

POITOU-CHARENTES DOSSIER THÉMATIQUE

**BILAN
SCIENTIFIQUE**

**Les nouvelles technologies appliquées
à l'archéologie**

2 0 1 4

Les relevés lasergrammétriques de la cathédrale de Saintes et l'archéologie du bâti : bilan critique d'une opération ponctuelle

Contexte de l'opération

Monument historique depuis 1862, l'ancienne cathédrale Saint-Pierre de Saintes présente des désordres structurels et fragilités susceptibles de mettre en danger le public. En juin 2012, un diagnostic sanitaire du bras de transept sud a entraîné une fermeture temporaire de l'édifice. Depuis, des confortements provisoires ont sécurisé les lieux mais rendu inaccessible cette partie de l'église. Dans le cadre d'un projet de restauration, la ville de Saintes, maître d'ouvrage, et Monsieur Philippe Villeneuve, maître d'œuvre, ont sollicité le bureau de recherche Hadès afin d'enrichir l'étude

préalable d'une analyse archéologique des élévations. La démarche a nécessairement débuté par une campagne de relevés architecturaux. L'ampleur et la complexité du sujet nous ont conduit à collaborer avec Olivier Veissière, géomètre spécialiste en relevés lasergrammétriques et photogrammétriques.

Méthode, moyens techniques et précision des relevés

Afin d'assurer la gestion des accès en hauteur et sur toiture, comme la sécurité de l'ensemble des moyens mis en œuvre, l'utilisation d'une nacelle élévatrice et l'assistance d'un spécialiste en travaux sur corde ont été nécessaires. Pour optimiser les temps de numérisation et faire face aux problématiques de mesures de longue distance, deux types de scanner ont été utilisés : un scanner à haute fréquence d'acquisition (1 millions de pts/s) LEICA pour les intérieurs et les mesures proches, et un scanner RIEGL à longue portée. L'ensemble des 160 prises de vue lasergrammétriques (ou stations) est répartie entre les différents espaces intérieurs, et en extérieur, dans le cloître, la rue Cuvilliers, sur les toitures et depuis le clocher (Fig. 1 et 2). Le volume global



Figure 1 : Olivier Veissière sur le toit de la cathédrale
(Cliché : P. Bouvart).



Figure 2 : Station lasergrammétrique sur le clocher de la cathédrale
(Cliché : O. Veissière).



Figure 3 : Modèle numérique de la cathédrale de Saintes (Auteur : Olivier Veissière).

des données acquises représente environ 6,5 milliards de points, pour une résolution spatiale (distance de point à point) de 1 à 8 mm en fonction des stations (Fig. 3 et 4). Pour chaque mesure de point, la puissance du signal de retour est traduite selon une échelle d'intensité ou de

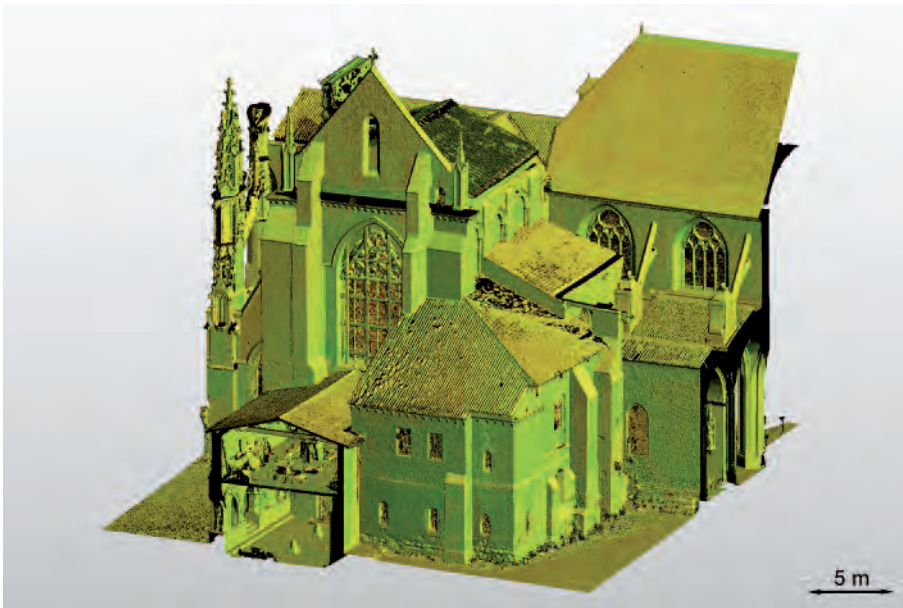


Figure 5 : Modèle numérique de la cathédrale de Saintes, rendu en « intensité en fausses couleurs » (Auteur : Olivier Veissière).

« fausses couleurs » (Fig. 5). La précision globale de consolidation de l'ensemble des prises de vue est de l'ordre de 1 cm, l'ensemble étant rattaché au système de coordonnées de la ville de Saintes.

Avantages ressentis

Les résultats doivent être appréciés pour leur double composante, celle de relevé métrique et d'archive numérique 3D.

Concernant les relevés métriques, l'un des principaux avantages de la lasergrammétrie est d'offrir une accessibilité virtuelle à des maçonneries hors d'atteinte physique. À ce titre, la technique permet d'extraire des ortho-images d'élévations et un nombre infini de plans et de coupes de l'édifice (fig. 6 et 7).



Figure 4 : Modèle numérique de la cathédrale de Saintes (Auteur : Olivier Veissière).

Au sujet de l'archive numérique 3D, le fichier source est codé en ASCII. Afin d'être manipulable et visualisable, il est converti en fichier RWP. D'autre part, il est partiellement vectorisé sous Autocad pour être ensuite converti en divers formats tels DWG, DXF, AI... Les ortho-images sont exportables en TIFF, PSD ou JPEG. La diversité des formats ainsi générés facilite l'exploitation par une compatibilité avec une multitude de logiciels de CAO et DAO.

Dans le cadre de l'étude archéologique, un modèle 3D allégé a été analysé et traité au moyen d'un soft gratuit de Trimble Realworks. Les outils les plus sollicités ont été l'échantillonnage, la segmentation, le plan de coupe et la mesure.

Les deux premiers sont des modes de sélection des nuages de points permettant ensuite une suppression, une extraction ou la création d'un objet. Différents paramètres de discrimination sont ainsi disponibles : topographique, par scans, par intensité, par sélection polygonale, rectangulaire ou circulaire.

L'outil segmentation polygonale s'est révélé le plus adapté pour isoler des nuages de points et ainsi, des entités architecturales voire des unités stratigraphiques. Une attribution de couleurs différentes à chacun des

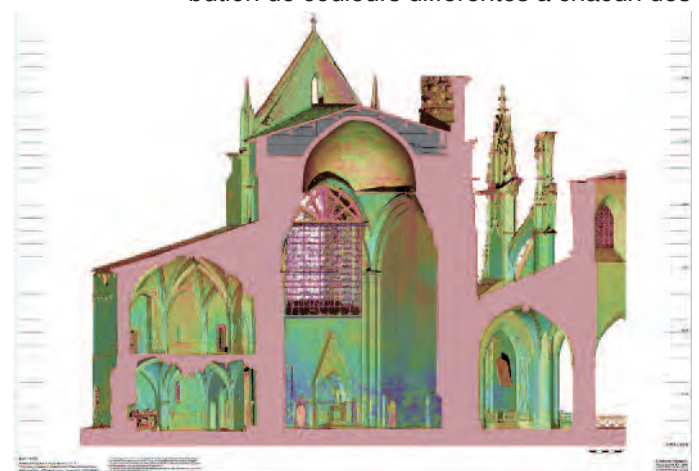


Figure 6 : Ortho-image et coupe issues du relevé lasergrammétrique (Auteur : Olivier Veissière).

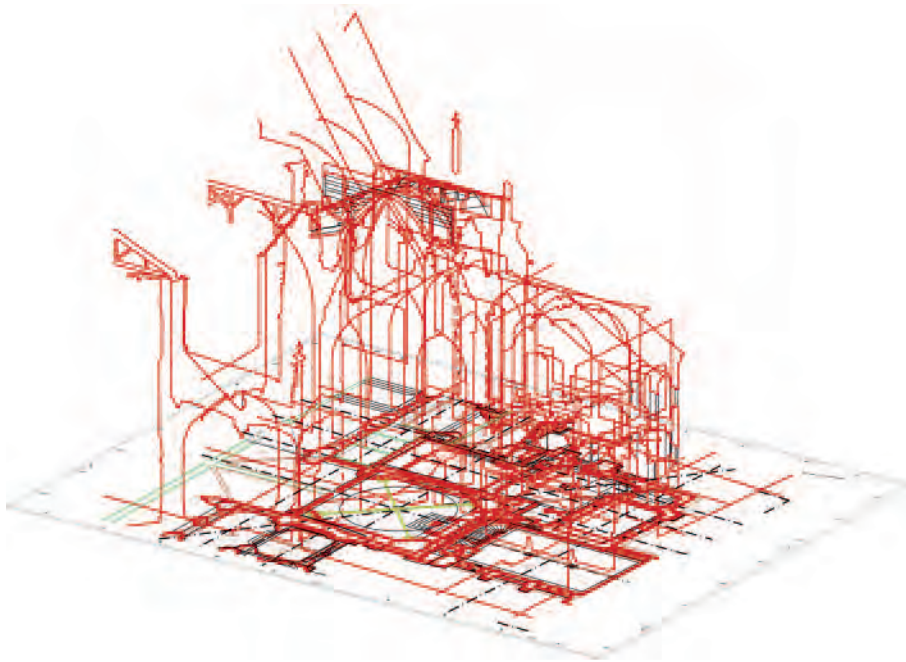


Figure 7 : Plans et coupes vectorisées à partir du relevé lasergrammétrique (DAO : Olivier Veissière).



Figure 8 : Application de couleurs à des nuages de points segmentés offrant la possibilité de légender le modèle 3D (Auteur : Olivier Veissière).

nuages offre la possibilité de dissocier les phases de construction ou de spatialiser toutes autres informations (Fig. 8).

L'outil « plan de coupe » crée une image en fonction d'un axe, d'une position et d'une épaisseur de coupe (Fig. 9). Afin de faire évoluer le rendu, il suffit de modifier l'axe et/ou d'incrémenter les sections sur le modèle 3D. L'outil s'est révélé très utile pour contrôler la géométrie des voûtes, l'épaisseur des structures, la verticalité et l'horizontalité des maçonneries ou encore l'imbrication des volumes (Fig. 10).

Inconvénients rencontrés

La lasergrammétrie présente quelques avatars qu'il convient de souligner. L'intensité des signaux est parfois fortement minimisée par la brillance de la surface ou l'angle d'incidence du rayon. À titre d'exemple, la cou-

leur rouge correspond à un signal faible. Elle est principalement appliquée aux tubes en acier des échafaudages, vitraux et moulures complexes. La précision en est certes amoindrie, mais cela n'entraîne pas nécessairement une mauvaise perception du sujet, même en basse résolution. Le tableau accroché dans le déambulatoire en témoigne (Fig. 11). La brillance de la couche picturale donne une image principalement rouge, mais les personnages apparaissent quand même. Le détail, pourtant issue d'une texture proche de la 2D, paraît ici presque plus net que les joints de parement de l'élévation en arrière-plan. Le recours au modèle 3D à haute résolution améliore considérablement la lisibilité, mais l'absence d'une véritable palette de couleurs peut parfois être regrettable (Fig. 12).

Suivant le même principe, la brillance d'un revêtement mural peut être altérée par une accumulation de poussière ; par exemple, derrière du mobilier. Le relevé intègre alors une image fantôme de l'objet disparu (fig. 13). Pour ces raisons, le traitement de l'information ne peut être uniquement basé sur la seule exploitation du modèle 3D. Notons que ces inconvénients sont les seuls susceptibles d'être contournés par le recours à la photogrammétrie.

Les autres principales contraintes, présentes quelle que soit la méthode, sont les masques et artefacts qui polluent la capture. Dans le cas de la lasergrammétrie, ils créent des zones d'architecture vierges de points. Un dernier bémol est à signaler, propre aux conditions de déroulement de l'opération et non à la méthode. Nos moyens informatiques n'ont pas permis de procéder à un phasage détaillé du modèle 3D. L'alternative choisie a été le report des interprétations sur les plans, coupes et élévations. Or, dans ce processus, il est important de souligner que la conversion des structures en tracés

vectoriels obtenue avec les logiciels de vectorisation dynamique n'a pas été satisfaisante. En conséquence, le dessin

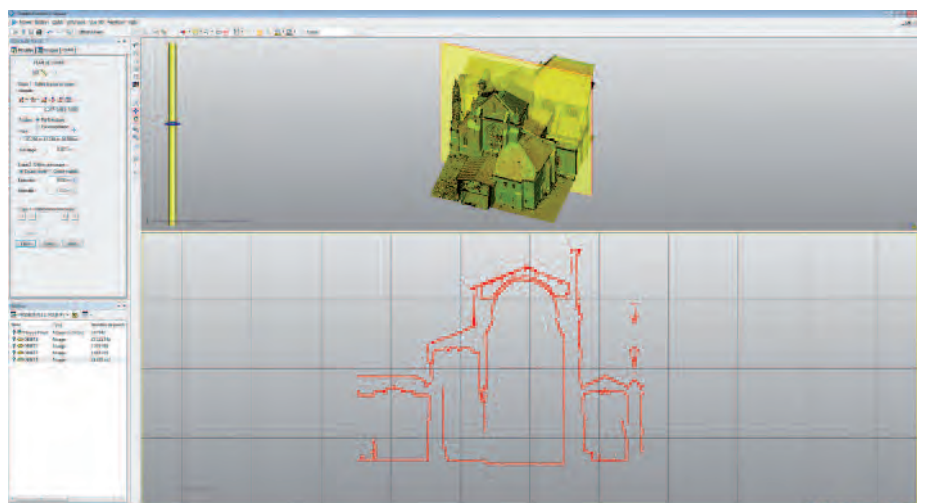


Figure 9 : Outil « plan de coupe » de Trimble Realworks viewer (Auteur : Olivier Veissière).

des unités stratigraphiques a imposé de nombreuses heures de traitement.

