



HAL
open science

L'apport des prospections géophysiques réalisées sur le site de l'Abbaye de Preuilly 2011-2018

Michel Dabas, Gianluca Catanzariti, Alain Tabbagh

► To cite this version:

Michel Dabas, Gianluca Catanzariti, Alain Tabbagh. L'apport des prospections géophysiques réalisées sur le site de l'Abbaye de Preuilly 2011-2018. François Blary; Anne-Marie Flambard Hélicher. L'abbaye cistercienne de Preuilly, une redécouverte. Actes de la journée d'étude du 26 septembre 2018 au Collège des Bernardins de Paris, 16, Peeters Publishers, 2021, Études d'Archéologie, 16, 978-2-9602029-3-9. hal-03481664

HAL Id: hal-03481664

<https://hal.science/hal-03481664>

Submitted on 19 Dec 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

L'apport des prospections géophysiques réalisées sur le site de l'abbaye de Preuilly 2011-2018

Michel Dabas*, Gianluca Catanzariti**, Alain Tabbagh***

*CNRS, laboratoire AOROC UMR 8546, ENS, PSL, Paris.

** 3Dgeoimaging, Turin, Italie.

***Laboratoire METIS, UMR 7619, Sorbonne Université, Paris.

Dans le cadre de l'étude non-destructive du sous-sol, un ensemble de méthodes géophysiques ont pu être déployées sur une grande partie du domaine de Preuilly. Ce type d'investigations, tout comme les études micro-topographiques, ont déjà été utilisées avec succès depuis de nombreuses années pour l'étude des abbayes et en particulier des abbayes cisterciennes. Des établissements très connus comme ceux de Rievaulx ou de Fountains Abbey (Yorkshire) en Angleterre ont ainsi fait l'objet d'études géophysiques depuis les années 1990. Pour cette dernière, fondée en 1132, l'imagerie géophysique – électrique puis radar – a permis entre autres de découvrir une troisième maison d'hôte surmontant des murs plus anciens¹. En France, on peut citer les études géophysiques des abbayes de Saint-Germain d'Auxerre², du Val-Richer³, de Vezelay⁴, de Saint Bris-des-Bois⁵, de Saint-Pierre de Baume-les-Messieurs⁶.

Sans reprendre l'ensemble des abbayes sur lesquelles nous sommes intervenus depuis une vingtaine d'années (16 interventions sur 11 sites différents), nous mentionnerons en préambule deux d'entre elles : l'abbaye de Vaultisant (Yonne) partiellement détruite et celle de Morimond (Marne) dont il ne reste quasiment plus rien en élévation. Dans ces deux cas, les images produites par les méthodes d'investigation géophysiques ont été utilisées pour révéler le potentiel archéologique présent, pour planifier des fouilles sélectives, pour vérifier l'existence/l'état de conservation des bâtiments représentés dans les dessins anciens et préciser l'environnement géologique et pédologique de ces monuments. Les techniques non invasives s'intègrent là dans une politique de préservation de ces monuments historiques et l'évolution technique récente des techniques outils géophysiques – gain dans le temps d'acquisition, meilleure résolution spatiale des images – fournit des informations de plus en plus fiables pour les prises de décision.

Exemples des Abbayes de Morimond et Vaultisant

L'abbaye de Morimond fondée en 1117, donc presque au même moment que celle de Preuilly, est une des quatre abbayes-sœurs de Citeaux et est l'abbaye mère de plus de 700 autres qui ont essaimé vers l'Allemagne et l'Europe orientale. À l'heure actuelle, presque plus rien ne subsiste au-dessus du sol (à l'exception des murs de l'église, en rouge sur la figure 2).

La communauté monastique de Morimond a développé un système hydraulique original dont la datation remonte à la décennie 1130 : quatre étangs en chapelets barrent le vallon du Flambart en amont de l'abbaye et assurent une protection contre les crues, mais constituent aussi une source d'énergie pour les usines ainsi qu'un lieu de pêche pour la communauté. Dans l'enclos un véritable réseau hydraulique souterrain hiérarchisé a été mis en place pour, à la fois, drainer le sous-sol, récupérer les eaux de pluie et assurer l'évacuation des eaux usées des latrines et des cuisines. Un

¹ HARRIS *et al.* 2015.

² DABAS 2000.

³ VINCENT *et al.* 2018.

⁴ SAPIN *et al.* 2015.

⁵ MATHE 2008.

⁶ BULLY *et al.* 2011.

réseau d'adduction d'eau potable alimentait aussi le lavabo⁷. Ces collecteurs, ainsi que les murs du cloître ont été détectés par des anomalies linéaires résistantes (en blanc sur les figures 1 et 2) lors de plusieurs campagnes de prospection électrique entre 1999 et 2003⁸. Le collecteur principal bien visible en aval apparaît néanmoins sous le cloître. Les campagnes de fouille appuyées sur les cartes géophysiques ont commencées en 2004 et se sont poursuivies jusqu'en 2012. Par ailleurs, un bâtiment important au nord-ouest du cloître a été détecté par la prospection électrique. Ce bâtiment de presque 100 m de long (fig. 1) confirmé par les fouilles, a été construit à l'intérieur de la clôture à la fin du XII^e siècle et est aligné le long du grand collecteur de l'abbaye. La prospection magnétique qui avait confirmé la forme du bâtiment avait montré par une anomalie suffisamment importante pour que soit suspectée, par analogie avec d'autres abbayes comme celle de Fontenay, une activité métallurgique. La fouille a montré que ce bâtiment a surtout servi de lieu de stockage des céréales, mais qu'une forge d'élaboration et de réparation d'objets s'y installe après les saccages dus aux Guerres de Religion. C'est cette forge qui avait été détectée par la prospection magnétique.

L'abbaye de Vauluisant (*Val Lucens*) dans la vallée de l'Alain (Yonne) a été fondée en 1127 par les moines de l'abbaye de Preuilley. La problématique à l'origine de son étude était différente de celle de l'abbaye de Morimond où les investigations géophysiques avaient permis d'établir le plan de sondages archéologiques destructifs à partir des anomalies géophysiques interprétées avec l'archéologue; dans le cas de Vauluisant, la question était de savoir si les bâtiments, par ailleurs connus par un plan⁹ supposé de Louis Boudan, conservé dans la collection Gaignières (1692), étaient encore en place et tenter d'en connaître l'état de conservation sans aucun sondage destructif¹⁰. En effet, le problème de la confrontation avec les plans anciens pose souvent à l'archéo-géophysicien trois types de questionnements : dans la mesure où il existe des plans-ébauches non réalisés, est-ce que le plan représente bien un état réel des lieux à un moment donné ?, quelle est la part de fidélité géométrique entre structures représentées et structures présentes ?, et enfin est-ce que les structures représentées n'ont pas été entièrement détruites (pour récupérer des pierres par exemple) ? Cette question a été développée notamment dans l'étude des parcs et jardins et elle se pose pour l'abbaye de Preuilley. Dans le cas de Vauluisant, il était connu qu'après la première église en 1144, plusieurs églises s'étaient succédées, que des destructions importantes avaient eu lieu en 1562 et 1636, enfin que la vente des biens à la Révolution avait entraîné *a priori* la destruction des bâtiments puisque la pierre avait été récupérée pour être réemployée ou brûlée dans des fours à chaux. Le château actuel est plus récent et le parc à l'Est, où devait se situer l'abbaye, est occupé par des parterres gazonnés et surtout par des arbres (plantés dans les années 1860) qui rendent la prospection géophysique difficile à réaliser. Néanmoins une prospection électrique manuelle a pu être effectuée entre les arbres en une seule opération pendant l'hiver 1997¹¹. La carte électrique obtenue (fig. 3) montre clairement la forme carrée du cloître et son église abbatiale à l'extrémité nord (anomalies résistantes en jaune) ainsi que plusieurs bâtiments conventuels¹². Le château moderne (en grisé) s'appuie sur l'aile ouest du cloître. L'image géophysique obtenue montre à la fois la justesse du plan perspective de 1692 et l'existence de structures dans le sous-sol. Il est donc possible en utilisant la carte géophysique de recaler ce plan sur une orthophotographie (fig. 3). Comme toutes les images géophysiques, elle n'apporte ni éléments datation ni estimation précise de l'état de conservation des vestiges. Néanmoins, à propos de ces derniers, nous avons émis l'hypothèse d'un moins bon état de conservation du transept sud de l'abbatiale en observant que l'anomalie correspondante (branche est du cloître) est bien moins marquée que celle du transept nord. Denis Caillaux a pu retrouver, après la prospection géophysique,

