cette assemblage de tessons ?

2.2. Identifier le potentiel informatif d'un plan de fouille

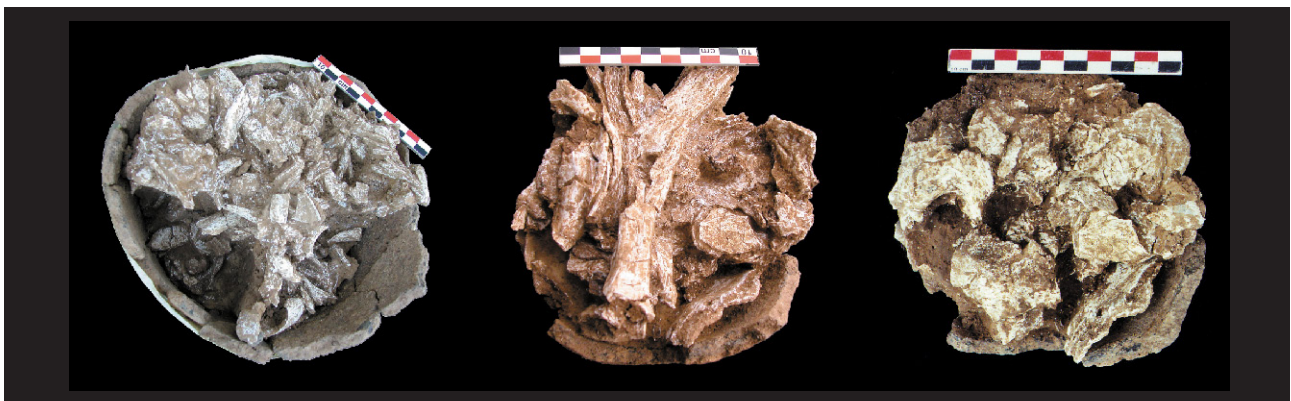
2.2.1. Problématiques et besoins méthodologiques associés

Les dépôts cinéraires en amas sont complexes parce que composites et de lecture peu intuitive, contrairement à un squelette en extension, par exemple. Ils partagent ces caractéristiques avec les corps inhumés assis et effondrés sur eux-mêmes ou les amoncellements d'os placés dans une sépulture collective. En outre, ils regroupent souvent plusieurs centaines de portions et d'esquilles d'os amalgamées, associées parfois à du mobilier (céramiques, éléments de parure, etc.).

Le principe de leur fouille consiste à dégager les os et les objets visibles sur toute la surface du dépôt osseux afin de mettre au jour un état du remplissage de l'urne [fig. 8]. La suite du protocole consiste, après enregistrement, à enlever les os de la passée avant de répéter l'opération autant de fois que nécessaire. L'amas osseux est donc traité par passées successives, en général horizontales et souvent arbitraires. Pour la suite de l'étude, la représentation pondérale des différents types d'os de chaque passée éclaire la manière dont s'est constitué le remplissage de l'urne. Il est parfois possible de retrouver les gestes effectués sur le bûcher et ainsi, de restituer la chaîne opératoire qui a conduit le défunt du bûcher à la tombe.

L'identification de la structuration interne de l'amas osseux et sa caractérisation s'avèrent donc une donnée documentaire importante. On cherche différents indices : le maintien d'une logique anatomique entre les os, les gestes de dépôt, l'existence de relations fonctionnelles entre le mobilier et le corps (par ex. association humérus/bracelet qui évoque le port d'une parure au bras du défunt lors de la crémation) ou, à l'inverse, le brassage des différentes parties du corps et des objets. De ce fait, il est nécessaire d'évaluer leur potentiel informatif de chacune des passées et d'ajuster les méthodes selon la lisibilité et la complexité du geste funéraire identifié. Ces informations indiquent également quand passer à la passée suivante, quelles portions d'os à démonter ensemble ou au contraire, à laisser en place pour la passée suivante. La fouille d'un dépôt composite revient en quelque sorte à savoir le « découper » en une succession de plans significatifs. Nous avons nommé « plans de fouille » les niveaux du remplissage osseux pressentis significatifs à partir des images TDM et qui servent à élaborer les différentes passées au moment de la fouille.