Bilan de l'expérience saintaise

Les relevés lasergrammétriques s'avèrent être une solution parfaitement adéquate pour dresser un état sanitaire des élévations et enregistrer les informations métriques. Ils contribuent à renouveler et affiner le regard de l'archéologue sur des structures complexes. Ils constituent également un support ergonomique et agréable pour des visites virtuelles et projeter des scénographies.

L'insuffisance de formation aux logiciels de CAO, le temps, et de ce fait, le coût financier sont les seuls freins à l'utilisation du modèle 3D comme média de communication des résultats de l'analyse archéologique. La qualité du rendu est indubitablement dépendante de la résolution des scans et du modèle 3D exploité.

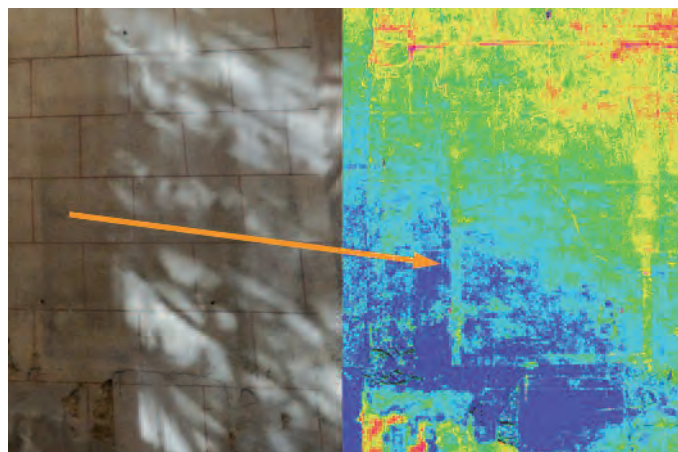


Figure 13 : Fantôme d'un tableau capté par la variation d'intensité du signal laser due à la poussière (Auteur : Olivier Veissière).

Patrick BOUVART

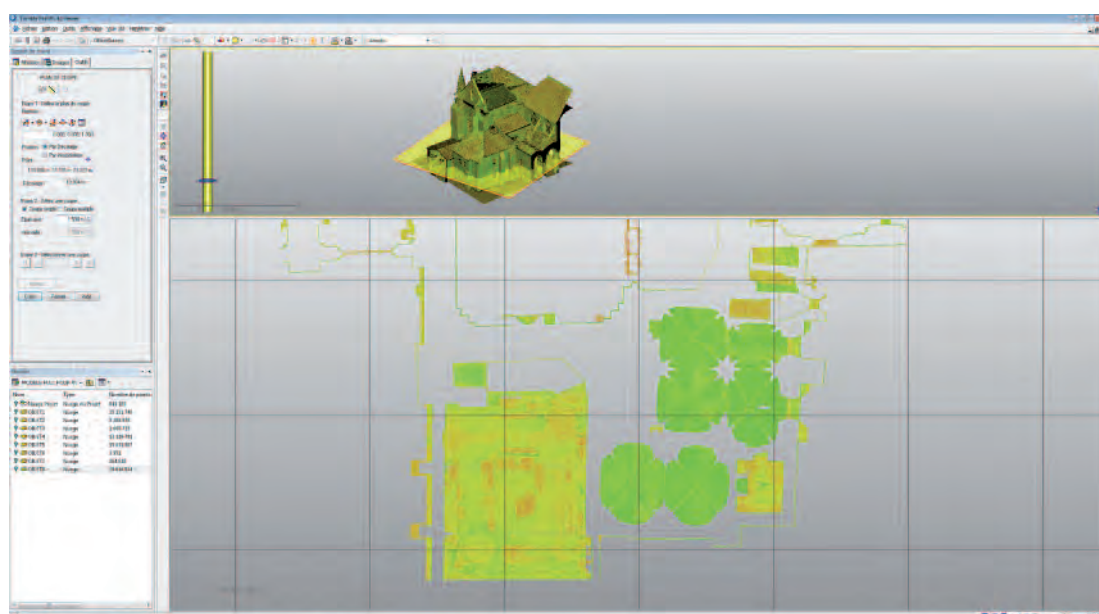


Figure 10 : Contrôle de la géométrie des voûtes du rez-de-chaussée avec l'outil « plan de coupe » (Auteur : Olivier Veissière).



Figure 11 : Rendu d'un sujet brillant en intensité en fausses couleurs, basse résolution exploitée avec Trimble Realworks viewer (Auteur : Olivier Veissière).



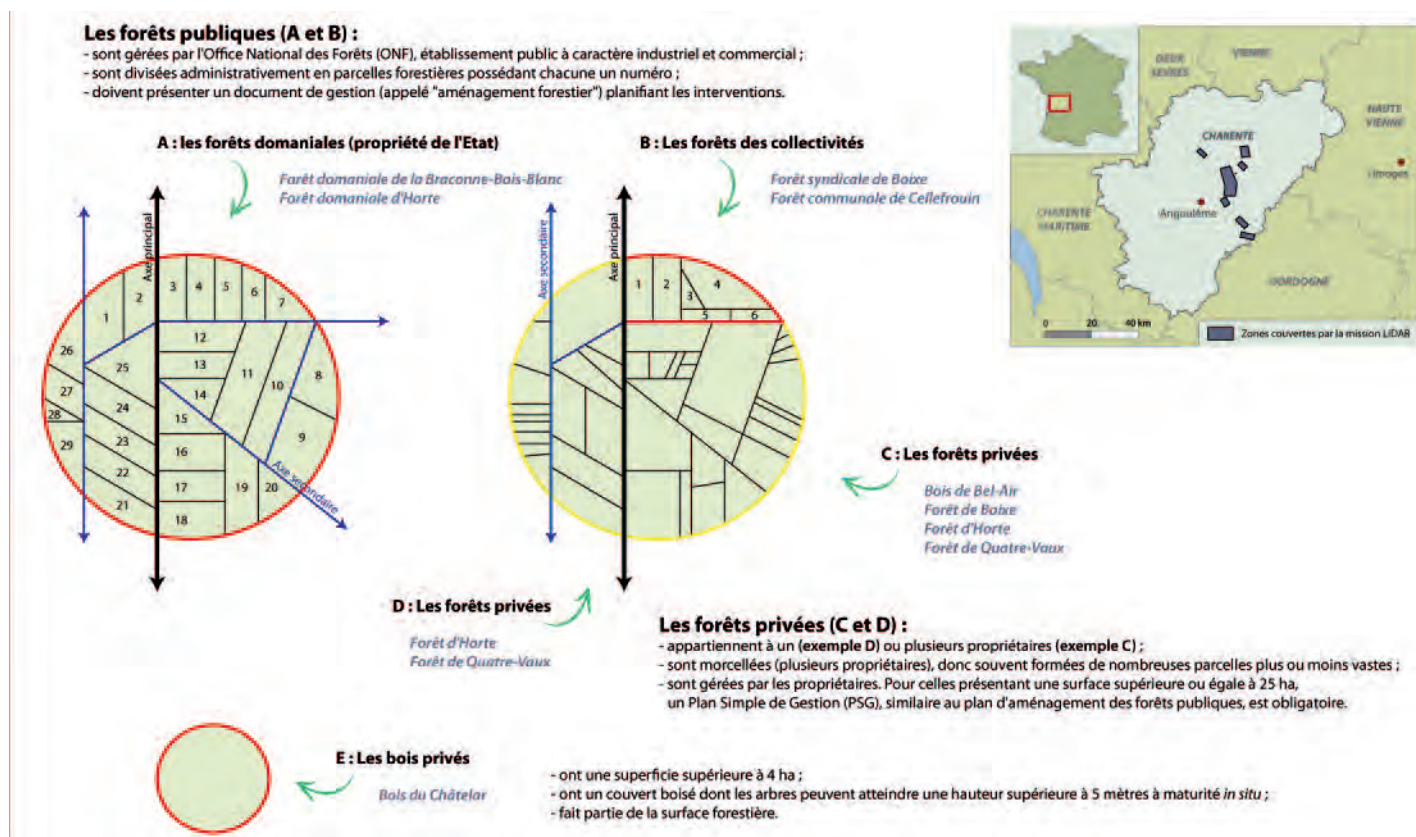
Figure 12 : Rendu d'un sujet brillant en intensité en fausses couleurs, haute résolution exploitée avec Trimble Realworks viewer (Auteur : Olivier Veissière).

Les données LiDAR (Light Detection And Ranging) : de nouvelles sources d'information pour l'archéologue

Le LiDAR : une technologie en passe de devenir « incontournable » ?

Le LiDAR (Light Detection And Ranging) fait figure d'« outil révolutionnaire » dans le domaine des sciences humaines et plus particulièrement dans celui de l'archéologie. En France comme ailleurs, l'engouement pour cette technologie se traduit depuis quelques années par une constante augmentation de son utilisation. Le LiDAR est-il en passe de devenir « incontournable » ? Si la question reste posée, son aide au repérage et à la cartographie des vestiges archéologiques, situés notamment sous couvert forestier, est d'ores et déjà unanimement admise. En mars 2012, les relevés LiDAR effectués en Charente (financés par l'ISHS – Université de Limoges), sur près de 13 000 ha de surface forestière (forêts publiques et privées ; Fig. 1), ont été une fois de plus l'occasion de le confirmer. La découverte de

En faisant appel à la technologie LiDAR aéroportée², l'objectif premier est d'acquérir une série de relevés numériques tridimensionnels à haute résolution des zones survolées. Pour ce faire, l'appareillage lidar utilisé – composé d'un télémètre laser, d'une centrale inertielle et d'un système de positionnement par satellites – émet des impulsions laser en direction du sol. À chaque obstacle rencontré, ces dernières sont réfléchies vers la source émettrice où un capteur les enregistre et calcule leur distance parcourue. C'est ce procédé qui permet d'obtenir un nuage de points dense renseignant la position très précise (x, y et z) de tous les obstacles atteints. Un traitement, ou « classification », de ces points « bruts » est ensuite nécessaire pour obtenir différents modèles altimétriques (MNS : modèle numérique de surface, MNH : modèle numérique de hauteur), dont le modèle numérique de terrain (MNT) qui constituera une base de travail



plusieurs milliers de sites a en effet permis de révéler le potentiel archéologique des zones concernées tout en mettant en avant de nouvelles perspectives de recherches relatives aux dynamiques d'occupations du territoire charentais et à celles du paysage sur le temps long.

Acquisition, traitement et analyse des données LiDAR¹ (Fig. 2)

¹ La méthodologie décrite a été appliquée aux relevés LiDAR effectués sur les massifs forestiers charentais. Il s'agit là du processus habituellement adopté pour ce type de données.

pour repérer les anomalies topographiques et micro-topographiques d'origine anthropique.

Afin de les rendre visuellement interprétables, les MNT font aussi l'objet de traitements. Le plus utilisé, le traitement par ombrage, généré à partir d'une source lumineuse artificielle, à l'orientation et l'azimut changeants, permet d'accentuer le contraste des anomalies topographiques. Son application est aujourd'hui communément admise car il fournit une aide incontestable au repérage des sites archéologiques.

² C'est un LiDAR transporté par voie aérienne (avion ou hélicoptère) et non un LiDAR terrestre.