⁷ ROUZEAU *et al.* 2005.

⁸ Prospections de Terra NovA entre 1999 et 2003. Rapport de synthèse : « Ancienne Abbaye de Morimond. Prospection électrique multiprofondeur, M. Dabas *et al.*, Terra Nova sarl., Août 2003, 16 p. ».

⁹ Plan de Louis Boudan ? Collection Gaignières.

¹⁰ DAVID *et al.* 1998

¹¹ Prospection de Terra NovA en 1999 : « Détection et Cartographie par la méthode électrique de l'ancienne Abbaye de Vauluisant, Courgenay (Yonne), M. Dabas, C. David, L. Aubry, Terra Nova sarl., Décembre 1997, 17 p. »

¹² CAILLAUX 2010.

des archives montrant une autorisation d'exploitation des pierres seulement sur le transept sud¹³ (ce type d'hypothèse sur les états de conservation reste néanmoins hasardeux puisque plusieurs causes peuvent expliquer une diminution de l'amplitude des anomalies).

Ces deux exemples montrent parfaitement le potentiel de la méthode électrique pour retrouver les structures maçonnées enfouies. Nous avons donc tout naturellement commencé avec cette méthode d'investigation pour l'abbaye de Preuilly, mais la dimension des surfaces à traiter et l'évolution des techniques depuis les années 90 ont abouti à des mises en œuvre plus rapides et à une meilleure résolution spatiale que nous explicitons dans le prochain paragraphe.

Des méthodes d'investigation non-destructives

Les méthodes d'imagerie du sous-sol en particulier pour l'archéologie ont beaucoup évolué depuis une vingtaine d'années¹⁴. Globalement, elles permettent d'étudier les terrains plus rapidement, avec une bien meilleure résolution spatiale (nombre de mesures par mètre carré) et une meilleure résolution de mesure. Cette évolution est liée aux progrès de l'électronique et de l'informatique, mais aussi à de nouvelles mises en œuvre motorisées comme nous avons pu les pratiquer à l'abbaye de Preuilly. Les surfaces prospectées à la main il y a vingt ans, comme ce fut le cas pour les abbayes de Vauluisant et de [Morimond](#) citées précédemment, l'étaient à un rythme de 0,25 à 0,5 ha par jour. Ce rythme est actuellement de 1 à 15 ha/jour en fonction des méthodes utilisées et de la configuration des parcelles. Dans le cadre de l'étude de l'abbaye de Preuilly, la motorisation a permis de couvrir la dizaine d'hectares du domaine en utilisant deux méthodes complémentaires : la méthode électrique et le radar-sol (les méthodes magnétiques et électromagnétiques basse fréquence ont été aussi utilisées mais plus ponctuellement). Nous allons expliquer les principes de ces deux méthodes.

Dans la méthode électrique, le prospecteur géophysicien – souvent appelé archéo-géophysicien quand l'objet de ses recherches est l'archéologie – va s'intéresser à la mesure de la résistivité électrique du sol. Ce paramètre traduit la difficulté avec laquelle un courant électrique peut traverser un volume de sol donné : si un sol est très sec ou très pierreux, sa résistivité sera haute ; inversement, s'il est humide, salé ou argileux, sa résistivité sera basse. Les deux extrêmes sont le vide (résistivité infinie) et un métal (résistivité proche de zéro). La résistivité électrique du sous-sol sera fonction d'un ensemble de paramètres tels que sa teneur en argile, sa teneur en eau, sa porosité (rapport du volume de vide sur le volume total), la conductivité ionique de l'eau, etc. L'archéo-géophysicien étudie les variations de résistivité électrique entre le sol et les différentes structures archéologiques enfouies. Si de telles variations existent, et si elles sont suffisamment importantes pour être facilement mesurables, la structure archéologique sera détectable. Ce principe, l'existence d'un contraste suffisamment important entre une structure et son environnement, s'applique pour toutes les méthodes géophysiques. La grande majorité des structures archéologiques possèdent heureusement un contraste électrique par rapport à l'environnement, ce qui n'est pas forcément le cas pour la méthode magnétique par exemple. Les murs sont en particulier le type de structure le plus facilement détectable par la méthode électrique : leur résistivité électrique sera plus importante que celle du sous-sol environnant. Les structures en creux comme des anciens fossés sont aussi détectables : ils peuvent être aussi bien résistants électriquement – s'ils ont été comblés avec des pierres –, que conducteurs – cas le plus fréquent – si le comblement est fait de particules fines

Sur la **fig. 4** on peut aussi remarquer qu'il est possible de détecter les variations d'épaisseur du sol puisque celui-ci a généralement une résistivité plus faible que celle du substrat. Cette méthode est aisée à mettre en œuvre et permet d'obtenir des cartes avec des anomalies dont les formes sont en général facilement interprétables. Le courant est injecté dans le sol par deux électrodes. Ce courant crée dans le sol une variation du potentiel électrique que l'on mesure avec deux autres électrodes. Le rapport de ces deux grandeurs permet de calculer directement la résistivité électrique du terrain (loi d'Ohm). La mesure se fait en un point donné. Sur le terrain, l'opérateur se déplace dans les deux directions pour couvrir l'ensemble de la zone à investiguer. Pratiquement les électrodes sont solidaires

¹³ Caillaux, communication personnelle.