Fig. 8 - Cesson « les Moulins à Vent » (Seine-et-Marne). Trois passées, à des niveaux différents du remplissage de l'urne, révélateurs de gestes funéraires : témoins négatifs d'objets disparus, poignée d'os longs, empilement de portions de calotte crânienne. (I. Le Goff, Inrap, 2004)



2.2.2 - Interaction entre l'acte de fouille et le document TDM

Nous avons, tout d'abord, cherché à identifier les plans de fouille et la méthode de traitement la plus pertinente, à partir de la reconstruction d'images fines d'une MIP (*maximal intensity projection*). Il s'agit d'une projection topographique des vestiges, sans effet de transparence, permettant de ne visualiser que les pièces d'un niveau donné du remplissage osseux. L'épaisseur des coupes en vue zénithale est déterminante pour la lisibilité des os ; celle qui facilite leur reconnaissance est fixée à 5 ou 10 mm. Plus fine, la perception d'un même os est démultipliée en de trop nombreuses « tranches/coupes » ce qui complique son repérage et la lisibilité des indices ostéologiques.

Nous illustrerons les interactions opérationnelles avec des exemples d'empilements de portions de calotte crânienne aisément identifiables, comme le montre le cas de la structure 528 de la nécropole de (« Champ Fleuri » à Bussy-Saint-Georges (Seine-et-Marne), fouillé en 1991, par Nathalie Buchez [fig. 9]. Ce regroupement, qui occupe la partie supérieure du dépôt, montre une structuration interne avec maintien d'une certaine « logique » anatomique. En outre, composé de larges portions d'os, le potentiel d'identification est élevé. Ce niveau, riche en information, après avoir été révélé et validé par la fouille, a été enregistré en conséquence.

Dans la structure 48 de Cesson « Les Moulins à Vent » (Seine-et-Marne), un plan de fouille également composé de fragments de calotte crânienne a été détecté quelques centimètres sous la surface². Les os situés dans les trois centimètres au-dessus, ne présentant pas de cohérence anatomique, ont été dégagés plus grossièrement et démontés en vrac, constituant la première passée. Le passage à la passée suivante ne s'est pas fait à l'aveugle ; il a été déterminé par les informations issues des vues zénithale et frontale TDM qui précisaient l'épaisseur et la topologie du regroupement de portions de calotte [fig. 10]. La fouille a validé la plupart des observations effectuées, au préalable, sur les images numériques zénithales tandis que la coupe frontale virtuelle est venue compléter l'enregistrement en plan. Nous avons pu combiner l'observation simultanée du plan réelle et de la coupe virtuelle ce qui est techniquement difficile à réaliser lors d'une fouille classique. Plus avant, une fois validée par la fouille, la coupe frontale TDM a aussi servi de support d'enregistrement.

2.3. Révéler et caractériser un récipient en matière organique disparu

2.3.1. Problématiques et besoins méthodologiques associés

Des contenants en matériaux périssables peuvent être employés pour déposer les os d'un corps incinéré. Cette pratique est d'ailleurs constante dans la moitié Nord-Est de la France, tout au long de La Tène et de l'Antiquité. Il en subsiste parfois des traces directes sous la forme de reliquats de matière ou indirectes le plus souvent, comme les effets de parois exercés sur les centaines d'esquilles osseuses contenus et qui prennent la forme du récipient. Même après sa disparition, l'agglomérat d'os en conserve la morphologie grâce à l'infiltration de la terre. Le traitement des dépôts cinéraires de la nécropole antique du Marais de Dourges (Pas-de-Calais) donne un exemple de ce type de fouille (Blancquaert et coll., 2008) [fig. 11].

2. Un remerciement particulier à M. Grand, radiologue à Reims, curieux de l'archéologie funéraire et qui nous avait sensibilisé, en 2009, à l'acquisition d'images TDM à partir de deux prélèvements issus de la nécropole de Cesson.

La détection de ce type de dépôt est demeurée longtemps difficile tant les méthodes de fouilles étaient inadaptées. Le changement s'accélère à partir des années 1990 et constitue une discrète révolution conceptuelle. En effet, la forme des amas d'os brûlés devient alors un artefact à part entière, enregistré et documenté comme tout objet d'étude archéologique.