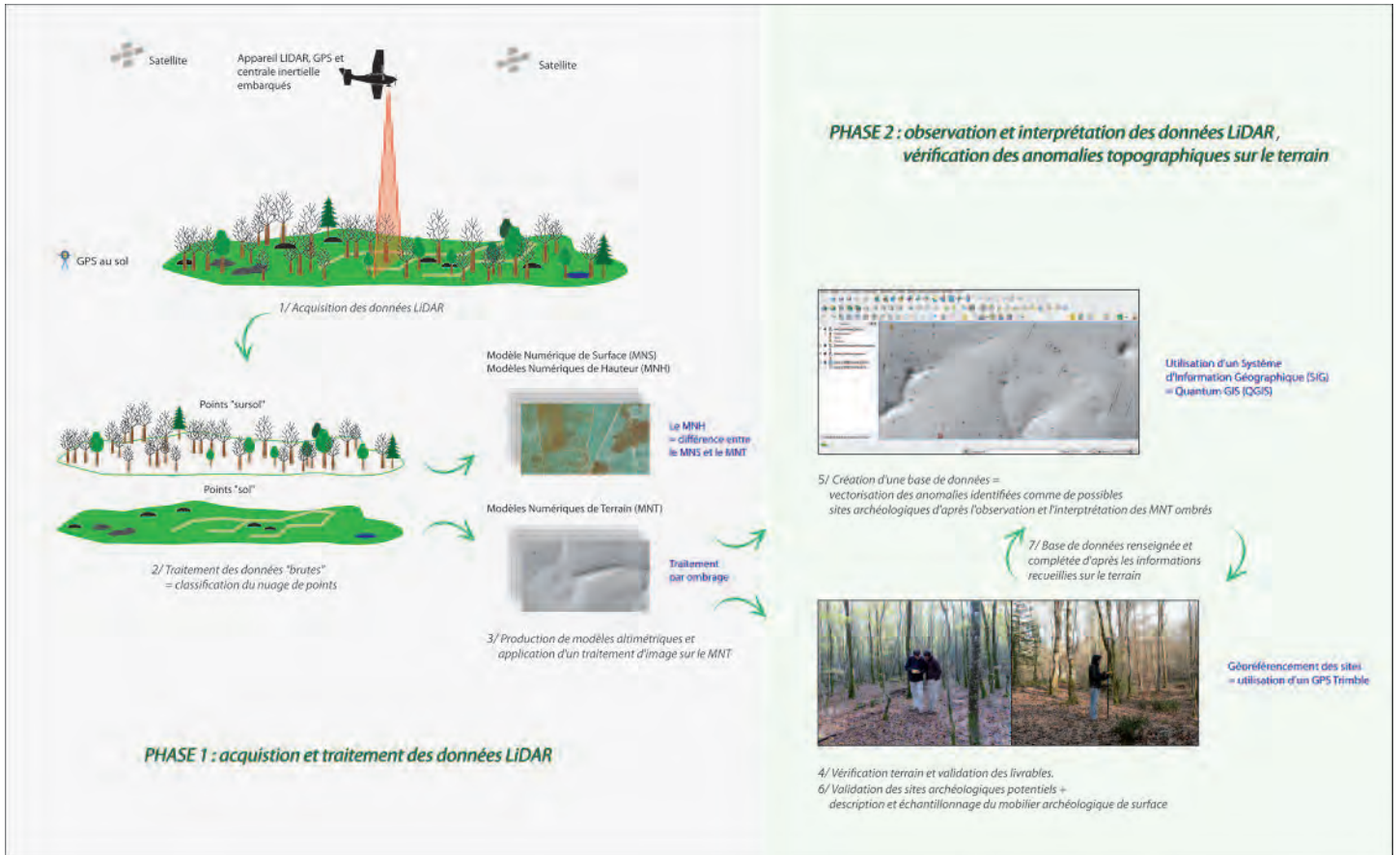


Figure 02 : Principes d'acquisition, de traitement et d'interprétation des données LiDAR issues des relevés effectués sur les forêts charentaises (Rassat *et al.*, à paraître).

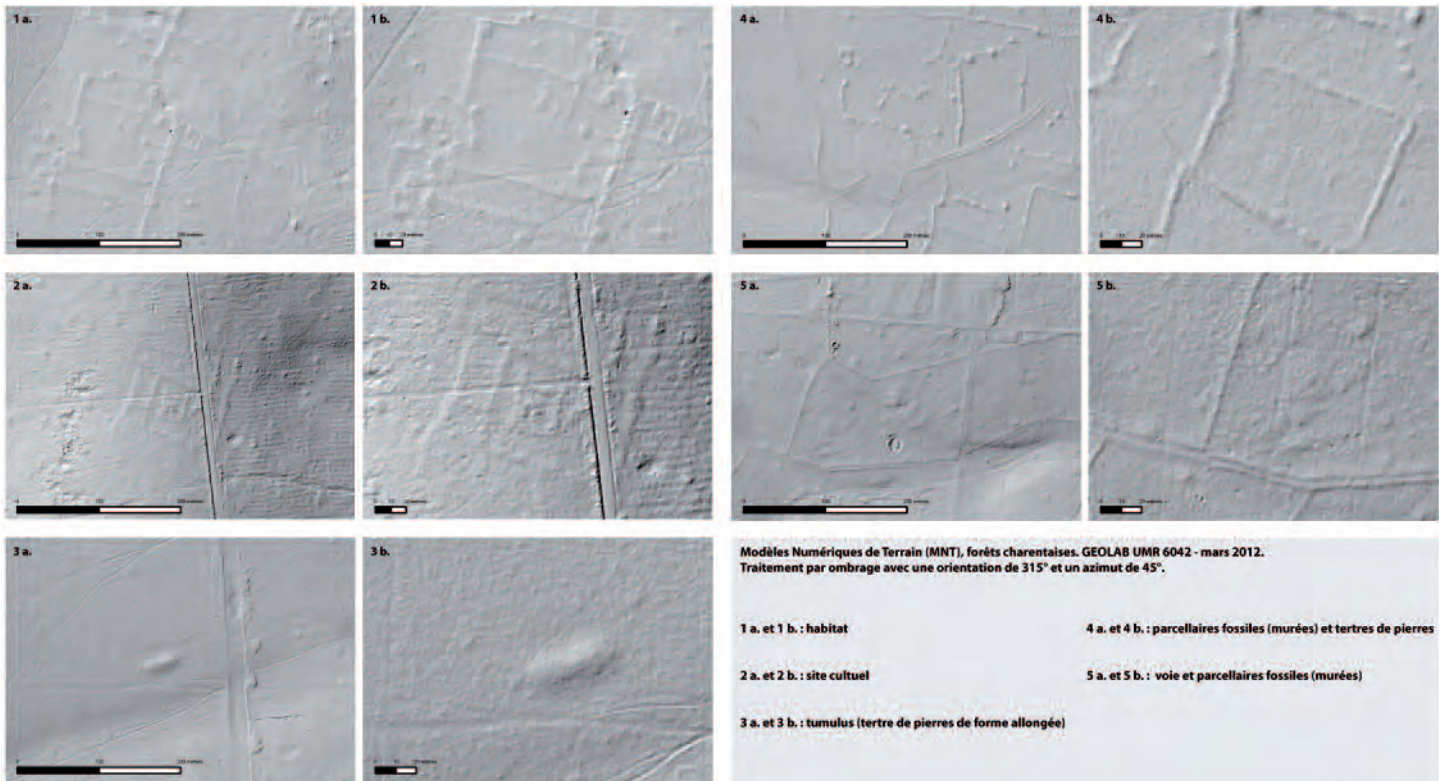


Figure 03 : Exemples de sites archéologiques découverts dans les forêts charentaises d'après l'observation et l'interprétation des données LiDAR.

L'acquisition et le traitement des données « brutes » constituent la première phase d'un processus qui doit nécessairement être suivi de l'observation et de l'interprétation des données LiDAR puis de la vérification des anomalies sur le terrain. C'est à partir de données considérées comme « valides »³

que le travail d'observation/interprétation des MNT doit être réalisé. Chaque anomalie topographique considérée comme possiblement anthropique – quelles que soient sa forme, ses dimensions et sa nature supposée – est alors vectorisée par l'intermédiaire d'un système d'information géographique (SIG) avant d'être, dans le mesure du possible, vérifiée et attestée sur le terrain.

3 Il s'agit de vérifier la précision des livrables fournis par le prestataire ayant réalisé les relevés LiDAR.

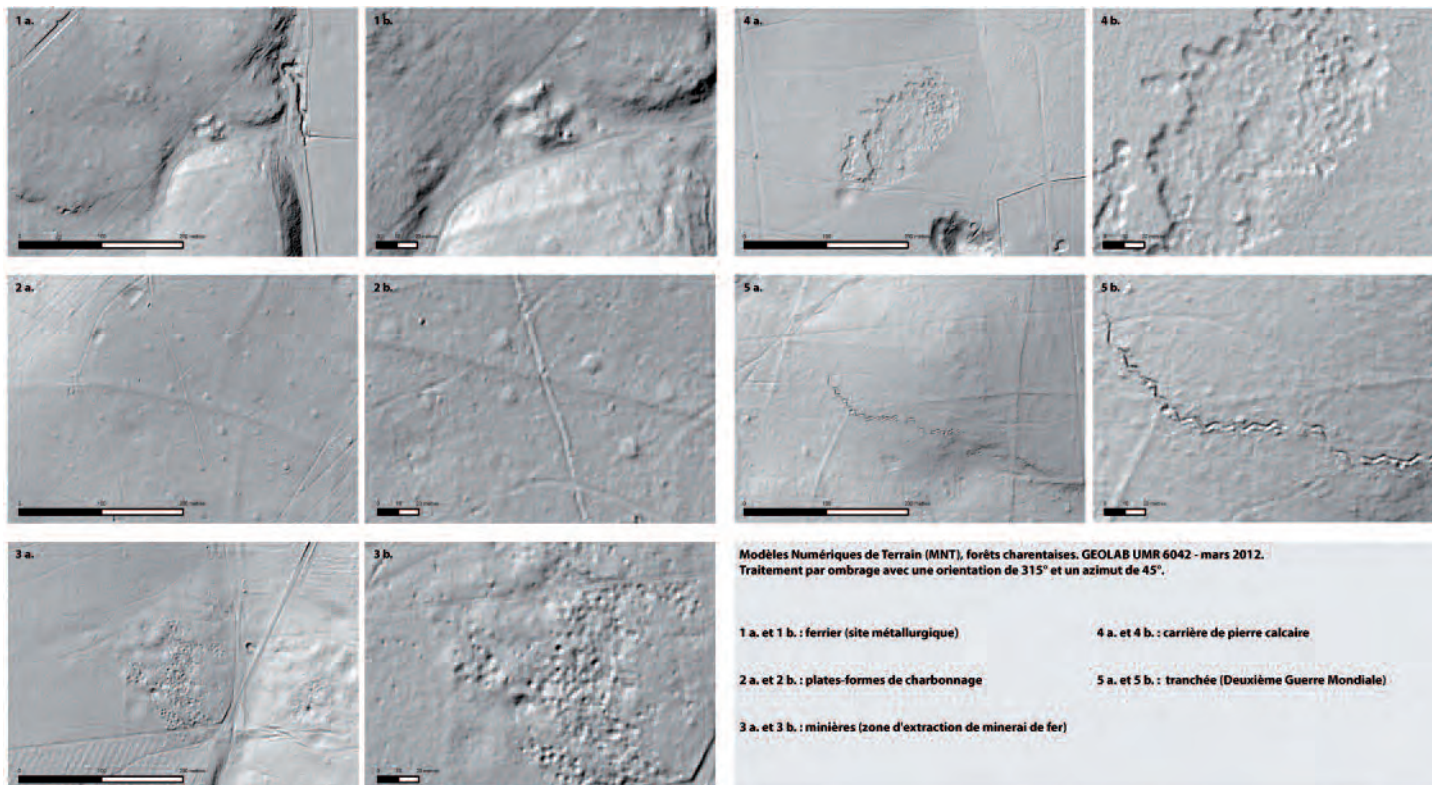


Figure 04 : Exemples de sites archéologiques découverts dans les forêts charentaises d'après l'observation et l'interprétation des données LiDAR (DAO : G. Rassat).

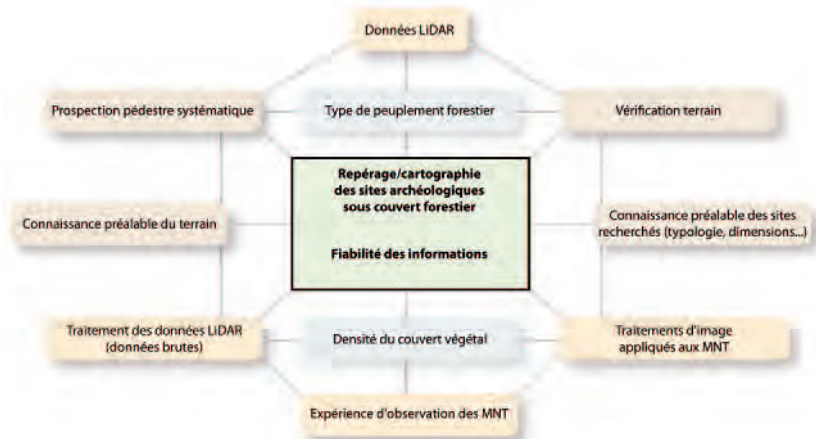


Figure 05 : Ensemble des facteurs ayant une influence sur l'interprétation/observation des MNT (DAO : G. Rassat).

Une variabilité des résultats : quelques éléments de réponses

Même dans les zones où la végétation est particulièrement dense et la visibilité au sol réduite, les données LiDAR peuvent fournir à l'archéologue une image et surtout un « accès instantané » à l'information archéologique (Fig. 3 et 4). Pour autant, cet accès « privilégié » ne le dispense en rien de la vérification des informations sur le terrain (prospections pédestres) voire d'une fouille archéologique, seule garante d'une plus juste compréhension des sites et de leur organisation. De par leurs caractéristiques morphologiques, certains sites sont aisément reconnaissables et interprétables. Pour d'autres, *a contrario*, l'exercice est plus complexe. À cela, plusieurs explications possibles comme l'ont démontré les tests récemment menés sur des plates-formes de charbonnage (Rassat et al., 2015). La variabilité des résultats de leur identification, menée d'après l'observation d'un MNT ombré (orientation de 315° et azimut de 45°) en comparaison avec les résultats des prospections pédestres, est selon toute vraisemblance déterminée par l'**expérience du ter-**

rain, la connaissance préalable des sites recherchés ainsi que l'état de conservation de ces derniers (Fig. 5). L'enquête lancée en mars 2015 (*analyses en cours*) auprès d'un panel d'observateurs plus ou moins averti, a pour objectif de vérifier les résultats déjà obtenus tout en cherchant à déterminer l'incidence des différents traitements appliqués aux MNT sur la visualisation et l'identification des sites.

Vers une détection semi-automatisée des sites archéologiques ?