¹⁴ [DABAS 1998](#); [DABAS 2016](#)

et l'opérateur ne déplace qu'un porte-électrode couplé au résistivimètre. Fait intéressant, la distance entre les électrodes contrôle la profondeur d'investigation (la profondeur maximale pour laquelle une structure est détectable). L'utilisation d'une géométrie fixée d'électrode permet d'obtenir une cartographie horizontale du sol (soit une image de toutes les structures présentes dans le sol jusqu'à la profondeur d'investigation). Le passage à plusieurs profondeurs d'investigation nécessite par contre beaucoup plus de temps. Dans la version manuelle de la méthode les électrodes sont insérées et déplacées selon un pas régulier (généralement 0,5m), les surfaces prospectées ne peuvent alors dépasser 0,5 ha/jour dans le meilleur des cas. Bien qu'ancienne, cette manière d'opérer a néanmoins été utilisée à Preuilley pour la zone située à l'intérieur de l'église abbatiale et dans la partie contiguë, au nord (**fig. 5**), puisque les systèmes tractés ne pouvaient être utilisés. Depuis les années 2000, nous avons développé un système capable de prendre des mesures en continu : les électrodes sont remplacées par des roues à pointe fixées sur un essieu isolé (système ARP[®]), lui-même tiré par un quad ou un engin tout terrain (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Chaque roue est en fait une électrode. L'électronique permet de prendre des mesures rapidement avec un pas fixe de 10 cm (en archéologie) et de positionner les mesures en temps réel avec un GNSS (système de positionnement par satellite avec corrections différentielles permettant d'obtenir une précision de positionnement centimétrique). Il devient alors possible de prospecter plusieurs hectares par jour si les conditions de terrain s'y prêtent. La définition des cartes acquises dans ce mode est meilleure qu'avec la méthode manuelle puisqu'on dispose d'une mesure tous les 10 cm en mode tracté contre 50 cm en mode manuel. La maniabilité du quad et ses pneus basse pression font qu'il a été possible de prospecter sans aucun dégât toutes les surfaces disponibles sauf celle correspondant à l'église abbatiale.

Même si le principe de la méthode radar-sol (*Radio Detection And Ranging*) est ancien (1930), son application systématique à l'archéologie est plus récente¹⁵ (années 2000). Le principe du radar, identique au principe de ceux utilisés pour le contrôle de la circulation routière ou aérienne, consiste à émettre à l'aide d'une antenne dirigée vers le sol une onde électromagnétique haute fréquence (généralement entre 25 et 1000 MHz, soit les fréquences radio aussi utilisées par les téléphones cellulaires) et à recevoir sur une antenne réceptrice les échos qui se produisent sur les différents réflecteurs du sous-sol. Le paramètre physique dont dépend cette méthode est la constante diélectrique qui gouverne la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques. Cette constante représente la capacité d'un matériau à se polariser sous l'effet d'un champ électrique. On retiendra qu'elle est très liée à la présence d'eau dans le sol, tout comme la méthode électrique. Néanmoins, son intérêt vient de son excellente résolution spatiale (centimétrique) et surtout de la possibilité d'un contrôle fin de la profondeur des structures, ce qui n'est pas le cas avec la méthode électrique : connaissant la vitesse de propagation dans le milieu, on peut déduire la profondeur de la structure. Les difficultés rencontrées dans l'emploi du radar en prospection archéologique tiennent aux faits que le sous-sol est contrairement à l'air un milieu très hétérogène et que l'énergie de l'onde radar peut être absorbée très rapidement (sur moins d'un mètre, voire sur quelques centimètres dans l'argile) limitant par-là, la profondeur d'investigation.

Bien que son utilisation devienne de plus en plus systématique pour rechercher tous les réseaux souterrains dans les villes (lignes électriques, tuyaux de gaz, eau, etc.), le radar demeure un appareil très onéreux. Son emploi en archéologie doit être parfaitement justifié par rapport aux autres méthodes moins onéreuses et plus robustes. Dans le cas de l'abbaye de Preuilley, nous n'avons commencé à l'utiliser qu'à la cinquième campagne en 2016. Le radar-sol reste à l'heure actuelle une affaire de spécialiste : son domaine d'application est essentiellement le génie civil (détection des ferraillements dans le béton, auscultation de route pour un contrôle de qualité ou détection de fracturation dans des ouvrages), et peu de personnes possèdent une expérience suffisante dans son traitement, relativement complexe, en archéologie. Au vu de son coût, une prospection radar ne doit être déclenchée sur un terrain qu'à des fins de cartographie d'une ou de plusieurs structures archéologiques connues, et ne peut donc être considérée comme une méthode de détection préalable en archéologie. Dans sa mise en œuvre, le radar-sol reste très sensible aux conditions de surfaces des

¹⁵ Novo et al. 2012

terrains (problème de couplage des antennes sur le sol). Les sols en gazon ou les surfaces en bitume ou pavées sont les plus favorables.

Comme pour la méthode électrique, l'opérateur va parcourir le terrain à cartographier selon des profils parallèles dans un mode d'acquisition en continu (espacement entre mesures voisin de quelques centimètres). Pour chaque mesure, le système va enregistrer tous les échos dans le sol jusqu'à une certaine profondeur en fonction du matériel utilisé, du terrain et de la fréquence utilisée (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** fig. 7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'espacement entre les profils est fonction de plusieurs paramètres, mais voisin de 10 cm en archéologie (1 ha correspond donc à 100 km de profils, le gain de définition spatiale précédemment mentionné a donc un coût important). Au lieu d'obtenir des résultats sous forme d'une seule carte comme en prospection électrique, l'archéo-géophysicien peut traiter les données pour créer des sections verticales ou horizontales du terrain (dans la pratique, on définit une vingtaine de tranches de profondeur ou on essaye de visualiser en 3 dimensions les données).

Les antennes radar sont normalement déplacées à la main, mais depuis leur apparition récente (2010) des systèmes multi-antennes plus lourds et volumineux sont tractés par des véhicules tout terrain ce qui permet de couvrir plus rapidement des surfaces importantes (jusqu'à 1 ha en deux heures pour un terrain parfaitement dégagé). Néanmoins, ces dispositifs multi-antennes restent très coûteux et complexes à tracter : la plupart de ces antennes étant trainées sur le sol le principal problème reste le bon couplage entre l'antenne et la surface du sol, ce qui limite la vitesse de traction et le type de surface susceptible d'être prospectée. De plus, le temps de traitement au bureau est très long et nécessite des capacités de calcul importantes. Dans le cas de Preuilley, les surfaces ont pu néanmoins être prospectées sans problème en utilisant ces systèmes multi-antennes avec plusieurs moyens de traction qui ont été gracieusement mis à notre disposition (tracteur agricole et même petit véhicule électrique, **fig. 8**). Seuls une partie de la salle capitulaire et l'intérieur de la grange des Beauvais ont été prospectés avec un chariot très léger développé spécialement pour ces deux endroits où aucun engin motorisé ne pouvait accéder.

De manière générale, l'équipement radar utilise un boîtier d'antenne blindé incluant un ensemble de dipôles électromagnétiques qui transmettent, reçoivent et échantillonnent le signal radar. Le boîtier d'antenne est monté sur un chariot à quatre roues, déployé à la surface du sol et qui peut être soit poussé par un opérateur soit remorqué avec un véhicule le long des profils. Une roue mesurant la distance parcourue sur le sol (œdomètre[GC1][MOU2][MOU3][MD4]) ou bien un radar Doppler sont utilisés pour déclencher la mesure radar à intervalle régulier, mesurer la distance et aussi contrôler la régularité spatiale des balayages radar. Une unité de commande connectée au boîtier d'antenne est utilisée pour numériser le signal analogique et effectuer des opérations de filtrage de base visant à améliorer le rapport signal/bruit. Deux systèmes de la société italienne IDS¹⁶ ont été déployés à Preuilley:

- le Stream X 200 MHz (polarisation dipôle VV) permet d'acquérir 15 profils radar simultanément avec un espacement mutuel de 12 cm entre profils individuels sur une largeur (fauchée) de 1,68 m. Le décalage total entre passages de la machine est de 1,8 m. Le positionnement des données a été réalisé grâce à un appareil GPS cinématique en temps réel Leica® GS 15 synchronisé avec le flux de données du GPR.
- le Stream C 600 MHz (polarisation dipolaire VV + HH) permet un espacement minimum de 4,35 cm entre les profils radar et un décalage d'environ 1 m entre passages successifs. Ce radar intègre 23 dipôles orientés le long de la direction en ligne (polarisation verticale) et 9 dipôles orientés le long de la direction transversale (polarisation horizontale). L'espacement caractéristique entre les profils radar, ainsi que la double polarisation mentionnée plus haut, sont la raison de la haute résolution de ce radar utilisé pour la très proche surface (jusqu'à 1,5 m de la surface du sol). Le même système de positionnement dynamique que pour la méthode électrique a été utilisé en le calant sur les mêmes bases.