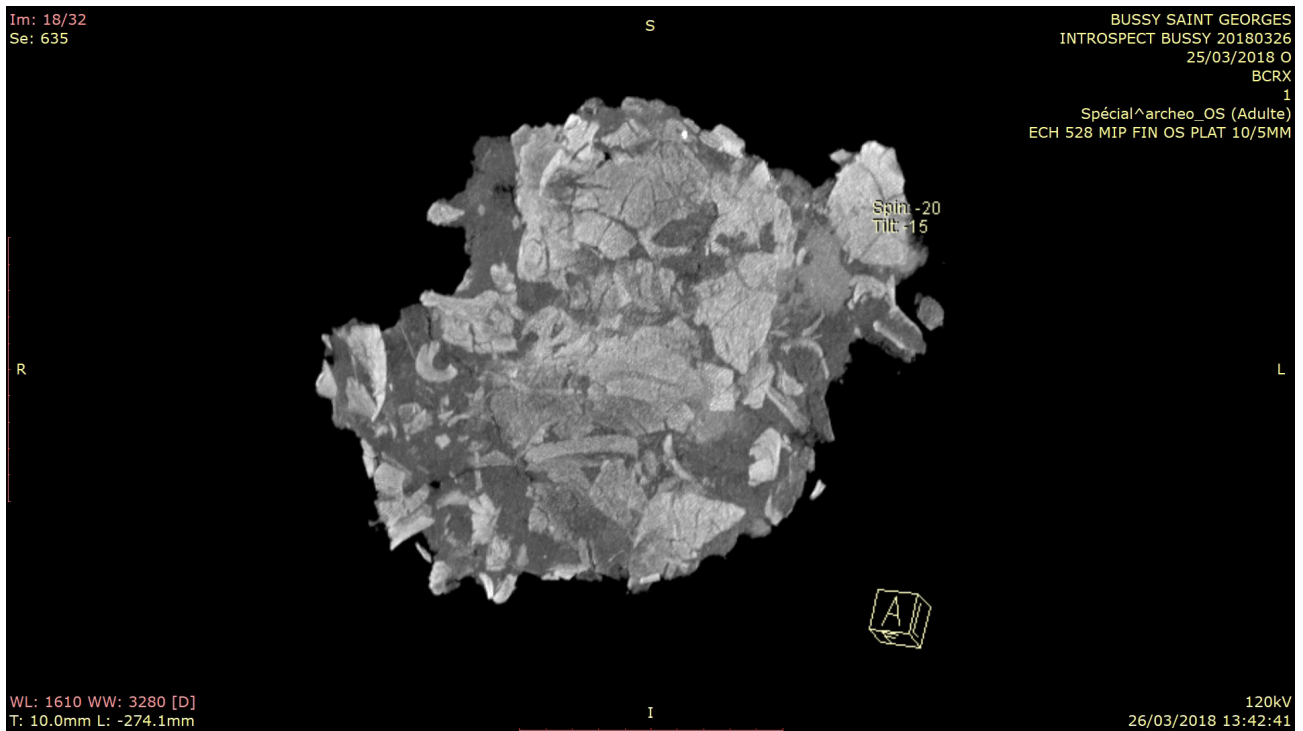
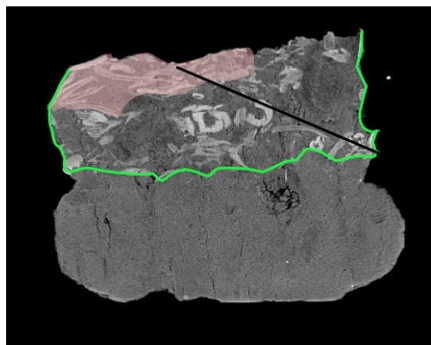


Fig. 9 - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri ». Vue d'une coupe TDM zénithale d'un amas osseux permettant d'identifier un plan de fouille composé d'un empilement de fragments de calotte crânienne. (BCRX, I. Le Goff, Inrap, 2018-2019)



A - Reconstruction d'images acquises par TDM, traitement MPR, vue de profil.

