

30^e rencontres archéologiques du CAEL

Communications du 15 octobre 2022 à Dreux (28100)

Programme

13 h 45 - 14 h 30 - Découverte du patrimoine drouais

14 h 45 - 18h - Des archéologues et des spécialistes des technologies nouvelles feront part de leur expérience directe ou indirecte de l'usage de ces technologies en Eure-et-Loir (LiDAR, LIHA, applications des SIG, analyses physiques et/ou chimiques...).

(Voir détails ci-dessous)

18 h - Pôt de l'amitié

...

Lidar, LIHA, photogrammétrie

- **Philippe Bujak** - (CAHMER) et **Isabelle Le Tellier** (Air D'Eco-Drone) : Le Lidar effectué sur le château de Dreux (sous l'égide de la fondation Saint-Louis).

- **Isabelle le Tellier** - (Air D'Eco-Drone) et Professeur **Mario Profeta**, géophysicien consultant senior à Bueno Aires : Premiers résultats du LIHA - nouveau traitement informatique des MNT LiDAR, algorithme issu des technologies sismiques et qui permet de détecter plus finement des signatures (dont archéo).

Analyses isotopiques

- **Christian Verjux** - (SRA) : Fosses profondes, exploitation du gros gibier et analyses isotopiques : des indices convergents d'une sédentarisation précoce au Mésolithique.

SIG et 3D

- **Antoine Louis** et **Alain Giosa** - (Archéologie préventive CD 28) : Le Référentiel Grande Échelle IGN, les archives et le SIG : leurs apports dans une archéologie départementale.

- **Anais Pinhède** et **Jimmy Rossignol** - (Archéo Chartres métropole) : Apports des nouvelles technologies numériques à la Direction de l'archéologie de Chartres métropole.

Archéo métallurgie

- **Vladimir Lemaître** - (Archéologie préventive CD 28) : Les résultats du diagnostic de Donnemain-Saint-Mamès.

- **Philippe Lorquet** - (Inrap) : Problématiques et techniques d'analyses en archéométallurgie du fer.

Analyse de pigment

- **Raphael Huchin** - (Archéo Chartres métropole) : Révéler la polychromie d'*Autricum* : l'apport des nouvelles technologies à l'étude des décors antiques.



PROSPECTION LiDAR DU CHATEAU DE DREUX

(SITE DE DANNEMARCHE)

Résultats intermédiaires

Philippe Bujak

Cahmer

-

Michel Douard

SHADT

-

Isabelle Le Tellier

AIRD'ECO-Drone

Le travail effectué sur le château de Dannemarche a été réalisé dans le cadre d'une thèse en cours portée par Ph. Bujak : « Naissance et développement d'une agglomération et de son territoire au Moyen Âge : l'exemple de Dreux » sous la direction de Ph. Racinet de l'Université de Picardie Jules Verne.

Le marché d'octobre 1224 passé entre Robert III, comte de Dreux, et le Maître Nicolas de Beaumont-le-Roger porte sur l'adaptation, à l'état de l'art de la poliorcétique du premier quart du XIII^e siècle, d'un château déjà existant. Il concerne l'achèvement et le rehaussement de 2 pieds des courtines et de 3 tours côté nord, la construction d'une quatrième tour à l'identique des précédentes, la création d'un donjon sur le modèle de celui de Nogent-le-Rotrou, ainsi que l'établissement de 2 tours, plus basses de 2 pieds, face à la ville et enfin d'un mur entre 2 maisons. Deux actes de 1228 et 1231 passés entre le comte les moines de l'abbaye de Saint-Vincent-des-Bois atteste de la présence antérieure d'une chapelle « Notre-Dame-des-Marches » qui doit être déplacée car elle gêne les travaux.

Après le siège de 1593 par Henri IV, le donjon et les fortifications sont dérasées. Une vue de 1696 attribuée à Louis Boudan et conservée à la BnF (H120646) montre un château ruiné. Au XIX^e siècle, l'intérieur du château est aménagé en jardin à l'anglaise par la famille d'Orléans.