¹⁶ www.idsgeoradar.com/products/ground-penetrating-radar/

Le système Stream C a été utilisé pour maximiser la résolution dans le premier mètre de profondeur, tandis que le Stream X a servi à documenter un sous-sol plus profond. Les données ont été positionnées grâce à une station totale robotique Leica TS16, afin de suivre les trajectoires d'acquisition en temps réel avec une précision centimétrique. Cela a été effectué en suivant un prisme optique couplé à l'antenne radar cinq fois par seconde. Les données de la station totale sont synchronisées avec les données radar.

Nous allons détailler le traitement radar effectué pour ces deux types de radar et qui ont abouti aux coupes temps/profondeur (tomographies) qui seront montrées par la suite.

Deux logiciels de traitement ont été utilisés : tout d'abord GRED HD 3D¹⁷ utilisé pour générer des coupes radar à intervalle de 2 cm de profondeur afin d'aider l'archéologue à programmer rapidement de nouvelles fouilles. Dans un second temps, le logiciel spécialisé GPR-SLICE¹⁸ a été systématiquement utilisé pour créer des images avec un meilleur rendu ainsi que des modèles 3D basés sur le rendu des surfaces d'iso-amplitude.

Les procédures de traitement des données visent à nettoyer les données (élimination du bruit de fond), amplifier les signaux utiles et corrélérer spatialement les signatures radar obtenues à partir des traces adjacentes. Chaque canal correspond à une trace radar. Celle-ci représente les variations de l'amplitude des réflexions radar en fonction du temps. L'ensemble des traces, obtenu par le déplacement des antennes le long des profils, forme ce que l'on appelle un 'radargramme'. La séquence typique de traitement utilisée pour les données de Preuilly comprend les étapes suivantes :

1. Correction statique (*Time zero alignment / Static correction*¹⁹) : réaligement canal par canal des temps de la première arrivée radar correspondant à la transition air/sol. Ce réaligement est obligatoire pour les systèmes multicanaux qui montrent des défauts de synchronisation entre canaux.
2. Suppression de la composante continue (*Dewow/ DC-drift suppression*) : les effets de cette dérive sont une conséquence d'un bruit à basse fréquence. Un filtre a été utilisé pour calculer une moyenne mobile sur une plage de temps donnée, puis on soustrait cette moyenne à chaque valeur d'une trace radar.
3. Suppression de la composante basse fréquence (*Background removal*) : une trace moyenne est calculée sur toute la longueur du radargramme puis est soustraite à chaque trace individuelle afin de supprimer les bandes horizontales.
4. Filtrage passe-bande (*Band pass filter*), associé à une fonction de gain (*Gain function*) : appliqué pour atténuer les bruits de basse et haute fréquence et amplifier les signaux utiles.
5. Filtre de blanchiment spectral (*Spectral whitening*) : il n'a été utilisé que sur certains secteurs (S2, S7, S12, cf. **fig. 21** *infra*) où une atténuation importante due au sous-sol est observée. Ce filtre permet d'amplifier toute la gamme de fréquences et d'améliorer la visualisation des réflecteurs en particulier les plus profonds.
6. Migration basée sur l'algorithme de Kirchhoff (*Kirchhoff migration*) : appliquée uniquement dans un deuxième temps sur des secteurs sélectionnés pour leur intérêt majeur (S1, S3, S9). La vitesse dans le sous-sol a été estimée par la méthode d'ajustement des hyperboles de diffraction, elle a fourni des valeurs comprises entre 0,08 et 0,11 m/ns (à vérifier [MDS]). Cet algorithme permet d'améliorer le rendu des radargrammes en remplaçant les différentes réflexions sur une section radar à leurs emplacements réels.
7. Transformée de Hilbert (*Hilbert transform*): appliquée pour convertir la valeur des amplitudes des radargrammes en leur enveloppe positive.

Un exemple des effets induits par les filtres utilisés est illustré à la **fig. 9**.

¹⁷ Logiciel commercialisé par le constructeur IDS (www.idsgeoradar.com)

¹⁸ Logiciel spécialisé dans le traitement radar (www.gpr-survey.com)

¹⁹ Nous avons mis en italique le terme consacré dans la littérature anglo-saxonne pour caractériser chaque phase de traitement.

La dernière étape après les filtrages consiste à associer les différents radargrammes pour former un ensemble 3D de données pour chacun des secteurs étudiés et les visualiser. La résolution spatiale (taille des voxels) a été respectivement fixée à 0,1 m et à 0,05 m pour les données Stream X 200 MHz et Stream C 600 MHz. Pour pouvoir être représentées facilement dans un rapport et interprétées, des coupes verticales ont été générées (time-slice) à partir de ces ensembles 3D de données avec une épaisseur de 1 échantillon pour les volumes GPR calculés à partir de l'amplitude pure et de 2 échantillons pour les volumes calculés avec l'enveloppe positive de l'amplitude²⁰.

Tous les volumes radar ont été calculés en utilisant l'amplitude de l'enveloppe (cf. transformation de Hilbert). Dans certains cas, d'autres volumes utilisant seulement l'amplitude de l'onde (contenant des informations sur la phase électromagnétique) ont également été générés, dans le but d'illustrer des discontinuités subtiles au niveau lithologique.

En général, les vitesses estimées correspondent à une profondeur de pénétration maximale moyenne d'environ 3 m sur le site, bien que sur certains secteurs elle soit plus proche de 1,5 m. Ceci est à relier à l'existence de matériaux très conducteurs proches de la surface comme les pseudo-sections électriques l'avaient montré.

Les différentes campagnes de prospection géophysique

Depuis 2011 sept campagnes géophysiques se sont succédé à la demande de François Blary sur les terrains de l'abbaye de Preuilley. Nous détaillerons leurs apports respectifs par la suite. La première mission en 2011 correspond à un stage étudiant (Sorbonne Université alors Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, Master SDUEE Option Géosciences, encadrement P. Kessouri, F. Réjiba et A. Tabbagh) qui a permis de tester l'ensemble le plus complet de méthodes géophysiques sur deux zones différentes : devant le château et de part et d'autre de la grange de Beauvais. En 2013, la société Géocarta (dir. M. Dabas) a testé deux méthodes tractées à grand rendement (électrique et magnétique sur plus d'un hectare) sur les parterres devant le château et dans le pré sud. La méthode magnétique n'ayant apporté que peu d'information a été abandonnée dans les autres campagnes au profit de la méthode électrique tractée. En 2014 et 2015, cette même société a continué de prospecter en électrique tracté l'ensemble des surfaces disponibles (plus de 6,4 ha) mise à part la surface à l'intérieur des ruines de l'église abbatiale (0,36 ha) prospectée en électrique manuel. Une prospection électrique a été aussi menée à l'extérieur de la propriété sur les restes d'une possible grange monastique détectée par photographie aérienne. A partir de 2016, trois campagnes de prospection radar ont été réalisées : une première de faisabilité en 2016 avec un radar (Stream X) tracté basse fréquence (dir. conjointe Géocarta, M. Dabas - Geostudi, G. Morelli et 3Dgeoimaging, G. Catanzariti) sur 0,7 ha devant la Grande maison et de part et d'autre de la Grange des Beauvais et enfin deux campagnes en 2018 (dir. conjointe ENS, M. Dabas et 3Dgeoimaging, G. Catanzariti) avec le radar de la mission de 2016 ainsi qu'un radar plus haute fréquence (Stream C).