- Concentration de portions de calotte, sur l'amas osseux
- Effet de paroi

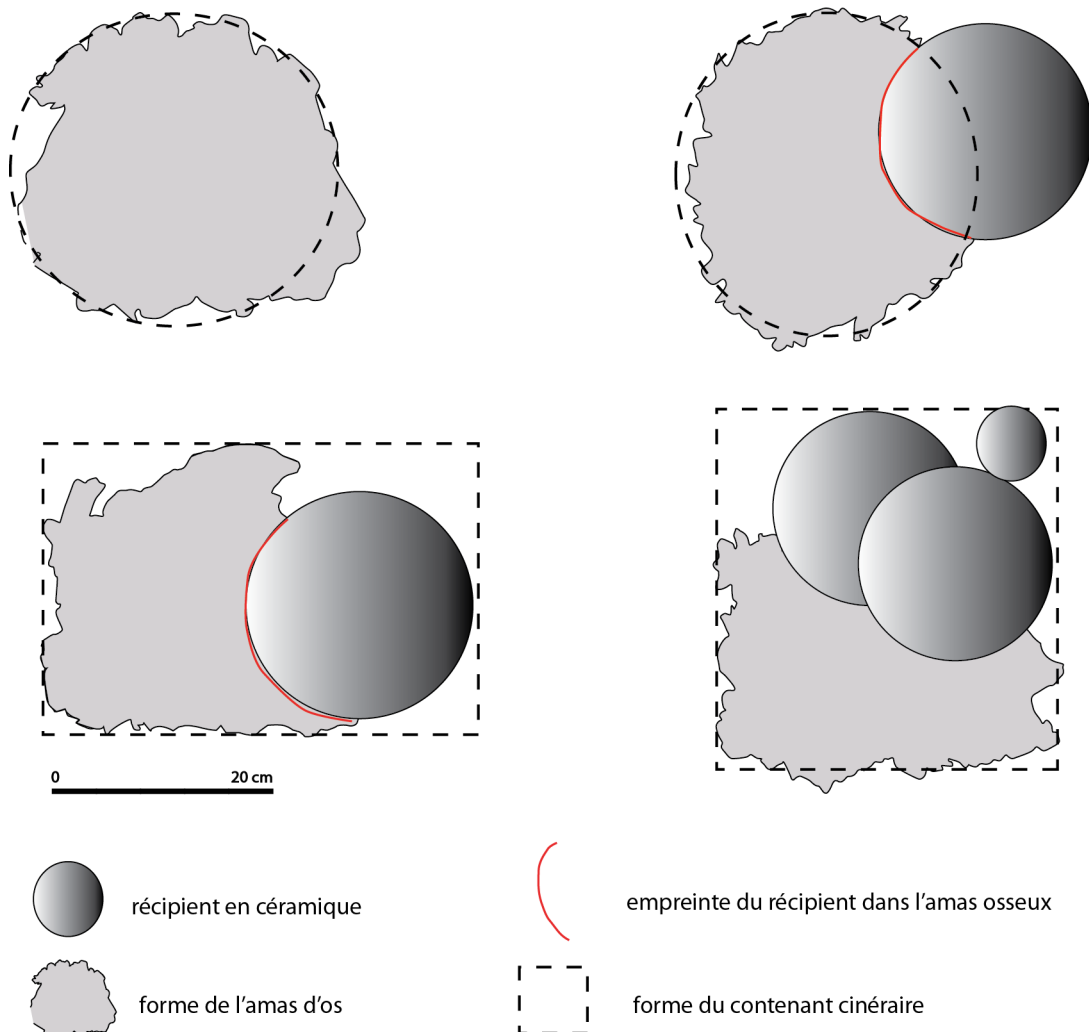


B - Images acquises par la fouille. Plan de fouille zénithal

Fig. 10 - Cesson « Les Moulins à Vent ». Vue d'une coupe TDM frontale (A) qui renseigne sur la distribution verticale des portions de calotte, complétant les informations enregistrées en plan horizontal lors de la fouille (B). (I. Le Goff, Inrap, 2018-)

Fig. 11 - Le marais de Dourges (Pas-de-Calais).
Exemple d'un dépôt cinéraire qui présente des effets de parois et évoque l'usage d'un contenant quadrangulaire, rigide, posé sur une assiette. (G. Laperle, Inrap, 2002)

Fig. 12 - Le Marais de Dourges (Pas-de-Calais).
Restitution de récipients périssables d'après la morphologie en plan des amas d'os brûlés. (I. Le Goff, G. Laperle, Inrap)



La fouille consiste alors à dégager en totalité les pièces osseuses prises dans leur gangue de terre, sans les démonter au fur et à mesure de leur apparition ou sans extraire l'ensemble en vrac à la bêche. Ce nouveau type de fouille répond à des problématiques plus larges d'ordre paléoethnologique (détection des phénomènes synchroniques, relations entre les artefacts, etc.) ou, plus spécifiquement, funéraire (restitution des funérailles, identification des temps funéraires, etc.) (Masset, 1988 ; Valentin et coll., 2014)

Les indices de l'existence d'un contenant organique sont documentés à l'aide de relevés en plan et de profils [fig. 12]. La figure 13 illustre la variété des récipients organiques disponibles pour ensevelir les os dans la nécropole antique du Marais de Dourges. Grâce à la multiplication des cas fouillés, la création de référentiels donne, par exemple, la possibilité d'objectiver l'état de conservation en identifiant les amas osseux qui ont perdu leur intégrité et qui sont, par conséquent, à exclure de manière raisonnée d'une analyse plus poussée.