(Recherches menées avec la collaboration de Jean-Pierre Toumazet, Laboratoire GEOLAB UMR 6042 CNRS – Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand). Pour pallier une éventuelle perte d'informations liée aux facteurs précédemment évoqués, une ap-

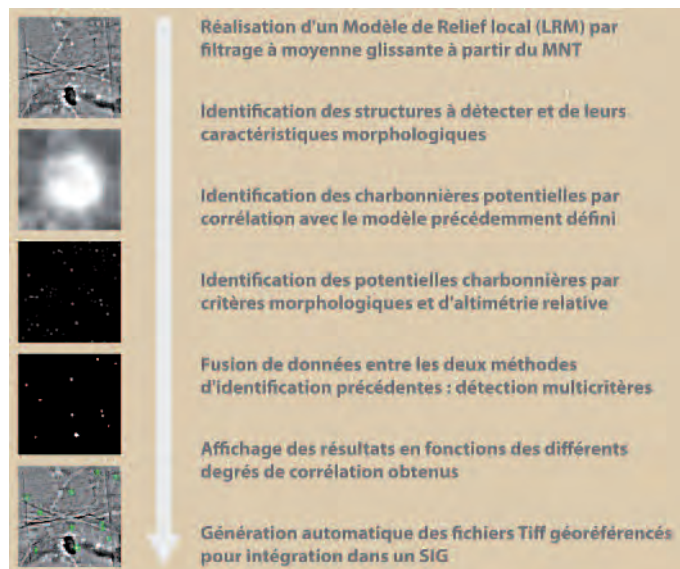


Figure 06 : Processus de détection semi-automatisé à partir d'un MNT (Rassat et al., 2015).

proche méthodologie basée sur la détection semi-automatisée des sites a été récemment mise en place (Fig. 06). Appliquée pour le moment aux seules plates-formes de charbonnage, l'utilisation de l'algorithme de reconnaissance fournit déjà des résultats probants (Rassat et al., 2015). La détection semi-automatisée permet, tout comme le travail d'observation/interprétation des MNT, de repérer une partie des sites étudiés. Certaines structures « évidentes » ne sont toutefois pas détectées car elles sont accolées à des éléments linéaires (chemins, parcellaires) et exclues à ce titre du processus de détection. Ces cas pourraient à l'avenir être résolus en affinant le processus de traitement des données initiales (détection des éléments linéaires).

Avec le procédé de détection semi-automatisé, l'objectif n'est pas de remplacer l'archéologue mais de l'aider dans le cadre de recherches réalisées sur de très vastes superficies. Sa collaboration est d'ailleurs nécessaire pour la définition précise des caractéristiques de la structure à détecter.

Graziella RASSAT

Forêt Privée Française :

<http://www.foretpriveefrancaise.com/>

Inventaire Forestier National :

<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/>

Office National des Forêts :

<http://www.onf.fr/>

Rassat et al., à paraître

Rassat G., Crouzevialle R., Cerbelaud F., Toumazet J.-P., Allée Ph., Dieudonné-Glad N., Bal-Serin M.-Cl. : « L'utilisation et l'apport de données LiDAR pour l'étude des forêts charbonnées de plaine charentaises (16, France) », in *Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de regards autour d'un artisanat méconnu*, Presses Universitaires de Provence, à paraître.

Rassat et al., 2015

Rassat G., Toumazet J.-P., Cerbelaud F., Crouzevialle R., Allée Ph., Dieudonné-Glad N., Bal-Serin M.-Cl. : « Le LiDAR : pour une histoire renouvelée des forêts charbonnées de plaine charentaises. Approche classique et détection semi-automatisée des plates-formes de charbonnage », *xx^e colloque d'archéométrie du GMPCA*, 27-30 avril 2015, Besançon, 2015. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01147739>

Rassat, 2014

Rassat G. : « Le repérage et l'étude des sites archéologiques sous couvert forestier charentais : de la prospection pédestre à l'utilisation de la technique LiDAR (Light Detection And Ranging) », *Bulletin de liaison et d'information de l'Association des Archéologues de Poitou-Charentes*, 43, 2014, p.63-70.

Remerciements :

Les recherches menées dans les forêts charentaises bénéficient du soutien de la Drac/SRA de Poitou-Charentes, de l'Institut des Sciences de l'Homme et de la Société – Université de Limoges, des Laboratoires GEOLAB UMR 6042 CNRS – Université de Limoges et HeRMA EA 3811 – Université de Poitiers, du PRES Limousin-Poitou-Charentes, du Département de la Charente, de la Région Limousin, de la Communauté de Communes Braconné & Charente, du Syndicat Mixte pour l'Équipement touristique des forêts domaniales de Braconné et Bois-Blanc, de la Commune de Brie, de l'Office National des Forêts, du Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement Périgord-Limousin et de la Route des Tonneaux et des Canons.

Les remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont apporté leur concours pour le lancement du projet LiDAR : Philippe Allée, Marie-Claude Bal-Serin, Fabien Cerbelaud, Rémi Crouzevialle, Didier Delhoume, Julien Dellier, Nadine Dieudonné-Glad, Sandrine Paradis-Grenouillet, Frédéric Richard, Romain Rouaud. Que soient également remerciés : Yohan Toulzat-Lemaire, Marc Doucet et les services centraux de l'université de Limoges pour leur aide au montage du cahier des charges et à l'appel d'offre, Arnaud Roux de la société Sintégra pour les renseignements fournis sur l'appareillage LiDAR.

Les remerciements s'adressent enfin à tous les bénévoles qui ont offert leur aide sur le terrain et plus particulièrement à Jean-Louis Delâge, Jean Lavoix, Michel Léonard et Laurent Ferchaud.

L'usage du sondeur et du sonar à balayage latéral en archéologie subaquatique et sous-marine

Introduction

La recherche archéologique subaquatique et sous-marine dispose depuis quelques années d'outils de mesure et de détection permettant la réalisation de cartographies ou d'images géoréférencées. Dans le domaine fluvial, des collaborations ont été engagées très tôt avec les services gestionnaires de cours d'eau pour obtenir les relevés bathymétriques (profils en long ou perpendiculaires des lits mineurs).

En 1984, E. Rieth (CNRS) sollicite le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois qui mène une prospection au sonar à balayage latéral en aval de Saintes. Le CNRS¹ utilisera à la même période un sondeur pour réaliser des coupes transversales sur chenal de navigation sur les sites d'Orlac et de Port Berateau. Au cours de la prospection thématique engagée sur le site de Taillebourg-Port-d'Envaux en 2002, une cartographie en 3D de la section du lit mineur prospectée sera réalisée dès la première année ; des relevés successifs² permettront de l'actualiser.

L'observation régulière des cours d'eau amène à constater l'évolution constante de leur lit : les crues, la baisse des eaux, la présence accidentelle d'obstacles, les aménagements, contribuent à des variations importantes des hauteurs de sédiment. La restitution du nivellement du fleuve sera, d'une certaine mesure, conjoncturelle et éphémère dans sa vision en « détail ». Elle offre néanmoins une physiologie générale réaliste et riche de renseignements sur le relief du chenal, notamment sur la présence de seuils ou de zones de creusement. Ces données permettent d'évaluer au mieux l'anthropisation d'un cours d'eau. En effet, les travaux menés sur la Saône (Bonnamour, 2000, Dumont, 2002) ou dans le fleuve Charente depuis 2001, démontrent une occupation quasi systématique des haut-fonds. Ils constituent des points de passage obligés (gués ou ponts construits sur les hauts-fonds) et des lieux propices aux pratiques halieutiques (pêcheries) ou artisanales (moulins, zones portuaires). Les traces de ces activités (mobiliers, structures, épaves) s'ajoutent à celles plus ténues de pratiques culturelles ou culturelles (dépôts votifs). Le repérage anticipé de ces reliefs permet d'élaborer une stratégie de recherche. La découverte fortuite de vestiges trouvera, quant à elle, une contextualisation *a posteriori*, une fois la carte bathymétrique établie.

Le sondeur – relevé bathymétrique

Le relevé bathymétrique est un outil efficace s'il traduit au mieux la réalité topographique. Si l'utilisation du sondeur est aujourd'hui la règle en matière de relevé bathymétrique, force est de constater que l'usage du théodolite est toujours en vigueur dans certaines équipes de fouille subaquatique (Rieth, 2014). L'usage de ce matériel est donc pris en compte dans l'argumentaire qui suit.

L'exactitude d'un relevé bathymétrique est dépendante de trois facteurs :

- La précision du relevé des hauteurs d'eau.
- La précision du positionnement.
- La densité des points pour la réalisation d'un MNT (modèle numérique de terrain).

La précision du relevé des hauteurs d'eau :

L'utilisation du théodolite peut, *a priori*, permettre le relevé en nivellement du fleuve. Le principal handicap est l'utilisation d'une canne à prisme dans des hauteurs d'eau qui engendrent un dévers de celle-ci (le fleuve Charente présente un courant variable en fonction des coefficients de marée, l'étalement étant le moment le plus propice à cet exercice). L'utilisation d'une canne, sur laquelle deux prismes sont positionnés, et la prise de mesure rapide de ces deux prismes, ou mieux simultanée (deux théodolites), permettent le calcul de ce dévers et sa correction en post-traitement. La précision en Z, si l'on fait le choix de ne pas faire de post-traitement ou si l'on ne dispose pas de ce type de canne, reste acceptable dans une certaine mesure (l'écart entre la verticalité du point et la position du prisme devant rester raisonnable). La principale difficulté reste de s'assurer de la verticalité de la canne, même si en théorie on dispose d'une nivelle en surface pour la contrôler. Au-delà de 4 m d'eau la canne, généralement en matériaux légers, subit une torsion (difficilement contrôlable par la nivelle de surface) en cas de courant important ; ce qui sur la durée du relevé risque d'arriver. Les efforts nécessaires pour palier cet inconvénient ne nous semblent pas rentables en temps et souvent illusoire. Il ne faut pas oublier que l'opérateur tenant la canne est sur une embarcation dont le positionnement stationnaire est relatif, si l'on a à compenser l'action du courant, et dont la surface portante sur l'eau contribue à augmenter la tension sur la canne. D'autre part l'enfoncement de la canne dans le sédiment peut être, en fonction de celui-ci, conséquent et difficilement contrôlable même avec un plongeur au fond ; là aussi on doit intégrer cette imprécision du Z dans la marge de tolérance que l'on se fixe.

L'échosondeur s'affranchit de ces difficultés : il restitue la hauteur d'eau par la mesure du temps entre l'émission d'une onde sonore et sa réception. La variabilité due à la vitesse de propagation d'une onde sonore en fonction des paramètres locaux (turbidité et salinité de l'eau) entraîne la nécessité d'un calibrage du système sur des points dont la hauteur d'eau est connue. C'est la première contrainte liée à son utilisation. Couplé au GPSD, il reçoit le message de position NMEA à la cadence maximale de 0,5 Hz (1 message toutes les 2 secondes). Il intercale ces données avec les mesures de profondeur prises à 1 Hz (1 message par seconde) et les adresse à l'ordinateur portable via une sortie série (RS 232). La deuxième contrainte est la variation des hauteurs d'eau liée à la marée. Deux solutions sont testées : acquérir le Z sur le GPS, ou implanter une échelle graduée et relever les variations en temps, que l'on intégrera au cal-

1 Centre National de la Recherche Archéologique Subaquatique, devenu « antenne » des eaux intérieures du DRASSM.

2 Service d'hydrographie maritime de la DDE 17, SRA Poitou-Charentes, société Mesuris.

cul du Z en post traitement au moyen d'un logiciel spécifique. Les principaux avantages de l'échosondeur sont la précision des Z (sans exclure la phase d'écrêtage) et le rendement (1 mesure par seconde).

La précision du positionnement :

Les mesures avec un théodolite à distance-mètre semblent en théorie d'une grande précision. Néanmoins les problèmes du dévers de la canne, s'ils influencent d'une façon minimale le Z sur des hauteurs de 6 m, altèrent davantage le positionnement en XY. On peut difficilement prévoir une tolérance dans ce domaine si l'on prend en compte les conditions d'emploi d'une canne par un opérateur embarqué. Le choix du GPSD s'impose naturellement³. Le calculateur du GPS peut traiter des données différentielles (provenant de 2 antennes différentes dont une fixe) dans le but d'accroître la précision du positionnement.