Les vestiges encore visibles du château se concentrent sur la face sud sous la forme d'une courtine (dont la partie ouest a été reprise visiblement au XIX^e siècle), des vestiges de la porte et de sa tour de flanquement. La tour existante à l'extrémité est aussi été reconstruite au XIX^e siècle. Du donjon, ne reste qu'un massif maçonné surmonté d'une tour en brique du télégraphe Chappe. À son pied, un microrelief trahit probablement les restes de sa chemise. Enfin, une section de courtine de quelques mètres est visible sur le côté est. Son orientation semble discordance avec le plan établi par la SAEL en 1862.

Dans l'ignorance de l'ampleur des travaux d'aménagement du jardin et de leur impact sur d'éventuels vestiges médiévaux enfouis, une opération d'investigation par LiDAR a été décidée afin d'établir un état du site actuel.

Une cartographie LiDAR du site de 3 ha (fig1) a été réalisée en juillet 2022 avec un capteur « Mapper » sous drone M300 (fig2) par AIRD'ECO-Drone.

La présentation rappelle les fondements de la technique du LiDAR, ces ondes lumineuses qui peuvent s'immiscer entre les obstacles que constituent la végétation, pour atteindre le sol et enregistrer sa position spatiale précise. Il est toutefois rappelé que ces ondes ne traversent pas la matière et que classiquement, pour se donner plus de chances, les prospections LiDAR pour l'archéologie sont privilégiée après la chute des feuilles des arbres en hiver.

Il est montré aussi, pour information les différences et complémentarités avec la photogrammétrie.

Le nuage de points a été calculé (fig3) et classifié afin d'obtenir le nuage de points sol uniquement (fig4). Celui-ci montre clairement qu'au Nord et partiellement sur les pentes longitudinales du site, les ondes LiDAR n'ont pas suffisamment atteint le sol, la végétation (arbres et surtout taillis) étant très dense en été.

Cependant, le calcul du Modèle Numérique de Terrain (fig4) permet de retrouver les différentes structures connues du site : puits (1), tour du télégraphe (2), partie de mur de la courtine (3) tour du rempart Sud (4), porte avec sa tour de flanquement et chemin d'accès dans la pente (5), canalisation 19^e vers une grotte (6) ...

Une dépression arrondie apparaît sur la partie dégagée du site (7) ainsi que plusieurs linéaments NE-SW (8). On ne retrouve pas trace de 3 tours que l'on pensait être présentes sous la végétation le long du rempart Nord (9), ni d'artéfacts qui pourraient être liés à l'église de Notre Dame des Marches (10).

Il est décidé de retourner faire une prospection complémentaire cette fin d'année.

Un 2^{ème} capteur LiDAR, le Surveyor (faisceau d'émission des ondes de 360°) sera utilisé en plus du Mapper (faisceau d'émission des ondes de 82°) afin de se donner plus de chances d'atteindre les surfaces verticales que constituent les remparts, en particulier au Nord du site.

Les données LiDAR des 2 prospections seront additionnées et analysées.