Si l'acte de fouille s'est adapté aux nouvelles perceptions des dépôts cinéraires, les méthodes d'enregistrement planimétrique, en 2D, sont restées en retrait. L'archéologue et/ou le spécialiste souhaite conserver la forme de l'amas sur la longue durée alors qu'il est nécessaire de le démonter pour en comprendre sa structure. Même si un moulage vient parfois compléter la documentation de fouille, il faut pouvoir manipuler et mesurer le récipient disparu, selon l'axe souhaité et, plus largement, le comparer à des récipients funéraires ou domestiques réalisés avec d'autres matériaux. L'élaboration d'une véritable typologie nécessite l'enregistrement d'un grand nombre de ces traces indirectes de contenants périssables.

2.3.2. Apports des images numériques reconstituées

La restitution d'une image tridimensionnelle est réalisée selon deux procédés d'acquisition d'images : la photogrammétrie et la tomodensitométrie. L'exemple décrit ici porte sur les amas 529 et 63 provenant du site de Bussy-Saint-Georges « Le Champ Fleuri ». La nécropole, datée de l'âge du Bronze moyen, est connue pour ses dépôts cinéraires en contenant périssable de forme cylindrique [fig. 13a] (Buechez et coll., 1994) .



Fig. 13a - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri ». Cliché d'un amas osseux de forme cylindrique. (J.-J. Bigot, Inrap, 2018)

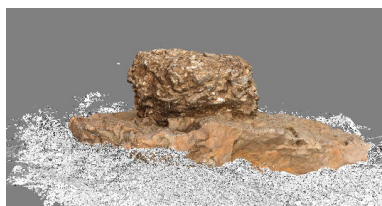


Fig. 13b - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri ». Le même point de vue extrait du modèle 3D acquis par photogrammétrie. (J.-J. Bigot, Inrap, 2018)

La photogrammétrie par corrélation d'images a permis de reconstituer les trois dimensions des amas. Pour ce faire, une centaine de photographies ont été utilisées, obtenues depuis des points de vues différentes et selon une méthode de prise de vue adaptée, mise en place par Jean-Jacques Bigot. Cette technique consiste à réaliser plusieurs séries de 20 photographies prises à 360° sous un angle différent (vues faciales à 75° et 45°, vues de dessus, et 45° et 75° vues de dessous). Quatre à cinq photographies zénithales et de dessous viennent compléter la prise de vue, soit un total moyen de 110 photographies. Le nombre de clichés varie en fonction de la complexité de l'objet. Les photographies du dessous doivent être retournées pour faire « croire » au logiciel qu'elles ont été prises en contre-plongée.

Le modèle 3D propose une reproduction fidèle de l'amas avec une qualité de texture et de couleur semblable à celles des photographies d'origine [fig. 13b]. L'information 3D que comporte le dépôt cinéraire est ainsi conservée et les données consultables autant de fois que nécessaire, même après son démontage. De plus, les variations de relief de l'amas, l'équilibre des esquilles situées sur le pourtour et sur lesquelles se fonde la restitution du contenant, peuvent être observés par d'autres.

Outre la conservation du volume de l'amas, le procédé intègre également la possibilité de retrouver dans l'espace, la position de chaque point de surface

visible (Delevoie et coll., 2012). Les données sont traduites par un nuage de points, entre lesquels on peut mesurer les distances. De ce fait, tous les espacements entre les vestiges et toutes leurs coordonnées altimétriques sont documentés et restent accessibles sur la longue durée.

Grâce à l'utilisation de logiciels dédiés, un tracé du profil réalisé selon de multiples orientations complète la documentation classique, même s'il n'a pas été relevé lors de la fouille (fig. 14). Cette possibilité pallie à certains impératifs méthodologiques contradictoires. En effet, la perception en section de l'amas est nécessaire pour caractériser le récipient disparu tout autant que la vision en plans successifs et horizontaux de son contenu. Il est de coutume de privilégier la lecture en plans horizontaux et de réaliser des relevés du profil en règle générale limités à un ou deux exemplaires, à la place de coupe. Pourtant, les variations du relief impliqueraient de multiplier les relevés de profil, voire de couper l'amas pour relever des coupes.

Une des applications de la TDM livre également une vision de profil de l'amas selon toutes les orientations de l'objet. Elle permet d'enregistrer leur tracé et de réaliser un examen combiné de la surface et de l'intérieur de l'amoncellement d'os. Pour le dépôt 63 du site de Bussy-Saint-Georges, nous avons retenu une série de coupes, réglée sur des tranches de 1 mm, distantes de 1 mm. Ce sont les coupes frontales, en rotation sur cet axe, qui caractérisent le mieux le récipient disparu. Par ailleurs, la reconstitution de l'image numérique est réalisée par segmentation des os, ainsi « isolés » des autres éléments de densité différente, dont la terre ou la céramique, devenus « transparents ». Cet effet de transparence conjugué à la reconstruction volumique (MIP) donne la vision à 360° de tous les fragments osseux et des vides entre eux.

