



La Nécropole Numérique - Compte-rendu d'activité - 2020

Christelle Seng, Rachid El-Hajaoui, Caroline Font, Thomas Guillemard,
Cyrille Le Forestier, Mercey Florent

► To cite this version:

Christelle Seng, Rachid El-Hajaoui, Caroline Font, Thomas Guillemard, Cyrille Le Forestier, et al..
La Nécropole Numérique - Compte-rendu d'activité - 2020. [Interne] Inrap. 2020. hal-03620076

HAL Id: hal-03620076

<https://hal.science/hal-03620076>

Submitted on 25 Mar 2022

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.



Recherche et développement

R133050

Inrap
Institut national
de recherches
archéologiques
préventives

La Nécropole Numérique

**Christelle Seng, Rachid El-Hajaoui, Caroline Font, Thomas Guillemard,
Cyrille Le Forestier, Florent Mercey**

Avec la collaboration de Jean-Baptiste Barreau et Frédéric Barenghi

**Compte-rendu d'activité
Décembre 2020**

Sommaire

5	Présentation initiale du projet	36	Table des illustrations
6	1. Introduction et organisation		
6	<i>Glossaire</i>		
7	2. La photogrammétrie, pour un relevé numérique des vestiges		
7	2.1 Mise en place du canevas topographique de référence		
8	2.2 Le matériel utilisé et les réglages		
8	2.3 Les protocoles de prise de vue		
8	2.3.1 Les modèles d'ensemble		
9	2.3.2 Les modèles individuels		
10	2.4 Descriptions des traitements effectués et de leur exploitation		
10	2.4.1 Les étapes du traitement		
14	2.4.2 Exploitation des modélisations 3D		
17	3. Structuration des données attributaires et spatiales		
17	3.1 La base de données		
17	3.1.1 Principes retenus		
17	3.1.2 Technologie		
18	3.1.3 Modèles de Conception de données		
30	3.1.4 Perspectives		
31	3.2 Les données spatiales		
31	3.2.1 Numérisation directe d'après les rasters		
32	3.2.2 Intégration des dessins vectorisés		
34	4. Conclusion et perspectives		
35	Bibliographie		
35	<i>Site internet</i>		
35	<i>Logiciels et soft utilisés</i>		

Présentation initiale du projet

Ce projet a pour objectif la mise au point et l'expérimentation d'outils numériques et des protocoles liés, dédiés à l'enregistrement des données de terrain du site de Noisy-le-Grand (93), les Mastraits. Depuis plus de 10 ans, cette nécropole bénéficie de plusieurs campagnes de fouilles préventives. De 2019 à 2021, une campagne de fouilles programmées doit permettre la mise au jour de nouvelles sépultures, complétant ainsi les 766 inhumations fouillées jusqu'à aujourd'hui. Ces outils doivent répondre à une volonté de dématérialiser l'enregistrement des données de terrain en s'appuyant sur la géomatique pour gérer les données spatiales et attributaires, à partir de relevés issus de la photogrammétrie.

Le déploiement d'une série d'outils et de logiciels au sein de l'Inrap notamment, concorde tout à fait avec la mutation numérique qui s'effectue dans notre activité. Cette dynamique s'illustre par le déploiement des SIG à l'échelle nationale et de la mise en place de CAVIAR par exemple, mais aussi par les sessions d'initiations et de perfectionnement proposées lors de stages internes à la photogrammétrie et à l'utilisation des SIG. Un volet dédié également aux bases de données est concrètement complété par des initiatives personnelles d'élaboration de systèmes d'enregistrement de terrain, et par le développement d'Edarc à la DST.

Les autres acteurs de l'archéologie sont également mobilisés et investis dans l'application de ces technologies et de ces outils. De nombreux échanges et formations ont lieu dans diverses structures, on citera ici de manière non exhaustive les Ateliers Archéomatiques organisés à Tours par le Réseau ISA¹, l'Atelier SITraDA² qui se tient à Paris ou encore le programme ArchéoFab³ piloté par l'UMR 7041 ArScan et la revue Archéologies Numériques, etc.

L'objectif est d'enregistrer les unités stratigraphiques composant chaque sépulture (creusement, contenant, comblements, dépôt du ou des corps, réductions...) ainsi que les données propres à l'archéo-anthropologie (aménagement interne de la sépulture, données descriptives et métriques du sarcophage, position du défunt, etc.) au sein de la même base de données. La saisie et l'interrogation de ces données se feront si possible par l'interface de QGis (logiciel libre)⁴ directement, sans recourir à des logiciels tiers. Pour davantage d'ergonomie et d'accessibilité, les tables attributaires seront affichées sous forme de formulaire(s), régi(s) par des options ou des masques de saisie.

L'enregistrement des données s'enrichie, parallèlement, de séries de photographies qui sont prises dans le but de créer un modèle 3D. Outre la possibilité d'archiver les volumes du vestige archéologique, sa position dans un espace géoréférencé, le modèle 3D permettra d'éditer une orthophotographie, qui se substituera aux minutes de terrain manuelles : une fois l'orthophotographie importée dans QGis sous forme de raster, la numérisation des US sera effectuée directement sur le support numérique choisi.

Ce travail réalisé sur le terrain sera complété par les analyses effectuées en laboratoire où chaque entité archéologique sera complétée et plus particulièrement les données anthropologiques (sexe, âge, maladies, métrique crânienne et post-crânienne, etc.). L'ensemble de cette démarche permettra une dématérialisation quasi-intégrale de l'enregistrement afin de permettre la consultation et l'accès à des outils d'analyse plus fiables et plus rapides. L'avantage de rassembler toutes les données au sein d'un projet QGis est également la possibilité d'édition et de diffusion rapides et aisées, de cartes dynamiques et interactives, et de fait systématiquement synchronisées avec les données.

L'association en charge de la fouille programmée, Archéologie des Nécropoles (ADN)⁵, est en partenariat conventionné avec l'Inrap. Elle dispose de tout le matériel nécessaire pour mener à bien cette expérimentation et se propose de le mettre à disposition des participants : appareils photographiques, accessoires de prise de vue, ordinateur pour les traitements 3D, tablette ou ordinateur ultra portable et tactile pour la saisie des données et le relevé numérique des US sur le terrain, etc.

Des stagiaires universitaires travaillant sur le numérique et des étudiants en archéologie pourront être invités et mobilisés pour participer au projet.

1 <http://isa.univ-tours.fr/spip.php?rubrique245>

2 <https://sitrada.hypotheses.org/>

3 <https://abp.hypotheses.org/>

4 <https://www.qgis.org/fr/site/>

5 <https://archeonec.hypotheses.org/>

1. Introduction et organisation

La campagne de fouille 2020 devait servir à l'application des outils de saisie esquissés en 2019 et la poursuite des protocoles de relevé par la photogrammétrie, déjà éprouvés et satisfaisants. En raison de l'état d'urgence sanitaire lié à la pandémie de Covid-19, la fouille prévue du 2 juin au 10 juillet n'a pu avoir lieu. Afin d'avancer au mieux grâce aux moyens conséquents accordés par la DST (70 jours hommes), nous avons choisi d'anticiper au maximum sur l'outil de saisie définitif et de basculer la majorité des moyens alloués à la mise en place de la base de données et de son interface. L'équipe a ainsi été avantageusement enrichie par la participation de collègues expérimentés travaillant déjà sur la création d'une base de données spatiales et attributaires, ainsi que par le soutien de Jean-Baptiste Barreau (CNRS), qui apporte ses compétences informatiques et son expertise sur ces problématiques.

L'absence de nouvelles données issues du terrain cette année est également l'occasion de faire un point détaillé sur la méthode de relevé numérique et sur l'exploitation des rasters qui en résultent, mais aussi d'expérimenter des protocoles de numérisation aussi bien pour les données récemment acquises que pour celles issues des opérations préventives précédentes.

Une réunion en visioconférence a pu être organisée le 18 juin 2020 pour permettre de prendre contact avec les nouveaux participants, de leur présenter le projet, et de maintenir un niveau d'information égal entre tous, bien que certains interviendront davantage en 2021. Étaient présents : Cyrille Le Forestier (Inrap Croissy-Beaubourg), Rachid El Hajaoui (Inrap, Pantin), Frédéric Barengi (Inrap, Croissy-Beaubourg), Caroline Font (Inrap, Saint-Cyr-en-Val), Florent Mercey (Inrap, Saint-Cyr-en-Val), Thomas Guillemard (Inrap, Saint-Cyr-en-Val), Jai Rebière (Paris I) et Christelle Seng (Inrap Croissy-Beaubourg).

Cette première réunion dématérialisée a donné lieu à de nombreux échanges et questionnements, une séance de travail a donc été programmée au CRA de Saint-Cyr-en-Val le 20 juillet 2020. L'objectif principal de cette séance étant la mise en place du modèle conceptuel de données, étaient présents les participants principalement concernés par cet aspect du projet (Caroline Font, Florent Mercey, Thomas Guillemard, Cyrille Le Forestier, Christelle Seng). Les résultats de cet atelier sont détaillés plus bas.

Au cours de l'année, d'autres échanges en distanciel, en équipe plus réduite, ont été tenus, portant essentiellement sur la mise en place de la base de données.

Glossaire

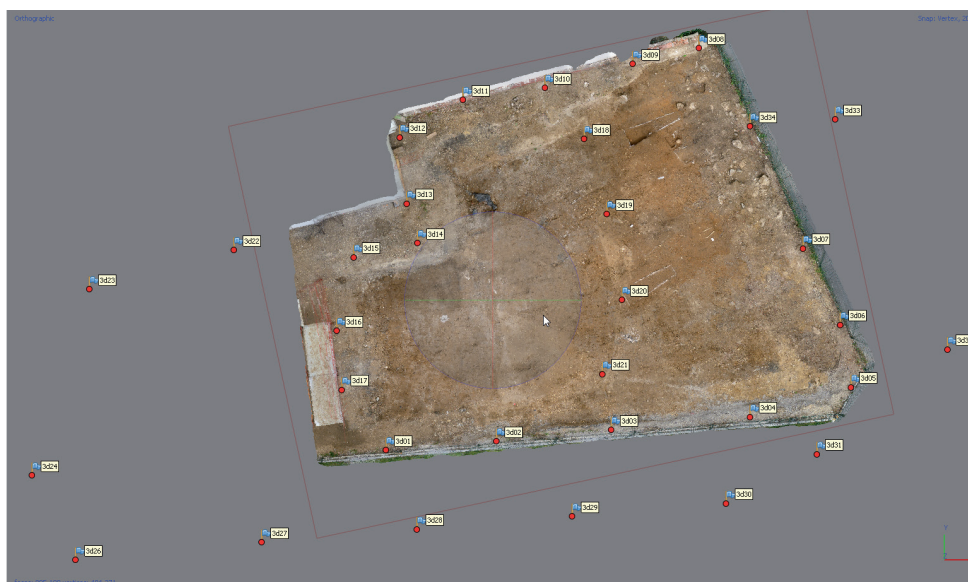
- MNE : Modèle Numérique d'Élévation
- MCD : Modèle Conceptuel de Données
- SQL : Structured Query Language
- SGBDR : Système de Gestion de Base de Données Relationnelles
- CAVIAR : Catalogue de Visualisation de l'Information ARchéologique
- BADASS : Base Archéologique de Données Attributaires et Spatiales
- SIG : Système d'Information Géographique
- SCR : système de coordonnées de référence
- APN : appareil photographique numérique

2. La photogrammétrie, pour un relevé numérique des vestiges

Pour cette première campagne de fouille, nous avons tenté de nous rapprocher le plus possible des conditions de la fouille préventive. Aussi bien pour le matériel utilisé que pour l'urgence qu'exige le relevé des vestiges.

2.1 Mise en place du canevas topographique de référence

La photogrammétrie en archéologie suppose le positionnement précis de tout les modèles 3D dans un système de coordonnées de référence (SCR). Cela permet d'orienter le modèle, de lui donner une échelle et une position géographique. Ce travail de géo-référencement incombe au topographe qui habituellement se déplace sur le chantier à la demande des archéologues pour relever les vestiges visibles mais aussi les points de référence ayant servi aux dessins techniques ou aux relevés photogrammétriques. C'est ainsi que nous avons procédé ces dernières années lors des différentes interventions préventives effectuées sur la nécropole de Noisy-le-Grand. Pour la campagne de 2019, le topographe ne pouvait intervenir qu'une seule fois. Nous avons donc décidé de positionner une série de points de références ou cibles fixes autour du secteur de fouille envisagé pendant cette campagne (Fig. 1).



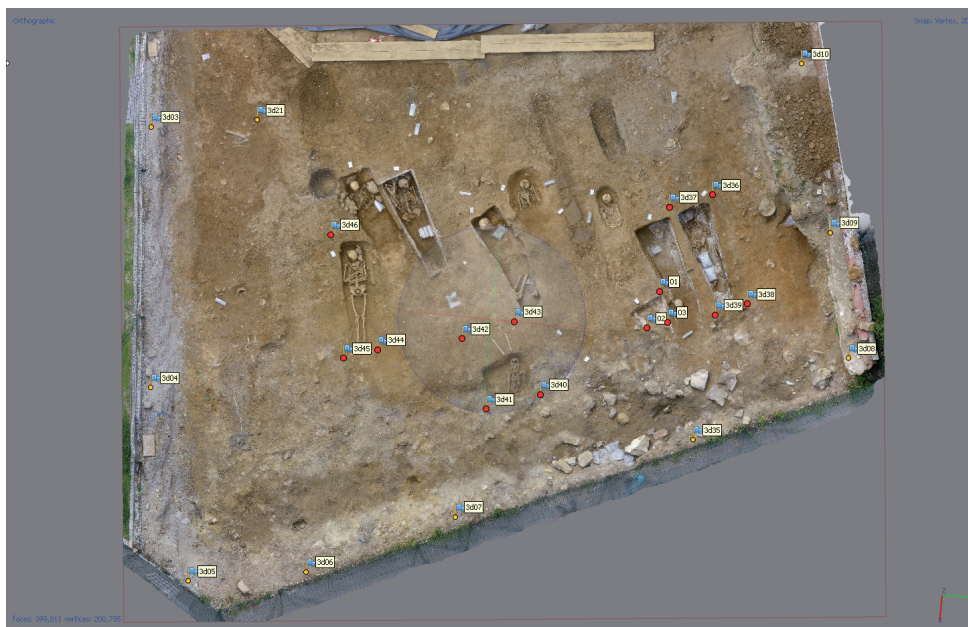


Fig. 3 Localisation des points de références principaux (en jaune) et des points de références intermédiaires (en rouge)



Fig. 4 Prises de vue à la perche

2.2 Le matériel utilisé et les réglages

L'APN utilisé est un appareil compact et durci, le Panasonic Lumix DC-FT7, fixé sur une perche télescopique Rode allant de 0,80 m à 3 m de long pour les prises de vues zénithales. L'APN génère un réseau Wi-fi auquel il est possible de connecter un smartphone avec l'application de contrôle à distance « Image App » (gratuite, elle est fournie par Panasonic). Ce matériel semble adapté en environnement préventif. Outre sa robustesse, il est facilement transportable et manipulable (Fig. 4).

Après quelques essais en mode automatique pour évaluer les réglages les plus adaptés aux différentes conditions de prises de vues sur ce terrain, nous avons fixé les paramètres sur les valeurs suivantes : avec une focale équivalente au 28 mm, l'ouverture a été établie à F/3.3 et l'Iso à 80. Seule la vitesse de déclenchement est demeurée variable en fonction de l'éclairage. Avec un APN compact, la mise au point ne peut être bloquée, elle est donc restée en mode automatique. Ce dernier point a pour conséquence un travail important de reprise des ortho-images pour attribuer les vues présentant le moins de flous à des endroits précis de l'image.

Par ailleurs l'appareil ne peut produire que des images compressées en Jpeg, là où des fichiers RAW seraient préférables.

2.3 Les protocoles de prise de vue

Comme nous avons pu le voir, deux types de modèles ont été réalisés. Nous avons tout d'abord les modèles d'ensemble au nombre de 6, pour les besoins décrits plus haut et qui concernent le géo-référencement des points de références intermédiaires. Ces clichés ont été effectués à l'aide de la perche et du contrôle à distance. On peut ainsi visualiser le cadrage de l'appareil photo et l'ajuster, modifier certains réglages au besoin, déclencher la prise de vue et contrôler la qualité de l'image enregistrée. Cette solution permet de minimiser le nombre de prises de vue en vérifiant les images au fur et à mesure de l'acquisition et en assurant une couverture optimale de la zone à traiter.

2.3.1 Les modèles d'ensemble

Le jeu de photos pour les modèles d'ensemble comporte en général deux séries. La première sera réalisée en faisant des allers-retours et en prenant soin de bien superposer les bandes. Un cliché sera pris tout les 1 ou 2 pas selon la longueur de la perche. La seconde sera effectuée en faisant le tour de la zone à traiter et en s'assurant d'avoir un maximum de points de références principaux sur les clichés (Fig. 5).

L'axe de l'appareil photo est orienté perpendiculairement au sol.

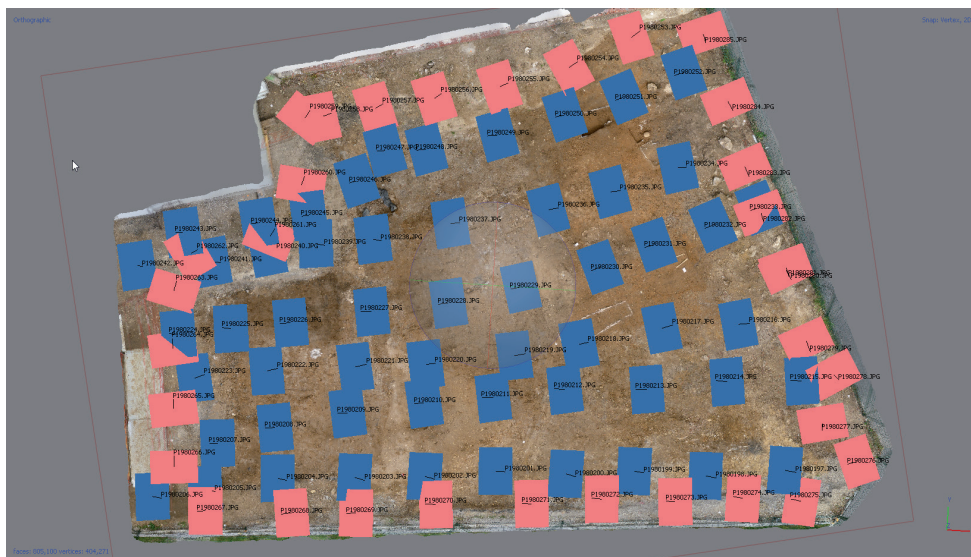


Fig. 5 Couverture des clichés pour le modèle d'ensemble

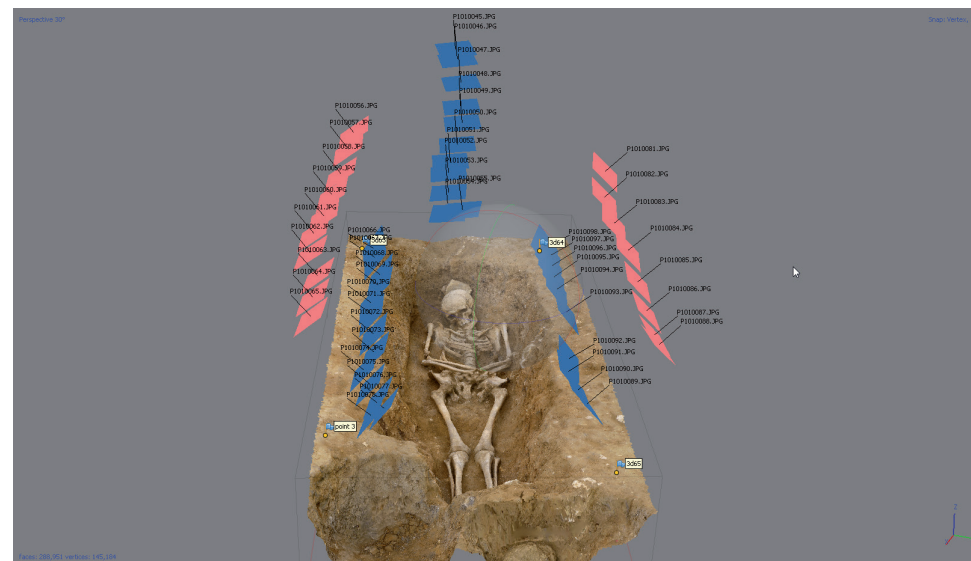


Fig. 6 Couverture générale de la sépulture

2.3.2 Les modèles individuels

Le second groupe de modèles, 36 au total, est plus spécifique. Il permet de traiter les sépultures individuellement ou par petits groupes aux différentes étapes de leur dégagement. Il se fait avec l'appareil photo à la main, en suivant le protocole suivant : une série verticale à 90 degrés, une seconde à 45 degrés et une troisième avec un angle inférieur variant entre 20 et 30 degrés en fonction de la configuration du vestige. Quelques photos de détail autour des zones complexes (crânes, bassin, réductions, etc.) viennent compléter le lever (Fig. 6 et Fig. 7).