Figure 1 Drone M300 et capteur Mapper



Figure 2 Emprise du site cartographié

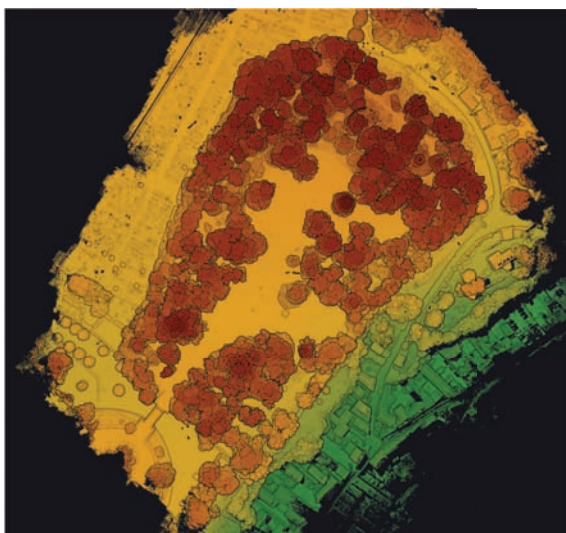


Figure 3 Nuage de points

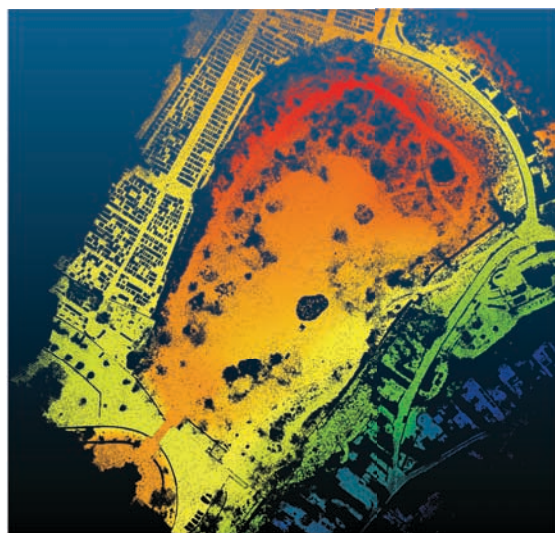


Figure 4 Nuage de points sol

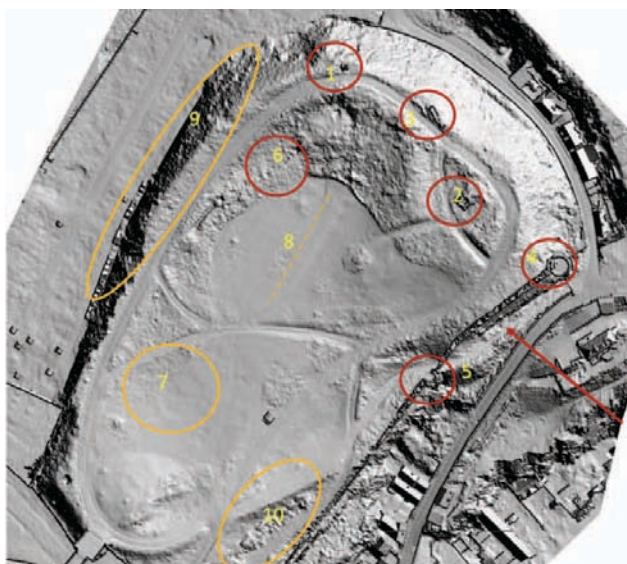


Figure 4 MNT ombré

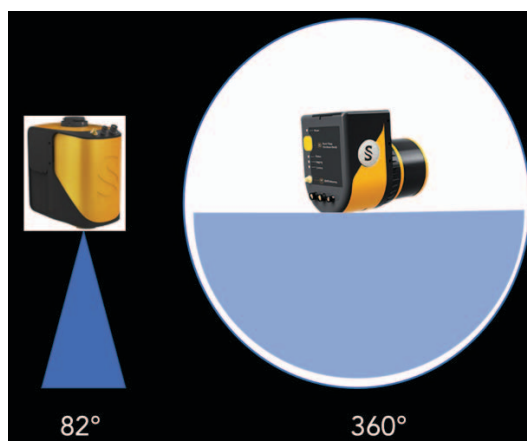


Figure 5 Capteurs pour prospection à venir

LIHA

NOUVEAU TRAITEMENT DES MNT LiDAR POUR DETECTER DES SIGNATURES ARCHEOLOGIQUES

Isabelle Le Tellier
AIRD'ECO-Drone

La présentation a pour objectif d'informer sur un nouveau traitement de données, proposé récemment par un géophysicien argentin, Mario Profetta. Ce traitement nommé LIHA (LiDAR Image Highlighting Algorithm) qui fait l'objet d'une évaluation depuis 3 mois auprès de 4 archéologues et 6 sites en France et en Italie.

L'objectif de cette étude méthodologique effectuée uniquement sur fonds propres AIRD'ECO-Drone à ce jour, est de se rendre compte de l'utilité réelle de cette couche de traitement supplémentaire, pour détecter des signatures archéologiques nouvelles, ou pour confirmer ou préciser des signatures qui se devinaient à peine, dans les MNT scrutés par des traitements plus « classiques » (ombrages principalement).