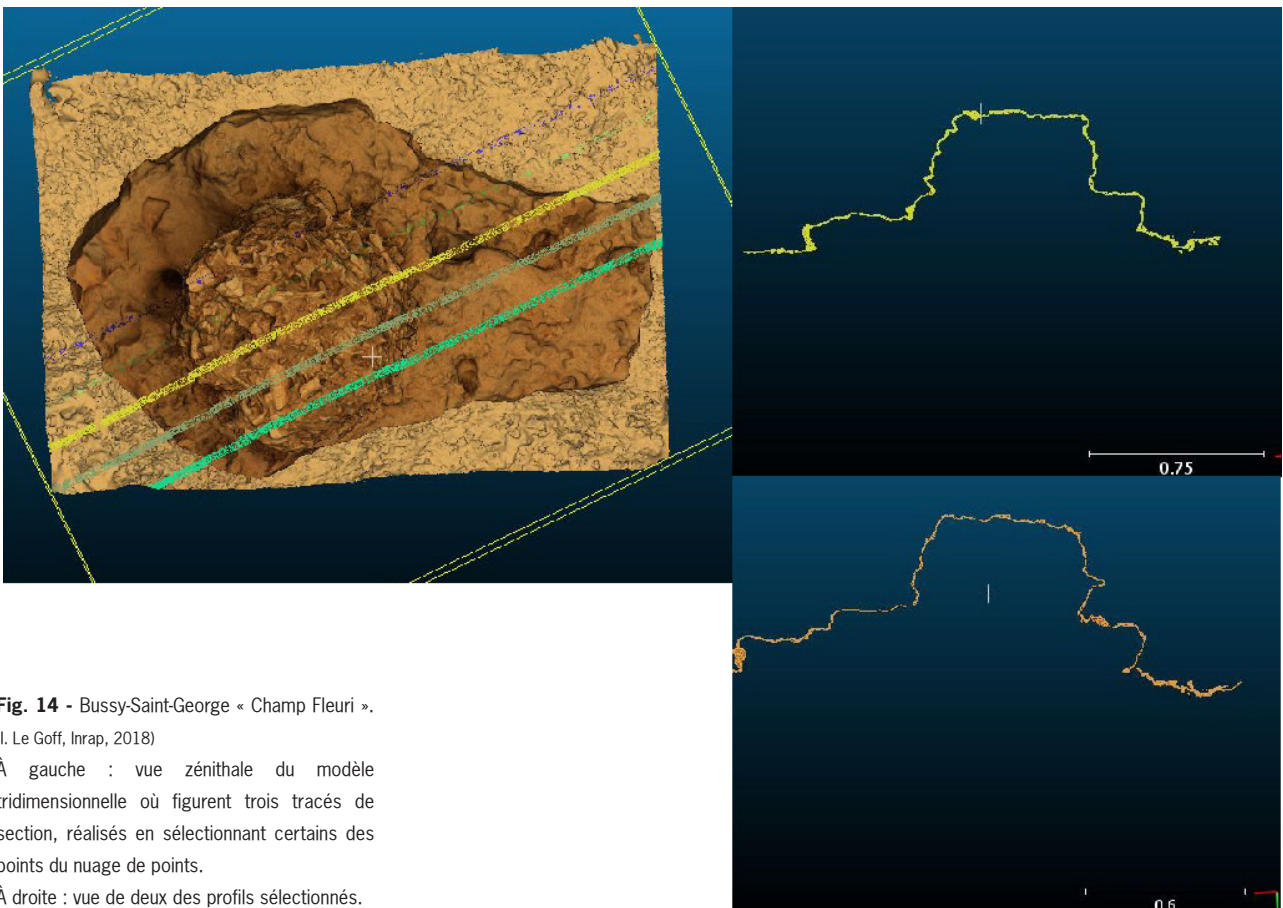


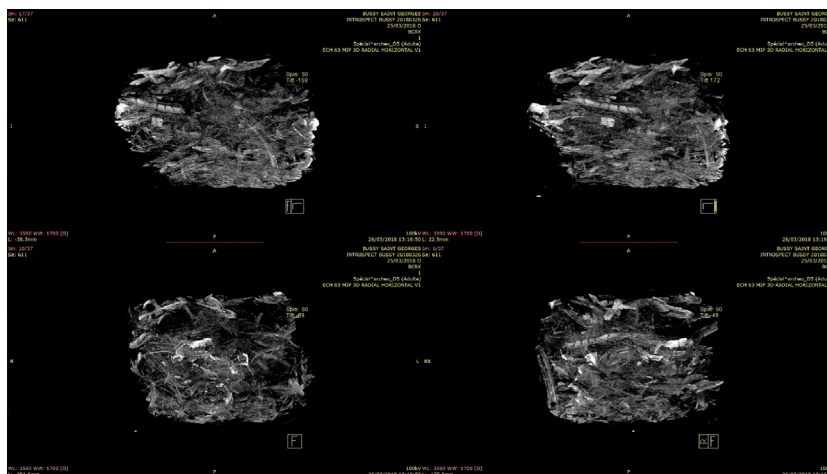
Fig. 14 - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri ».

(I. Le Goff, Inrap, 2018)

À gauche : vue zénithale du modèle tridimensionnelle où figurent trois tracés de section, réalisés en sélectionnant certains des points du nuage de points.

À droite : vue de deux des profils sélectionnés.

Fig. 15 - Bussy-Saint-George « Champ Fleuri ». Images TDM avec post-traitement volumique (MIP). Vues frontales illustrant la forme initiale de l'urne organique disparue et le relâchement de ses parois. (Inrap, BCRX , 2018)



Sur les restitutions volumiques du dépôt 63, on retrouve des effets de paroi contraignants avec une superposition d'os en situation instable, sur plus de 15 cm de hauteur [fig. 15]. Sa forme externe révèle un récipient à paroi rectiligne, circulaire d'un diamètre d'une vingtaine de centimètre, à fond plat et dont la jonction entre la panse et le fond forme un angle droit ou une courbe. Les images de la structure interne permettent de mieux comprendre les variations morphologiques du profil de l'amas osseux et, de ce fait, de distinguer ce qui relève de la forme initiale du récipient disparu et des phénomènes taphonomiques qui l'ont altéré. Des bombements du profil vers l'extérieur indiquent une déformation de la paroi tandis qu'en face, en symétrie inversée, le profil s'incurve vers l'intérieur. Les os donnent l'impression de glisser hors du récipient, comme si la cohésion de la paroi se relâchait par endroit. On observe également des portions de diaphyses dressées à la verticale comme plaquées contre la panse ; ces secteurs conservent sans doute le mieux l'aspect d'usage de l'urne.