Les photos de détail, étant prises de façon plus rapprochée, peuvent créer quelques erreurs de calcul ainsi que des zones floues et des difficultés de lecture sur les ortho-images. Leur utilisation pour les calculs ne sera donc pas systématique. Néanmoins, ces prises de vues peuvent s'avérer importantes pour enregistrer des informations dans les zones occluses de la scène capturée. En effet, l'enchevêtrement des ossements dans une sépulture impose des protocoles de prises de vue très particuliers, qui doivent prendre en compte les contraintes de temps et de matériel.

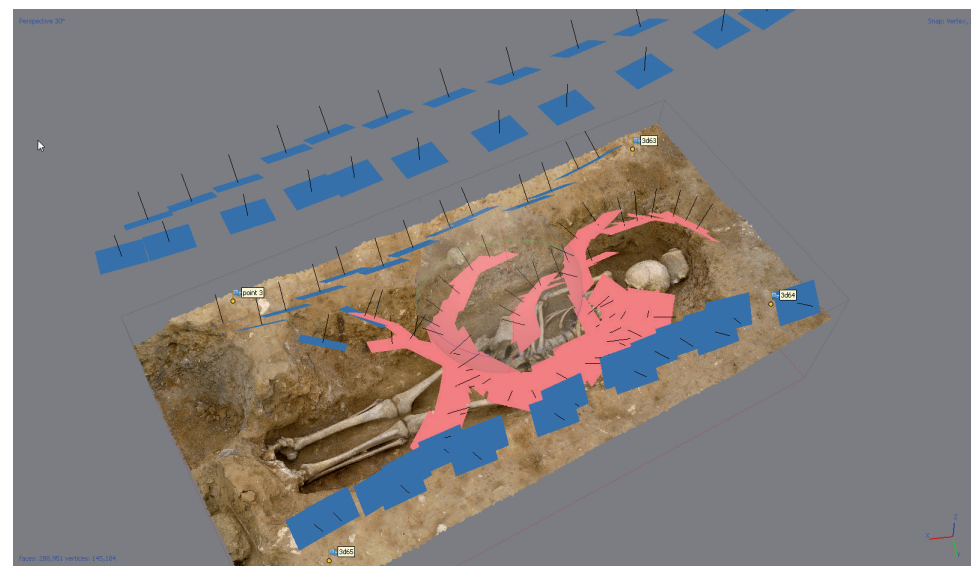


Fig. 7 Clichés complémentaires (en rouge)

2.4 Descriptions des traitements effectués et de leur exploitation

Longtemps réservée à des domaines de pointe, la photogrammétrie est aujourd'hui accessible au plus grand nombre. En effet, la qualité des capteurs photo, la puissance croissante des ordinateurs et l'ergonomie des logiciels de traitement permettent aux archéologues d'intégrer aisément cette technique aux différents moyens de relevés déjà utilisés.

Ici, la totalité des traitements a été réalisée dans le logiciel Metashape de la société Agisoft. Il s'agit d'un logiciel payant développé pour la photogrammétrie et la modélisation tridimensionnelle. Son interface claire et très accessible en font un des logiciels les plus répandus et qui a permis une réelle démocratisation de l'utilisation de la photogrammétrie. Son accessibilité ne doit pas nous faire oublier la rigueur qu'exige la documentation scientifique que nous souhaitons réaliser. En effet, les réglages par défaut du logiciel ne permettent pas de réaliser des documents fiables scientifiquement.

2.4.1 Les étapes du traitement

Celles-ci sont sensiblement les mêmes dans les différents logiciels de photogrammétrie.

Après la vérification du jeu de photos, celui-ci est chargé dans le logiciel. On procède alors à la calibration de l'appareil photo pour corriger la déformation optique spécifique et on réalise le calcul d'aéro-triangulation des images. Le logiciel analyse les images et détecte les points communs entre elles pour nous proposer une projection en trois dimensions des différentes prises de vue. Un premier nuage de points est alors matérialisé (Fig. 8).

Ces points ont une position relative les uns par rapport aux autres, calculée dans les trois dimensions, X, Y et Z. Nous pouvons dès lors faire le lien entre les points de références (cibles) sur les images et le fichier topographique qui contient leurs valeurs géographiques. L'ensemble du nuage de points sera alors géo-référencé (Fig. 9).

L'étape suivante va permettre de réaliser un nuage de points beaucoup plus dense qui sera notre base de travail. La position de plusieurs millions de points sera calculée pour représenter le plus fidèlement possible la scène (Fig. 10 et Fig. 11).

Ce nuage dense géo-référencé va nous permettre de calculer un modèle numérique d'élévation (MNE). Il s'agit d'une représentation raster du relief de la scène selon un plan donné. Chaque pixel du raster sera porteur de la position géographique (longitude, latitude) d'un point de la scène mais aussi de la valeur en altitude de ce point (Fig. 12).

Ce MNE permettra d'éditer des profils ou de comparer des altitudes à différents endroits de la scène et entre les scènes. Il permettra aussi de réaliser des ortho-images, c'est-à-dire une vue de la scène selon un plan donné, sans aucune déformation liée à la perspective ou à la parallaxe (changement de point de vue) (Fig. 13).

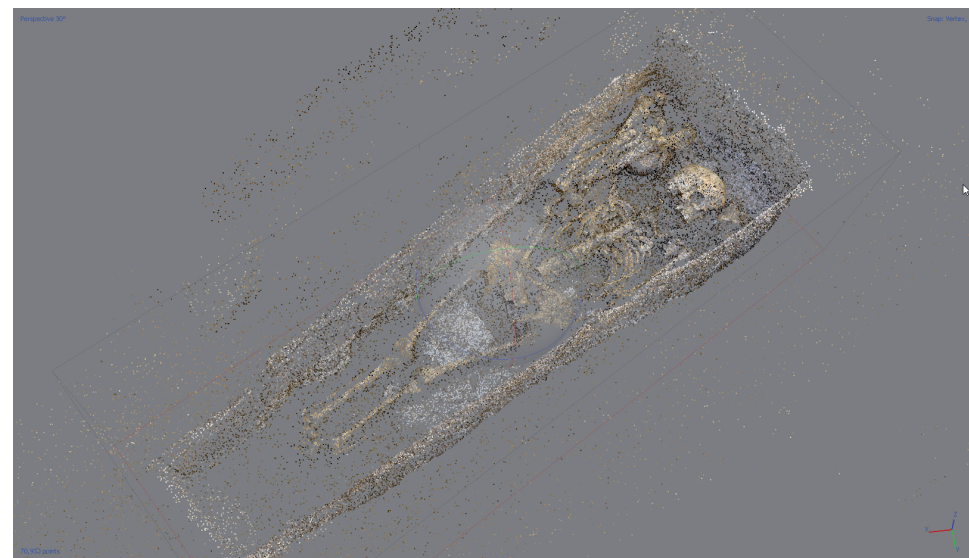


Fig. 8 Génération du premier nuage de points

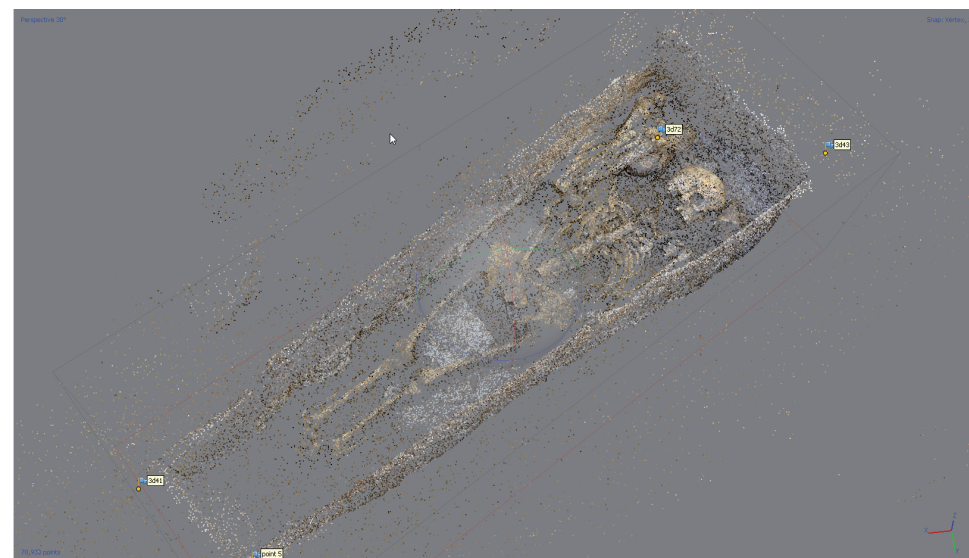


Fig. 9 Ajout des points de références dans le nuage de points pour le géo-référencement



Fig. 10 Génération du nuage dense

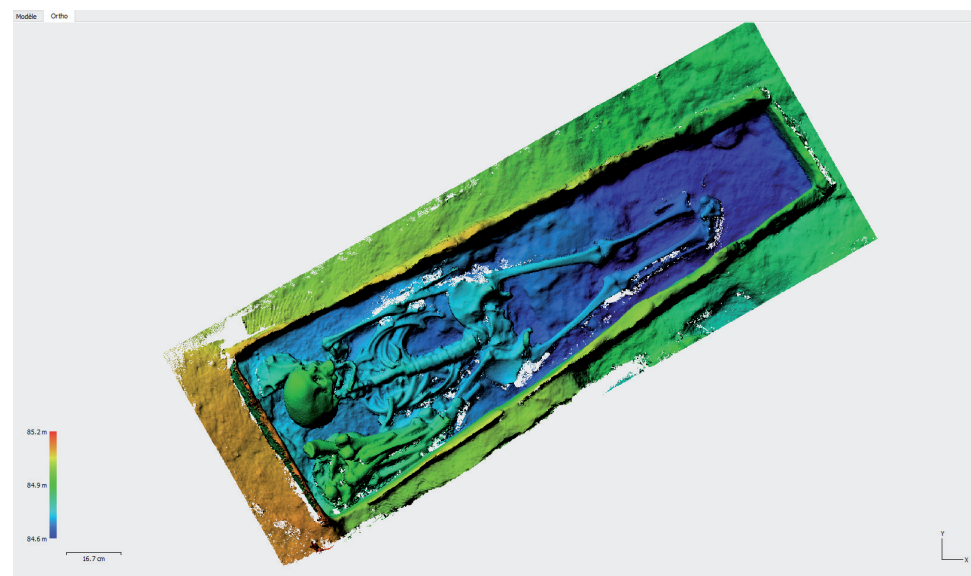


Fig. 12 Génération du MNE

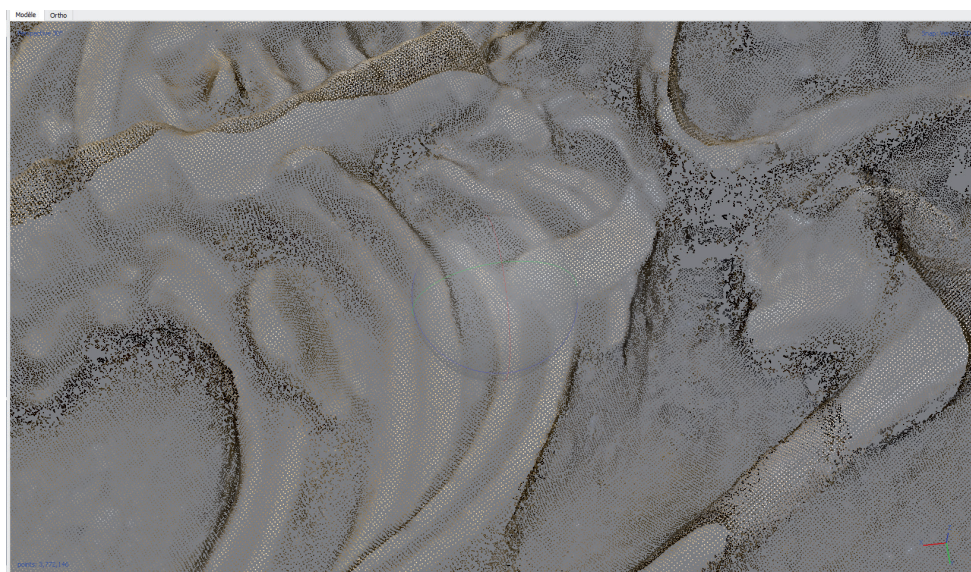


Fig. 11 Détail du nuage dense



Fig. 13 Génération d'une ortho-image

Dans la suite des étapes de la modélisation 3D nous avons la construction du maillage à partir du nuage dense. Il s'agit de réaliser une structure solide formée par un assemblage de triangles regroupant un certains nombres de points proches et cohérents. Elle s'apparente à une structure en fils de fer pour la réalisation d'un moulage (**Fig. 14** et **Fig. 15**).

Cette forme servira de support à la dernière étape de la modélisation, la texture. Il s'agit de donner un aspect photo-réaliste au modèle en prélevant certaines parties des photos pour qu'elles épousent le modèle (**Fig. 16**).

Ces deux dernières étapes de maillage et de texture ne sont pas nécessaire à la production de la documentation scientifique mais peuvent aider à la lecture de la scène modélisée.

Les calculs ont été réalisés en différentes étapes pour répondre aux besoins de la fouille. Une fois la prise de vue effectuée, on procède à la vérification des images et au calcul d'aéro-triangulation en basse définition. Cela permet de s'assurer rapidement que la scène est correctement couverte, auquel cas il faudrait compléter la prise de vue avant la suite de la fouille. Il est aussi crucial de vérifier le géo-référencement. Certaines cibles pourraient avoir bougé ou n'être pas assez représentées dans le jeu de photos. La vérification porte sur la valeur de décalage entre la géométrie du modèle et le canevas topographique. Elle concerne aussi la bonne répartition des cibles autour la scène modélisée. En effet, ces deux points ne sont pas directement liés et une valeur de décalage raisonnable n'implique pas forcément une bonne répartition des cibles. Le géo-référencement de la scène n'est donc pas valable pour autant.

La seconde étape est de réaliser une ortho-image en plan (vue verticale de la scène) à partir du nuage dense et du MNE, pour renseigner graphiquement les vestiges dans le plan SIG. Des calculs en résolution moyenne sont suffisants à ce stade. Par contre il est important de désactiver toute interpolation dans les calculs. Celle-ci est souvent activée par défaut. Les ortho-images ont été réalisées à une résolution de 1 mm par pixel pour les vues générales et de 0,2 mm par pixel pour les vues détaillées de chaque sépulture (**Fig. 17** et **Fig. 18**).

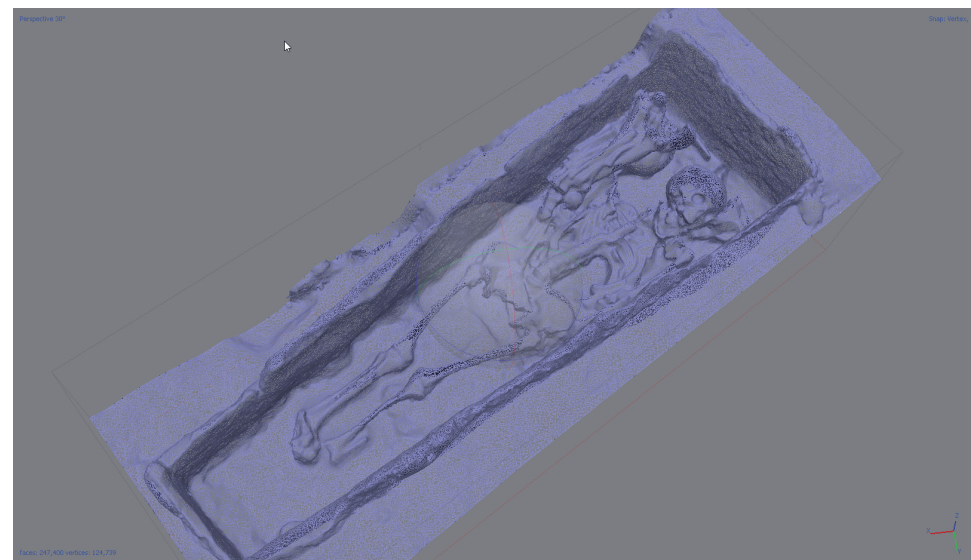


Fig. 14 Génération du maillage

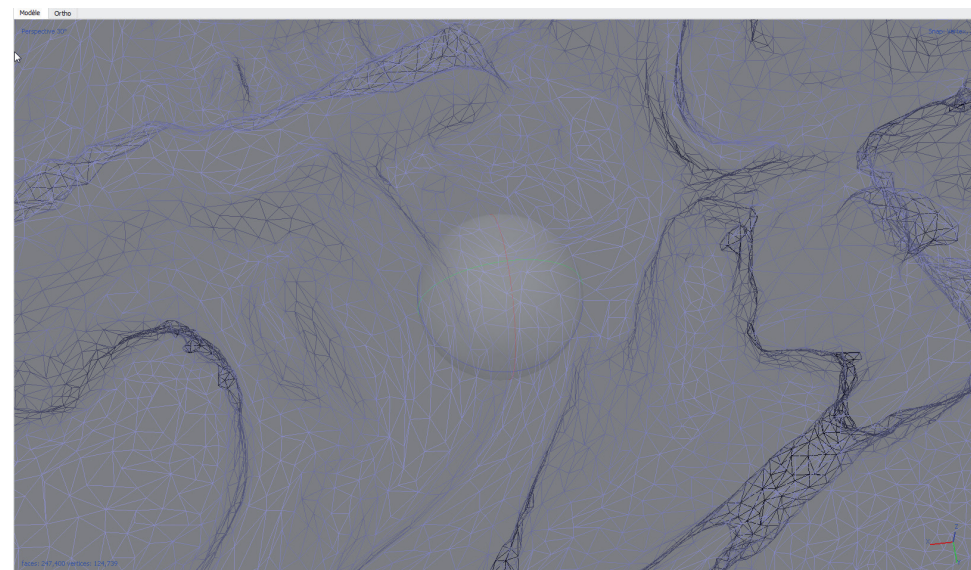


Fig. 15 Détail du maillage



Fig. 16 Génération du modèle texturé



Fig. 18 Détail d'une ortho-image de sépulture

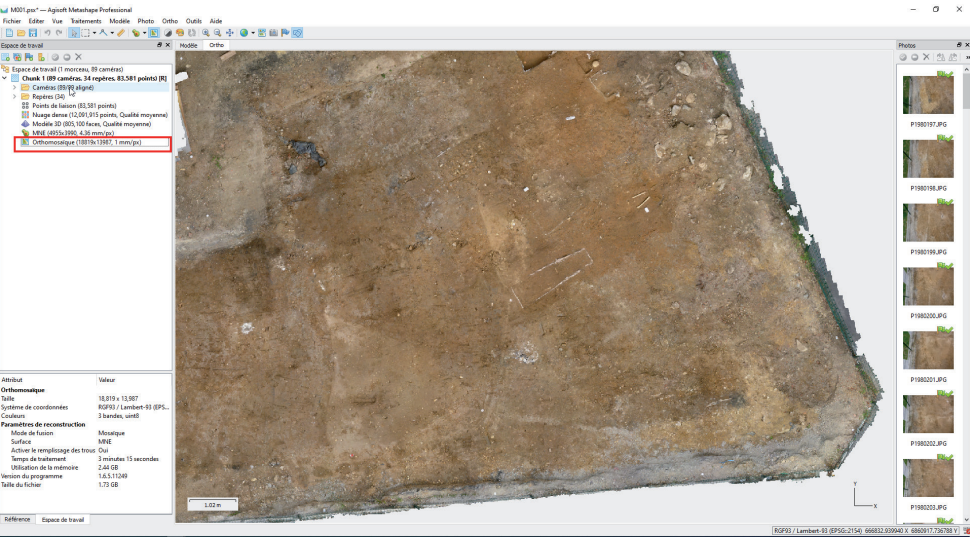


Fig. 17 Ortho-image d'une vue générale individuelle

2.4.2 Exploitation des modélisations 3D

La modélisation en 3 dimensions offre une archive riche, qui permet de produire une documentation variée.