Si l'utilité de ce traitement est avérée, cela permettrait de ré-exploiter les levés LiDAR haute définition réalisés par drone depuis 5 ans, pour en retirer de nouvelles informations et compléter leur interprétation archéologique. Il pourra aussi répondre à une problématique « client-archéologue » en lui fournissant un document unique sans avoir recours à des logiciels d'édition des nuages de points ou SIG.

Ce nouvel algorithme est issu des chaînes de calcul des données sismiques. Sa précision dépend bien sûr de la densité des points LiDAR ayant atteint le sol.

La présentation détaille les résultats sur 2 sites des Yvelines étudiés par l'association Apsadiodurum : La Millière (à proximité des Mesnuls) et Jouars-Pontchartrain (Ferme cistercienne d'Ithe).

Pour ces 2 sites, les Modèles Numériques de Terrain (MNT) ombrés sont comparés avec les sorties LIHA. Celles-ci font apparaître très clairement les anomalies de la microtopographie suggérée par les ombrages du MNT (fig. 1 et 3).

A la Millière, 2 linéaments ont été découverts grâce au LIHA, dont un correspondant à un double mur, vérifié par une fouille cet été (Fig.1).

A Jouars, des corrélations ont aussi pu être réalisées avec une carte d'interprétation archéologique issue de l'examen de prospection aérienne. Un focus LIHA a aussi été rapproché des résultats d'une prospection magnétique aéroportée réalisée en 2022, ayant mis en évidence des fours potiers de part et d'autre d'une voie romaine.

En conclusion, et à ce point de l'étude d'évaluation, le LIHA apporte des informations certaines :

- > il permet de regrouper en un seul document l'ensemble des observations faites en regardant différents ombrages du MNT.
- > il permet parfois de faire apparaître de nouveaux éléments, surtout dans des zones très plates.
- > de plus, ce traitement peut être zoomé sur des zones d'intérêt, avec des paramètres plus adaptés car ceux-ci ne sont pas forcément les mêmes sur tout un site, surtout s'il y a de fortes variations de pentes (Fig.2).

En revanche :

> le LIHA n'est pas le traitement miracle qui fonctionne partout. Il a apporté des informations sur tous les sites, mais inégalement.

> Le point de départ du LIHA étant le nuage sol, la qualité de la mesure LiDAR sur le terrain et de la classification du nuage de points sont essentiels pour de bons résultats LIHA.

> Ce traitement a un coût non négligeable par rapport au coût des petites missions, sous-traité à une seule entité, certes très réactive mais dont on ne connaît pas l'avenir.

Il est prévu de publier l'ensemble des résultats obtenus sur les 6 sites en fin d'année. Ils permettront à chaque archéologue voulant aller plus loin dans le traitement de ses données LiDAR drone, de décider s'il veut bénéficier de cette méthode LIHA pour détecter au mieux des signatures archéologiques.