La densité des points est la troisième condition pour un relevé exact :

La densité du maillage est nécessaire pour que les profils et le MNT soient représentatifs de la réalité topographique du terrain. Cette densité doit être atteinte dans les profils transversaux du chenal, mais aussi dans son axe, afin d'obtenir un maillage homogène exempt de lacunes. Les logiciels utilisés pour la cartographie (Autocad-Covadis ou Surfer) peuvent produire une carte à partir d'un minimum de points en les interpolant, mais le plan produit ne sera pas conforme à la réalité, quelle que soit la qualité trompeuse de son rendu (l'imprécision du positionnement contribue aussi à ce décalage entre la réalité et le plan). Enfin, une phase d'écrêtage des données (suppression des points aberrants en Z) est nécessaire après vérification pour certains cas litigieux (Fig. 1). On peut en effet, enregistrer au théodolite une position (point x, y, z) sur un relief qui est en

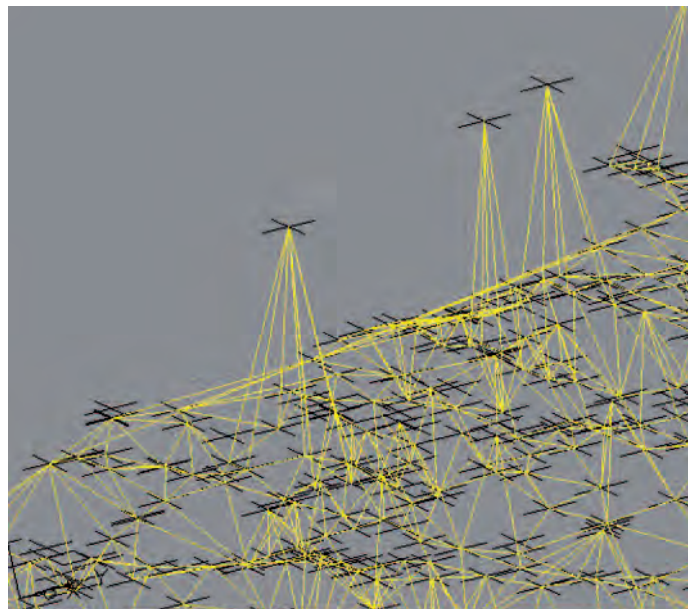


Figure 1 : Exemples de points aberrants décelés dans le MNT réalisé pour la bathymétrie du site de la Motte dans le fleuve Hérault. Le fichier de points est traité sous Autocad-Covadis 2004 pour l'épurer des points manifestement erronés (Bathymétrie J.-F. Mariotti - SRA Poitou-Charentes).

³ Celui acquis par le SRA Poitou-Charentes, le DGPS MAX de la marque CSI Wireless, est un système de positionnement mono-fréquence qui affiche des coordonnées géographiques en continu après une phase d'initialisation et produit un message de positionnement au format NMEA 183 type GGA via sa sortie série principale (RS-232 MAIN) à la cadence de 0,2 Hz (1 mesure toutes les 5 secondes).

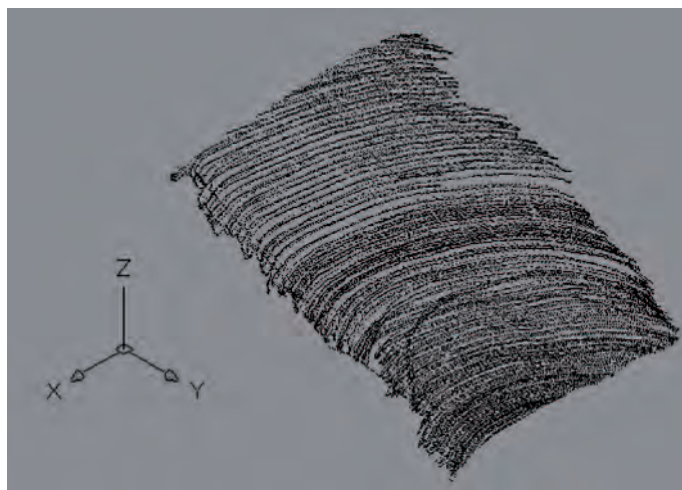


Figure 2 : Semi de points de la bathymétrie du site de la Motte dans le fleuve Hérault : la surface couverte est de 20 630 m², le nombre de point est de 29 332, soit 1 point tous les 0,7 m².

réalité un obstacle dérivant ou artificiel (bois, objets dérivants, etc.) ou prendre au sondeur des bois ou débris dérivants entre deux eaux. La densité seule assure la discrimination des points aberrants.

Ce troisième objectif est peut-être le plus difficile à atteindre, car il induit des prises de mesures rapides et une méthode de navigation adaptée.

La prise de points au théodolite ne peut atteindre une densité comparable à celle du sondeur (mono ou multi-faisceaux) (fig. 2). À titre d'exemple, ce ne sont que 500 points annoncés pour 4 000 m² (mesures au théodolite et à la canne, soit 1 point tous les 8 m²) qui sont susceptibles, selon les responsables de la fouille de l'épave EP1 à Taillebourg, de restituer la physionomie du chenal (Rieth et al., 2013). Le MNT des bathymétries réalisées sur le même

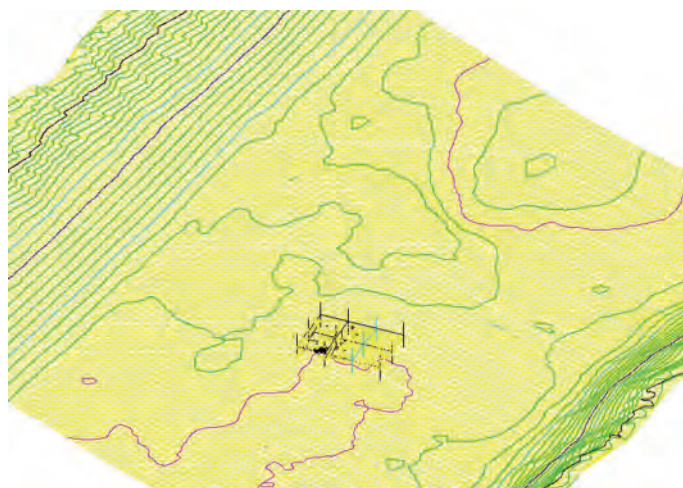


Figure 3 : Plan de la campagne de fouille 2014 du seuil S1 - site de Taillebourg-Port-d'Envaux réalisé sous Autocad Covadis . On distingue le cadre de référence intégré au modèle numérique de terrain construit à partir de la bathymétrie Mesuris (DAO : J.- F. Mariotti).

secteur, par la DDE ou le SRA (sondeur mono-faisceau) offrent une résolution d'un point par 0,5 m², celle effectuée par la société Mesuris (sondeur multi-faisceaux) atteint une densité d'un point tous les 0,19 m².

En dernier lieu, l'exploitation d'une bathymétrie assez dense pour obtenir sous Autocad Covadis un MNT cohérent permet l'intégration du relevé topographique *in situ* des vestiges inscrits dans le chenal (Fig. 3).



Figure 4 : Plan sous Sketchup. Le modèle numérique de terrain construit à partir de la bathymétrie Mesuris est habillé d'une texture ainsi que les vestiges en 3D. Plan de situation du seuil 1 – zone portuaire de Taillebourg-Port-d'Envaux à l'issue des prospections 2002 (DAO : P. Moyat).

Le plan est ensuite exportable d'Autocad vers le logiciel d'imagerie 3D Sketchup. Le contexte (la bathymétrie) est aussi bien reproduit que les différents vestiges topographiés. Dans le cas de la pirogue, le relevé Autocad constitue un squelette que le logiciel Sketchup habille d'une texture (mapping) (Fig. 4).

Le sonar – imagerie acoustique

Le second outil disponible est le sonar à balayage latéral (SBL) (Fig. 5). Système acoustique de haute définition (submétrique), il fournit en continue une image du fond marin ou fluvial. Au-delà des différences de modèles et de constructeur, le principe de fonctionnement est un émetteur récepteur acoustique déployant deux faisceaux acoustiques de part et d'autre du « poisson » (torpille). Le sonar exploite les caractéristiques des ondes renvoyées par le fond. Celles-ci sont « marquées » par un effet de surface du fond (micro-topographie) et un effet de volume (granulométrie et porosité du sédiment). Cet effet de volume diminue avec l'augmentation de la fréquence (à partir de 500 kHz) jouant ainsi un rôle de pénétrateur de sédiment.

Deux transducteurs latéraux émettent des faisceaux extrêmement fins (1° en horizontal et 10 à 50° en vertical) formant des ailes de chaque côté de la torpille. Les ondes acoustiques émises par les transducteurs sont de courte durée (0,1 ms) et de haute fréquence (83 à 200 kHz en vertical et de 455 à 800 kHz en balayage pour le modèle utilisé par le SRA). Seules les données acoustiques de retour sont traitées par le sonar. Le signal acoustique est ainsi transformé en image acoustique monochrome appelée sonogramme. La variation d'intensité de la couleur de l'image (grise ou marron) restitue le relief en fonction de l'indice de rétro-diffusion du fond. Les roches, les blocs ou le gravier ayant une plus grande réflexion que la vase, ils apparaissent en clair sur le sonogramme produit par notre sonar. De même, les pentes orientées ou opposées à l'axe de la torpille voient leur inclinaison

traduite par un ombrage, donnant ainsi une vision topographique du fond. Tracter à une hauteur constante du fond, le sonar « éclaire » de façon rasante celui-ci et projette l'ombre des objets émergeant du sédiment (Fig. 6). Cette image en négatif des volumes permet souvent d'identifier la nature de ces anomalies⁴.

Les images géoréférencées produites par les logiciels d'exploitation du SBL, complètent la cartographie bathymétrique produite par le sondeur. La mise en corrélation des seuils et des anomalies, confirme parfois une anthropisation du haut-fond. C'est ce faisceau d'indices convergents qui aide à la définition d'une stratégie de prospection ou de fouille. Le travail de cartographie sondeur/SBL est un travail préparatoire qui permet d'engranger un grand nombre d'informations avant la mise en place des plongées sur site.

La portée pratique du modèle utilisée par le SRA est variable en fonction du milieu d'intervention. Si la largeur du balayage est fonction de la fréquence utilisée et de la profondeur sous sonde, l'opérateur tente de respecter la règle du 1/10 en 455 khz soit 30 m de balayage pour 3 m sous sonde. Ce paramétrage permet

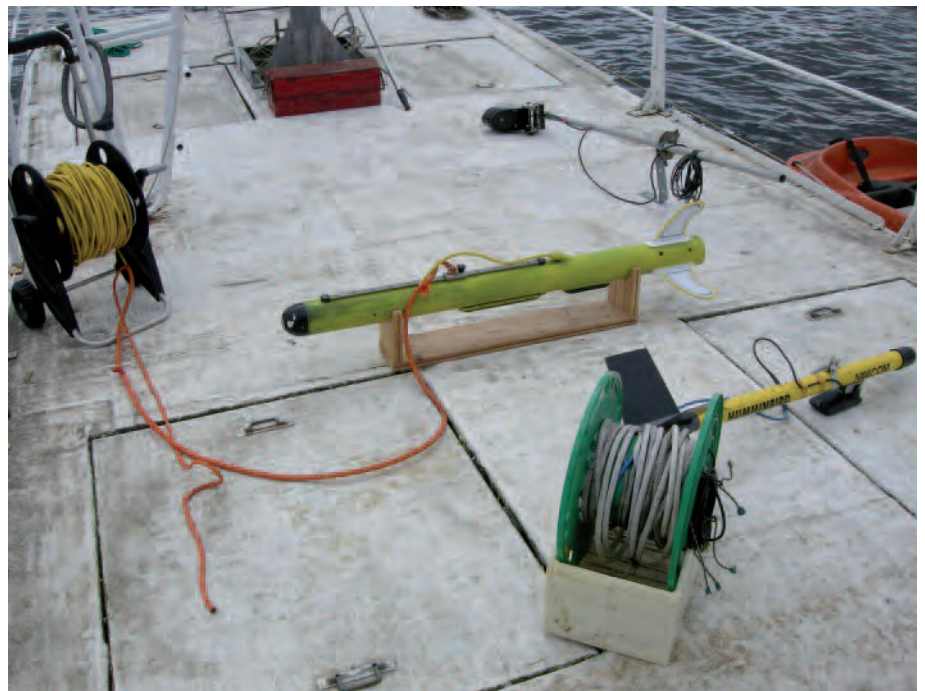


Figure 5 : Torpilles portant la tête du SBL (Cliché : F. Gomez).

en milieu fluvial de visualiser les deux rives sur un seul passage axial. Il met en évidence les reliefs, les obstacles principaux, blocs, arbres, branchages, végétation, épaves, etc. (Fig. 7). En utilisant la plus haute fréquence (à 800 kHz), la précision de la détection augmente mais le champ du balayage diminue. Une série de passes est dès lors nécessaire pour couvrir une même portion de chenal ou un même secteur en mer.

Les essais pratiqués sur des vestiges connus (pirogue ou

⁴ Informations tirées de : *L'application du Sonar à Balayage Latéral (SBL) pour la cartographie des habitats marins en domaine subtidal.* Ehrhold A., Ifremer DEL / EC.

épave) ont confirmé la précision du dispositif (résolution de l'image et exactitude du positionnement). L'identification de certains vestiges est faite dès l'acquisition du sonogramme, mais c'est plus généralement à l'issue d'une analyse conjointe des données bathymétriques et des images sonar que le potentiel archéologique d'un secteur est évalué. L'interprétation des « reliefs » nécessite un réel apprentissage ; souvent la trace de vestiges est retrouvée sur l'image parce que l'on en connaît le positionnement exact (à l'issue d'une plongée de vérification par exemple).

Conclusion

L'utilisation conjointe de ces deux matériels (sondeur et sonar à balayage latéral), offre à l'archéologie subaquatique et sous-marine, l'opportunité d'augmenter son champ d'investigation de façon notable. En croisant la cartographie (réalisée à partir des données du sondeur) et les images des anomalies (produite par le sonar à balayage latéral) on obtient des informations géoréférencées exploitables. Elles autorisent une réflexion préalable et la mise en place d'une stratégie de recherche coordonnée et extensive.