La forme du récipient et la dynamique impliquée par sa décomposition sont mieux comprises grâce à la vision simultanée de son profil et de l'agencement des os à l'intérieur. La documentation classique demande un effort de synthèse plus grand car l'information provient de plusieurs documents et elle acquise plus lentement, au rythme du dégagement des différents niveaux de remplissage osseux. Il n'est pas rare que les études de dépôts cinéraires n'arrivent pas à ce stade de synthèse, faute de temps.

3. Conclusion

L'introduction de nouvelles technologies donne toujours l'opportunité de reconsidérer les protocoles de fouilles et de revisiter les concepts qui les sous-tendent. La TDM oblige à une introspection en profondeur. Elle constitue une aide à la fouille en anticipant le démontage du remplissage osseux et en permettant une évaluation du potentiel informatif à différentes échelles (un vestige, l'objet et l'assemblage composite d'un dépôt). Cet apport n'est pas négligeable dans le domaine des crémations, particulièrement chronophage car peu intuitif et nécessitant une série d'étapes d'acquisition des données incontournables (les passées). La recherche de plans de fouille significatifs et l'évaluation de leur potentiel informatif en sont deux points cruciaux.

C'est également l'opportunité de réorganiser la chaîne d'acquisition des données en bousculant la temporalité du processus. Il s'agit de détecter avant de fouiller et d'analyser en temps réel plusieurs plans de fouille à la fois. C'est ainsi l'occasion de donner plus de temps à l'interprétation réalisée en trois temps : analyse prédictive puis validation et ajustement par la confrontation au réel. En connaissant mieux l'objet avant sa fouille, il devient également plus facile de transmettre les savoirs et d'élaborer un travail d'équipe.