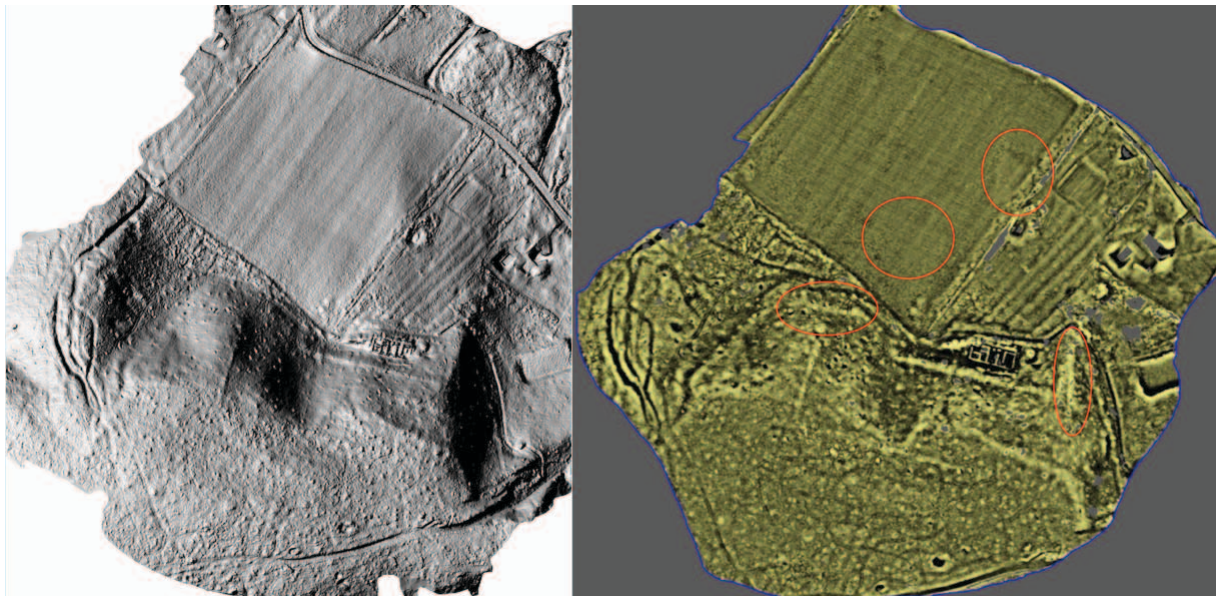


Figure 6 La Millière - MNT ombré et LIHA

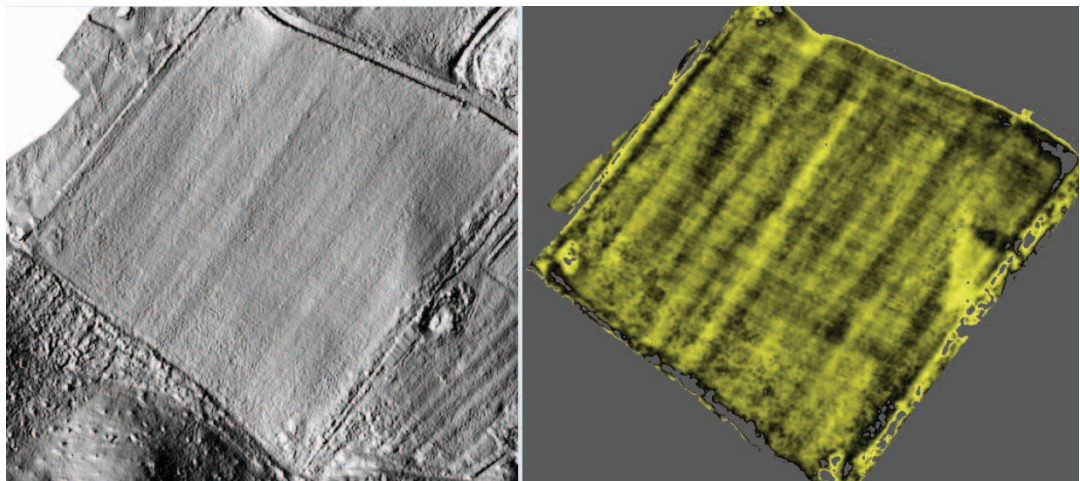


Figure 7 La Millière - focus LIHA



Figure 8 - Jouars-Pontchartrain - MNT ombré et LIHA

3D et SIG : apport des nouvelles technologies numériques à la Direction de l'archéologie de Chartres métropole

Anaïs Pinhède et Jimmy Rossignol
Archéologie préventive CD 28

L'imagerie 3D et les SIG sont des outils courants en archéologie pour l'enregistrement, l'analyse et la mise en valeur des résultats. Ces nouvelles technologies numériques sont déployées progressivement au sein de la Direction de l'archéologie de Chartres métropole.

1. Acquisition 3D : de l'objet à l'édifice

Depuis une dizaine d'année, la Direction de l'archéologie de Chartres métropole multiplie l'utilisation de la photogrammétrie et de la lasergrammétrie sur ses opérations d'archéologie préventive ou programmée. Parmi les nombreuses applications de ces techniques, le choix a été fait de présenter 3 exemples illustrant plusieurs échelles d'observation, plusieurs contextes d'intervention et plusieurs problématiques.

Le premier exemple s'intéresse à l'intégration de la photogrammétrie dans la chaîne d'étude du mobilier archéologique (Cf. Figure 1). Il montre comment la photogrammétrie est utilisée pour produire des supports d'illustration utiles à la réalisation des planches de dessin et montre comment son utilisation permet de réduire les manipulations sur des objets parfois lourds, encombrants et fragiles.