Felix GOMEZ, Jean-François MARIOTTI

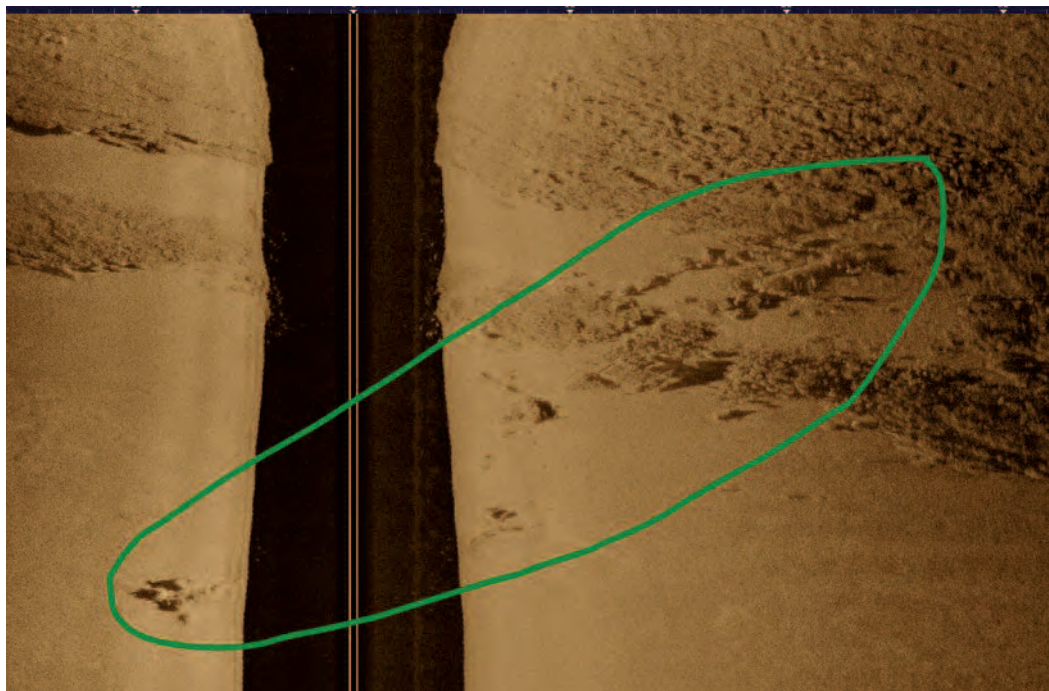


Figure 6 : Prospection en mer – Vestiges d'une épave émergeant du sable. (Cliché : F. Gomez)

Bonnamour, 2000

Bonnamour L. : *Archéologie de la Saône*, Catalogue 1 de l'exposition « Le fleuve gardien de la mémoire », Editions Errance, Paris, 2000.

Dumont, 2002

Dumont A. : *Approche archéologique, environnementale et historique du fleuve Charente à Taillebourg – Port d'Envaux (Charente Maritime)*, dossier de PCR déposé au SRA de Poitou-Charentes, 2002.

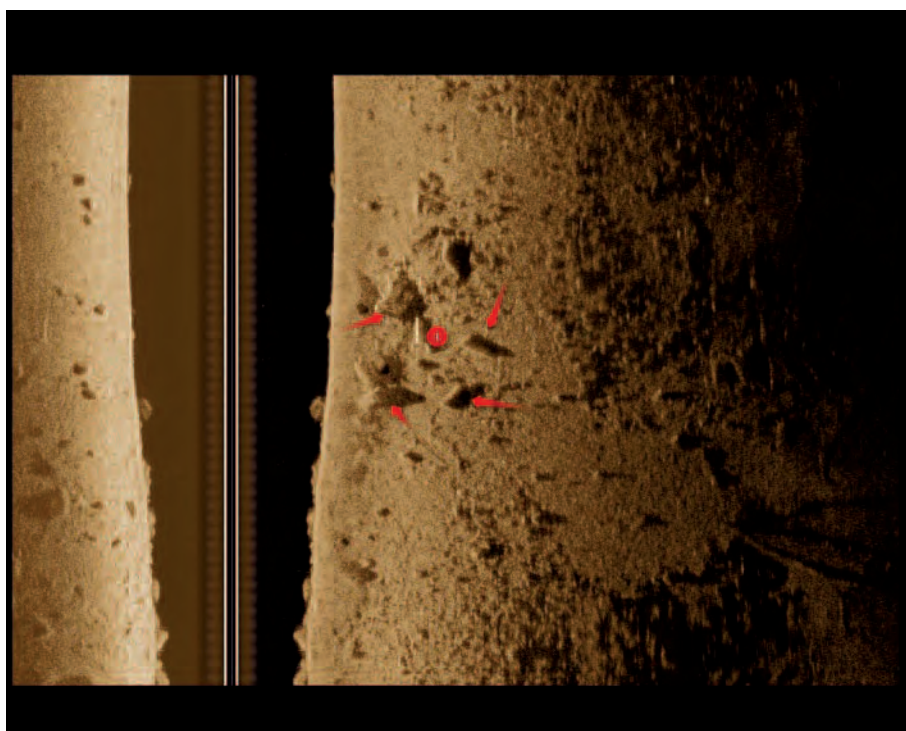


Figure 7 : Prospection fleuve Charente – Bases de colonnes émergeant du sédiment. (Cliché : F. Gomez).

Dumont, Mariotti, 2013

Dumont A., Mariotti J.-F. (Dir.) : *Archéologie et histoire du fleuve Charente, Taillebourg-Port d'Envaux : une zone portuaire du haut Moyen Âge sur le fleuve Charente*, Dijon, Éditions universitaires de Dijon, 2013.

Rieth, Texier, 2004

Rieth E. Texier P : *Épave EP1 de Taillebourg*, rapport de fouille déposé au SRA de Poitou-Charentes, 2004.

Rieth, 2013

Rieth E. (dir.) : *L'épave de la première moitié du XV^e siècle de la Canche à Beutin (Pas-de-Calais)*, *Revue du Nord*, numéro spéciale, 20, 2013.

Une application photogrammétrique par drone en archéologie : expérience de la modélisation de la Tour de Broue et d'une cabane de marais (17)

La récente libéralisation des drones civils a permis à de nombreuses professions, notamment aux universitaires, d'engager de nouvelles recherches grâce à ces vecteurs aéroportés légers. La démocratisation de ces machines, ainsi que leur coût d'utilisation de plus en plus faible, a permis à l'université de La Rochelle de mettre au point un engin solide, fiable et robuste, capable de voler dans des conditions météorologiques pouvant être délicates (vents, embruns etc.).

L'utilisation des drones dans le cadre de l'archéologie, n'est qu'une des nombreuses applications possibles pour ce type de matériel (Jaillet, et *al.*, 2011, Pe'Eri, Long, 2011).

En archéologie, le drone est utilisé afin d'effectuer un vol de courte durée, au-dessus d'un monument ou d'un chantier. Durant ce vol, un capteur, normalement prévu pour des activités sportives extrêmes, va prendre une série de photographies à intervalles réguliers. Une fois le vol effectué, les photographies sont récupérées, assemblées sur un logiciel de photogrammétrie spécialisé pour ensuite donner une modélisation finale en 3D (Agisoft, 2014, Thamm, 2015).

L'intérêt est double : les photographies haute résolution permettent d'accéder à une vision générale d'un chantier, ou encore de prendre en photo des parties généralement inaccessibles d'un édifice pour ensuite effectuer des observations de détail ou un travail préparatoire à une étude de bâti.

La modélisation 3D, permet de « fixer » une scène ou un chantier à un moment donné. La reconstitution tridimensionnelle permet par la suite des actions virtuelles telles que se déplacer sur le chantier, accéder et se déplacer dans des zones difficiles d'accès (du fait de leur hauteur par exemple) (Jaillet, et *al.*, 2011, Turner, Lucieer, 2013).

Le processus de modélisation 3D

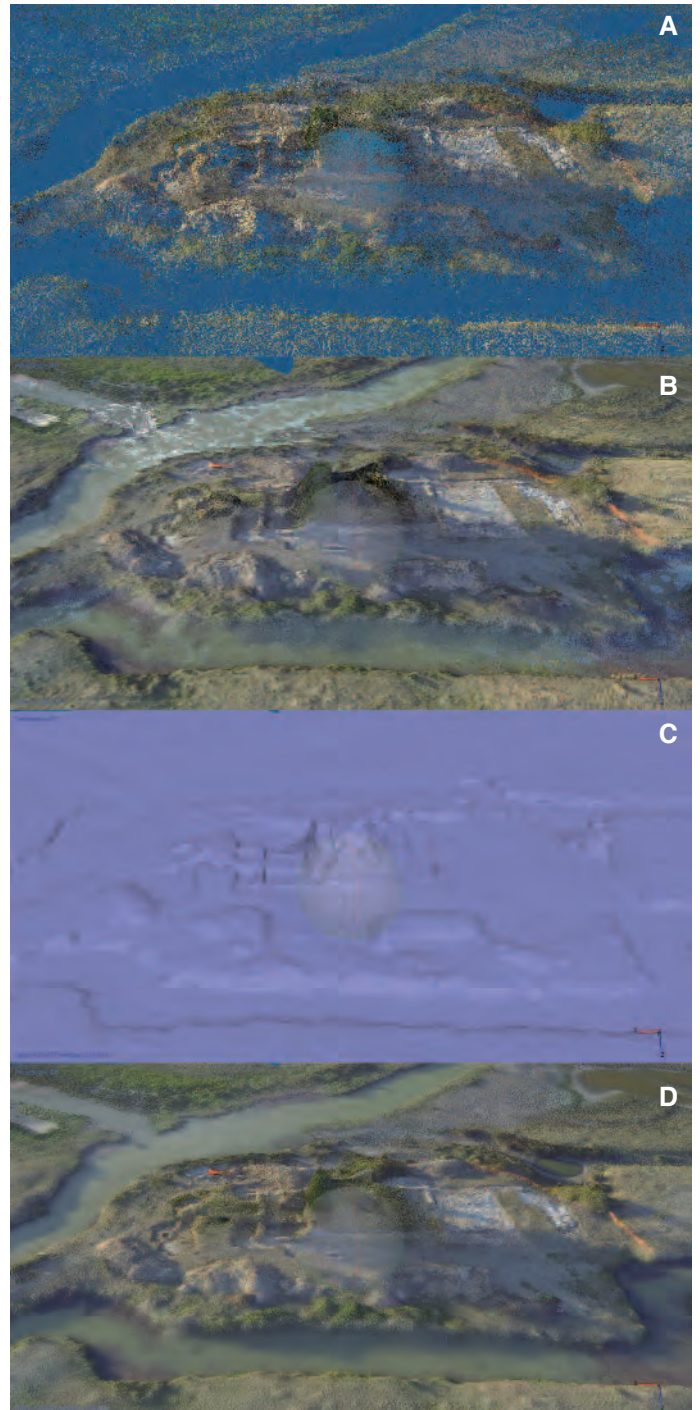
Le processus de modélisation 3D utilise un procédé de stéréo-photogrammétrie, largement utilisé depuis la première guerre mondiale pour des applications militaires et surtout cartographiques. La photogrammétrie (discipline mère de la stéréo-photogrammétrie), reste encore aujourd'hui la base des cartes IGN (Jaillet, et *al.*, 2011).

Le processus, qui permet d'assembler une série de clichés acquis depuis un vecteur (pas forcément aéroporté) et ainsi d'obtenir un modèle 3D, comprend plusieurs traitements. Ce processus est réalisé par un logiciel de photogrammétrie. Celui utilisé pour la réalisation des études présentées dans ce document est Photoscan, il a été développé par Agisoft (Russie) (Agisoft, 2014).

Le premier traitement consiste à corriger légèrement les aberrations géométriques consécutives de l'effet grand angle ou « œil de poisson » (fish-eye) du capteur. Ce travail

peut se faire facilement avec des logiciels spécialisés d'une façon automatique.

L'ensemble des traitements suivants va être effectué, sous la forme d'une chaîne, par le logiciel de photogrammétrie (fig. 1).



Figures A à D : Visualisation de la chaîne des traitements photogrammétriques sur Photoscan, de la recherche des points homonymes, au texturage final.

- Le premier consiste à aligner les caméras entres-elles. Pour cela le logiciel va chercher des correspondances entre les pixels (points homonymes) des différentes photographies. Cette première étape va permettre de correctement placer dans un repère orthonormé la position du capteur au moment de la prise de vue, ainsi que l'emprise au sol des points homonymes.
- Le deuxième traitement consiste à repartir des points homonymes précédemment calculés, puis de chercher autour de ces points des nouvelles correspondances. Ce traitement de nuage de points dense, permet de considérablement augmenter le nombre de points homonymes entre chaque cliché.
- Le troisième traitement consiste à relier l'ensemble des points du nuage dense, précédemment calculé, par une triangulation inter-nodale (Tin). C'est cette triangulation ou maillage, qui peut par la suite être convertie en grille raster pour être exportée en modèle numérique d'élévation (MNE).
- Le dernier traitement consiste à fusionner une texture à partir de l'ensemble des photographies de la mission, puis de superposer cette texture au maillage précédemment calculé.

L'expérimentation des cabanes de marais

En septembre 2014, la Service Régional de l'Archéologie de Poitou-Charentes a pris l'initiative de contacter l'université de La Rochelle afin de monter un projet de modélisation lors de la fin d'un chantier de fouilles sur une ancienne ca-

bane de marais à Laleu commune de Hiers-Brouage (Charente-Maritime) (voir PCR « Les marais charentais au Moyen Âge et à l'époque moderne », notice dans ce BSR).

Les vols ont été effectués au début du mois d'octobre en soirée afin de bénéficier d'un éclairage rasant et de mettre ainsi en évidence les micros reliefs d'un environnement particulier constitué par ces anciens marais salants. 455 photographies ont été prises durant une série de 3 vols de 6 minutes chacun.