L'ortho-image est certainement le document le plus utilisé en archéologie. Il se substitue au relevé manuel classique sur papier millimétré. Il s'agit de la reproduction fidèle de tous les éléments visibles d'une scène dans un plan orthonormé. Un plan de projection est défini, il sera vertical ou horizontal et permettra de représenter tous les vestiges se trouvant dans son champ. Cette représentation est brute, elle nécessite l'intervention de l'archéologue pour être interprétée, décrite et commentée. Habituellement cette reprise de l'ortho-image se fait sur une impression papier. Dans notre démarche de dématérialisation de la documentation, nous faisons le choix ici de traiter l'image directement dans le SIG. Ce dernier permet de représenter graphiquement les vestiges tout en y associant les observations de l'archéologue. Le plan général de la fouille est ainsi enrichi en temps réel pour permettre un meilleur suivi et la définition des stratégies de fouille. À ce stade, seules les polygones généraux du dessin sont réalisés. Les détails ainsi que l'esthétique globale seront repris en post-fouille. Nous en parlerons plus longuement dans les chapitres suivants.

Le MNE est une mine d'information. En effet, il permet de générer l'ortho-image décrite ci-dessus mais il permet aussi d'éditer les profils des sépultures. Il existe différentes solutions pour les produire. Tout d'abord grâce au logiciel Metashape où nous avons la possibilité de calculer un profil à partir d'un axe tracé sur le MNE (Fig. 19).

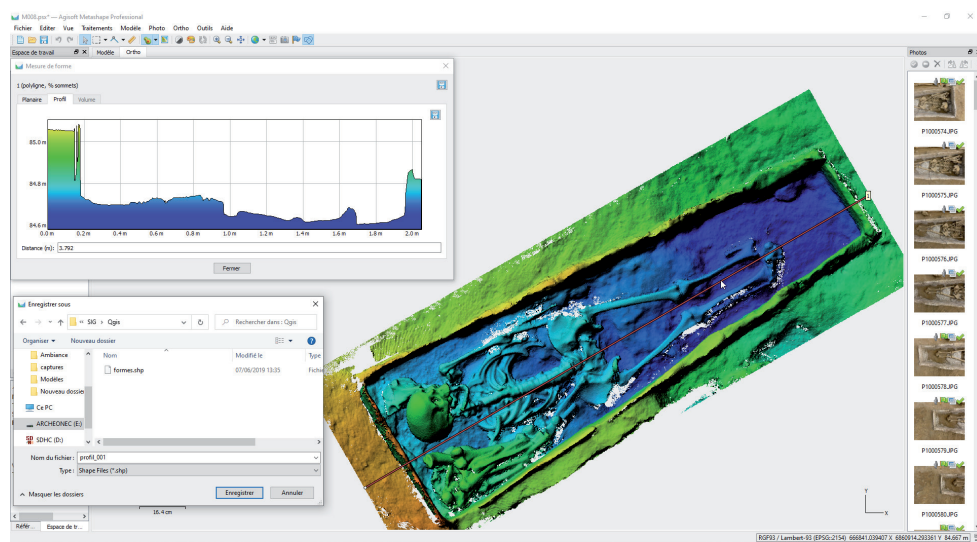


Fig. 19 Implantation d'un axe directement dans Metashape

Le résultat est exporté sous la forme d'un fichier vectoriel (format shape) exploitable dans QGIS. Toujours dans Metashape, nous pouvons créer une projection en coupe selon un plan défini par un axe. Le modèle 3D sera tronqué pour ne conserver que les éléments que l'on souhaite voir apparaître dans la projection (Fig. 20 et Fig. 21).



Fig. 20 Découpe du modèle selon un axe



Fig. 21 Vue oblique du modèle découpé

Le résultat est une ortho-image géo-référencée qui se superposera au fichier shape et permettra d'enrichir le profil brut réalisé à partir de MNE (Fig. 22).

L'ortho-image en plan de la sépulture sera aussi utilisée pour renseigner le profil réalisé. Le calcul d'azimut de l'axe (angle d'inclinaison par rapport au nord) dans QGIS sera utilisé pour mettre en parallèle la vue en plan et le profil (Fig. 23 et Fig. 24).

La réalisation des profils bruts dans Metashape pose encore quelques soucis. L'importation des axes depuis Qgis ne fonctionne pas correctement. Or, il est plus efficace de créer les axes dans Qgis afin d'utiliser toujours le même axe de projection pour une même sépulture au fur et à mesure des étapes de fouille. La solution qui a été retenue est de réaliser les profils bruts directement dans Qgis avec l'outil « Profile tool ». Le résultat est enregistré en shape et traité directement dans Qgis comme décrit ci-dessus.

Le second problème, valable autant pour Metashape que pour Qgis, est le dessin du profil. En effet, un profil réalisé à partir d'un MNE ne crée qu'un point par position sur l'axe. Or, dans le cas d'objet complexe le relief du dessous peut être masqué par des éléments se situant au-dessus (Fig. 25).

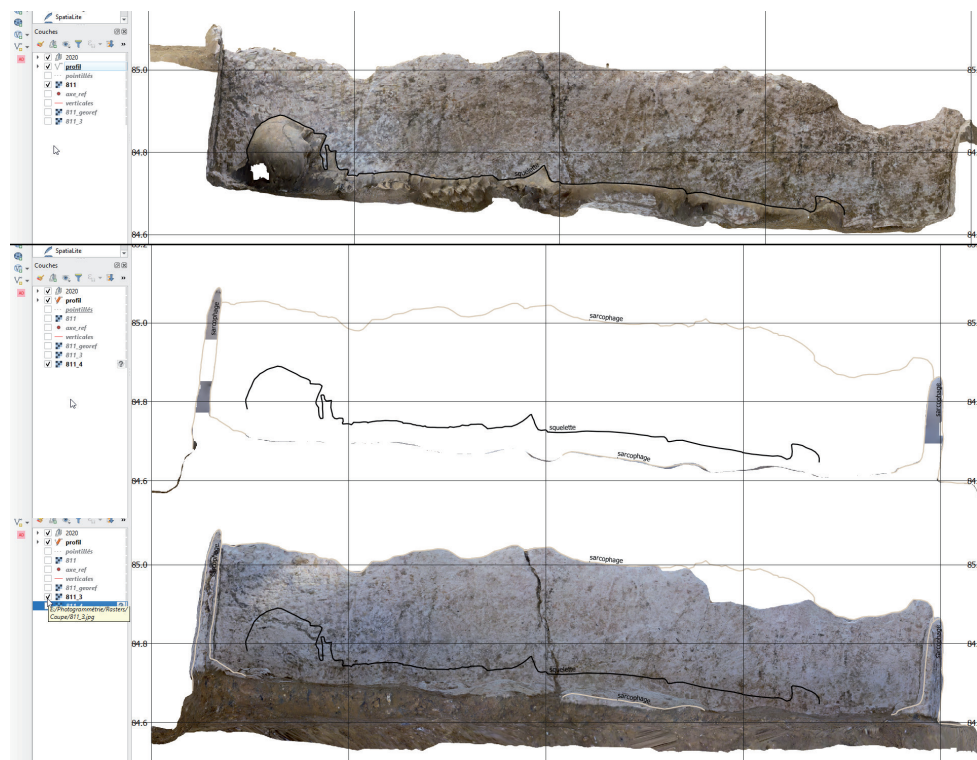


Fig. 22 Affichage du profil dans QGIS

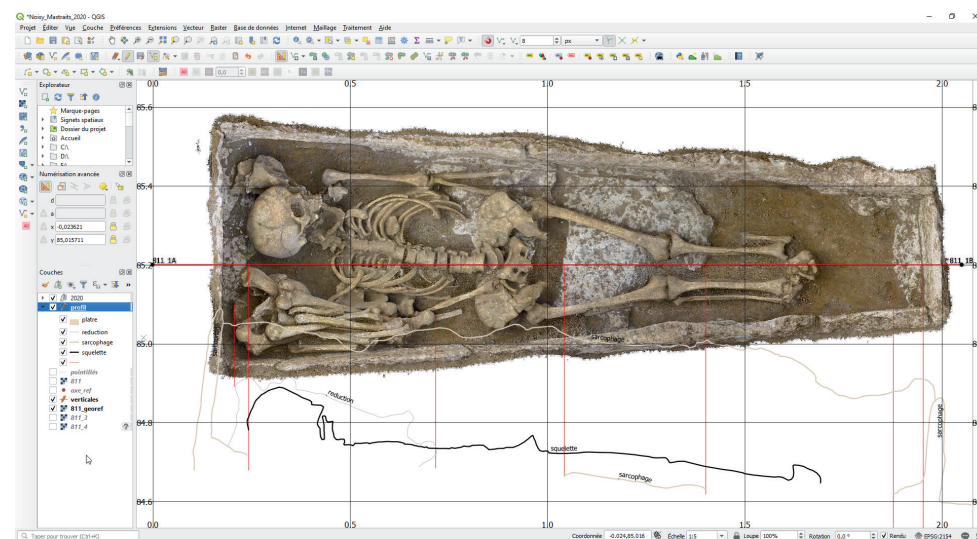


Fig. 23 Confrontation du plan et du profil dans le canevas du projet

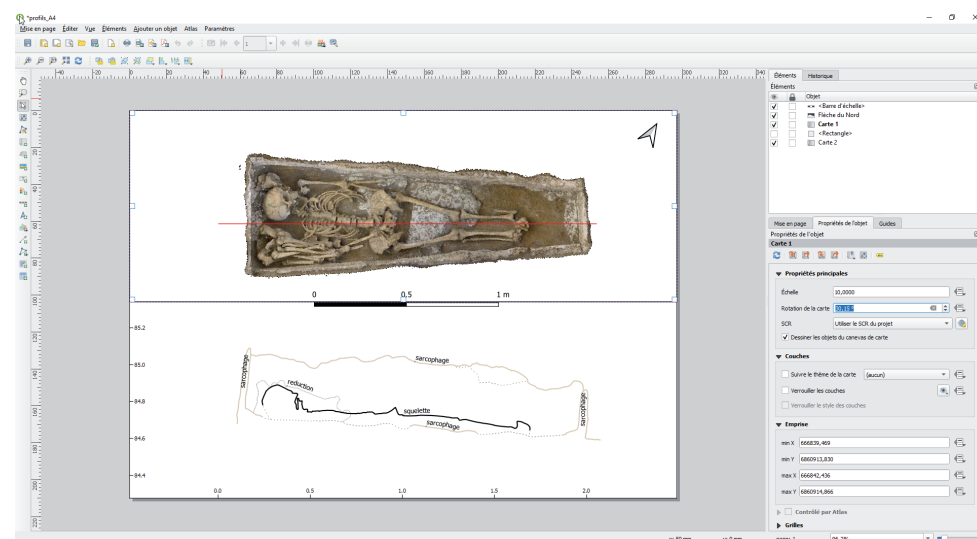


Fig. 24 Proposition d'illustration associant plan et profil dans la mise en page

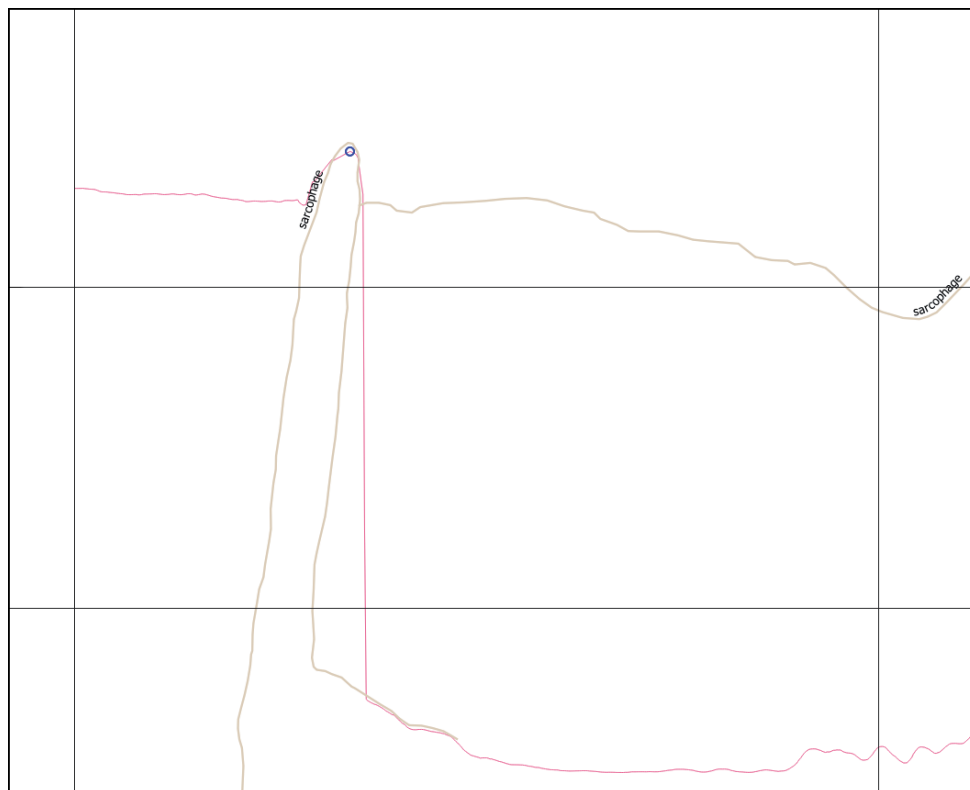


Fig.25 Détail du profil de la paroi ouest illustrant le problème causé par un surplomb

Les ortho-images réalisées dans Metashape ont permis de contourner le problème et de compléter ainsi le profil en jaune.

Une solution alternative a été envisagée avec l'aide du logiciel gratuit Cloud Compare. Il permet de travailler directement avec le nuage de points dense et de réaliser des profils complexes avec le détail des éléments inclinés ou rentrants. Il oblige néanmoins à un certain nombre de manipulations supplémentaires, en particulier concernant le géo-référencement. Par ailleurs, Cloud Compare ne supporte pas les valeurs à 6 chiffres ou plus, issues de la topographie, il faut donc les tronquer. Or, toutes ces manipulations peuvent comporter un risque de perte du géo-référencement ou de déformations des documents en résultant. Néanmoins, nous n'excluons pas cette solution qui peut être un très bon complément dans des cas difficiles.

3. Structuration des données attributaires et spatiales

3.1 La base de données

Lors des opérations archéologiques précédentes sur la nécropole de Noisy-le-Grand, les données ont été saisies sur un fichier FileMaker conçu pour l'enregistrement archéo-anthropologique, qui compte actuellement 762 fiches créées en 15 ans. Les pratiques ont évolué et la dimension spatiale des données est devenue indispensable, rendant de fait l'utilisation de FileMaker insuffisante. Les analyses à l'échelle de la nécropole seront possibles après l'intégration des données récentes et l'harmonisation du corpus au sein d'une base de données dédiée, qui était donc à créer.

3.1.1 Principes retenus

Parallèlement au projet de base de données lié au contexte particulier de la nécropole de Noisy-le-Grand, un projet de développement d'une base de données spatiales qui s'articule et prolonge les travaux menés par la DST (chargée de mission : Anne Moreau, **Moreau 2016**) et le réseau des référents SIG est actuellement mené. Une structuration des données spatiales minimales est désormais systématisée pour les opérations archéologiques de l'Inrap. Ce sont ainsi six couches géométriques (emprise - polygone, ouverture - polygone, axe - ligne, log - point, poly - polygone, point - point) qui constituent la base de l'enregistrement spatial. Le projet de base de données, baptisé BADASS pour **Base Archéologique de Données Attributaires et Spatiales**, complète ces six couches par des tables descriptives scientifiques dans un but d'analyses archéologiques et selon un enregistrement classique (autour de l'unité stratigraphique, US, **Galinié, Randoïn 1987**). La nouveauté de ce projet est l'intégration et l'interaction immédiate entre les données spatiales (issues majoritairement des levés topographiques) sous la forme des "Six couches" et l'enregistrement archéologique. Par le biais de déclencheurs (également appelés *triggers*⁶, **Lozano & Georges 2019**), instructions SQL écrites dans la base de données, les géométries issues des levés topographiques et contenues dans les "Six couches" sont distribuées, selon leur nature, sur chacune des tables dévolues à l'analyse archéologique. Ce procédé dispense les archéologues de la gestion, plus ou moins évidente et/ou maîtrisée, des relations et mises à jour entre les données issues de deux sources d'acquisition parallèles : l'acquisition spatiale (topographie et relevés de terrain) et l'acquisition descriptive. Se voulant la plus souple possible, la structuration de BADASS doit permettre l'adjonction de tables dont la vocation est plus spécialisée. Ainsi, elle constituera le noyau de structuration sur lequel les tables liées à l'enregistrement des données de la fouille de Noisy-le-Grand orientées anthropologie, viendront s'appuyer.

3.1.2 Technologie

Les technologies employées pour la réalisation de cette base de données doivent donc permettre la gestion des données spatiales, des données attributaires, mais également l'interopérabilité ainsi que la pérennité des données. De fait, seuls des formats libres offrent aujourd'hui ces garanties, et en particulier ceux employant le langage SQL. PostGis, interface spatiale de PostgreSQL, et Spatialite, interface spatiale de SQLite, sont tous deux des moteurs de base de données basés sur SQL pouvant répondre à ces critères. Pour l'utilisateur final, leur principale différence repose sur leur administration, PostGis nécessitant la mise en place d'un serveur de base de données avec un hébergement dédié, alors que Spatialite se présente sous la forme d'un unique fichier pouvant être aisément déplacé, sauvegardé, conservé par l'utilisateur. Les fonctionnalités de Spatialite sont cependant plus limitées que PostGis, notamment en matière de partage et d'accès aux données via le réseau, Spatialite ne supportant pas le multi utilisateur⁷, mais également d'automatismes. Il ne semble pas être en outre en mesure de traiter autant de données que Postgre. Cependant, une base de données Spatialite peut contenir 281 terabyte de données et une table peut compter jusqu'à 2⁶⁴ enregistrements⁸, ce qui devrait largement suffire pour les besoins de traitement des données d'un site archéologique.

Une des difficultés rencontrée par l'usage de ces deux SGBDR est l'absence d'interface grand public pour la gestion des données, la saisie, l'interrogation et la modélisation des formulaires, contrairement à des logiciels tels que Filemaker ou Access. À l'origine, ils sont destinés à être utilisés par d'autres logiciels qui se chargent de faire l'interface entre la base de données et l'utilisateur. Ces logiciels peuvent être développés spécifiquement, mais des logiciels grands publics sont en mesure d'interroger et de modifier ces bases de données, sans trop de difficulté.

C'est le cas du logiciel QGIS, qui permet l'interrogation et la modification de bases Spatialite et Postgresql, et ainsi de gérer l'ensemble des informations spatiales et attributaires, en se dispensant d'un logiciel de gestion de base tel que Access ou Libre Office Base. Cependant, les outils de conception des formulaires dans Qgis ne sont pas adaptés à des bases de données relationnelles complexes, et à la mise en évidence de relations multiples, sans une bonne connaissance du SQL. Il faut utiliser pour cela des outils de conception de formulaire tels que QT Creator, et employer le langage Python pour intégrer des fonctionnalités plus complexes sous forme d'extension à Qgis. Notons également que Qgis ne fonctionne que sous Windows, MacOS et Linux⁹. Qfield, une application de saisie de donnée simple couplée à un projet Qgis est disponible sous android, mais là encore, l'utilisation de formulaires complexes n'est pas possible.