Le deuxième exemple évoque l'utilisation de la lasergrammétrie dans le cadre d'un projet de recherche, menée conjointement avec Antoine LOUIS (CD28), sur l'amphithéâtre d'*Autricum* (Chartres, Eure-et-Loir). Les acquisitions lasergrammétriques réalisées entre avril et mai 2022 sur la collégiale Saint-André (Cf. Figure 2) vont permettre de contrôler les plans existants, de replacer précisément les structures archéologiques observées, de mieux comprendre les particularités topographiques du site et de réaliser une étude du bâti pour comprendre les modalités de réoccupation du site.

Enfin, le dernier exemple choisi aborde les spécificités du contexte d'intervention du suivi des travaux de réseaux. La photogrammétrie par séquence vidéo a été choisie pour répondre aux contraintes de temps de ce type contexte. Les résultats de l'expérimentation menée 4 place Saint-Brice permettent d'envisager un déploiement de cette technique sur les travaux de réseaux programmés en décembre 2022 autour de la cathédrale de Chartres.

2. SIGAR et C'herloQ, deux nouveaux outils pour gérer et diffuser les données spatiales

SIGAR (Système d'Information Géographique ARchéologique) est la base de données spatiale de la Direction de l'archéologie. Elle est développée sur le logiciel PostgreSQL et dispose d'une interface de saisie sous Qgis. Sa problématique est de gérer, analyser et diffuser les données spatiales archéologiques produites sur le territoire de l'agglomération chartraine. La base recense ainsi les données spatiales de terrain. Trois couches y sont archivées à l'issue des opérations. La couche « opérations » recense 550 interventions réalisées sur Chartres métropole. La couche « ouvertures » gère les tranchées et les sondages réalisées lors des opérations. La couche « unités d'observation » recense les unités archéologiques (US et faits) relevées sur le terrain. SIGAR est également un outil d'analyse. Il participe à l'élaboration d'une Synthèse Archéologique Urbaine (SAU) sur Chartres. Un

de ses objectifs est l'étude diachronique de la topographie historique (éléments du paysage urbain). Cette analyse permet de proposer des scénarios des évolutions urbaines sur le temps long.

C'herloQ est la carte archéologique interactive de Chartres (Cf. Figure 3). Elle a été développée en collaboration avec le consortium Paris Time Machine d'Huma Num. La carte est accessible via un ordinateur ou un smartphone depuis le site internet <https://archeologie.chartres.fr/>. L'application cartographique présente environ 300 sites archéologiques mis au jour à Chartres et dans l'agglomération depuis les années 1970. Elle restitue également les éléments majeurs du paysage urbain, comme les enceintes.