1. Faisabilité

A l'automne 2011 le stage de terrain des étudiants de master²¹ avait un double but : la formation des étudiants aux différentes méthodes d'investigation du sous-sol proche sur un cas réel et une évaluation des caractéristiques du milieu sédimentaire sur lequel a été implantée l'abbaye de Preuilley afin de déterminer les propriétés du terrain et les limites qui en découlent pour la mise en œuvre des différentes méthodes de prospection.

²⁰ Pour le StreamC cet intervalle est de 0,14 et 0,28ns ; pour le StreamX de 0,25 et 0,5 ns. Pour obtenir les épaisseurs équivalentes, il faut multiplier par la vitesse qui a été estimée entre 0,08 et 0,11 cm/ns en fonction des secteurs prospectés.

²¹ Rapport sur les prospections géophysiques réalisées sur le site de l'ancienne abbaye de Preuilley (Égligny, 77) dans le cadre du stage de terrain de prospection géophysique des étudiants de l'U.E. MU106 de la spécialité Géosciences du master SDUEE, 2011, 15 pages.

Ces tests ont permis de reconnaître dans un premier temps la structure générale du terrain à partir de plusieurs sondages électriques²² et dans un second temps de cartographier les variations latérales locales de plusieurs propriétés physiques sur deux zones : de part et d'autre de la Grange des Beauvais (parcelles D156, D164, D165, D166, D167) ainsi que devant la Grande maison (parcelle D162).

Comme le montrent les résultats du sondage électrique réalisé sur la parcelle D162 entre la Grande maison et l'étang (**fig. 10**), le substrat géologique local correspond à de la craie. De résistivité électrique autour de 70 Ω .m, son toit au droit du sondage se situe à une profondeur de 4,70 m et elle est saturée. Au-dessus se place une couche de colluvions/alluvions de granularité fine électriquement conductrice (autour de 30 Ω .m). Épaisse de 3 m, cette couche est en place, la vitesse des ondes de compression donnée par les mesures de sismique réfraction²³ réalisées en D164 comme en D162 y étant comprise entre 1500 et 2000 m/s. C'est sur cette couche qu'ont été établies les constructions médiévales et que se trouvent les déblais résultants de la destruction de constructions anciennes. Ces matériaux 'allogènes' sont peu compacts car ils montrent une vitesse des ondes de compression très faible, autour de 400 m/s. Leur résistivité est toujours supérieure à 120 Ω .m, la fraction argileuse y est donc faible. Cette gamme de valeur de la résistivité constitue une situation favorable d'une part pour la caractérisation de l'épaisseur comme de l'extension latérale des vestiges et d'autre part pour leur analyse des vestiges par la méthode du radar-sol.

Les prospections sur plusieurs zones ont eu pour but de déterminer les variations locales de plusieurs paramètres physiques en relation avec d'éventuelles substructions. Une prospection magnétique²⁴ a tout d'abord été effectuée dans les parcelles situées à l'est et au sud de la Grange des Beauvais mais la carte obtenue a montré des anomalies extrêmement fortes liées essentiellement à la présence d'objets métalliques visibles (limites de parcelles, engins agricoles, etc.). Ce premier test montre que la prospection magnétique ne devra être réalisée que sur des surfaces éloignées de toutes les structures métalliques apparentes. Des prospections électromagnétiques (appareil EM31 où les bobines sont écartées de 3,66 m) ont été aussi réalisées sur ces deux surfaces (grange de Beauvais et parterre de la Grande maison)²⁵. Cette méthode a montré deux masses résistantes au nord-est et au sud-ouest de la Grange des Beauvais, d'une épaisseur d'un mètre au moins sous la couche arable, et interprétées comme des structures archéologiques. À l'est de la grange, une prospection électrique (Wenner a=3 m) a permis de localiser aussi une masse résistante interprétée comme des vestiges même si l'écartement des électrodes (3 m) ne permet pas de décrire la structure interne de l'anomalie. Ces deux prospections rapides ont donc permis de montrer qu'il existait des structures résistantes enfouies sous la terre arable à moins de 50 cm de profondeur. En revanche l'écartement trop important des bobines en EM ou des électrodes en électrique a montré qu'il faut utiliser des dispositifs à écartement plus faible (1 m ou moins) pour cartographier les limites de ces anomalies.

Le parterre du château a été prospecté avec les méthodes électromagnétique et électrique, mais aussi avec le radar-sol. La carte électromagnétique a permis de détecter l'existence d'une canalisation enterrée allant de la Grande maison au milieu de l'abbatiale qui n'a pas été retrouvée en prospection magnétique (hypothèse donc d'une canalisation en plomb). Elle a montré aussi que la couche de construction/remblai est moins épaisse devant la Grande maison que plus au sud, suggérant que le terrain naturel avait à l'origine une pente vers le sud et qu'il aurait été aplani par apport de matériaux. Les sondages électriques verticaux ont confirmé cette hypothèse (le toit de la couche conductrice 'naturelle' varie de 1 à 2,7 m de profondeur entre le nord et le sud (voir fig. 10). Plusieurs

²² Le sondage électrique vertical (SEV) est une mesure de la résistivité électrique du sous-sol effectuée en augmentant l'écartement des électrodes à la verticale d'un point fixe afin d'atteindre des couches de plus en plus profondes.

²³ Technique qui mesure la vitesse d'une onde qui se propage dans le sous-sol suite à un choc (masse, explosif, etc...). Dans le cas de la sismique réfraction, on utilise des ondes dites de compression, qui sont réfractées au toit de chacune des couches ce qui permet de déduire l'épaisseur et la vitesse de chaque couche.

²⁴ Gradiomètre G-858 Geometrics avec deux capteurs verticaux espacés de 70 cm à 50 cm de hauteur. Maille de restitution de 1 x 1 m.

²⁵ EM31 Geonics en mode HCP (bobines horizontales) et VCP (bobines verticales) pour des profondeurs d'investigation respectives de 5 et 3 mètres. Maille de mesure 2 x 2 m.

pseudo-sections électriques (PSD)²⁶ ont confirmé ce fait et permettent de bien délimiter l'extension verticale de la couche bâtie et/ou de démolition (**fig. 11**)

Sur une petite zone, une prospection électrique manuelle avec un écartement plus faible (Pôle-Pôle, $a = 1$ m) a permis de montrer pour la première fois les détails de ce qui a commencé à être interprété comme la limite sud du cloître. De par la profondeur des structures, cette prospection valide donc la détectabilité des structures archéologiques avec un écartement faible entre électrodes et les trois grandes campagnes de 2013 à 2015 se sont appuyées avec succès sur cette constatation. Finalement, une prospection radar²⁷ a été effectuée sur les parterres de la Grande maison, à l'endroit même de la prospection électrique manuelle. La résistivité électrique des terrains superficiels (plus de 200 Ohm.m) est *a priori* très propice pour une détection par radar-sol. L'image obtenue montre de manière distincte trois murs parallèles ainsi que des murs de cloison sur la coupe²⁸ vers 1,60 m de profondeur. La définition spatiale (précision) de l'image radar est bien supérieure à celle obtenue par méthode électrique, mais sa complexité d'acquisition et de traitement font qu'elle ne sera utilisée par la suite que sur les zones où des anomalies électriques ont été, au préalable, détectées.