⁷ La notion de multiutilisateur désigne la capacité d'une base de donnée à recevoir et traiter de multiples requêtes simultanément. Dans les faits, une base multi utilisateur sera capable de stocker les requêtes au fur et à mesure de leur réception et les traitera l'une après l'autre, tandis qu'une base mono utilisateur sera verrouillée tant que la requête en cours n'aura pas été traitée, toute autre requête arrivant à la base au même moment étant perdue. Le traitement d'une simple requête d'interrogation d'une base de donnée (tel qu'afficher la liste de tous les faits d'un site archéologique) ne prend que quelques millisecondes, ce qui est faible, mais peut poser problème si le nombre d'utilisateurs est grand, que la base est partagée sur un vaste réseau, que la base est importante et donc les requêtes lourdes, augmentant ainsi le risque de simultanéité des requêtes.

⁸ <https://www.sqlite.org/limits.html>

⁹ Ce qui est déjà beaucoup, il faut avouer...

Ainsi, la saisie sur terrain dans Qgis, à l'aide d'une tablette, ne peut être réalisée que si celle-ci embarque un de ces trois systèmes d'exploitation, ce qui implique un coût matériel élevé¹⁰.

La mise en place de formulaires web est une approche qui permet, dans le cadre de l'acquisition des données sur le terrain, d'enregistrer l'information attributaire depuis n'importe quel support, même sur smartphone, dès lors qu'un accès au réseau est possible. Cependant, le temps de développement des formulaires peut être relativement important, mais le maintien du code est relativement aisé, les langages employés très populaires et connus de nombreux développeurs.

Si un serveur web est indispensable, il peut tout à fait être hébergé sur un ordinateur localement, sur site, le chantier devant dès lors disposer d'un routeur wifi sur lequel se connecteront tous les terminaux de saisie (smartphone, tablette), ainsi que l'ordinateur hébergeant la base de données et les formulaires web. *A contrario*, l'hébergement de la base de données sur internet permet une disponibilité en tous lieux, dès lors qu'un accès web est possible. En tout état de cause, les choix techniques devront s'appuyer sur les possibilités offertes localement, en fonction du chantier et des besoins exprimés. Dans le cadre de la nécropole numérique, les deux choix sont possibles.

3.1.3 Modèles de Conception de données

Le travail réalisé cette année a permis de mener la réflexion autour des outils à utiliser, et de définir un Modèle de Conception de Données (MCD), véritable architecture de la base, permettant de visualiser l'organisation des données, les champs appelés, leur type, etc. Ce travail reste encore à affiner, mais déjà, il est possible de présenter les deux idées d'architecture retenues. Si seules quelques tables diffèrent, ces choix s'avèrent extrêmement importants pour le fonctionnement de la base.

Un premier MCD apparaît assez classique. Il s'appuie sur un enregistrement par US et par fait notamment, intégrant aussi des tables pour l'enregistrement des photos, des minutes, des sondages, du mobilier, etc. Plusieurs tables permettent de réaliser les liens entre ces différents éléments. La liste des tables et leur descriptif rapide est présentée ci-contre (**Fig.26**).

Afin de générer automatiquement la structure d'accueil des futures données archéologiques, l'intégralité du code SQL a été rédigé (**Fig.27**). Pour en synthétiser les concepts, un diagramme simplifié de la structure a été établi (**Fig.28**).

Nom de la table	Description succincte	Géométrie
emprise	table des 6 couches destinée à enregistrer la géométrie de l'emprise	multi polygone
ouverture	table des 6 couches destinée à enregistrer les sondages, tranchées, etc	multi polygone
poly	table des 6 couches destinée à enregistrer la géométrie des faits, us, etc.	multi polygone
point	table des 6 couches destinées à enregistrer tout point (isolat par exemple)	point
axe	table des 6 couches matérialisant les axes de coupe	ligne
plog	table des 6 couches destinée à recevoir l'emplacement des logs géomorphologiques, voire de prélèvements	point
coupe_axe	table de lien entre les minutes et les axes des coupes	n.a.
coupe_line	table permettant de représenter des limites d'us en coupe	multi ligne
coupe_poly	table associant poly et coupes pour le dessin des coupes	multi polygone
t_fait	enregistrement des faits	multi polygone
t_us	enregistrement des us	multi polygone
t_ens	enregistrement des ensembles	multi polygone
t_sondage	enregistrement des sondages	multi polygone
t_tranchée	enregistrement des tranchées	multi polygone
t_photo	enregistrement des photos	n.a.
t_minute	enregistrement des minutes	n.a.
t_mobilier	enregistrement du mobilier	point
t_seq	enregistrement des séquences	n.a.
t_phase	enregistrement des phases	n.a.
t_periode	enregistrement des périodes	n.a.
t_log	enregistrement des logs	n.a.
t_axe	enregistrement des axes	ligne
j_rel_axe	lien entre les axes, tranchées, sondages, us, faits	n.a.
j_us_log	lien entre les us et les logs	n.a.
j_rel_us	lien entre us. Permet de définir les relations sous/synchrone	n.a.
j_rel_sondage	lien entre les sondages et les faits ou us	n.a.
j_rel_ens	lien entre les ensembles et les faits ou us	n.a.
j_seq_phase	lien entre sequence et phases	n.a.
j_phase_per	lien entre phase et période	n.a.
j_rel_minute	lien entre minute et sondages, tranchées, fait, us ou mobilier	n.a.
j_rel_photo	lien entre photo et minute, sondage, tranchée, us, fait, ou iso	n.a.

Fig.26 Tableau récapitulatif des tables constituant BADASS v1

Fig.27 Code SQL permettant de générer BADASS v1



↓ pages suivantes

¹⁰ Il faut compter environ 2500 € pour bénéficier d'une tablette durcie 10 à 12 pouces sous Windows.

```

1  /*
2
3  BADASS : Base Archéologique de Données Attributaires et Spatiales
4
5  Auteur : Caroline Font, Thomas Guillemard, Florent Mercey. Inrap, Saint-Cyr-en-Val,
6  2020.
7
8  Remarques diverses :
9  - Les FOREIGN KEY sont commentées afin de ne pas en subir la contrainte, mais de
10 garder le principe du MCD
11
12 */
13
14 -- LES 6 COUCHES
15
16 -- EMPRISE : unité technique ; emprises de l'opération
17 DROP TABLE IF EXISTS emprise; -- Supprime la table (et ses données) si elle existe
18 déjà.
19 CREATE TABLE emprise(
20     "id emprise" INTEGER PRIMARY KEY,
21     "numope" TEXT,
22     "nomope" TEXT,
23     "typope" TEXT,
24     "typemp" TEXT,
25     "numoa" TEXT,
26     "numprescr" TEXT,
27     "ro" TEXT,
28     "annee" INTEGER,
29     "surface" REAL
30 );
31 SELECT
32 AddGeometryColumn ('emprise','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0); -- ajoute la
33 colonne géométrie. Attention, fonction de Spatialite uniquement !!!
34
35 -- OUVERTURE : unité technique : tout creusement réalisé à des fins d'observation
36 (sondage, tranchée, décapage...)
37 DROP TABLE IF EXISTS ouverture;
38 CREATE TABLE ouverture(
39     "id ouverture" INTEGER PRIMARY KEY,
40     "numouvert" TEXT,
41     "typouvert" TEXT,
42     "surface" REAL
43 );
44 SELECT
45 AddGeometryColumn ('ouverture','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
46
47 -- POLY : unité d'observation archéologique représentée sous forme de polygone (us,
48 fait, ens...)
49 DROP TABLE IF EXISTS poly;
50 CREATE TABLE poly(
51     "id_poly" INTEGER PRIMARY KEY,
52     "numpoly" INTEGER,
53     "typoly" TEXT,
54     "interpret" TEXT,
55     "datedebut" INTEGER,
56     "datefin" INTEGER
57 );
58 SELECT
59 AddGeometryColumn ('poly','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
60
61 -- POINT : unité d'observation archéologique représentée sous forme de point
62 (isolat...)
63 DROP TABLE IF EXISTS point;
64 CREATE TABLE point(
65     "id point" INTEGER PRIMARY KEY,
66     "numpoint" INTEGER,
67     "typoint" TEXT,
68     "interpret" TEXT,
69     "datedebut" INTEGER,
70     "datefin" INTEGER,
71     "z_point" REAL

```

```

72 );
73 SELECT
74 AddGeometryColumn ('point','geometry',2154,'POINT','XY',0);
75
76 -- AXE : unité technique matérialisant l'axe de coupe, sous forme de ligne
77 DROP TABLE IF EXISTS axe;
78 CREATE TABLE axe(
79     "id axe" INTEGER PRIMARY KEY,
80     "numaxe" TEXT,
81     "typaxe" TEXT,
82     "z axe" REAL,
83     "longu_axe" REAL
84 );
85 SELECT
86 AddGeometryColumn ('axe','geometry',2154,'LINESTRING','XY',0);
87
88 -- LOG : unité technique ponctuelle localisant l'emplacement des prélèvements, des
89 logs géomorphologiques (lieux d'observation ponctuels)
90 DROP TABLE IF EXISTS plog;
91 CREATE TABLE plog(
92     "id_plog" INTEGER PRIMARY KEY,
93     "numplog" TEXT,
94     "typlog" TEXT,
95     "alti" REAL,
96     "typalti" TEXT
97 );
98 SELECT
99 AddGeometryColumn ('plog','geometry',2154,'POINT','XY',0);
100
101 -- LES COUPES DANS QGIS : tables nécessaires pour réaliser les coupes des faits dans
102 QGIS (Caro POWAAAAA)
103
104 -- La table coupe_axe
105 DROP TABLE IF EXISTS coupe_axe;
106 CREATE TABLE coupe_axe(
107     "id_axe" INTEGER PRIMARY KEY,
108     "numminute" INTEGER
109 );
110 -- FOREIGN KEY("id_axe") REFERENCES "axe"("id_axe")
111 SELECT
112 AddGeometryColumn ('coupe_axe','geometry',2154,'LINESTRING','XY',0);
113
114 -- La table coupe_line
115 DROP TABLE IF EXISTS coupe_line;
116 CREATE TABLE coupe_line(
117     "id_cpline" INTEGER PRIMARY KEY,
118     "id_axe" INTEGER,
119     "numfait" INTEGER,
120     "numus" INTEGER,
121     "typline" TEXT
122 );
123 --FOREIGN KEY("id_axe") REFERENCES "coupe_axe"("id_axe"),
124 --FOREIGN KEY("numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait"),
125 --FOREIGN KEY("numus") REFERENCES "t_us"("u_numus")
126 SELECT
127 AddGeometryColumn ('coupe_line','geometry',2154,'MULTILINESTRING','XY',0); -- mieux
128 vaut prévoir une géométrie multiple dans le cas où une US négative serait
129 interrompue (sondage, perturbation diverse)
130
131 -- La table coupe_poly
132 DROP TABLE IF EXISTS coupe_poly;
133 CREATE TABLE coupe_poly(
134     "id_cpoly" INTEGER PRIMARY KEY,
135     "id_axe" INTEGER,
136     "numfait" INTEGER,
137     "numus" INTEGER,
138     "typolyc" TEXT,
139     "detail" TEXT
140 );
141 --FOREIGN KEY("id_axe") REFERENCES "coupe_axe"("id_axe"),
142 --FOREIGN KEY("numfait") REFERENCES "fait"("f_numfait"),
143 --FOREIGN KEY("numus") REFERENCES "us"("u_numus")
144

```

```

136 SELECT
137 AddGeometryColumn ('coupe_poly','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
138
139
140 -- LA BASE ARCHEO : les tables des faits, sondage, us, etc. La géométrie peut être
    associée.
141
142 -- FAIT : la table des faits archéologique qui récupère la géométrie par trigger de
    la table poly (6 couches) pour "typoly" LIKE 'fait'
143 DROP TABLE IF EXISTS t_fait;
144 CREATE TABLE t_fait(
145     "f_id" INTEGER PRIMARY KEY,
146     "f_numfait" INTEGER UNIQUE,
147     "f_interpret_alter" TEXT,
148     "f_interpret" TEXT,
149     "f_douteux" INTEGER,
150     "f_equiv_diag" TEXT,
151     "f_statut" TEXT,
152     "f_rais_annule" TEXT,
153     "f_fouille" INTEGER,
154     "f_enr_fini" INTEGER,
155     "f_relev_fini" INTEGER,
156     "f_photo_fini" INTEGER,
157     "f_topo_fini" INTEGER,
158     "f_profil" TEXT,
159     "f_forme" TEXT,
160     "f_orient" TEXT,
161     "f_orient_calc" REAL,
162     "f_descrip" REAL,
163     "f_prof_app" REAL,
164     "f_diam" REAL,
165     "f_dim_max" REAL,
166     "f_dim_min" REAL,
167     "f_epais" REAL,
168     "f_prof_haut" REAL,
169     "f_periode" REAL,
170     "f_note" TEXT
171 );
172 SELECT
173 AddGeometryColumn ('t_fait','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
174
175 -- US : unité stratigraphique qui récupère la géométrie par trigger de la table
    poly (6 couches) pour "typoly" LIKE 'us'
176 DROP TABLE IF EXISTS t_us;
177 CREATE TABLE t_us(
178     "u_id" INTEGER PRIMARY KEY,
179     "u_numus" INTEGER UNIQUE,
180     "u_numfait" INTEGER,
181     "u_type_us" TEXT,
182     "u_nature_us" TEXT,
183     "u_interpret" TEXT,
184     "u_datSUP_interpret" INTEGER,
185     "u_datfin_interpret" INTEGER,
186     "u_datSUP_mobilier" INTEGER,
187     "u_datinf_mobilier" INTEGER,
188     "u_datSUP_l4c" INTEGER,
189     "u_datinf_l4c" INTEGER,
190     "u_note_dat" TEXT,
191     "u_forme" TEXT,
192     "u_diam" REAL,
193     "u_dim_max" REAL,
194     "u_dim_min" REAL,
195     "u_prof_app" REAL,
196     "u_zmin" REAL,
197     "u_zmax" REAL,
198     "u_epais" REAL,
199     "u_compo_sediment" TEXT,
200     "u_texture" TEXT,
201     "u_couleur" TEXT,
202     "u_valeur_couleur" TEXT,
203     "u_creator" TEXT,
204     "u_datcreation" DATE,
205     "u_note" TEXT,
206     "u_num_seq" INTEGER,
207     "u_ordre_seq" INTEGER
208     -- FOREIGN KEY("u_numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait")
209 );
210 SELECT
211 AddGeometryColumn ('t_us','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
212
213 -- ENSEMBLE : les ensembles regroupant des faits et/ou des us (bâtiment...)
214 DROP TABLE IF EXISTS t_ens;
215 CREATE TABLE t_ens(
216     "ens_id" INTEGER PRIMARY KEY,
217     "ens_num" INTEGER,
218     "ens_description" TEXT,
219     "ens_note" TEXT
220 );
221 SELECT
222 AddGeometryColumn ('t_ens','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
223
224 -- SONDAGE : pour les ouvertures (unité technique) de type sondage qui récupère la
    géométrie par trigger de la table ouverture (6 couches) pour "typouvert" LIKE
    'sondage'
225 DROP TABLE IF EXISTS t_sondage;
226 CREATE TABLE t_sondage(
227     "sd_id" INTEGER PRIMARY KEY,
228     "sd_num" INTEGER UNIQUE,
229     "sd_numtr" INTEGER,
230     "sd_type" TEXT,
231     "sd_prof" REAL,
232     "sd_note" TEXT
233     -- FOREIGN KEY("sd_numtr") REFERENCES t_tranchee("tr_num")
234 );
235 SELECT
236 AddGeometryColumn ('t_sondage','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
237
238 -- TRANCHEE : pour les ouvertures (unité technique) de type tranchée qui récupère la
    géométrie par trigger de la table ouverture (6 couches) pour "typouvert" LIKE
    'tranchée'
239 DROP TABLE IF EXISTS t_tranchee;
240 CREATE TABLE t_tranchee(
241     "tr_id" INTEGER PRIMARY KEY,
242     "tr_num" INTEGER UNIQUE,
243     "tr_long" REAL,
244     "tr_large" REAL,
245     "tr_prof_max" REAL,
246     "tr_prof_min" REAL
247 );
248 SELECT
249 AddGeometryColumn ('t_tranchee','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
250
251 -- PHOTO : les photographies numériques (pas de géométrie)
252 DROP TABLE IF EXISTS t_photo;
253 CREATE TABLE t_photo(
254     "ph_id" INTEGER PRIMARY KEY,
255     "ph_nom" TEXT,
256     "ph_url" TEXT,
257     "ph_desc" TEXT,
258     "ph_vue_vers" TEXT,
259     "ph_creator" TEXT,
260     "ph_date" DATE,
261     "ph_sujet" TEXT
262 );
263
264 -- MINUTE : les relevés de terrain sur minute de chantier (pas de géométrie)
265 DROP TABLE IF EXISTS t_minute;
266 CREATE TABLE t_minute(
267     "min_id" INTEGER PRIMARY KEY,
268     "min_num" INTEGER,
269     "min_desc" TEXT,
270     "min_echelle" TEXT,
271     "min_contenu" TEXT,
272     "min_creator" TEXT,
273     "min_format" TEXT,
274     "min_support" TEXT,

```

```

275     "min_scan" INTEGER,
276     "min_dao" INTEGER
277 );
278
279 -- MOBILIER : CETTE TABLE EST A REVOIR COMPLETEMENT
280 DROP TABLE IF EXISTS t_mobilier;
281 CREATE TABLE t_mobilier(
282     "mob_id" INTEGER PRIMARY KEY,
283     "mob_numiso" INTEGER,
284     "mob_numpoint" INTEGER,
285     "mob_us" INTEGER,
286     "mob_fait" INTEGER,
287     "mob_iso_lot" INTEGER,
288     "mob_iso_ident" TEXT,
289     "mob_catego" TEXT,
290     "mob_sscatego" TEXT,
291     "mob_alt" REAL,
292     "mob_dim_min" REAL,
293     "mob_dim_max" REAL,
294     "mob_diam" REAL,
295     "mob_masse" REAL,
296     "mob_nr" INTEGER,
297     "mob_pr" INTEGER,
298     "mob_etatcons" TEXT,
299     "mob_note" TEXT,
300     "mob_datesup" INTEGER,
301     "mob_dateinf" INTEGER,
302     "mob_dat_note" TEXT
303     -- FOREIGN KEY("mob_fait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait")
304     -- FOREIGN KEY("mob_us") REFERENCES "t_us"("u_numus")
305 );
306 SELECT
307 AddGeometryColumn ('t_mobilier','geometry',2154,'POINT','XY',0);
308
309 -- SEQUENCE : regroupement des US en séquences stratigraphiques (pas de géométrie)
310 DROP TABLE IF EXISTS t_seq;
311 CREATE TABLE t_seq(
312     "seq_num" INTEGER PRIMARY KEY,
313     "seq_titre" TEXT,
314     "seq_dat" TEXT,
315     "seq_crit_dat" TEXT,
316     "seq_note" TEXT
317 );
318
319 -- PHASE : regroupement des séquences en phases chrono-stratigraphiques (pas de
géométrie)
320 DROP TABLE IF EXISTS t_phase;
321 CREATE TABLE t_phase(
322     "pha_num" INTEGER PRIMARY KEY,
323     "pha_titre" TEXT NOT NULL,
324     "pha_dat" TEXT,
325     "pha_tpg" INTEGER,
326     "pha_tag" INTEGER,
327     "pha_note" TEXT
328 );
329
330 -- PERIODE : regroupement des phases en périodes chronologiques (pas de géométrie)
331 DROP TABLE IF EXISTS t_periode;
332 CREATE TABLE t_periode(
333     "per_num" INTEGER PRIMARY KEY,
334     "per_titre" TEXT UNIQUE,
335     "per_dat" TEXT,
336     "per_note" TEXT
337 );
338
339 -- LOG : les logs enregistrés/décrits sur le terrain qui récupère la géométrie par
trigger de la table plog (6 couches)
340 DROP TABLE IF EXISTS t_log;
341 CREATE TABLE t_log(
342     "id_log" INTEGER PRIMARY KEY,
343     "numlog" INTEGER,
344     "numtr" INTEGER,
345     "numsd" INTEGER,