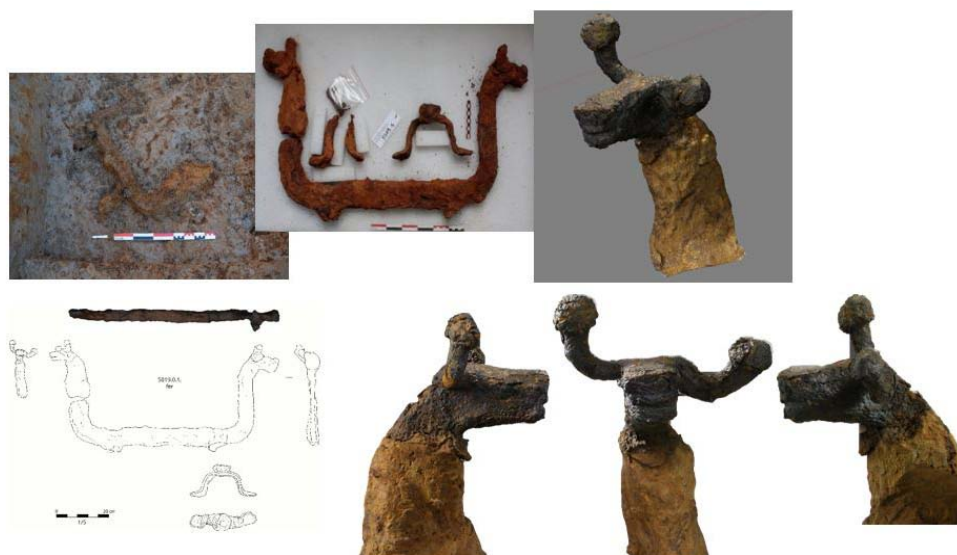


Figure 1 – Intégration de la photogrammétrie à la chaîne d'étude du mobilier



Figure 2 – Nuage de points 3D de la façade Sud de la Collégiale Saint-André



Figure 3 – C'herloQ, la carte interactive archéologique de Chartres

Révéler la polychromie d'*Autricum*.

L'apport des nouvelles technologies à l'étude des décors antiques

Raphael Huchin

Archéo Chartres métropole

La révolution numérique et l'apport des nouvelles techniques archéométriques sont à l'origine d'évolutions majeures des méthodes et du rendu visuel des études menées sur les peintures murales antiques, notamment à Chartres où, depuis 2017, l'équipe du PCR « Les peintures murales romaines de Chartres-*Autricum* » s'efforce de révéler la polychromie des bâtiments antiques.

L'étude des peintures murales romaines, ou toichographologie, est née dans les années 1980 sous l'impulsion d'Alix Barbet qui créa le Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines de Soissons. À Chartres, les découvertes majeures de 1986, dans le secteur de la Place des Epars, sont à l'origine du partenariat avec le CEPMR et aboutiront aux premières tentatives de restitutions publiées dans un article de synthèse en 1995 par Claudine Allag et Dominique Joly. Restituer les décors antiques se fait alors grâce à des dessins aux traits, en noir et blanc, les couleurs n'étant mentionnées que par des abréviations (fig. 1). Difficile, pour un non spécialiste, de prendre conscience de l'éclat des décors romains.

Tout change dans les années 2000. La généralisation des dessins assistés par ordinateur permet les restitutions de parois complètes avec intégration d'aplats de couleurs (fig.2). Puis, l'avènement des clichés numériques offre une spectaculaire explosion de la couleur. Les restitutions de décors intègrent dès lors les importations numériques des clichés des plaques reconstituées alors que les parties manquantes sont restituées de manière colorisée, permettant ainsi de révéler l'ambiance de l'intérieur des habitats qu'ils soient majestueux, comme pour les décors d'une riche *domus* de l'îlot Casanova (fig.3), ou plus ordinaires pour les habitats modestes ou les pièces de service. La richesse et la diversité de l'univers polychrome d'*Autricum* est désormais accessible au grand public, au plus proche de la réalité antique, bien loin des premiers schémas austères en noir et blanc.

L'image numérique permet aussi des traitements en photogrammétrie avec modélisations 3D des contextes de découvertes, aussi bien pour les restes de décors *in situ* que pour les effondrements de décors fragmentaires. Ces techniques sont des aides précieuses pour l'analyse des processus d'effondrement, l'enregistrement et le prélèvement des décors, la phase d'étude et la reconstitution des décors.

L'utilisation des nouvelles technologies, dans la toichographologie, va au-delà de l'utilisation des applications numériques. L'archéométrie offre un large champs d'analyses qui permet de mieux comprendre les gestes, les choix et les techniques complexes et parfaitement maîtrisées par les artisans antiques. L'analyse de la composition des mortiers révèle la rigueur des artisans qui répètent les mêmes techniques d'une paroi à l'autre d'un même chantier mais aussi la parfaite connaissance des propriétés physiques des ressources naturelles dans le choix des matériaux. L'analyse des pigments permet de déterminer les minerais utilisés pour la fabrication des couleurs et parfois leur origine. Un passage à la lumière ultraviolet des décors révèle l'utilisation importante du bleu égyptien, seul pigment de synthèse, dans la composition de nombreuses teintes (vert, jaune, crème, violet) alors que le bleu n'est pas visible à l'œil nu. Son utilisation technique est également attestée en sous-couche pour rehausser les couleurs, notamment dans le traitement des drapés.