Cette première mission de faisabilité a donc validé l'utilisation de la méthode électrique avec un faible espacement d'électrodes pour détecter et cartographier les structures enfouies et l'utilisation du radar-sol pour une cartographie du détail des structures. Elle a permis de valider l'existence de structures sur une zone plus importante que ne le suggèrent les vestiges en élévation ainsi que les variations d'épaisseur de la couche 'anthropique'.

2. La méthode électrique

À partir de 2013, trois campagnes électriques de production^[MD7] se sont succédées en utilisant le système automatisé ARP® (*Automatic Resistivity Profiling*) breveté par la société GEOCARTA²⁹ qui l'a développé, à l'origine, spécifiquement pour la prospection des sols en agriculture. Ce système relativement lourd (400 kg) permet un profilage électrique en continu (écartement d'électrodes constant) tout en mesurant simultanément avec trois profondeurs d'investigation³⁰. Le système est remorqué par un quad, ce qui permet de faire une acquisition à plus de 10 km/h dans presque toutes les conditions de terrain tout en minimisant le dégât aux surfaces. À Preully toutes les surfaces engazonnées, les allées de gravier et les prés ont pu ainsi être prospectés sans préjudice. Avec ce système, on combine donc les avantages d'un profilage électrique en continu, d'un sondage électrique vertical et surtout la possibilité de prospecter jusqu'à 4 ha par jour avec une résolution spatiale inframétrique lorsque le terrain est sans obstacles.

Ce système résulte de l'évolution de développements du CNRS depuis 40ans pour la prospection de sub-surface automatisée. Le premier système appelé RATEAU (Résistivimètre AutoTracté à Enregistrement AUTomatique) avait permis de développer des électroniques spécifiques pour la mesure de la résistivité électrique en dynamique³¹. Depuis cette première version, la nécessité de faire des mesures à plusieurs profondeurs a conduit aux systèmes multi-électrodes, appelés MuCEP (*Multi-depth Continuous Electrical Profiling*)³². Ce système a été développé au Centre de Recherches Géophysiques de Garchy (CNRS, UMR7619 Paris VI, Sisyphe, Structure et Fonctionnement des Systèmes Hydriques Continentaux) et utilise une géométrie d'électrodes spécifique en forme de 'V' : le système est formé de quatre essieux, chacun composé de deux roues-électrodes. Le premier essieu est celui d'injection. Les trois autres essieux sont séparés respectivement de 0,5 ; 1 et 2 m de l'essieu

²⁶ La pseudo-section section électrique (PSD) permet d'obtenir l'image d'une coupe électrique verticale des terrains en effectuant des mesures sur un même profil tout en changeant la distance entre les électrodes. C'est une généralisation du profilage (écartement constant) et du SEV (écartement croissant centré sur un même point).

²⁷ Radar Pulse Ekko 1000 (Sensors and Software) 250 MHz, maille 0,1 x 0,5 m

²⁸ La coupe-temps (*time slice* en anglais) représente l'ensemble des amplitudes des échos radar à un temps donné. Elle est calculée en associant tous les profils d'acquisition pour former une image en extrayant les échos entre deux temps d'écoute successifs.

²⁹ www.geocarta.net

³⁰ DABAS 2009.

³¹ DABAS *et al.* 1989.

³² DABAS *et al.* 1994 ; PANISSOD *et al.* 1997.

d'injection et ont une largeur identique à leur distance à l'essieu d'injection. On peut montrer par modélisation que les profondeurs d'investigation sont du même ordre que l'écartement soit de 0 à 0,5 m pour la première voie, 0 à 1 m pour la seconde et 0 à 1,7 m pour la dernière voie. Précisons qu'il serait faux de soustraire les données d'une carte 0-2 m à une carte 0-1 m pour obtenir les informations sur la tranche 1-2 m et qu'une inversion utilisant les mesures sur les trois profondeurs est nécessaire. L'information apportée par les trois cartes est une véritable information tri-dimensionnelle.

Le système ARP[®], en couplant une information de positionnement absolu (dGPS de type RTK) à un positionnement relatif (radar doppler) a permis de s'affranchir de toute implantation préalable d'une base topographique. Le GPS utilisé doit posséder une précision planimétrique centimétrique. La distance entre les profils est de l'ordre du mètre au maximum. La première campagne de 2013 a été calée géographiquement comme toutes les autres sur les mêmes points topographiques (fig. 6 *supra*) en coordination avec la prospection micro-topographique, puis rattaché à une borne géodésique IGN (système Lambert93). L'ensemble du système est piloté en temps réel par un Système d'Information Géographique (SIG). Cette intégration des mesures directement sur le terrain permet un gain considérable lors de la phase traitement-restitution puisque l'on dispose directement de plans géoréférencés. Seule la présence d'arbres ou de bâtiments peut gêner la détermination de position par GPS (multi-trajets, obstruction) comme cela a été le cas au niveau du verger et des platanes du parterre du château. Le nombre de mesures électrique est de l'ordre de 150000 par hectare, et le nombre de mesures de position est de l'ordre de 3000 par hectare. Après traitements, la résolution spatiale des cartes est de l'ordre de 0,09 m² (pixel de 0,3 m x 0,3 m).

La campagne ARP[®] s'est déroulée en novembre 2013 sur les parterres devant la Grande maison ainsi que sur le pré qui la borde au sud pour une surface totale de 1,1 ha³³. Le choix de ces endroits a été lié à la pré-étude mentionnée auparavant et à l'existence d'un indice phytologique (différence dans la couleur de végétation) dans le pré observé sur une photographie aérienne. La période choisie permet par ailleurs de disposer d'un bon contact avec un sol humide pour la mesure électrique. Malgré les réserves quant à l'utilité de la prospection magnétique soulignées par la pré-étude, une prospection magnétique automatisée (AMP – *Automatic Magnetic Profiling*) a néanmoins été faite sur les mêmes zones car cette mise en oeuvre (**fig. 12**) tout comme l'ARP[®], permet une définition spatiale meilleure (infra-métrique) que celle utilisée lors des tests de faisabilité.

La carte obtenue n'a montré aucune anomalie pouvant être interprétée comme une structure archéologique bien que les autres méthodes, électrique et radar, aient montré par la suite leur existence sur la zone prospectée. Un bruit magnétique lié certainement à la présence de nombreux éléments métalliques distribués de manière plus ou moins aléatoire sur et sous le terrain complique la lecture et l'interprétation des cartes. La méthode magnétique a donc été définitivement écartée.