Bibliographie

- Blancquaert et coll., 2008 : BLANCQUAERT, Geertrui, LE GOFF, Isabelle, BOSSUT, Dominique, LAPERLE, Gilles & LERICHE, Benoît. (2008). Espaces funéraires au « Marais de Dourges » à Dourges (site LA1), Pas-de-Calais. *Revue du Nord*, 378 (2008/5) (p. 53-92). <<https://doi.org/10.3917/rdn.378.0053>>.
- Buche et coll., 1994 : BUCHEZ, Nathalie, GUILLOT, Hélène & LE GOFF, Isabelle. (1994). La nécropole à incinération du Bronze moyen de Bussy-Saint-Georges, le Champ Fleuri sud (Seine-et-Marne). Dans *Service régional de l'archéologie d'Ile-de-France, Archéologie funéraire et actualité régionale : actes des journées archéologiques d'Ile-de-France, Tremblay-en-France, sept. 1992* (p. 26-27). Meaux : Association meloise d'archéologie.
- De Larminat et coll., 2017 : DE LARMINAT, Solenn, CORBINEAU, Rémi, CORROCHANO, Alexis, GLEIZE, Yves & SOULAT, Jean (dir.). (2017). Rencontre autour de nouvelles approches de l'archéologie funéraire : actes de la 6e Rencontre du Gaaf, INHA, Paris, 4-5 avril 2014 (324 p.). Reugny : Gaaf.
- Delevoie et coll., 2012 : DELEVOIE, Caroline, DUTAILLY, Bruno, MORA, Pascal & VERGNIEUX, Robert. (2012). Un point sur la photogrammétrie. *Archéopages*, 34, 66-89. <<https://doi.org/10.4000/archeopages.410>>.
- Gaugne & Gouranton, 2019 : GAUGNE, Rwanan & GOURANTON, Valérie. (2019). 3D pour l'archéologie : quelles interactions, pour quoi faire ? Dans S. Eusèbe, T. Nicolas, V. Gouranton & R. Gaugne (dir.), *Archéologie : imagerie numérique et 3D : actes du 3e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 26-27 juin 2018, Rennes*. Disponible en ligne sur <<https://sstinrap.hypotheses.org/1429>> (consulté le 5 décembre 2019).
- Lécuyer et coll., 2018 : LÉCUYER, Flavien, GOURANTON, Valérie, GAUGNE, Ronan, NICOLAS, Théophile, MARCHAND, Grégor & ARNALDI, Bruno. (2018). INSIDE Interactive and Non-destructive Solution for Introspection in Digital Environments. Dans *Digital Heritage 2018 – 3rd International Congress & Expo, IEEE, Oct. 2018, San Francisco, United States* (p.1-4). Disponible en ligne sur <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01875793>> (consulté le 5 décembre 2019).
- Le Puil-Texier et coll., 2017 : LE PUIL-TEXIER, Myriam, NICOLAS, Théophile & TAVERNIER, Cédric. (2017). L'apport de l'examen tomodynamométrique à la fouille et à l'analyse des dépôts de crémation en urne. Dans S. De Larminat, R. Corbineau, A. Corrochano, Y. Gleize & J. Soulat (dir.), *Rencontre autour de nouvelles approches de l'archéologie funéraire : actes de la 6e Rencontre du Gaaf, INHA, Paris, 4-5 avril 2014* (p. 69-74). Reugny : Gaaf. Disponible en ligne sur <<http://bcrx.fr/wp-content/uploads/2017/09/article.pdf>> (consulté le 5 décembre 2019).
- Masset, 1988 : MASSET, Claude. (1988). Paléoethnologie. Dans A. Leroi-Gourhan (dir.), *Dictionnaire de la Préhistoire* (p. 804). Paris : PUF.
- Saulière, 2012 : SAULIÈRE, Nicolas. (2012). La modélisation d'incinérations. *Archéopages*, 34, 96-98. <<https://doi.org/10.4000/archeopages.422>>.
- Valentin et coll., 2014 : VALENTIN, Frédérique, RIVOAL, Isabelle, THEVENET, Corinne & SELLIER, Pascal (dir.). (2014). La chaîne opératoire funéraire. *Ethnologie et archéologie de la mort* (47 p.). Paris : Éditions de Boccard. Disponible en ligne sur <<http://www.mae.parisnante.fr/la-chaine-operatoire-funeraire-ethnologie-et-archeologie-de-la-mort/>> (consulté le 5 décembre 2019).
- Vidal, 2017 : VIDAL, Philippe. (2017). L'apport de la tomodynamométrie à la fouille des crémations. Dans F. Hanut (dir.), *Du Bûcher à La Tombe. Diversité et Évolution des Pratiques Funéraires dans les Nécropoles à Crémation de la Période Gallo-romaine en Gaule Septentrionale* (p. 336-339). Namur : Institut du Patrimoine Wallon.