La confrontation de tous ces éléments techniques et des datations archéologiques permettront, peut-être à terme, de percevoir les circuits économiques antiques et leurs évolutions pour les approvisionnements en matériaux et donc de réfléchir à l'économie de la ville antique. À l'échelle de la ville, en complément de l'analyse stylistique des décors, ils pourraient aboutir, nous l'espérons, à l'identification d'un ou plusieurs ateliers de peintre ou à la reconnaissance de techniques locales.

Bibliographie :

Allag C., Joly D. (1995) : « Les peintures murales romaines de Chartres (Eure-et-Loir). Étude de quelques ensembles homogènes », in : *Actes des séminaires de l'Association française de peintures murales antiques, 1990-1991-1993 (Aix-en-Provence, Narbonne et Chartres)*, *Revue Archéologique de Picardie* N° spécial 10, 169-187 et 235-236.

Groetembril S., Huchin R., Lefèvre J.-F., collab. Bost J.-P., Fuchs M. (2021) : « Candélabres, édicules, gladiateurs et divers monstres. Deux décors du site de l'îlot Casanova, à Chartres-Autricum », *Pictor* 9, Bordeaux, Ausonius éditions, 77-99.

Huchin R. (2012) : « Les peintures murales du site “du Cinéma” à Chartres (Eure-et-Loir) : les décors des caves 301 et 303 », in : Fuchs M., Monier F. (éd.), *Les enduits peints en Gaule romaine, approches croisées*, Actes du 23^e séminaire de l'AFPMA, *Revue Archéologique de l'Est*, 31^e supplément, Dijon, 157-173.

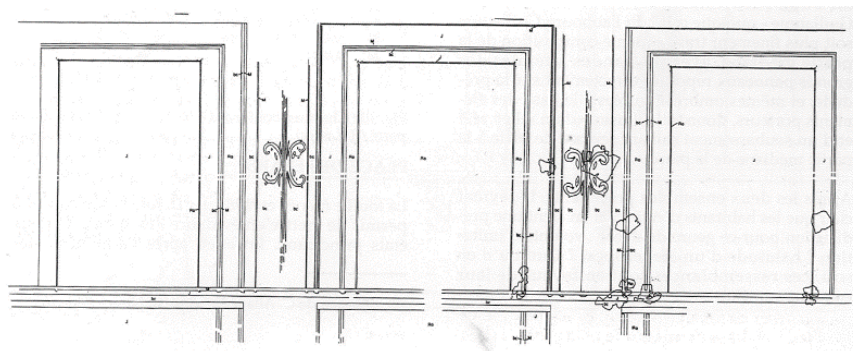


Figure 1 – Reconstitution en noir et blanc d'un décor composé d'une alternance de panneaux rouges et jaunes séparés par des inter-panneaux blancs à candélabre, Faubourg Guillaume (Dessin B. Lesage). Etude de 1992, publiée dans Allag, Joly 1995.

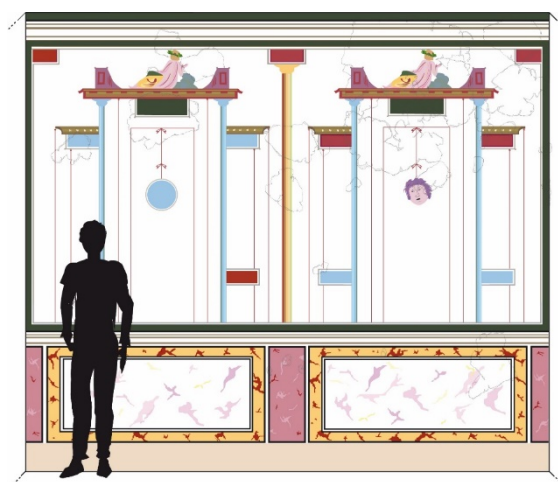


Figure 2 – Reconstitution colorisée d'un décor à fond blanc découvert sur le site du Cinéma (DAO R. Huchin). Etude de 2009, publiée dans Huchin 2012.



Figure 3 – Reconstitution colorisée d'un décor à fond blanc découvert sur le site du Cinéma (DAO R. Huchin). Etude de 2009, publiée dans Huchin 2012.