La prospection électrique tractée a en revanche permis de faire ressortir plusieurs éléments bâtis avec une grande précision. Le contraste électrique est en effet très bon entre les limons/argiles et les éléments bâtis. Ceux-ci se traduisent par des anomalies résistantes linéaires (en noir, **fig. 13**) : un bâtiment avec ses contreforts (grange ?), déjà détecté par photographie aérienne dans le pré a pu être confirmé, mesuré et positionné avec précision (la tache blanche correspond à un arbre autour duquel les mesures ne sont pas possibles). Au sud de ce bâtiment, une forme en croix avec un rond au centre fait penser, par association à ce que nous connaissons en archéologie des jardins, à deux anciens chemins et leur rond-point. La branche nord-est de ce chemin passe **au droit de l'angle sud-est du bâtiment** interprété comme une grange, puis sous le parterre pour se diriger vers l'entrée est de la propriété, ce qui peut aussi confirmer son interprétation comme un chemin. Il est intéressant de noter que même si ces anomalies sont visibles sur les 3 voies de l'ARP[®], celle du bâtiment est plus visible sur la voie 2 plus profonde, alors que celle du chemin est plus visible sur la voie 1 la plus superficielle. Nous pouvons donc en déduire que le chemin passe au-dessus du bâtiment et a donc dû être réalisé après la destruction de celui-ci.

À l'extrémité sud-est du chemin détecté en électrique et vers le ru, un aménagement rectangulaire (peut-être un ancien bassin) a été observé bien que moins évident à appréhender. Sous

³³ Rapport Géocarta « Cartographie géophysique. Site de l'Abbaye de Preuilly, Egligny (77) », Décembre 2013, 37 pages.

le parterre de la Grande maison, un aménagement barrant l'allée gravillonnée centrale montre la présence d'un bâti perpendiculairement au chemin actuel. Ces trois éléments montrent clairement que les accès à l'abbaye étaient différents de ceux de l'époque actuelle. Entre le bâtiment à contreforts et le bâtiment central une zone plus complexe globalement résistante et bordée d'anomalies ponctuelles résistantes (anciens chablis de plantation ?) est traversée par la seule anomalie conductrice que nous ayons détectée et qui peut correspondre à une canalisation de section importante ou bien à un fossé comblé.

Juste devant la Grande maison, sur le parterre de forme triangulaire, même si les images électriques sont plus complexes (**fig. 14**) le fait de disposer de trois images électriques à trois profondeurs différentes, nous a permis de documenter une partie du cloître médiéval. La limite est du cloître bien visible sur la carte la plus profonde (0 à 1,8 m) et se situe dans l'alignement du mur oriental de l'actuelle salle capitulaire. Les cartes plus superficielles à 0,5 m et 1 m montrent des limites d'anomalies moins visibles liées probablement à des niveaux de démolition/récupération. Ceci est en accord avec l'étude radar effectuée dans l'étude de faisabilité qui avait montré les murs à une profondeur proche de 1,6 m. Enfin, une anomalie de forme circulaire et conductrice au centre du parterre pourrait correspondre, peut-être, à un puits.

Cette première mission ARP[®] a, par conséquent, confirmé les résultats de l'étude de faisabilité et a montré le potentiel d'une imagerie électrique de haute résolution sur les surfaces disponibles.

La seconde mission a eu lieu fin octobre 2014 sur trois jours et a porté sur une surface plus importante de 3,2 ha. Le système ARP[®] en raison de sa rapidité a été utilisé au nord et à l'est de l'église abbatiale sur toute la parcelle limitée par le mur de clôture ainsi que sur une bande à l'extérieur de ce même mur plus à l'est (surface du pré de 2,85 ha) et la méthode électrique manuelle³⁴ a été réservée aux surfaces plus exigües comme le verger au nord de l'église, (voir fig. 5 *supra*) ou sur lesquelles le quad ne pouvait pas circuler (intérieur de l'église par exemple) pour une surface totale de 0,36 ha.

La carte électrique (**fig. 15**) montre un ensemble d'anomalies résistantes dont plusieurs sont interprétables comme d'anciens chemins de la même manière que pour la prospection faite en 2013. Mais leur forme arquée dans le cas présent fait penser plus à un véritable aménagement paysager à l'anglaise plutôt qu'à des chemins de servitude. En reprenant un plan de 1742³⁵, une superposition est possible avec ces anomalies géophysiques électriques : mis à part le rond-point du parterre nord, ces anomalies ne coïncident pas avec les platebandes de 1742. Elles correspondent donc à une autre phase d'aménagement du jardin. Nous avons déjà rencontré cette situation dans l'étude des jardins du château d'Ancy-le-Franc³⁶ : la carte électrique la plus profonde montrait un aménagement de jardins de forme très linéaire que l'on a pu superposer exactement à un plan de 1759, alors que les cartes électriques superficielles montraient des cheminements arqués totalement différents correspondant dans les archives à un plan d'aménagement des années 1820. Ces cheminements sont superficiels car beaucoup plus marqués sur la carte électrique la plus superficielle (voie 1 : 0 à 0,5 m) que sur les cartes plus profondes. Par analogie, nous émettons l'hypothèse d'un aménagement paysager à Preuilly du XIX^e s. Cette hypothèse s'est avérée en accord avec la redécouverte dans les archives de la famille Husson d'un plan du parc en 1860 où les chemins correspondent parfaitement aux anomalies repérées en prospection³⁷. On pourra remarquer aussi qu'un des chemins se poursuit à l'extérieur de la parcelle puisqu'on le retrouve sous le parterre devant la Grande maison après l'allée gravillonnée. On en déduira donc que les allées actuelles devant la Grande maison sont postérieures à cet aménagement. Les cheminements ont donc été profondément modifiés depuis deux siècles.

Le plan de 1742 montre à l'extérieur du mur de clôture trois tours carrées (ou contreforts ?) dont deux sont probablement élargies à leur base ou entourées d'un fossé (zone hachurée). La base de ces deux tours jumelles a été retrouvée dans la prospection électrique mais celle qui se situe la plus au nord n'a été que partiellement recoupée. En plus de ces trois bases de tour, la prospection

³⁴ Système RM15 de Geoscan Research, méthode Pôle-Pôle avec trois écartements d'électrodes 0,5 ; 1 et 2 m.

³⁵ Abbaye de Preuilly à la Révolution et sous l'Empire (fond de carte : détail d'un plan topographique de la région de Montereau, 1742, conservé sous la cote BnF, Cartes et plans, Ge B 1183 (Rés.).

³⁶ Résultats non publiés encore, document interne Géocarta, Rapport Ancy, Octobre 2009.

³⁷ Voir la contribution de Chantal Fouché-Husson et Yves Husson dans ce volume, fig. 22.

électrique a montré deux autres constructions qui s'appuyaient sur la partie extérieure du mur de clôture et qui ne sont pas indiquées sur le plan de 1742. Il n'est pas possible d'en préciser la chronologie. On peut aussi émettre l'hypothèse que la position même du mur de clôture a pu légèrement bouger puisqu'une anomalie rectiligne résistante existe et qu'elle est parfaitement parallèle à celui-ci. Si cette hypothèse est vérifiée, le mur aurait été déplacé de 5 à 6 m vers l'est. Le manque de précision du tracé du plan de 1742 ne nous permet pas de valider ou d'invalider cette hypothèse.