```

```

346     "alti" REAL,
347     "prof_log" REAL,
348     "zmin_log" REAL,
349     "objectif_log" TEXT,
350     "note_log" TEXT
351     -- FOREIGN KEY("numtr") REFERENCES t_tranchee("tr_num")
352     -- FOREIGN KEY("numsd") REFERENCES t_sondage("sd_num")
353 );
354 SELECT
355 AddGeometryColumn ('t_log','geometry',2154,'POINT','XY',0);
356
357 -- AXE : les axes de relevé de plan et/ou coupe effectués sur le terrain qu'il peut
être nécessaire d'enregistrer (en relation de n à n avec fait, us, sd, tr)
358 DROP TABLE IF EXISTS t_axe;
359 CREATE TABLE t_axe(
360     "id_axe" INTEGER PRIMARY KEY,
361     "a_numaxe" INTEGER,
362     "a_note_axe" TEXT,
363     "a_longaxe" REAL,
364     "a_altiaxe" REAL
365 );
366 SELECT
367 AddGeometryColumn ('t_axe','geometry',2154,'LINESTRING','XY',0);
368
369 -- TABLE DE RELATION / JOINCTION / JOINTURE (de 1 à n, permettant la relation de n à
n entre deux tables utiles comme t_fait et t_photo)
370
371 -- gestion de la relation entre les axes et les sujets du relevé (faits, us, sd, tr)
372 DROP TABLE IF EXISTS j_rel_axe;
373 CREATE TABLE j_rel_axe(
374     "id_rel_axe" INTEGER PRIMARY KEY,
375     "numaxe" INTEGER,
376     "numfait" INTEGER,
377     "numus" INTEGER,
378     "sd_num" INTEGER,
379     "tr_num" INTEGER
380     -- FOREIGN KEY("numaxe") REFERENCES t_axe("a_numaxe")
381     -- FOREIGN KEY("tr_num") REFERENCES t_tranchee("tr_num")
382     -- FOREIGN KEY("sd_num") REFERENCES t_sondage("sd_num")
383     -- FOREIGN KEY("numus") REFERENCES "t_us"("u_numus"),
384     -- FOREIGN KEY("numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait")
385 );
386
387 -- gestion de la relation entre les US et les LOG
388 DROP TABLE IF EXISTS j_us_log;
389 CREATE TABLE j_us_log(
390     "id_us_log" INTEGER PRIMARY KEY,
391     "numus" INTEGER,
392     "numlog" INTEGER,
393     "prof_toit" REAL,
394     "prof_base" REAL,
395     "epais_uslog" REAL,
396     "zmax_uslog" REAL,
397     "zmin_uslog" REAL
398     --FOREIGN KEY("numlog") REFERENCES "t_log"("numlog"),
399     --FOREIGN KEY("numus") REFERENCES "t_us"("u_numus")
400 );
401
402 -- gestion de la relation les US (relation stratigraphique inter-US)
403 DROP TABLE IF EXISTS j_rel_us;
404 CREATE TABLE j_rel_us(
405     "jru_id" INTEGER PRIMARY KEY,
406     "jru_us1" INTEGER,
407     "jru_us2" INTEGER,
408     "jru_typrel" text,
409     "jru_incert" INTEGER
410     -- FOREIGN KEY("jru_us1") REFERENCES t_us("u_numus"),
411     -- FOREIGN KEY("jru_us2") REFERENCES t_us("u_numus")
412 );
413
414 -- gestion de la relation entre les sondages et les US et faits
415 DROP TABLE IF EXISTS j_rel_sondage;
416 CREATE TABLE j_rel_sondage(

```



```

417     "jrs_id" INTEGER PRIMARY KEY,
418     "jrs_numsd" INTEGER,
419     "jrs_numus" INTEGER,
420     "jrs_numfait" INTEGER
421     -- FOREIGN KEY("jrs_numsd") REFERENCES "t_sondage"("sd_num"),
422     -- FOREIGN KEY("jrs_numus") REFERENCES "t_us"("u_numus"),
423     -- FOREIGN KEY("jrs_numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait")
424 );
425
426 --gestion de la relation entre les ensembles et les US et faits
427 DROP TABLE IF EXISTS j_rel_ens;
428 CREATE TABLE j_rel_ens(
429     "jre_id" INTEGER PRIMARY KEY,
430     "jre_numens" INTEGER,
431     "jre_numus" INTEGER,
432     "jre_numfait" INTEGER,
433     "jre_typrel" TEXT,
434     "jre_incert" INTEGER
435     -- FOREIGN KEY("jre_numens") REFERENCES "t_ens"("numens"),
436     -- FOREIGN KEY("jre_numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait"),
437     -- FOREIGN KEY("jre_numus") REFERENCES "t_us"("u_numus")
438 );
439
440 -- gestion de la relation entre les séquences et les phases
441 DROP TABLE IF EXISTS j_seq_phase;
442 CREATE TABLE j_seq_phase(
443     "jsp_id" INTEGER PRIMARY KEY,
444     "jsp_numseq" INTEGER NOT NULL,
445     "jsp_numphase" INTEGER,
446     "jsp_ordre_seq_phase" INTEGER
447     --FOREIGN KEY("jsp_numseq") REFERENCES "t_seq"("seq_num"),
448     --FOREIGN KEY("jsp_numphase") REFERENCES "t_phase"("pha_num")
449 );
450
451 -- gestion de la relation les phases et les périodes
452 DROP TABLE IF EXISTS j_phase_per;
453 CREATE TABLE j_phase_per(
454     "jpp_id" INTEGER PRIMARY KEY,
455     "jpp_numphase" INTEGER,
456     "jpp_numero" INTEGER,
457     "jpp_ordre" INTEGER
458     --FOREIGN KEY("jpp_numero") REFERENCES "t_periode"("per_num"),
459     --FOREIGN KEY("jpp_numphase") REFERENCES "t_phase"("pha_num")
460 );
461
462 -- gestion de la relation entre les minutes de terrain et les US, faits et isolats
463 et les sondages et tranchées
464 DROP TABLE IF EXISTS j_rel_minute;
465 CREATE TABLE j_rel_minute(
466     "jrm_id" INTEGER PRIMARY KEY,
467     "jrm_minminute" INTEGER,
468     "jrm_numsd" INTEGER,
469     "jrm_numtr" INTEGER,
470     "jrm_numfait" INTEGER,
471     "jrm_numus" INTEGER,
472     "jrm_numiso" INTEGER
473     --FOREIGN KEY("jrm_minminute") REFERENCES "t_minute"("min_num"),
474     --FOREIGN KEY("jrm_numsd") REFERENCES "t_sondage"("sd_num"),
475     --FOREIGN KEY("jrm_numtr") REFERENCES "t_tranchee"("tr_num"),
476     --FOREIGN KEY("jrm_numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait"),
477     --FOREIGN KEY("jrm_numus") REFERENCES "t_us"("u_numus"),
478     --FOREIGN KEY("jrm_numiso") REFERENCES "t_mobilier"("mob_numiso"),
479 );
480
481 --gestion de la relation entre les photos et les US, faits et isolats et les
482 sondages et tranchées
483 DROP TABLE IF EXISTS j_rel_photo;
484 CREATE TABLE j_rel_photo(
485     "jrp_id" INTEGER PRIMARY KEY,
486     "jrp_numphoto" INTEGER,
487     "jrp_numsd" INTEGER,
488     "jrp_numtr" INTEGER,
489     "jrp_numfait" INTEGER,

```

```

488     "jrp_numus" INTEGER,
489     "jrp_numiso" INTEGER
490     --FOREIGN KEY("jrp_numphoto") REFERENCES "t_photo"("ph_id"),
491     --FOREIGN KEY("jrp_numsd") REFERENCES "t_sondage"("sd_num"),
492     --FOREIGN KEY("jrp_numtr") REFERENCES "t_tranchee"("tr_num"),
493     --FOREIGN KEY("jrp_numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait"),
494     --FOREIGN KEY("jrp_numus") REFERENCES "t_us"("u_numus"),
495     --FOREIGN KEY("jrp_numiso") REFERENCES "t_mobilier"("mob_numiso")
496 );
497
498 /*
499 DROP TABLE IF EXISTS t_composante;
500 CREATE TABLE t_composante(
501     "com_id" INTEGER PRIMARY KEY,
502     "com_numouvert" INTEGER,
503     "com_numplug" INTEGER,
504     "com_numfait" INTEGER,
505     "com_numus" INTEGER,
506     "com_numiso" INTEGER,
507     "com_typcompo" TEXT,
508     "com_note" TEXT
509     --FOREIGN KEY("com_numplug") REFERENCES "plog"("id_plog"),
510     --FOREIGN KEY("com_numouvert") REFERENCES "t_sondage"("sd_num"),
511     --FOREIGN KEY("com_numfait") REFERENCES "t_fait"("f_numfait"),
512     --FOREIGN KEY("com_numus") REFERENCES "t_us"("u_numus"),
513     --FOREIGN KEY("com_numiso") REFERENCES "t_mobilier"("mob_numiso") --> nécessite
514     que chaque mob ait un numero iso. Peut être id_mob
515 );
516
517 DROP TABLE IF EXISTS t_matiere;
518 CREATE TABLE t_matiere(
519     "mat_id" INTEGER PRIMARY KEY,
520     "mat_id_compo" INTEGER,
521     "matiere" TEXT
522     --FOREIGN KEY("mat_id_compo") REFERENCES "composante"("com_id")
523 );
524
525 /*
526 -----
527 -- LES TRIGGERS --
528
529 -- pour les préfixes :
530 -- trg pour TRIGGER
531 -- a pour AFTER
532 -- b pour BEFORE
533 -- i pour INSERT
534 -- u pour UPDATE
535 -- d pour DELETE
536
537
538 -- les triggers à mettre en place pour la table poly (qui doivent mettre à jour les
539 tables t_fait et t_us)
540
541 -- AFTER INSERT
542 -- qui met à jour la table t_fait après CREATION d'une entité dans poly
543 CREATE TRIGGER trgai_poly_maj_t_fait /*déclaration de création d'un nouveau trigger
544 qui a pour nom...*/
545 AFTER INSERT /*qui sera exécuté après l'ajout d'une nouvelle entité*/
546 ON poly /*sur/dans la table*/
547 FOR EACH ROW /*commande obligatoire : pour tous les enregistrement*/
548 WHEN (NEW.typoly = 'fait') /*cette condition permet de restreindre les
549 enregistrements concernés aux seuls 'fait' ; NEW correspond à une copie temporaire
550 des nouveaux éléments de la table t_poly effectuée lors de l'exécution du trigger*/
551 BEGIN /* debut de l'action déclenchée*/
552 UPDATE t_fait /*avec une modification de la table t_fait*/
553 SET geometry = NEW.geometry /*qui redéfinit la valeur du champ "geom" de la table
554 t_fait par la valeur du champ "geom" de la copie temporaire NEW de la table t_poly*/
555 WHERE NEW.numpoly = f_numfait ; /*à chaque fois que la valeur du champ "num_fait" de
556 la table t_fait est égale à la valeur du champ "numpoly" de la copie temporaire NEW
557 de la table t_poly*/
558 END ; /*fin de l'action et fin du trigger*/

```

```

552
553 -- qui met à jour la table t_us après CREATION d'une entité dans poly
554 CREATE TRIGGER trgai_poly_maj_t_us
555     AFTER INSERT
556     ON poly
557 FOR EACH ROW
558 WHEN (NEW.typoly = 'us')
559 BEGIN
560     UPDATE t_us
561     SET geometry = NEW.geometry
562     WHERE NEW.numpoly = u_numus ;
563 END ;
564
565 -- AFTER UPDATE
566 -- qui met à jour la table t_fait après MODIFICATION d'une entité dans poly
567 CREATE TRIGGER trgau_poly_maj_t_fait
568     AFTER UPDATE /*qui sera exécuté après la modification de la géométrie d'une
entité*/
569     ON poly
570 FOR EACH ROW
571 WHEN (NEW.typoly = 'fait')
572 BEGIN
573     UPDATE t_fait
574     SET geometry = NEW.geometry
575     WHERE NEW.numpoly = f_numfait ;
576 END ;
577
578 -- qui met à jour la table t_us après MODIFICATION d'une entité dans poly
579 CREATE TRIGGER trgau_poly_maj_t_us
580     AFTER UPDATE
581     ON poly
582 FOR EACH ROW
583 WHEN (NEW.typoly = 'us')
584 BEGIN
585     UPDATE t_us
586     SET geometry = NEW.geometry
587     WHERE NEW.numpoly = u_numus ;
588 END ;
589
590 -- AFTER DELETE
591 -- qui supprimer une entité de la table t_fait après la SUPPRESSION de l'entité
équivalent dans poly
592 CREATE TRIGGER trgad_poly_maj_t_fait /*déclaration de création d'un nouveau trigger
qui a pour nom...*/
593     AFTER DELETE /*qui sera exécuté après la suppression d'une entité*/
594     ON poly /*sur la table*/
595 FOR EACH ROW /*commande obligatoire : pour tous les enregistrement*/
596 WHEN (OLD.typoly = 'fait') /*cette condition permet de restreindre les
enregistrements concernés aux seuls 'fait' ; OLD correspond à une copie temporaire
des anciens éléments de la table t_poly effectuée lors de l'exécution du trigger*/
597 BEGIN /* debut de l'action déclenchée*/
598     DELETE FROM t_fait /*avec une suppression effectué dans la table t fait*/
599     WHERE OLD.numpoly = f_numfait ; /*à chaque fois que la valeur du champ "num fait" de
la table t fait est égale à la valeur du champ "numpoly" de la copie temporaire OLD
de la table t_poly*/
600 END ; /*fin de l'action et fin du trigger*/
601
602 -- qui supprimer une entité de la table t_us après la SUPPRESSION de l'entité
équivalent dans poly
603 CREATE TRIGGER trgad_poly_maj_t_us
604     AFTER DELETE
605     ON poly
606 FOR EACH ROW
607 WHEN (OLD.typoly = 'us')
608 BEGIN
609     DELETE FROM t_us
610     WHERE OLD.numpoly = u_numus ;
611 END ;
612
613 -- les triggers à mettre en place pour la table t_fait (qui doivent mettre à jour la
table poly)
614
615 -- AFTER INSERT
616 -- on n'en fait pas de celui là car une création d'entité
617 -- dans t_fait ne doit pas forcément induire une création équivalente dans t_poly
618
619 -- AFTER UPDATE
620 CREATE TRIGGER trgau_t_fait_maj_poly /*déclaration de création d'un nouveau trigger
qui a pour nom...*/
621     AFTER UPDATE /*qui sera exécuté après la modification de la géométrie d'une
entité*/
622     ON t_fait /*sur la table*/
623 FOR EACH ROW /*commande obligatoire : pour tous les enregistrement*/
624 BEGIN /* debut de l'action déclenchée*/
625     UPDATE poly /*avec une modification de la table t_poly*/
626     SET geometry = NEW.geometry /*qui redéfinit la valeur du champ "geom" de la table
t_poly par la valeur du champ "geom" de la copie temporaire des nouveaux éléments
NEW de la table t_fait*/
627     WHERE NEW.f_numfait = numpoly AND typoly = 'fait' ; /*pour les entités dont la
valeur du champ "numpoly" de la table t_poly est égale à la valeur du champ
"num fait" de la copie temporaire NEW de la table t_fait et pour lesquels la valeur
'fait' est renseignée dans le champ "typoly"*/
628 END ; /*fin de l'action et fin du trigger*/
629
630 -- AFTER DELETE
631 CREATE TRIGGER trgad_t_fait_maj_poly /*déclaration de création d'un nouveau trigger
qui a pour nom...*/
632     AFTER DELETE /*qui sera exécuté après la suppression d'une entité*/
633     ON t_fait /*sur la table*/
634 FOR EACH ROW /*commande obligatoire : pour tous les enregistrement*/
635 BEGIN /* debut de l'action déclenchée*/
636     DELETE FROM poly /*avec une suppression effectué dans la table t_poly*/
637     WHERE OLD.f_numfait = numpoly AND typoly = 'fait' ; /*des entités dont la valeur du
champ "numpoly" de la table t_poly est égale à la valeur du champ "num fait" de la
copie temporaire NEW de la table t_fait et pour lesquels la valeur 'fait' est
renseignée dans le champ "typoly"*/
638 END ; /*fin de l'action et fin du trigger*/
639
640 -- les triggers à mettre en place pour la table t_us (qui doivent mettre à jour la
table poly)
641 -- AFTER UPDATE
642 CREATE TRIGGER trgau_t_us_maj_poly
643     AFTER UPDATE
644     ON t_us
645 FOR EACH ROW
646 BEGIN
647     UPDATE poly
648     SET geometry = NEW.geometry
649     WHERE NEW.u_numus = numpoly AND typoly = 'us' ;
650 END ;
651
652 -- AFTER DELETE
653 CREATE TRIGGER trgad_t_us_maj_poly
654     AFTER DELETE
655     ON t_us
656 FOR EACH ROW
657 BEGIN
658     DELETE FROM poly
659     WHERE OLD.u_numus = numpoly AND typoly = 'us' ;
660 END ;
661
662 -- les triggers à mettre en place pour la table ouverture (qui doivent mettre à jour
les tables t_sondage et t_tranche)
663
664 -- AFTER INSERT
665 -- qui met à jour la table t_sondage après CREATION d'une entité dans ouverture
666 CREATE TRIGGER trgai_ouverture_maj_t_sondage
667     AFTER INSERT
668     ON ouverture
669 FOR EACH ROW
670 WHEN (NEW.typouvert = 'sondage')
671 BEGIN
672     UPDATE t_sondage
673     SET geometry = NEW.geometry
674     WHERE NEW.numouvert = sd_num ;
675