Les deux premiers vols ont été réalisés sur l'ensemble du chantier de fouilles. Ces vols étaient destinés à « figer » numériquement le chantier, mais aussi à enregistrer la topographie du site archéologique dans son environnement naturel au milieu des canaux des marais (fig. 2).

Le troisième et dernier vol a été réalisé au-dessus d'un pavage d'une étable, localisée au nord de l'ensemble bâti (fig. 3). Ce vol était destiné à numériser finement (résolution des images < 2 cm) le pavage pour pouvoir ensuite reproduire et étudier l'organisation générale de la structure. Cette manipulation a été complétée par un relevé topographique réalisé sur le terrain.

La reconstitution 3D a été réalisée via le logiciel de photogrammétrie Photoscan. Ce logiciel a permis de compiler les 455 photographies, afin de réaliser la modélisation 3D. Le temps total de post-traitement n'a pas dépassé 2 heures.



Figure 2 : Les deux premiers vols, destinés à situer et numériser la cabane de marais dans son milieu, (Cliché » : B. Guillot).



Figure 3 : Le dernier vol, destiné à numériser finement (<2 cm), le pavage de l'écurie (Cliché : B. Guillot).

Le projet final comprend 423 587 faces, ainsi que 212 511 sommets. Cette configuration de base pourrait encore être améliorée en vue d'obtenir des images plus adaptées à un relevé et une étude de bâti. Pour exemple, le pavage de l'écurie, est une extraction du projet global avec une configuration légèrement plus élevée.

Les projets modélisés sont visibles aux adresses suivantes :
 Pavage de l'écurie : <https://skfb.ly/BwqP>
 Projet de l'ensemble de la cabane ainsi que du pavage de l'écurie : <https://skfb.ly/BwqO>

L'expérimentation de la Tour de Broue (XI^e s.)

Au début du mois d'avril 2015, suite aux perspectives offertes par la modélisation de la cabane de marais d'octobre 2014, une seconde expérimentation est tentée sur la Tour de Broue, élément majeur du XI^e s d'un site castral installé sur un promontoire au milieu des marais de Brouage (commune de Saint-Sornin – Charente-Maritime) (voir PCR « Les marais charentais au Moyen Âge et à l'époque moderne », notice dans ce BSR).

Cette nouvelle tentative s'inscrit dans un programme plus large d'étude archéologique et historique du site dont un des volets comprend la fouille programmée d'une partie de la plate-forme associée à la tour. Les vestiges encore en élévation de l'ensemble castral pourront faire l'objet, à moyen terme, d'une étude de bâti plus poussée répondant ainsi à plusieurs interrogations architecturales. Toutefois, l'élévation importante de la tour de près de 30 m de hauteur pose des problèmes de logistique, surtout dans l'optique d'étude des parties sommitales de l'édifice. En effet, la présence d'une cheminée conique romane au niveau supérieur mérite une étude approfondie, les structures de ce type pour cette pé-

riode étant assez rares. Il en est de même pour le relevé exact de l'ensemble des trous de boulin afin de comprendre l'organisation du chantier. Enfin, l'état de conservation de la partie sommitale de la tour interroge sur son couronnement, son type de couverture, la présence d'un chemin de ronde. Un aménagement dans un angle de l'édifice mériterait des observations plus poussées. Ces dernières permettraient de conforter les hypothèses émises lors d'une publication récente (Faucherre, 2004) sans engager des moyens importants pour réaliser cette manipulation.

L'emploi du drone allait permettre d'effectuer une reconnaissance du sommet de l'édifice, afin notamment de comprendre la structure de ce dernier et d'examiner le conduit de la cheminée. Il s'agissait cette année de produire dans un premier temps une restitution offrant une vision générale de l'édifice sur toutes ces faces. Ce document constitue un outil très utile à l'établissement d'une stratégie de relevés de bâti ultérieurs.

Durant cette expérimentation un lever de points de contrôle au GPS différentiel nous a donné la possibilité, après la chaîne de traitements d'assemblage et de modélisation (décrite précédemment), de géoréférencer le modèle 3D dans un système de coordonnées XYZ (RGF93, IGN 69) et donc d'en extraire une orthophotographie, ainsi qu'un modèle numérique d'élévation.

Dans un second temps, un survol du second promontoire, localisé à l'ouest de la Tour de Broue, a permis de modéliser ce dernier. Il s'agissait de tenter de répondre aux interrogations émises sur des anomalies de relief visibles au sommet du promontoire pouvant indiquer la présence d'espaces



Figure 4 : La tour de Broue, vue générale du site : en 3 les vestiges de la courtine occidentale et en 4 la plate-forme nord (DAO : B. Guillot).

bâties et de préparer ainsi les futures campagnes de fouilles.

Le projet final obtenu est basé sur l'utilisation de 491 photographies pour la seule modélisation de la Tour de Broue, avec 248 766 faces, pour 125 345 sommets et un temps de traitement de plus de 36 heures.

Le projet final de la tour et de son promontoire a été effectué

à partir de 619 photographies, avec 248 766 faces, pour 125 345 sommets et un temps de traitement de plus de 40 heures.

Les projets modélisés sont visibles aux adresses suivantes :

Tour de Broue seule : <https://skfb.ly/DIDQ>
Tour de Broue et le promontoire Est : <https://skfb.ly/DLvX>

Conclusion

L'utilisation des drones, que ce soit sur des applications photogrammétriques applicables au domaine géographique (études littorales) ou archéologique semble donc complètement justifiée sur de nombreuses thématiques de recherche.

La relative souplesse de mise en application de cette technologie, ainsi que de son déploiement sur le terrain, en font un outil très efficace pour accéder, photographier, cartographier et numériser des scènes, ou des monuments. La fidélité des reconstitutions 3D des objets ouvre des perspectives d'évolutions assez larges et constitue un complément technique non négligeable à toute étude de bâti, en particulier sur des espaces ou monuments difficilement accessibles.



Figure 5 : La tour de Broue, début avril 2015 lors de son survol par drone (Cliché : B. Guillot).

Agisoft, 2014

Agisoft LLC, *Agisoft PhotoScan User Manual : Professional Edition*, V. 1.1, 2014, 85p.

Faucherre, 2004

Faucherre N., « La tour de Broue (Charente-Maritime) : l'oeuvre du comte d'Anjou », dans Faucherre N., Rémy Ch. (Dir.), *Tours seigneuriales de l'Ouest, travaux récents sur quelques tours maîtresses de la Normandie à la Catalogne*, Poitiers, CESC, p. 69-73.

Jaillet, 2011

Jaillet S. et al. : « Images et modèles 3D en milieux naturels, une école thématique à la croisée des disciplines », in *Images et modèles 3D en milieux naturels*, (collection Edytem, 12), 2011, 217p.

Pe'Eri, Long, 2011

Pe'Eri, S. and Long, B. : « LIDAR technology applied in coastal studies and management » in Pe'Eri, S. and Long, B. (eds.), *Applied LIDAR Techniques*, Journal of Coastal Research, special issue 62, 2011, p 1-5.

Thamm, 2015

Thamm H-S. : «Utilisation expérimentale d'un aéronef ultraléger (UAV), pour une télédétection à haute résolution », in *Impetus Atlas Benin*, article en ligne, <http://www.impetus.uni-koeln.de/en/impetus-atlas/impetus-atlas-benin.html>.

Turner D., Lucieer, 2013

Turner D., Lucieer A. : *Direct Georeferencing of Ultrahigh-Resolution UAV Imagery*, IEEE, 2013, 8p.

Benoît GUILLOT, Frédéric POUGET, Éric NORMAND



Figure 6 : Photographie haute résolution de la cheminée et du sommet de l'édifice (Cliché : B. Guillot).



Figure 7 : La tour de Broue, face intérieure : en 1 le niveau inférieur de la tour, en 2 la cheminée, et en 5 la salle d'accès au chemin de ronde (?) (DAO : B. Guillot).



Figure 8 : La tour de Broue, face sud-ouest (DAO : B. Guillot).

Restituer les volumes d'une cavité : photogrammétrie de la grotte du Taillis des Coteaux à Antigny (Vienne)

La fouille de la grotte du Taillis des Coteaux a, depuis une quinzaine d'années de fouille, généré une importante quantité de données très diverses (observations ponctuelles au sol comme sur les parois, photographies de terrain, descriptions de mobilier archéologique...), réalisées par une équipe de plus de trente chercheurs, et dont l'un des points communs est de pouvoir être localisées dans le site. Dans ce cadre, disposer d'un modèle numérique de terrain permet de rassembler au sein d'un même document l'ensemble de ces observations.



Figure 1 : Implantation et relevé de cibles topographiques dans l'entrée de la grotte du Taillis des Coteaux (Cliché : J. Primault).

La réalisation d'une photogrammétrie complète de la grotte s'est donc imposée afin de disposer, d'une part, d'un outil de restitution des volumes des différentes salles accessibles et, d'autre part, de permettre de géolocaliser l'ensemble des observations déjà effectuées. Cela étant, si la photogrammétrie de bâtiments ou de sites de plein air commence à entrer dans les habitudes de l'archéologie, notamment préventive, une telle opération est loin d'être coutumière en grotte, la principale limite étant l'exiguïté des lieux.



Figure 2 : Préparation du système de prise de vue par Xavier Muth (Cliché : J. Primault).

Profitant de la mise au point d'un prototype de prise de vue par Xavier Muth (Get In Situ¹), une campagne de topographie, par François Lacampe-Cuyaubère et Cédric Beauval (Archéosphère²), et de photographie systématique de la grotte du Taillis des Coteaux a été entreprise durant l'été 2014.



Figure 3 : Prises de vue dans les parties profondes de la grotte du Taillis des Coteaux par Xavier Muth (Cliché : J. Primault).

L'opération consiste, dans un premier temps, à lever une topographie des différents secteurs du chantier de fouille et de la grotte. Des cibles topographiques sont régulièrement disposées sur des parties accessibles à la visé d'un tachéomètre laser et géoréférencées de façon à obtenir un maillage large du site (Fig. 1). Dans les parties profondes de la grotte, un télémètre laser prend le relais.

Dans un second temps, un enregistrement numérique de la cavité est capté à l'aide du prototype de prise de vue (Fig. 2). Ce dernier, équipé de cinq caméras GoPro[®] et de puis-



Fig. 4 : Vue photogrammétrique frontale de la fouille de la grotte du Taillis des Coteaux. Extrait du modèle numérique de terrain : <https://sketchfab.com/models/ee7bf8a48efe470c8c380100c215e4ed>

1 : www.getinsitu.com
2 : www.archeosphere.com

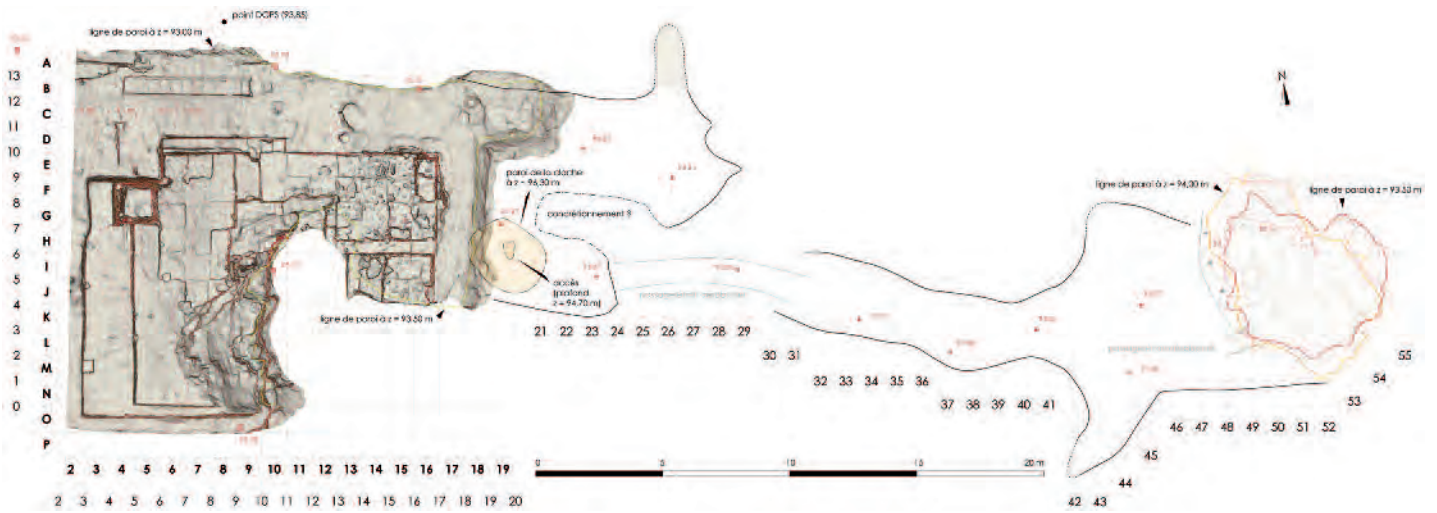


Fig. 5 : Plan de la grotte du Taillis des Coteaux. (Relevé et DAO : F. Lacrampe-Cuyaubère, C. Beauval et X. Muth).