```

```

676 END ;
677
678 -- qui met à jour la table t_tranchee après CREATION d'une entité dans ouverture
679 CREATE TRIGGER trgai_ouverture_maj_t_tranchee
680 AFTER INSERT
681 ON ouverture
682 FOR EACH ROW
683 WHEN (NEW.typouvert = 'tranchée')
684 BEGIN
685 UPDATE t_tranchee
686 SET geometry = NEW.geometry
687 WHERE NEW.numouvert = tr_num ;
688 END ;
689
690 -- AFTER UPDATE
691 -- qui met à jour la table t_sondage après MODIFICATION d'une entité dans ouverture
692 CREATE TRIGGER trgau_ouverture_maj_t_sondage
693 AFTER UPDATE
694 ON ouverture
695 FOR EACH ROW
696 WHEN (NEW.typouvert = 'sondage')
697 BEGIN
698 UPDATE t_sondage
699 SET geometry = NEW.geometry
700 WHERE NEW.numouvert = sd_num ;
701 END ;
702
703 -- qui met à jour la table t_tranchee après MODIFICATION d'une entité dans ouverture
704 CREATE TRIGGER trgau_ouverture_maj_t_tranchee
705 AFTER UPDATE
706 ON ouverture
707 FOR EACH ROW
708 WHEN (NEW.typouvert = 'tranchée')
709 BEGIN
710 UPDATE t_tranchee
711 SET geometry = NEW.geometry
712 WHERE NEW.numouvert = tr_num ;
713 END ;
714
715 -- AFTER DELETE
716 -- qui supprimer une entité de la table t_sondage après la SUPPRESSION de l'entité
717 -- équivalent dans ouverture
718 CREATE TRIGGER trgad_ouverture_maj_t_sondage
719 AFTER DELETE
720 ON ouverture
721 FOR EACH ROW
722 WHEN (OLD.typouvert = 'sondage')
723 BEGIN
724 DELETE FROM t_sondage
725 WHERE OLD.numouvert = sd_num ;
726 END ;
727
728 -- qui supprimer une entité de la table t_tranchee après la SUPPRESSION de l'entité
729 -- équivalent dans ouverture
730 CREATE TRIGGER trgad_ouverture_maj_t_tranchee
731 AFTER DELETE
732 ON ouverture
733 FOR EACH ROW
734 WHEN (OLD.typouvert = 'tranchée')
735 BEGIN
736 DELETE FROM t_tranchee
737 WHERE OLD.numouvert = tr_num ;
738 END ;
739
740 -- les triggers à mettre en place pour la table t_sondage (qui doivent mettre à jour
741 -- la table ouverture)
742 -- AFTER UPDATE
743 CREATE TRIGGER trgau_t_sondage_maj_ouverture
744 AFTER UPDATE
745 ON t_sondage
746 FOR EACH ROW
747 BEGIN
748 UPDATE ouverture
749 SET geometry = NEW.geometry
750 WHERE NEW.numouvert = sd_num ;
751 END ;
752
753 -- qui met à jour la table t_tranchee après MODIFICATION d'une entité dans ouverture
754 CREATE TRIGGER trgau_t_tranchee_maj_ouverture
755 AFTER UPDATE
756 ON t_tranchee
757 FOR EACH ROW
758 WHEN (NEW.typouvert = 'tranchée')
759 BEGIN
760 UPDATE ouverture
761 SET geometry = NEW.geometry
762 WHERE NEW.numouvert = tr_num ;
763 END ;
764
765 -- AFTER DELETE
766 -- qui supprimer une entité de la table t_sondage après la SUPPRESSION de l'entité
767 -- équivalent dans ouverture
768 CREATE TRIGGER trgad_t_sondage_maj_ouverture
769 AFTER DELETE
770 ON t_sondage
771 FOR EACH ROW
772 WHEN (OLD.typouvert = 'sondage')
773 BEGIN
774 DELETE FROM ouverture
775 WHERE OLD.numouvert = sd_num ;
776 END ;
777
778 -- qui supprimer une entité de la table t_tranchee après la SUPPRESSION de l'entité
779 -- équivalent dans ouverture
780 CREATE TRIGGER trgad_t_tranchee_maj_ouverture
781 AFTER DELETE
782 ON t_tranchee
783 FOR EACH ROW
784 WHEN (OLD.typouvert = 'tranchée')
785 BEGIN
786 DELETE FROM ouverture
787 WHERE OLD.numouvert = tr_num ;
788 END ;
789
790 -- les triggers à mettre en place pour la table t_axe (qui doivent mettre à jour la
791 -- table ouverture)
792 -- AFTER UPDATE
793 CREATE TRIGGER trgau_t_axe_maj_ouverture
794 AFTER UPDATE
795 ON t_axe
796 FOR EACH ROW
797 WHEN (NEW.typouvert = 'axe')
798 BEGIN
799 UPDATE ouverture
800 SET geometry = NEW.geometry
801 WHERE NEW.numouvert = ax_num ;
802 END ;
803
804 -- qui met à jour la table t_tranchee après MODIFICATION d'une entité dans ouverture
805 CREATE TRIGGER trgau_t_tranchee_maj_ouverture
806 AFTER UPDATE
807 ON t_tranchee
808 FOR EACH ROW
809 WHEN (NEW.typouvert = 'tranchée')
810 BEGIN
811 UPDATE ouverture
812 SET geometry = NEW.geometry
813 WHERE NEW.numouvert = tr_num ;
814 END ;
815
816 -- AFTER DELETE
817 -- qui supprimer une entité de la table t_sondage après la SUPPRESSION de l'entité
818 -- équivalent dans ouverture
819 CREATE TRIGGER trgad_t_sondage_maj_ouverture
820 AFTER DELETE
821 ON t_sondage
822 FOR EACH ROW
823 WHEN (OLD.typouvert = 'sondage')
824 BEGIN
825 DELETE FROM ouverture
826 WHERE OLD.numouvert = sd_num ;
827 END ;
828
829 -- qui supprimer une entité de la table t_tranchee après la SUPPRESSION de l'entité
830 -- équivalent dans ouverture
831 CREATE TRIGGER trgad_t_tranchee_maj_ouverture
832 AFTER DELETE
833 ON t_tranchee
834 FOR EACH ROW
835 WHEN (OLD.typouvert = 'tranchée')
836 BEGIN
837 DELETE FROM ouverture
838 WHERE OLD.numouvert = tr_num ;
839 END ;

```

```

746 SET geometry = NEW.geometry
747 WHERE NEW.sd_num = numouvert AND typouvert = 'sondage' ;
748 END ;
749
750 -- AFTER DELETE
751 CREATE TRIGGER trgad_t_sondage_maj_ouverture
752 AFTER DELETE
753 ON t_sondage
754 FOR EACH ROW
755 BEGIN
756 DELETE FROM ouverture
757 WHERE OLD.sd_num = numouvert AND typouvert = 'sondage' ;
758 END ;
759
760 -- les triggers à mettre en place pour la table t_tranchee (qui doivent mettre à
761 -- jour la table ouverture)
762 -- AFTER UPDATE
763 CREATE TRIGGER trgau_t_tranchee_maj_ouverture
764 AFTER UPDATE
765 ON t_tranchee
766 FOR EACH ROW
767 WHEN (NEW.typouvert = 'tranchée')
768 BEGIN
769 UPDATE ouverture
770 SET geometry = NEW.geometry
771 WHERE NEW.tr_num = numouvert AND typouvert = 'tranchée' ;
772 END ;
773
774 -- AFTER DELETE
775 CREATE TRIGGER trgad_t_tranchee_maj_ouverture
776 AFTER DELETE
777 ON t_tranchee
778 FOR EACH ROW
779 WHEN (OLD.tr_num = numouvert AND typouvert = 'tranchée')
780 BEGIN
781 DELETE FROM ouverture
782 WHERE OLD.tr_num = numouvert AND typouvert = 'tranchée' ;
783 END ;
784
785 -- les triggers à mettre en place pour la table axe (qui doivent mettre à jour la
786 -- table ouverture)
787 -- AFTER UPDATE
788 CREATE TRIGGER trgau_axe_maj_ouverture
789 AFTER UPDATE
790 ON t_axe
791 FOR EACH ROW
792 WHEN (NEW.typouvert = 'axe')
793 BEGIN
794 UPDATE ouverture
795 SET geometry = NEW.geometry
796 WHERE NEW.numaxe = a_numaxe ;
797 END ;
798
799 -- qui met à jour la table t_axe après MODIFICATION d'une entité dans axe
800 CREATE TRIGGER trgau_axe_maj_ouverture
801 AFTER UPDATE
802 ON t_axe
803 FOR EACH ROW
804 WHEN (NEW.typouvert = 'axe')
805 BEGIN
806 UPDATE ouverture
807 SET geometry = NEW.geometry
808 WHERE NEW.numaxe = a_numaxe ;
809 END ;
810
811 -- AFTER DELETE
812 -- qui supprimer une entité de la table t_axe après la SUPPRESSION de l'entité
813 -- équivalente dans axe
814 CREATE TRIGGER trgad_axe_maj_ouverture
815 AFTER DELETE
816 ON t_axe
817 FOR EACH ROW
818 WHEN (OLD.numaxe = numouvert AND typouvert = 'axe')
819 BEGIN
820 DELETE FROM ouverture
821 WHERE OLD.numaxe = a_numaxe ;
822 END ;
823
824 -- qui supprimer une entité de la table t_tranchee après la SUPPRESSION de l'entité
825 -- équivalente dans axe
826 CREATE TRIGGER trgad_t_tranchee_maj_ouverture
827 AFTER DELETE
828 ON t_tranchee
829 FOR EACH ROW
830 WHEN (OLD.tr_num = numouvert AND typouvert = 'tranchée')
831 BEGIN
832 DELETE FROM ouverture
833 WHERE OLD.tr_num = numouvert AND typouvert = 'tranchée' ;
834 END ;
835
836 -- les triggers à mettre en place pour la table t_axe (qui doivent mettre à jour la
837 -- table ouverture)
838 -- AFTER UPDATE
839 CREATE TRIGGER trgau_t_axe_maj_ouverture
840 AFTER UPDATE
841 ON t_axe
842 FOR EACH ROW
843 WHEN (NEW.typouvert = 'axe')
844 BEGIN
845 UPDATE ouverture
846 SET geometry = NEW.geometry
847 WHERE NEW.numaxe = a_numaxe ;
848 END ;
849
850 -- qui met à jour la table t_tranchee après MODIFICATION d'une entité dans ouverture
851 CREATE TRIGGER trgau_t_tranchee_maj_ouverture
852 AFTER UPDATE
853 ON t_tranchee
854 FOR EACH ROW
855 WHEN (NEW.typouvert = 'tranchée')
856 BEGIN
857 UPDATE ouverture
858 SET geometry = NEW.geometry
859 WHERE NEW.numouvert = tr_num ;
860 END ;
861
850 -- AFTER DELETE
851 -- qui supprimer une entité de la table t_sondage après la SUPPRESSION de l'entité
852 -- équivalente dans axe
853 CREATE TRIGGER trgad_axe_maj_ouverture
854 AFTER DELETE
855 ON t_axe
856 FOR EACH ROW
857 WHEN (OLD.numaxe = numouvert AND typouvert = 'axe')
858 BEGIN
859 DELETE FROM ouverture
860 WHERE OLD.numaxe = a_numaxe ;
861 END ;

```

```

816 WHERE OLD.numaxe = a_numaxe ;
817 END ;
818
819 -- les triggers à mettre en place pour la table t_axe (qui doivent mettre à jour la
table axe)
820 -- AFTER UPDATE
821 CREATE TRIGGER trgau_t_axe_maj_axe
822     AFTER UPDATE
823     ON t_axe
824     FOR EACH ROW
825 BEGIN
826     UPDATE axe
827     SET geometry = NEW.geometry
828     WHERE NEW.a_numaxe = numaxe ;
829 END ;
830
831 -- AFTER DELETE
832 CREATE TRIGGER trgad_t_axe_maj_axe
833     AFTER DELETE
834     ON t_axe
835     FOR EACH ROW
836 BEGIN
837     DELETE FROM axe
838     WHERE OLD.a_numaxe = numaxe ;
839 END ;
840
841
842 -- les triggers à mettre en place pour la table point (qui doivent mettre à jour la
tables t_mobilier)
843
844 -- AFTER INSERT
845 -- qui met à jour la table t_mobilier après CREATION d'une entité dans point
846 CREATE TRIGGER trgai_point_maj_t_mobilier
847     AFTER INSERT
848     ON point
849     FOR EACH ROW
850 BEGIN
851     UPDATE t_mobilier
852     SET geometry = NEW.geometry
853     WHERE NEW.numpoint = mob_numpoint ;
854 END ;
855
856 -- AFTER UPDATE
857 -- qui met à jour la table t_mobilier après MODIFICATION d'une entité dans point
858 CREATE TRIGGER trgau_point_maj_t_mobilier
859     AFTER UPDATE
860     ON point
861     FOR EACH ROW
862 BEGIN
863     UPDATE t_mobilier
864     SET geometry = NEW.geometry
865     WHERE NEW.numpoint = mob_numpoint ;
866 END ;
867
868 -- AFTER DELETE
869 -- qui supprimer une entité de la table t_mobilier après la SUPPRESSION de l'entité
équivalente dans point
870 CREATE TRIGGER trgad_point_maj_t_mobilier
871     AFTER DELETE
872     ON point
873     FOR EACH ROW
874 BEGIN
875     DELETE FROM t_mobilier
876     WHERE OLD.numpoint = mob_numpoint ;
877 END ;
878
879 -- les triggers à mettre en place pour la table t_point (qui doivent mettre à jour
la table point)
880 -- AFTER UPDATE
881 CREATE TRIGGER trgau_t_mobilier_maj_point
882     AFTER UPDATE
883     ON t_mobilier
884     FOR EACH ROW

```

```

885 BEGIN
886     UPDATE point
887     SET geometry = NEW.geometry
888     WHERE NEW.mob_numpoint = numpoint ;
889 END ;
890
891 -- AFTER DELETE
892 CREATE TRIGGER trgad_t_mobilier_maj_point
893     AFTER DELETE
894     ON t_mobilier
895     FOR EACH ROW
896 BEGIN
897     DELETE FROM point
898     WHERE OLD.mob_numpoint = numpoint ;
899 END ;
900
901 -- les triggers à mettre en place pour la table plog (qui doivent mettre à jour la
tables t_log)
902
903 -- AFTER INSERT
904 -- qui met à jour la table t_log après CREATION d'une entité dans plog
905 CREATE TRIGGER trgai_plog_maj_t_log
906     AFTER INSERT
907     ON plog
908     FOR EACH ROW
909 BEGIN
910     UPDATE t_log
911     SET geometry = NEW.geometry
912     WHERE NEW.numlog = numlog ;
913 END ;
914
915 -- AFTER UPDATE
916 -- qui met à jour la table t_log après MODIFICATION d'une entité dans plog
917 CREATE TRIGGER trgau_plog_maj_t_log
918     AFTER UPDATE
919     ON plog
920     FOR EACH ROW
921 BEGIN
922     UPDATE t_log
923     SET geometry = NEW.geometry
924     WHERE NEW.numlog = numlog ;
925 END ;
926
927 -- AFTER DELETE
928 -- qui supprimer une entité de la table t_log après la SUPPRESSION de l'entité
équivalente dans plog
929 CREATE TRIGGER trgad_plog_maj_t_log
930     AFTER DELETE
931     ON plog
932     FOR EACH ROW
933 BEGIN
934     DELETE FROM t_log
935     WHERE OLD.numlog = numlog ;
936 END ;
937
938 -- les triggers à mettre en place pour la table t_log (qui doivent mettre à jour la
table plog)
939 -- AFTER UPDATE
940 CREATE TRIGGER trgau_t_log_maj_plog
941     AFTER UPDATE
942     ON t_log
943     FOR EACH ROW
944 BEGIN
945     UPDATE plog
946     SET geometry = NEW.geometry
947     WHERE NEW.numlog = numlog ;
948 END ;
949
950 -- AFTER DELETE
951 CREATE TRIGGER trgad_t_log_maj_plog
952     AFTER DELETE
953     ON t_log
954     FOR EACH ROW
955 BEGIN
956     DELETE FROM plog
957     WHERE OLD.numlog = numlog ;
958 END ;

```

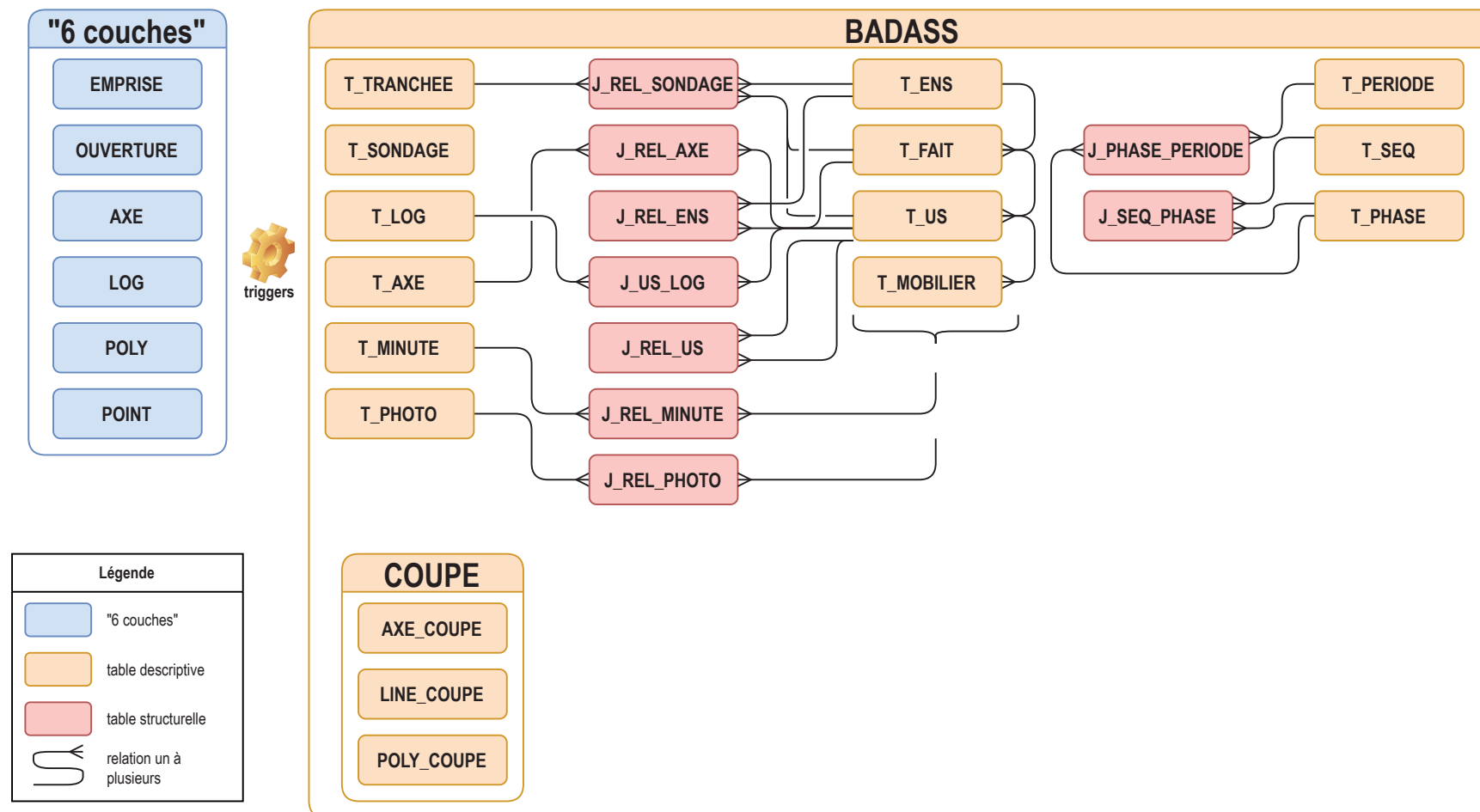



Fig. 28 Diagramme simplifié structurel de BADASS v1

L'expérience de chacun des collaborateurs alimente constamment la réflexion sur la structuration de la base de données et une autre possibilité d'enregistrement a été envisagée. Il s'agirait de considérer chaque élément d'une fouille (fait, us, photo, minute) comme étant une simple unité d'acquisition, toutes placées au même niveau. Une seule table de relation permettrait de faire le lien entre toutes les unités d'observation.

Le MCD qui en résulte, deuxième hypothèse de travail, consiste en une table d'unité d'acquisition, liée à des tables d'enregistrement (faits, us, photo...), et une table de relation, constituée de trois champs : un id unique, et deux champs destinés à enregistrer les ids de chaque unité d'observation liée (l'id d'une us et d'un fait, l'id d'une minute et d'un fait, d'une minute et d'une us, etc.). Ce système permet une grande souplesse, et l'ajout de n'importe quelle table *a posteriori* dans la structure, sans bouleverser celle-ci. Les requêtes SQL pourraient cependant s'avérer un peu plus complexes, pour afficher toutes les us d'un fait par exemple, le lien entre les tables n'étant pas direct.

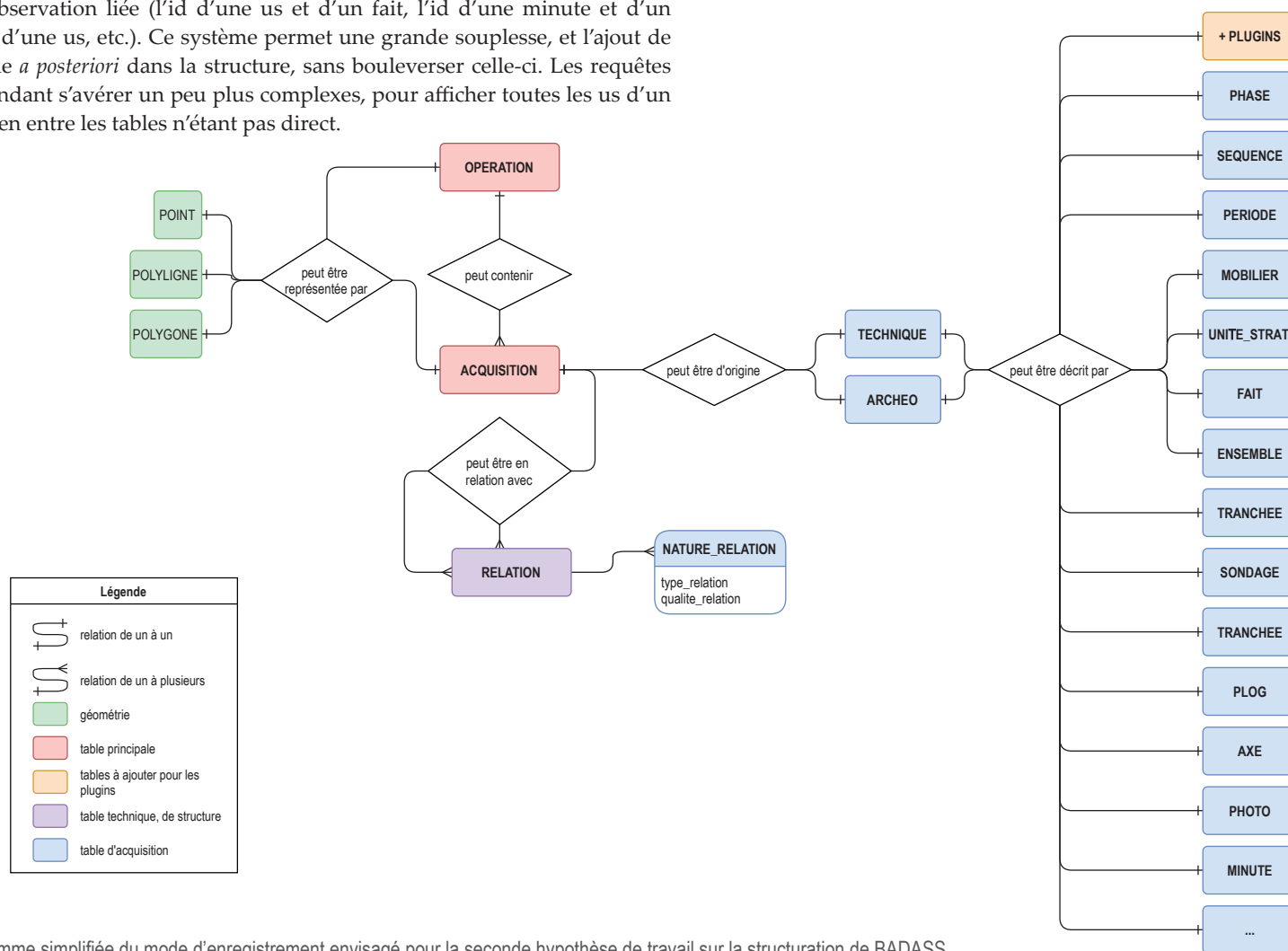


Fig. 29 Diagramme simplifiée du mode d'enregistrement envisagé pour la seconde hypothèse de travail sur la structuration de BADASS

Les premières ébauches de formulaires permettent en parallèle de considérer la structuration en fonction du choix d'interface qui sera fait. Par ailleurs, un soin particulier est de mise pour proposer une interface la plus ergonomique et logique possible. Le cheminement d'enregistrement est tout particulièrement pris en compte afin de s'adapter au mieux à chaque condition d'utilisation de la base (Fig. 30). L'interface se veut la plus compacte possible pour s'adapter aux supports de terrain.

Fig. 30 Exemples de formulaires établis avec le logiciel QtCreator. Il s'agit pour l'instant de maquette, la partie programmation en Python est encore à effectuer.

- a - formulaire d'accueil de la base de donnée (Le premier bouton permet de créer une base de données. En appuyant sur ce dernier, une fenêtre Windows s'ouvre pour spécifier le nom du fichier et la localisation de l'enregistrement. Le second bouton permet d'ouvrir une base de données BADASS déjà créée. En sélectionnant le fichier, les couches se chargent dans le projet QGIS.)
- b - Le formulaire suivant permet de renseigner les données administratives de l'opération archéologique. Ces informations sont en lien avec le fichier de forme de l'emprise de l'opération correspondant à la prescription archéologique (= couche **prescription** dans CAVIAR). L'accès aux autres formulaires se fait *via* ce formulaire dans la rubrique **DONNÉES**.
- c - Pour chacune des rubriques, un premier formulaire présente les données sous forme de table où tous les enregistrements figurent et où un filtre par nature d'enregistrement est proposé (la liste récupère les attributs déjà saisis). Le bouton **ACCUEIL** permet de revenir sur le formulaire b et un bouton d'ajout d'entité est prévu.
- d - Chaque ligne du tableau permet par un clic d'accéder au formulaire de saisie des données et permet de créer une nouvelle entité. Il est également possible dans ces formulaires d'afficher sous forme de liste, les entités filles (en relation) : par exemple les faits présents dans la tranchée ou les US présents dans un fait.

L'enregistrement des données funéraires fait l'objet d'un module spécifique. La réflexion concernant la structuration des tables funéraires n'est pas totalement aboutie.

L'un des outils guidant notre réflexion est la base de donnée HumanOs, projet développé par Rozenn Colleter, Jean-Baptiste Romain, Jean-Baptiste Barreau (INRAP, CNRS, UMR 6566, Colleter *et al* 2020). Cette base, s'appuyant sur des technologies web (javascript, html et json), permet l'enregistrement de l'ensemble des données ostéologiques par sépulture. Son fonctionnement permet la saisie notamment des données de mesure à l'échelle de l'os. Nous avons retenu ce principe d'enregistrement à la plus grande échelle possible, et considérons aussi des regroupements (avant-bras, jambe, torse) et, bien entendu, le squelette en son entier. Les observations peuvent donc être réalisées à n'importe quelle échelle.

Les différentes observations réalisées sur les ossements (mesures, pathologies, détermination du sexe, de l'âge) feraient l'objet d'un enregistrement dans des tables spécifiques. L'ensemble de ces données seraient rassemblées à l'échelle de la sépulture qui pourrait comporter des informations sur l'organisation spatiale, les aménagements constatés, etc. La notion de sépulture est à entendre ici comme "dépôt du corps", correspondant à une US. La fosse sépulcrale serait quant à elle traitée en tant que fait (Fig. 31 et Fig. 32).

Nom de la table	Description succincte	Géométrie
sépulture	permet l'enregistrement des informations concernant la sépulture	multi polygone
aménagements	en lien avec la table sépulture, enregistre les différents aménagements constatés	multi polygone
part_anatomique	permet de créer un enregistrement correspondant à une partie anatomique du squelette	multi polygone
mesure	permet d'enregistrer les différentes mesures selon les parties anatomiques référencées	na
position	permet d'apporter des informations sur la position ou l'orientation des ossements	na
pathologie	permet d'enregistrer des informations sur les pathologies reconnues	na
sexe	permet de consigner méthodes et informations amenant à la détermination du sexe	na
âge	permet de noter les indicateurs permettant une détermination de l'âge au décès	na

Fig.31 Tableau récapitulatif des tables spécifiques à l'enregistrement funéraire

Les informations concernant le mobilier de la sépulture seront intégrées à la table mobilier de la partie générale.

```

1  /*
2
3  OTD : Of the Dead, l'extension anthropologique de BADASS
4
5  Auteur : Caroline Font, Thomas Guillemard, Florent Mercey. Inrap, Saint-Cyr-en-Val,
        2020.
6
7  Remarques diverses :
8  - Les FOREIGN KEY sont commentées afin de ne pas en subir la contrainte, mais de
        garder le principe du MCD
9
10 */
11
12 -- sépulture : la table sépulture correspond à un seul défunt. Il s'agit du dépôt du
        corps.
13 DROP TABLE IF EXISTS sepulture; -- Supprime la table (et ses données) si elle existe
        déjà.
14 CREATE TABLE sepulture(
15     "id sepulture" INTEGER PRIMARY KEY,
16     "num sep" TEXT,
17     "prim sec" TEXT, -- définit s'il s'agit d'une sépulture primaire ou secondaire
18     "reduction" TEXT, -- définit si la sépulture est réduire
19     "vidange" TEXT, -- définit s'il y a une vidange
20     "position" TEXT, -- position de la vidange ou de la réduction
21     "ossuaire" TEXT,
22     "pillage" TEXT, -- y a t'il des traces de pillage
23     "commentaire" TEXT
24 );
25 SELECT
26 AddGeometryColumn ('sepulture','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0); -- ajoute la
        colonne géométrie. Attention, fonction de Spatialite uniquement !!!
27
28
29 -- part anatomique : toute partie anatomique, que ce soit le squelette dans son
        entier, une partie globale (tête, tronc), un os...
30 DROP TABLE IF EXISTS part_anatomique;
31 CREATE TABLE part_anatomique(
32     "id part ana" INTEGER PRIMARY KEY,
33     "id_sep" INTEGER,
34     "type" TEXT,
35     "nom" TEXT,
36     "commentaire" TEXT
37 );
38 SELECT
39 AddGeometryColumn ('part_anatomique','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
40
41
42 -- aménagements : permet d'enregistrer les aménagements
43 DROP TABLE IF EXISTS amenagements;
44 CREATE TABLE amenagements(
45     "id amenag" INTEGER PRIMARY KEY,
46     "id_sep" INTEGER,
47     "nom amenag" TEXT,
48     "description" TEXT
49 );
50 SELECT
51 AddGeometryColumn ('amenagements','geometry',2154,'MULTIPOLYGON','XY',0);
52
53 -- mesure : permet d'enregistrer les mesures
54 DROP TABLE IF EXISTS mesures;
55 CREATE TABLE mesures(
56     "id mesure" INTEGER PRIMARY KEY,
57     "id part ana" INTEGER,
58     "nom mesure" TEXT,
59     "valeur mesure" REAL,
60     "remarque_mesure" TEXT
61 );
62
63
64 -- position : permet d'enregistrer les positions et orientations
65 DROP TABLE IF EXISTS pos_orient;
66 CREATE TABLE pos_orient(
67     "id_pos" INTEGER PRIMARY KEY,

```

```

68     "id_part_ana" INTEGER,
69     "nom_pos" TEXT,
70     "position" TEXT,
71     "orientation" REAL,
72     "commentaire" TEXT
73 );
74
75
76 -- pathos : permet d'enregistrer les pathologies, les activités, les caractères
77   discrets, les facteurs de stress
78 DROP TABLE IF EXISTS pathos;
79 CREATE TABLE pathos(
80     "id_pathos" INTEGER PRIMARY KEY,
81     "id_part_ana" INTEGER,
82     "nom_patho" TEXT,
83     "val_patho" TEXT,
84     "commentaire" TEXT
85 );
86
87 -- sexe : permet d'enregistrer les indices de détermination du sexe
88 DROP TABLE IF EXISTS sexe;
89 CREATE TABLE sexe(
90     "id_sexe" INTEGER PRIMARY KEY,
91     "id_part_ana" INTEGER,
92     "nom_methode" TEXT,
93     "sujet_ana_sexe" TEXT,
94     "mesure" TEXT,
95     "commentaire" TEXT
96 );
97
98 -- age : permet d'enregistrer les indices de détermination de l'age
99 DROP TABLE IF EXISTS age;
100 CREATE TABLE age(
101     "id_age" INTEGER PRIMARY KEY,
102     "id_part_ana" INTEGER,
103     "nom_methode" TEXT,
104     "valeur_age" TEXT,
105     "commentaire" TEXT
106 );

```

Fig. 32 Code SQL de création des tables prévues pour l'extension Of The Dead

3.1.4 Perspectives

La requête SQL de création du premier MCD a été écrite. Aujourd'hui, la base de données existe et peut être intégrée dans Qgis. Nous pouvons envisager d'interfacer la base avec Qgis et de créer des formulaires simples pour un premier test assez rapidement. Ces formulaires permettront, dans un premier temps, la saisie des données mais l'ergonomie limitée ne sera pas satisfaisante. Ils nous permettront cependant de tester la robustesse de la modélisation.

La réflexion doit se poursuivre concernant la deuxième hypothèse de MCD pour les tables fait, us, etc. Seule la structure générale changeant, le code SQL de génération de la base sera rapide à générer.

Le cahier des charges établi au démarrage du projet proposait une saisie des données uniquement dans Qgis. Le matériel utilisé¹¹ lors de la première expérimentation en 2019 a démontré les limites ergonomiques de ce parti pris sur le terrain. Une interface de saisie alternative est désormais envisagée, par le biais de formulaires utilisables sous Android par exemple, ce qui offre une plus grande souplesse dans le choix du support matériel. Des formulaires web ont été développés dans le cadre d'un autre projet¹², et s'ils ne s'appuient pas sur la même base de données, il serait sans doute possible de reprendre cette structure et de l'adapter à la base de données ici réalisée. Ces formulaires sont simples, uniquement attributaires, et s'adaptent au format du terminal sur lequel ils sont employés.

Les formulaires sont en cours de conception. Sur le terrain, ils doivent proposer une interface claire et conviviale, maximaliste mais sans perdre l'utilisateur dans un affichage de trop nombreux champs. Un diagramme de séquences est à l'étude¹³, il permettra de proposer une succession d'affichage des formulaires selon les données à saisir. Les champs affichés seront sélectifs en fonction de l'US à saisir : le formulaire d'enregistrement d'un creusement proposera de remplir les champs relatifs à la morphologie et exclura de fait les champs descriptifs propres aux comblements par exemple. Ce sera particulièrement nécessaire pour les données funéraires, qui comportent un nombre de champs considérables et diverses (taphonomie, biologie, pathologie, etc.). Comme pour BADASS, les interfaces seront probablement conçues avec le logiciel QT Creator associée à un code Python. Il est cependant envisagé d'intégrer un mannequin du squelette dans l'interface de QGIS pour apporter une ergonomie supplémentaire dans l'acquisition des données descriptives liées à l'anthropologie¹⁴.

11 Tablette PC Samsung (Galaxy Book 12")

12 EATER, F. Mercey: <http://eater.rdbb.fr/index.php>

13 Le diagramme de séquence est un document technique permettant de définir les successions d'actions et leurs effets au sein des formulaires afin d'établir les processus informatiques qui doivent être mis en place. Par exemple : en appuyant sur tel bouton, j'ouvre tel formulaire.

14 Un travail similaire a été mené par Matthieu Gauthier, SADIL : <https://link.springer.com/article/10.1007/s13219-017-0179-8>

3.2 Les données spatiales

Le travail de numérisation a porté sur deux axes distincts, d'une part la numérisation des vestiges mis au jour lors de la campagne de fouilles de 2019, d'autre part la reprise des dessins réalisés lors des fouilles précédentes et leur intégration dans QGIS.

3.2.1 Numérisation directe d'après les rasters

Les relevés photogrammétriques de la fouille de 2019 ont permis de générer 42 rasters. La plupart ont pour sujet une sépulture unique ou un petit groupe de sépultures et 5 d'entre eux sont des vues globales de l'emprise, à divers états de la fouille. Les choix concernant le travail de numérisation reposent sur deux objectifs : la représentation spatiale des données attributaires et le dessin à destination d'illustrations.

Les types d'US représentés sur la couche de polygones sont les dépôts funéraires, les réductions, les contenants, les aménagements et les creusements. Chaque sépulture est représentée sur un raster couplé à un MNE. L'extraction automatique des contours d'après les MNE ne permet pas d'obtenir un rendu exact (Fig. 33) et nécessite trop de travail de reprise des lignes créées, pour les transformer ensuite en polygones fidèles à la réalité des vestiges. Ce test, pratiqué avec l'outil natif *Contours* de Qgis, s'il n'est pas concluant, n'exclut pas des tentatives ultérieures à l'aide d'extensions ou d'autres outils.

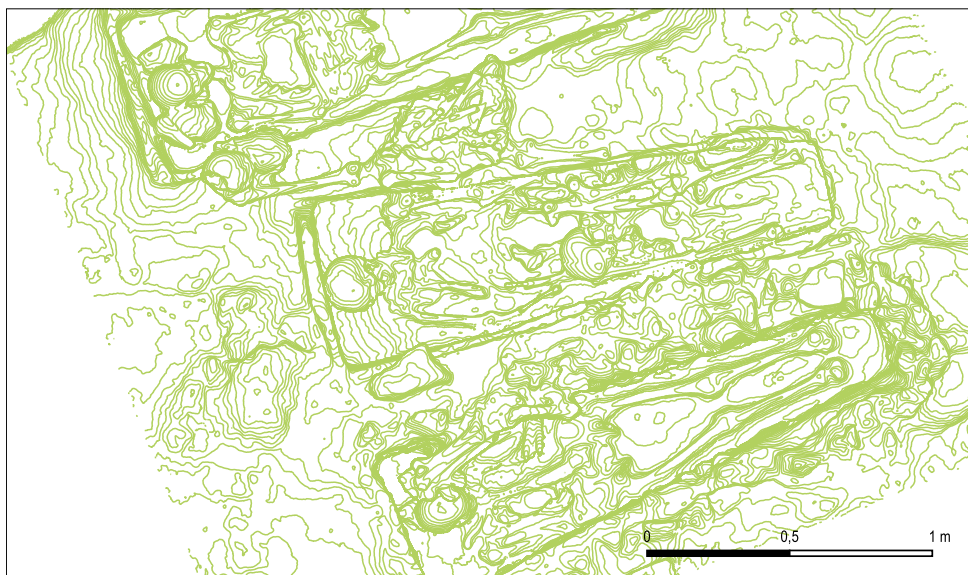


Fig. 33 Extraction des contours depuis le MNE

Plusieurs méthodes de numérisation manuelle ont donc été testées. Celle retenue cette année génère, *a priori*, le moins d'erreurs de géométrie. Les outils natifs de numérisation de Qgis permettent de dessiner manuellement la silhouette globale de chaque entité, en conservant la précision des contours et en rendant compte de l'état de conservation des vestiges (Fig. 34). Une fois la silhouette dessinée, l'outil *Ajouter un anneau* permet de "sculpter" le polygone pour mettre en évidence les détails des ossements ou les parties conservées d'un sarcophage par exemple, et de restituer visuellement les observations taphonomiques sur le dépôt du corps, sans recourir à l'affichage systématique des rasters (Fig. 35). Lorsque des éléments sont déconnectés du polygone principal, l'outil *Ajouter une partie* est employé.

Pour obtenir un rendu esthétique approchant des dessins réalisés sous Adobe Illustrator®, une couche de lignes est créée pour rendre compte des limites entre les os, des détails, du relief, dont les caractéristiques (épaisseur du trait, couleur...) sont exploitées par l'application d'un style catégorisé. L'affichage de cette couche est uniquement destiné à des fins d'illustrations (Fig. 36). L'extension *Bezier Editing*¹⁵ a été utilisée pour réaliser un dessin plus harmonieux.

Toutes les sépultures fouillées en 2019 ont été numérisées. Les tables attributaires des couches de lignes et de polygones contiennent temporairement un minimum de champs (numéros d'US, numéros d'inhumation, type d'US ou de ligne) qui facilitent la numérisation et permettent d'éditer des plans intermédiaires. Les données spatiales sont donc prêtes à être mises en relation avec les données attributaires définitives. Le rendu final de la superposition des US tiendra donc compte des relations stratigraphiques réelles, saisies dans l'enregistrement.

À ce stade de la réflexion, la numérisation retenue permet une interrogation de la base de données spatiale à l'échelle de l'individu. Il est également envisagé, en lien avec la base de données présentée plus haut, la possibilité d'afficher les données attributaires saisies à une échelle plus grande (la partie anatomique : os, articulation, ou ensemble d'os - membres inférieures gauche par exemple -). L'intégration d'un mannequin de squelette dans QGIS permettrait d'afficher toutes informations nécessaires à une échelle plus grande. L'utilisation des outils natifs de QGIS (variables, atlas notamment) permettront de générer très facilement des fiches anthropologiques pour décrire l'ensemble des sépultures.