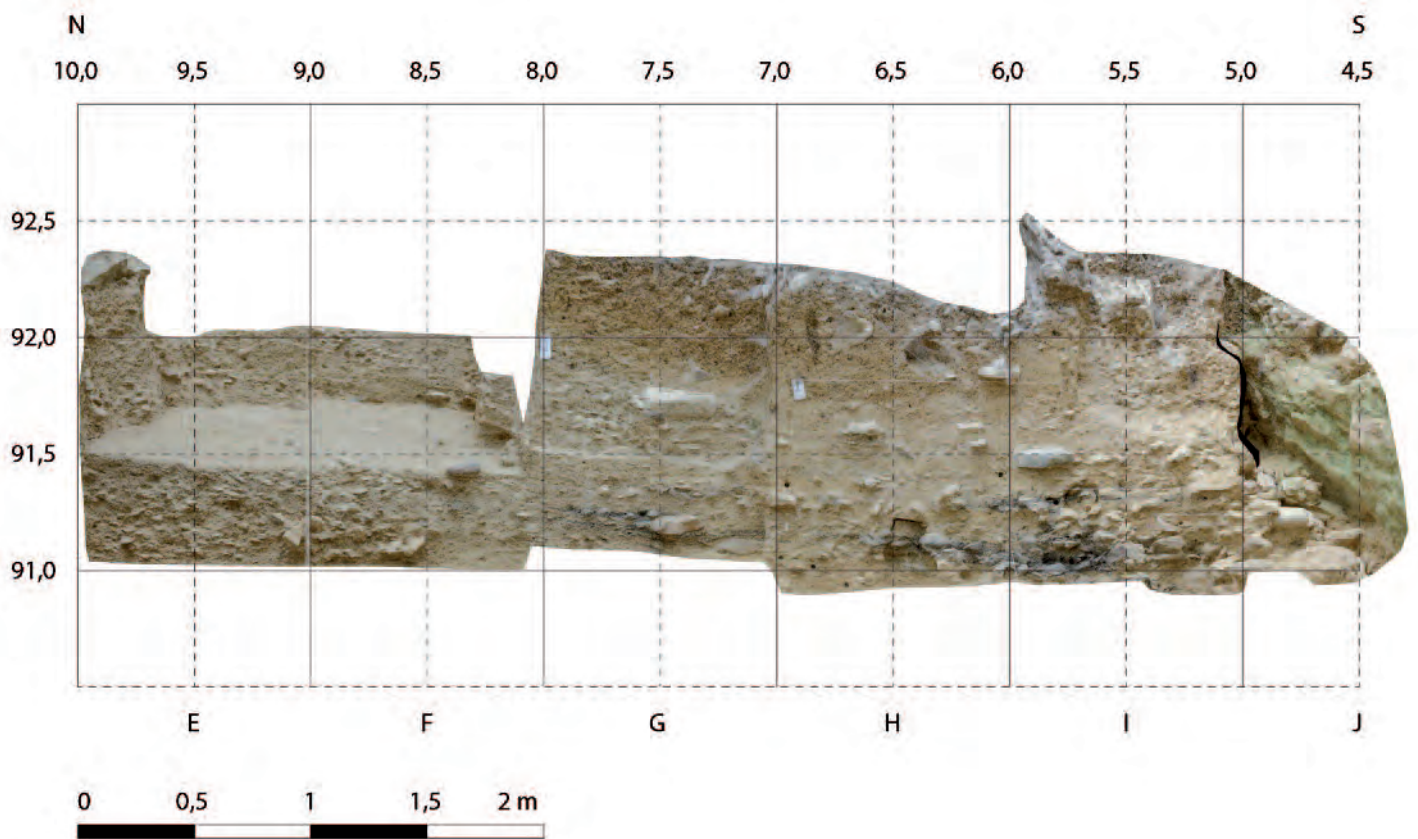


Fig. 6 : Coupe frontale dans le talus de la grotte du Taillis des Coteaux. Extrait du modèle numérique de terrain. Relevé et DAO : F. Lacrampe-Cuyaubère, C. Beauval et X. Muth.

sants projecteurs à Led, enregistre en mouvement, à la verticale et à 360° les moindres détails des parois et du sol (Fig. 3).

Le rendu final, une photogrammétrie³, est obtenu à l'issue

d'un lourd traitement informatique des images couplé à la topographie (Fig. 4). Il permet de réaliser des plans (Fig. 5), sections et coupes du karst (Fig. 6).

3 La photogrammétrie de la grotte est visible sur le site internet à l'adresse : <https://sketchfab.com/models/ee7bf8a48efe470c8c380100c215e4ed>

Jérôme PRIMAULT

Le Webmapping : un système d'information pour l'aide à la recherche en archéologie

À l'heure de la société de l'information, les études de recherche en archéologie sont amenées à mobiliser de plus en plus d'informations spatialisées. La variété de ces informations demande néanmoins des compétences de plus en plus pointues pour pouvoir en tirer le meilleur parti.

Dans notre région, plusieurs projets collectifs de recherche, PCR (PCR « BaLiZ Barzan et son contexte littoral », PCR « Marais charentais du moyen âge à l'époque moderne », ainsi que le futur PCR "Dynamiques d'occupation et d'exploitation du sel dans les golfes charentais, du Néolithique à l'Âge du Fer" ont recours à une technologie qui est à présent devenue mature : le Webmapping (ou WebSIG).

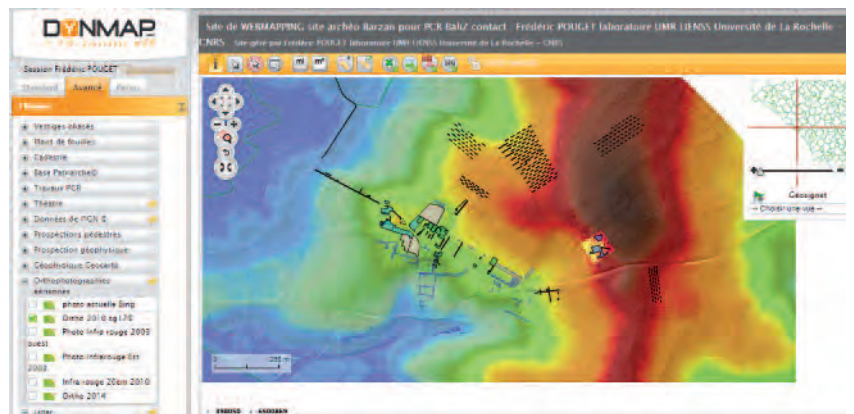


Figure 1 : site du Fâ (Barzan) : le fond est constitué des données LIDAR sur lequel est superposée la couche « Ouvertures Archéologiques ».



Figure 2 : site du Fâ (Barzan) : couches « vestiges phasés » superposées au plan de fouille « Grande Avenue ».

Une base de données éditable en ligne

Les données sont organisées en base de données gérées par un administrateur qui élabore une série de cartes dédiées aux différents groupes d'utilisateurs. Chacun accède alors à un jeu de couches de données organisées en arborescence et possédant une représentation définie au préalable. Chaque utilisateur dispose de droits spécifiques gérés par l'administrateur et spécifiant les actions possibles sur ces données (visualisation, édition-modification, exportation). L'outil dispose de fonctionnalités avancées qui en font un véritable outil de traitement et d'analyse.

Accès via un simple navigateur web

Le Webmapping consiste à mettre en place une infrastructure technique de type Système d'Information Géographique (SIG) en ligne afin de gérer un corpus de données géolocalisées sur un territoire, à destination d'une communauté d'utilisateurs. Techniquement les données sont stockées sur un serveur de données géographiques et les accès se font via une interface de type SIG, sans autre besoin pour l'utilisateur que de disposer d'une connexion internet et d'un simple navigateur web.

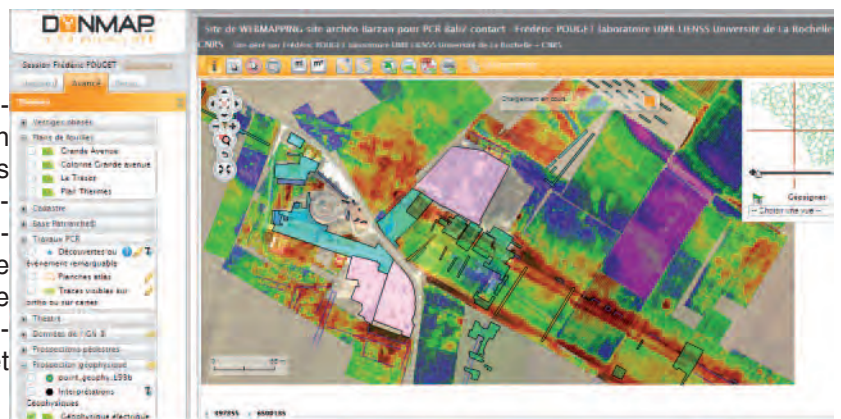


Figure 3 : site du Fâ (Barzan) : en fond la prospection géophysique électrique 2009 ULR Valor sur lequel est superposée la couche « Ouvertures Archéologiques ».

Les fonctionnalités élémentaires sont la visualisation des couches, avec gestion des zoom, superposition, transparence, accès aux fiches d'informations attributaires, mesures de distances etc.

Édition de cartes

Il est ensuite possible de réaliser des sélections plus ou moins complexes et portant sur des objets géométriques

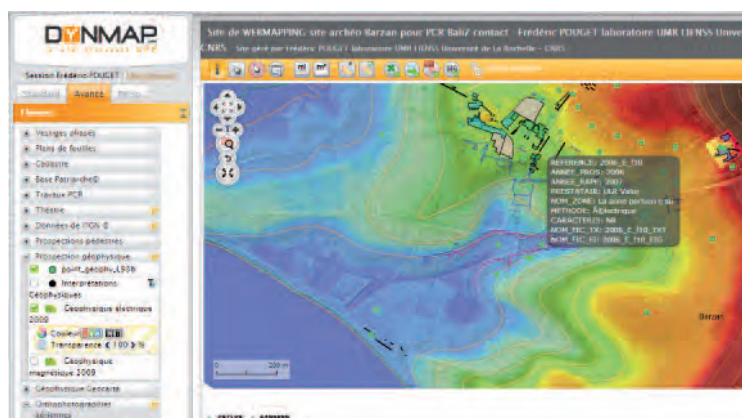


Figure 4 : site du Fâ (Barzan) : couche LIDAR en fond, courbes de niveaux et points d'interprétations géophysiques.

et attributaires. L'outil dispose également de fonctionnalités d'impression permettant de réaliser des cartes thématiques en respectant les conventions cartographiques (indication du nord, échelle, légende, sources etc.).

Une infrastructure collaborative et accessible à tous

Les utilisateurs peuvent également intervenir en édition de données géométriques et attributaires qui seront alors stockées sur le serveur et rendues accessibles (ou non) aux autres utilisateurs. Cette infrastructure est donc collaborative et présente de nombreux avantages. Elle permet de constituer un socle solide de données sur le territoire, renseignées par des métadonnées. Ces données qui étaient parfois des informations difficilement accessibles, non géoréférencées se trouvent ainsi accessibles et géoréférencées dans un même système spatial unique. Cette solution présente de plus l'avantage par rapport à une gestion sous forme de SIG individuels sur des postes fixes de permettre aux utilisateurs de s'affranchir des problèmes de stockage de données, de géoréférencement, de gestion des versions de données etc. Elle offre donc au plus grand nombre la possibilité d'accéder aux informations du SIG de manière simple et sans besoin de compétences spécifiques. Le partage de l'information devient alors instantané et naturel entre les différentes personnes impliquées dans le projet. L'outil devient une source de dynamisation et d'innovation encourageant le travail en commun entre les chercheurs et fournissant la possibilité de diffuser certaines informations vers le grand public (des cartes ouvertes peuvent être créées) ce qui permet de diffuser largement certains savoirs.

Frédéric POUGET

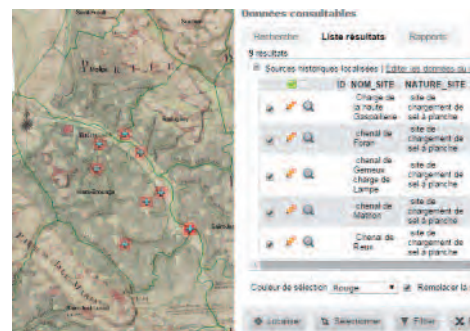


Figure 5 : secteur de Brouage : résultats de la recherche sur le mot clé « site de chargement de sel » (données saisies sur WebSIG par Sébastien Périssé).

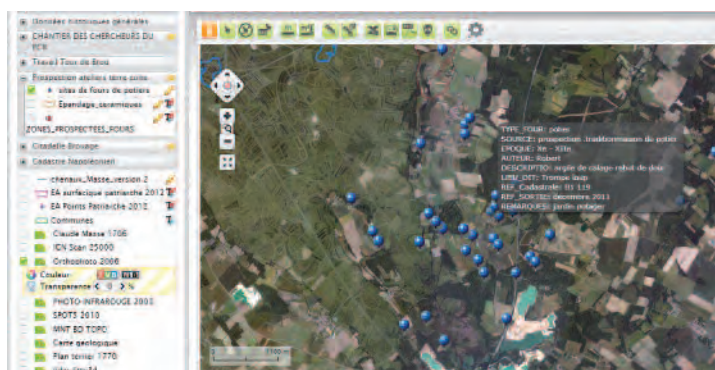


Figure 6 : Secteur de la Gripperie-Saint-Symphorien : fond orthophoto IGN 2006 sur lequel sont positionnés des sites de four à potier (prospections et saisie sur WebSIG : Pierre-Philippe Robert).