Fig. 34 Polygone initial de silhouette globale

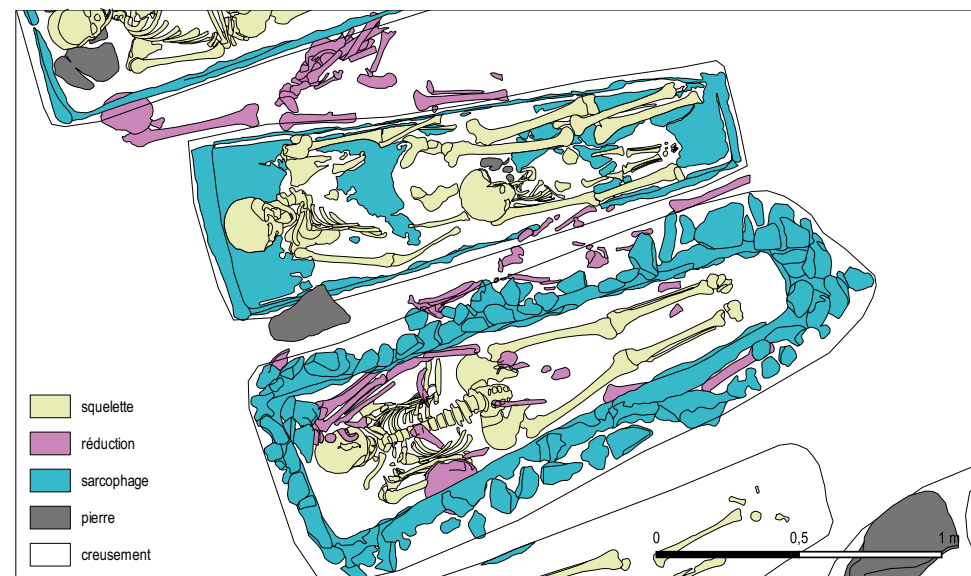


Fig. 36 Affichage de la couche de lignes complémentaire

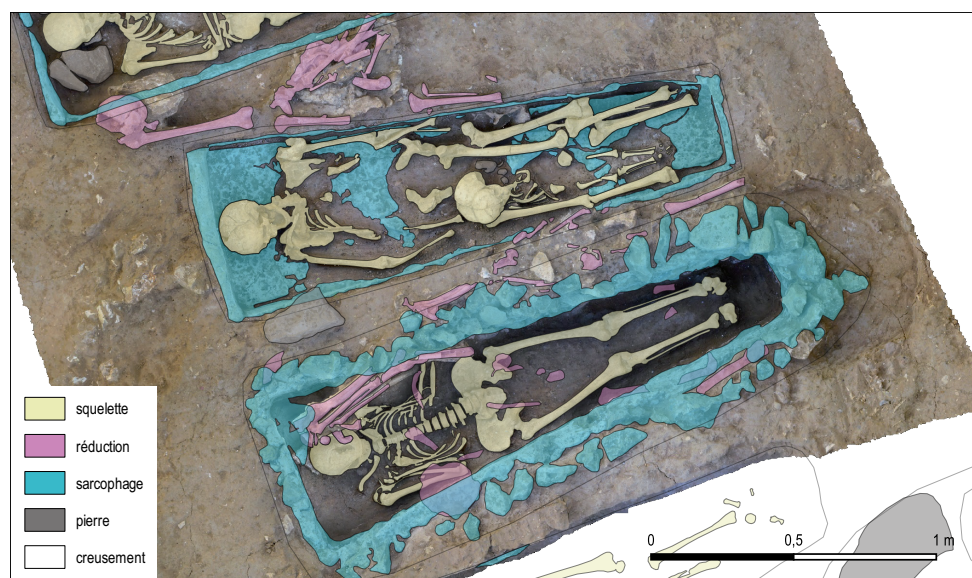


Fig. 35 Polygones obtenus après l'application de l'outil Ajouter un anneau

3.2.2 Intégration des dessins vectorisés

Un travail complet de dessin avait déjà été exécuté lors des fouilles de 2008-2009 sur Adobe Illustrator®. Ce plan a été converti au format .dwg puis importé dans AutoCAD Map® pour y être géoréférencé et en générer deux fichiers de format shape. Un shape de polygone a été créé pour les creusements des fosses sépulcrales. Les géométries ont été vérifiées (formes bien fermées, etc.), les champs propres aux "Six couches" ont été ajoutés, permettant ainsi de renseigner au minimum le numéro générique de l'inhumation. Un shape de lignes reprend la totalité des tracés constituant les squelettes, les aménagements, etc (Fig. 37). Les champs des "Six couches" sont également ajoutés, le numéro d'inhumation y est conservé.

Les shapes obtenus sont ensuite ajoutés dans le projet Qgis. Afin de récupérer la géométrie nécessaire pour certaines US (dépôt du corps, contenant, aménagements, etc.), le shape de lignes est converti en polygones (*Lignes vers polygones*) (Fig. 38). L'automatisation de la tâche implique un long nettoyage du shape obtenu, aussi bien pour les polygones (doublons, créations d'entités parasites) que pour les lignes.



Fig. 37 Importation du shape de lignes géoréférencé

Après nettoyage des polygones, chaque entité est alors reconstituée en sélectionnant les différentes parties et en les fusionnant (*Fusionner les entités*). La fusion des géométries a pour conséquence la suppression des limites des polygones dans le cas de superpositions ou d'adjacences. Elles sont conservées si les polygones sont disjoints. On obtient alors un polygone multi-parties pour chaque US, auquel on pourra superposer la couche de lignes pour soigner le rendu, à l'instar des sépultures numérisées d'après les rasters. La couche de lignes, issue de la transformation initiale du plan en shape, est également à nettoyer pour ne conserver que les traits nécessaires (limites entre les éléments, détails). Afin de faciliter la tâche, l'outil de géotraitement *Intersection* est appliqué : il permet une sélection plus précise des lignes à conserver ou à effacer mais génère davantage d'entités, au risque d'alourdir le shape. Pour le moment, ce travail s'effectue sur une couche distincte de la couche des polygones de la campagne 2019, directement numérisée dans Qgis : les géométries issues des différentes campagnes de fouille seront assemblées au sein d'une même couche lorsque ce travail préparatoire sera achevé et que les données attributaires seront harmonisées.

La numérisation vectorielle s'effectue donc à l'échelle de l'unité stratigraphique (US).

Ce travail a été expérimenté sur une trentaine de sépultures dans le cadre du projet. Si la méthode est concluante, elle pourra être proposée aux bénévoles de l'association ADN s'ils souhaitent prendre en charge ce long mais nécessaire travail de récupération du passif.

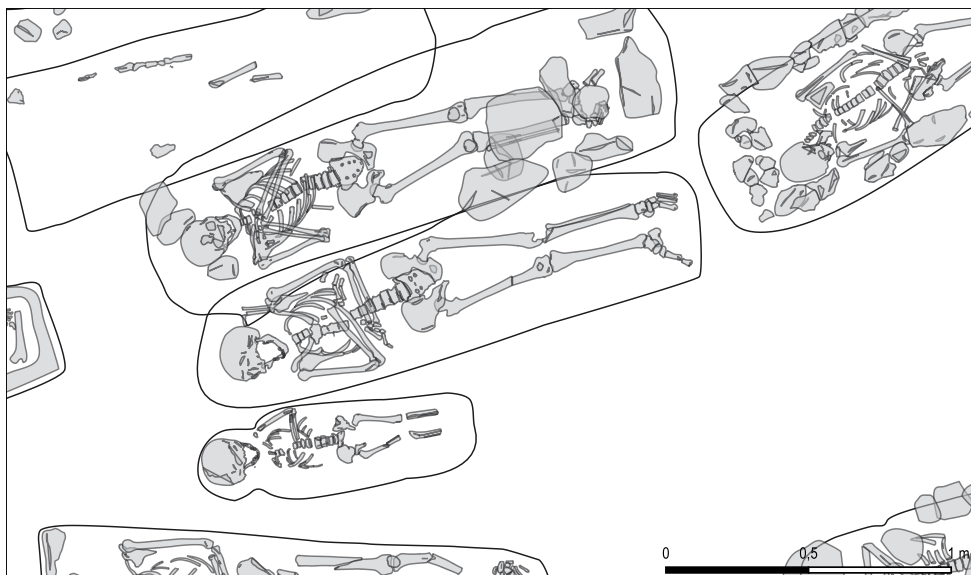


Fig. 38 Résultat du géotraitement de Lignes à polygones

4. Conclusion et perspectives

Les relevés ont pu être exclusivement réalisés en photogrammétrie. Le matériel photographique s'est avéré facile d'emploi mais relativement limité en termes de maîtrise de la prise de vue. Le protocole de géo-référencement des modèles, malgré de très légers décalages, semble efficace. Quelques améliorations seront apportées dans un souci de gain de temps, avec entre-autre, l'utilisation de cibles codifiées, lues par logiciel. En ce qui concerne les paramètres de calculs, des essais en haute définition seront réalisés afin de comparer les résultats. Le relevé photogramétrique peut être exigeant en temps de traitements et en capacités de stockage. Il nous revient donc de bien définir les besoins aux différents stade de l'opération archéologique. Le dernier point sur lequel nous souhaiterions avancer est l'utilisation des logiciels gratuits et open-source pour le calcul des modèles 3D et la production de la documentation (MNE, ortho-images, etc). Le logiciel MIC-MAC développé à L'IGN et l'ENSG, reste difficile d'accès sans une bonne maîtrise de l'outil informatique, mais des interfaces plus ergonomiques sont en cours de développement. Le logiciel Alicevision (Meshroom) développé par l'association du même nom, bénéficie d'une interface plus avancée mais ne permet pas de géo-référencer les modèles pour le moment.

Lors de cette première saison, une seule personne a réalisé l'essentiel des modèles. Les protocoles étant mieux établis, l'objectif sera désormais d'impliquer un maximum de collaborateurs dans le processus de prise de vue et de vérification des données (jeu de photos et géo-référencement).

La constitution d'une base données spatiales et attributaires était un point majeur du projet. Le parti pris de choisir BADASS comme noyau de la structure et de faire appel à ses concepteurs, a permis de gagner du temps et de s'assurer d'obtenir un outil robuste et exhaustif. Le principe d'une "extension" spécifiquement dédiée à l'enregistrement du contexte et des gestes funéraires permet d'inclure les nombreux champs nécessaires aux analyses anthropologiques. Deux Modèles Conceptuels de Données ont pu être proposés et codés en SQL. En ce qui concerne, la saisie des données sur le terrain, le recours à des formulaires spécifiques semble être la solution la plus satisfaisante. Une interface de saisie autonome peut être proposée, éditable et consultable sur des appareils fonctionnant sous Android (tablettes légères, voire téléphones), de manière à s'affranchir d'un matériel informatique moins adapté aux pratiques de terrain (Qgis nécessitant encore un environnement Windows pour être exploité selon nos besoins). Les formulaires sont en cours d'élaboration, un diagramme de séquences permettra de faire valider les champs à afficher dans chaque formulaire, par l'archéo-anthropologue. La forme définitive des formulaires est aussi en cours de réflexion, une interface web comme EATer pourrait être adaptée. L'interface proposée par Memento est également plébiscitée par des utilisateurs internes.

La numérisation des vestiges d'après les rasters dans Qgis a été effectuée (fouille programmée de 2019). Des données spatiales complémentaires ont été créées grâce à l'import des dessins réalisés lors des fouilles précédentes (2008-2009). Lors de ces deux chantiers de numérisation, différentes méthodes ont été utilisées, en faisant essentiellement appel aux outils natifs du logiciel. La fusion des données spatiales sera possible lorsque la reprise des US des opérations antérieures sera achevée, mais l'intégrité de l'ensemble est d'avance garantie par le choix commun des géométries représentées et la concordance des champs dans les tables attributaires. Des couches de lignes ont été conservées et peuvent être affichées pour soigner le rendu et produire des illustrations détaillées des vestiges.

Les prochaines étapes pour le projet sont donc :

- la définition des formulaires (champs affichés pour chaque formulaire, design de l'interface),
- la préparation des données des différentes fouilles pour leur intégration dans la base de données,
- l'expérimentation de la saisie in situ et le débogage,
- la mise en place d'un plan de gestion de données.

Éventuellement :

- l'expérimentation de logiciels alternatifs et libres pour la photogrammétrie,
- la conception d'un modèle de mise en page dans Qgis pour générer automatiquement un atlas par sépulture,
- l'expérimentation d'autres outils ou méthodes pour alléger la numérisation (initiale et reprise du passif),
- l'implémentation de la base SQLite/Spatialite par la création d'une extension Qgis dédiée.

Ces objectifs pourront être atteints grâce à la collaboration de Jean-Baptiste Barreau (CNRS) et de son équipe, dont l'expertise et les compétences informatiques seront essentielles.

Bibliographie

- **Bolo, De Muylder, Font, Guillemard 2014**

BOLO (A.), DE MUYLDER (M.), FONT (C.), GUILLEMARD (T.) - de la tablette pc à la cartographie de terrain: exemple de méthodologie sur le chantier d'archéologie préventive de Noyon (Oise), *Archeologia e Calcolatori*, Supplemento 5, 2014, 247.

- **Colleter et al. 2020**

COLLETER (R.), ROMAIN (J.-B.), BARREAU (J.-B.) — Humanos: an open source nomadic software database for physical anthropology and archaeology. *Virtual Archaeology Review*, 11(23): In Press, 2020.
<https://www.researchgate.net/publication/342361736> (lien valide au 18/12/2020).

- **Desachy 2008**

DESACHY (B.). — De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain. Paris : Université Paris 1-Panthéon Sorbonne, 2008, 338 p.

- **Galinié, Randoïn 1987**

GALINIE (H.), RANDOIN (B.) — « Enregistrement et exploitation des données de fouilles à Tours », in Enregistrement des données de fouilles urbaines (première partie), Centre National d'archéologie Urbaine, Tours : Centre National d'archéologie Urbaine, pp. 6173.

- **Le Forestier et al. 2012**

LE FORESTIER C., LAFARGE I., PAROT S. — *Noisy-le-Grand (Seine-Saint-Denis), 4 rue des Mastraits. Epinay-sur-Seine*, Pantin : Service départemental d'archéologie de Seine-Saint-Denis, Inrap CIF, 2012

- **Le Forestier 2019**

LE FORESTIER C. — *Noisy-le-Grand (Seine-Saint-Denis), 2, rue des Mastraits*. Rapport de fouille programmée, Association Archéologie des Nécropoles, Inrap CIF, 2019

- **Lozano & Georges 2019**

LOZANO (V.), GEORGES (É.) — *not Only SQL. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le SQL sans jamais avoir osé le demander*. Framabook, mars 2019, 373 p.
<https://framabook.org/docs/onlysql/onlysql-Lozano-Georges-ArtLibre-juin2019.pdf>

- **Moreau 2016**

MOREAU (A.) — GIS, An Answer to the Challenge of Preventive Archaeology? The Attempts of the French National Institute for Preventive Archaeology (Inrap) *Actes de colloque CAA2015* (43), Archaeopress Publishing Ltd, 2016, pp. 303

- **Pierrot Deseilligny, Clery 2011**

PIERROT DESEILLIGNY (M.), CLERY (I.) — « Images et modèle 3D en milieux naturels, Évolutions récentes en photogrammétrie et modélisation 3D par photos des milieux naturels », *Collection EDYTEM*, Laboratoire EDYTEM, n° 12, 2011.

- **Kasser, Egels 2001**

KASSER (M.), EGELS (Y.) sous la direction de. — Photogrammétrie Numérique. *Hermès sciences publications*, Collection ENSG-IGN, 2001

- **Rose 2012**

ROSE (H.) — Processus de création de nuages de points par corrélation d'image. *Revue XYZ*, N°131, 2^e trimestre 2012

Site internet

- **Cours de l'ENSG**

<http://cours-fad-public.ensg.eu/course/index.php?categoryid=43>

- **Accès à la base de données Cadoc**

<https://sites.google.com/site/bdcadoc/>

- **Modèles 3D mis en ligne**

<https://sketchfab.com/ArcheoNec>

Logiciels et soft utilisés

- Agisoft Metashape Pro
- AutoCAD Map
- QGIS (<https://www.qgis.org/fr/site/>)
- spatialite.gui (https://www.gaia-gis.it/fossil/spatialite_gui/index)
- draw.io
- dbdiagram.io
- notepad++ (<https://notepad-plus-plus.org/>)
- QT Creator (<https://www.qt.io/>)
- SQLite for dbBrowser (<https://sqlitebrowser.org/>)
- Cloud Compare (Daniel Girardeau-Montaut et EDF R&D, cloudcompare.org)
- image app (Panasonic)

Table des illustrations

Fig.1 Localisation des points de référence	7
Fig.2 Ajout de points d'amers intermédiaires autour d'une sépulture	7
Fig.3 Localisation des points de références principaux (en jaune) et des points de références intermédiaires (en rouge)	8
Fig.4 Prises de vue à la perche	8
Fig.5 Couverture des clichés pour le modèle d'ensemble	9
Fig.6 Couverture générale de la sépulture	9
Fig.7 Clichés complémentaires (en rouge)	9
Fig.8 Génération du premier nuage de points	10
Fig.9 Ajout des points de références dans le nuage de points pour le géo-référencement	10
Fig.10 Génération du nuage dense	11
Fig.11 Détail du nuage dense	11
Fig.12 Génération du MNE	11
Fig.13 Génération d'une ortho-image	11
Fig.14 Génération du maillage	12
Fig.15 Détail du maillage	12
Fig.16 Génération du modèle texturé	13
Fig.17 Ortho-image d'une vue générale individuelle	13
Fig.18 Détail d'une ortho-image de sépulture	13
Fig.19 Implantation d'un axe directement dans Metashape	14
Fig.20 Découpe du modèle selon un axe	14
Fig.21 Vue oblique du modèle découpé	14
Fig.22 Affichage du profil dans QGIS	15
Fig.23 Confrontation du plan et du profil dans le canevas du projet	15
Fig.24 Proposition d'illustration associant plan et profil dans la mise en page	15

Fig.25	Détail du profil de la paroi ouest illustrant le problème causé par un surplomb	16
Fig.26	Tableau récapitulatif des tables constituant BADASS v1	18
Fig.27	Code SQL permettant de générer BADASS v1	18
Fig.28	Diagramme simplifié structurel de BADASS v1	26
Fig.29	Diagramme simplifiée du mode d'enregistrement envisagé pour la seconde hypothèse de travail sur la structuration de BADASS	27
Fig.30	Exemples de formulaires établis avec le logiciel QTCreator. Il s'agit pour l'instant de maquette, la partie programmation en Python est encore à effectuer. a - formulaire d'accueil de la base de donnée (Le premier bouton permet de créer une base de données. En appuyant sur ce dernier, une fenêtre Windows s'ouvre pour spécifier le nom du fichier et la localisation de l'enregistrement. Le second bouton permet d'ouvrir une base de données BADASS déjà créée. En sélectionnant le fichier, les couches se chargent dans le projet QGIS.) b - Le formulaire suivant permet de renseigner les données administratives de l'opération archéologique. Ces informations sont en lien avec le fichier de forme de l'emprise de l'opération correspondant à la prescription archéologique (= couche prescription dans CAVIAR). L'accès aux autres formulaires se fait <i>via</i> ce formulaire dans la rubrique DONNÉES . c - Pour chacune des rubriques, un premier formulaire présente les données sous forme de table où tous les enregistrements figurent et où un filtre par nature d'enregistrement est proposé (la liste récupère les attributs déjà saisis). Le bouton ACCUEIL permet de revenir sur le formulaire b et un bouton d'ajout d'entité est prévu. d - Chaque ligne du tableau permet par un clic d'accéder au formulaire de saisie des données et permet de créer une nouvelle entité. Il est également possible dans ces formulaires d'afficher sous forme de liste, les entités filles (en relation) : par exemple les faits présents dans la tranchée ou les US présents dans un fait.	28
Fig.31	Tableau récapitulatif des tables spécifiques à l'enregistrement funéraire	29
Fig.32	Code SQL de création des tables prévues pour l'extension Of The Dead	30
Fig.33	Extraction des contours depuis le MNE	31
Fig.34	Polygone initial de silhouette globale	32
Fig.35	Polygones obtenus après l'application de l'outil Ajouter un anneau	32
Fig.36	Affichage de la couche de lignes complémentaire	32
Fig.37	Importation du shape de lignes géoréférencé	33
Fig.38	Résultat du géotraitement de Lignes à polygones	33