Au-delà des chemins liés aux aménagements paysagers, il faut noter la présence d'une anomalie linéaire résistante de direction NE-SW et sur 160 m de longueur. Celle-ci se situe dans l'alignement du mur de clôture au nord et à l'ouest de l'abbaye. Elle correspond probablement à un mur arasé. On peut remarquer aussi que si on prolonge cette structure à l'est, on arrive sur les deux anomalies de type 'tour' du mur de clôture oriental, anomalies qui n'étaient pas représentées sur le plan de 1742. On peut émettre l'hypothèse d'un accès. Perpendiculairement à cette anomalie, une autre anomalie résistante part vers le sud en direction du chœur de l'abbatiale.

Des anomalies conductrices ont aussi pu être individualisées sur l'ensemble de cette parcelle. Si certaines d'entre elles sont probablement liées à des artefacts récents, deux autres ont retenu notre attention : la première est une anomalie conductrice présente dans l'axe de l'église abbatiale au sud-est (en A sur la fig. 15). De forme rectangulaire, elle a pour dimension approximative trente mètres par quinze et présente des bords relativement bien marqués. Cette masse conductrice est bordée dans ses angles nord-ouest et sud-est par deux anomalies résistantes en forme de L. Cette forme et cette organisation, suggèrent un ancien bassin clos ou un jardin clos par une structure maçonnée. La seconde anomalie est de forme ronde, de 8 m de rayon, elle comporte une anomalie résistante en son centre (noté B sur la fig. 15). Il pourrait s'agir d'une ancienne fontaine.

On retiendra donc que cette grande parcelle aménagée probablement en jardin paysager au XIX^e siècle a subi de nombreux changements tant dans sa disposition intérieure que dans ses limites. Le plan de 1742 a permis d'interpréter des tours disposées à l'extérieur du mur de clôture est mais d'autres structures de forme proche existent et pourraient être liées à une ouverture dans ce mur.

L'intérieur de l'église abbatiale a été prospecté manuellement ainsi que le petit verger au nord de celle-ci. La carte montre parfaitement deux anomalies linéaires résistantes sur 77 m de long dans l'axe des quelques bases de colonnes encore en place (fig. 16). Ces deux anomalies n'ont pas la même épaisseur partout et montrent un aspect 'perlé' en plusieurs endroits spécialement pour le transept sud. Il est probable que l'on a détecté les deux massifs de fondation ainsi que les bases des colonnes. La distance entre celles-ci serait alors de l'ordre de 7 m. Au niveau du narthex à l'ouest, deux anomalies linéaires recoupent l'église sur toute la largeur. Elles sont situées à l'entrée et au milieu du narthex (fig. 16). On a pu par ailleurs pointer quatre anomalies ponctuelles résistantes alignées perpendiculairement à l'axe de l'église (en C sur la fig. 16 en noir et blanc où elles sont plus lisibles). D'un diamètre d'environ 1 m, elles sont distantes entre elles d'environ 3 m. Il est possible qu'elles matérialisent la fin du narthex et le début du vaisseau. Dans la nef de l'église, deux anomalies linéaires recoupent la nef : la première, proche du narthex, traverse la nef de façon oblique et est située dans son angle nord-ouest (D sur la fig. 16). La seconde anomalie résistante traverse perpendiculairement la nef en son milieu, au ras de l'actuelle allée gravillonnée (E sur la fig. 16). À l'extérieur de l'abbatiale, seul le bras nord du transept a pu être prospecté. Une double anomalie linéaire recoupe ce bras d'Est en Ouest sur une partie de la largeur. [La superposition avec le plan de Henry Faucheur montre, par analogie aux anomalies détectées dans la nef, qu'il s'agit des murs du transept Nord ainsi que des bases de colonne.](#) Le verger a livré un certain nombre d'anomalies diffuses et difficilement interprétables.

La troisième et dernière mission électrique ARP[®] a eu lieu fin octobre 2015 et a porté sur une surface de 3,5 ha, elle a permis de couvrir l'ensemble des surfaces disponibles restantes (fig. 17) ainsi qu'une zone à l'extérieur de l'enclos, au nord-est, à l'emplacement d'une anomalie de végétation détectée par prospection aérienne. La surface totale prospectée en électrique avoisine donc les 9 ha (soit plus de trois millions de points de mesure).

La zone située au sud de la Grande maison correspond actuellement à une pelouse qui descend en pente douce vers la mare et le ru de Sucy qui l'alimente. Cette mare est récente puisqu'elle ne figure pas sur les photographies aériennes de 1957 que nous avons pu consulter. La carte électrique montre spécialement sur l'image la plus profonde à 2 m de profondeur un réseau d'anomalies orthogonales délimitant des petites parcelles que l'on serait tenté d'associer à des limites d'anciens jardins, d'autant plus que ce type d'aménagement apparaît clairement sur le plan de 1742 (**fig. 18**) Trois de ces limites sont interrompues par la mare (pas de prospection possible à cet endroit) et montrent bien que la mare leur est postérieure. Comme pour la parcelle nord, nous sommes en présence d'une modification importante de l'espace et les éléments détectés en profondeur montrent un aménagement très différent de l'état contemporain.

Les zones situées de part et d'autre de la grange des Beauvais (**fig. 19**) sont très riches en anomalies et il n'est pas possible de toutes les interpréter. Nous retiendrons seulement à l'angle nord-est de la grange les traces d'un bâtiment disparu aligné sur la façade de la grange. Ce bâtiment en retour d'angle est visible sur le plan du XVIII^e siècle. Sous le pré, à l'ouest de la grange, une anomalie résistante borde la façade occidentale de la grange sur presque 20 m (cette anomalie a entraîné l'implantation d'un sondage archéologique). Le pré lui-même montre dans sa partie ouest un réseau d'anomalies limitées par une anomalie linéaire NW-SE qui vient buter sur la partie sud de la grange. Aucun élément d'interprétation de ces structures n'existe sur le plan de 1742 dont l'origine anthropique est pourtant indéniable.

La dernière zone prospectée se situe à l'extérieur de la propriété vers le nord-est ; elle est située sur la parcelle agricole OC122 (« Le dessus de Preuilly »). Elle a été délimitée de façon à documenter une anomalie observée sur une photo aérienne de 1999 (**fig. 20**). Celle-ci montrait une forme rectangulaire de couleur jaune dans les blés (ce type d'anomalie phytologique est bien connue des prospecteurs et correspond à un murissement plus rapide des céréales lié à un stress hydrique là où le sol est souvent moins profond, plus tassé et/ou des vestiges en dur existent). Les cartes générées à partir des jeux de données ARP[®] acquis sur le terrain confirment l'existence d'une forme parfaitement rectangulaire avec une longueur de 55 m et une largeur comprise entre 25 et 26 m. Sa géométrie est définie par des anomalies fortement résistantes linéaires d'environ 1,5 m de largeur maximale. Cette structure pourrait être associée à une grange. La fermeture sud des murs latéraux (est et ouest) montre une ouverture de chaque côté sur 5 m environ. La bordure sud présente clairement une ouverture, de 6,5 m de largeur en son centre, bordée par des structures en T. À l'intérieur de l'espace défini par ces murs, nous observons une série de sept anomalies résistantes ponctuelles de forme circulaire et qui sont alignées avec un espacement de 6,5 m. Ces rangées d'anomalies ponctuelles semblent très probablement être des bases de piliers, elles découpent l'espace interne en trois parties dans le sens de la longueur: elles sont disposées à 8 m des murs externes et sont espacées entre elles de 10 m. Cet espace entre les deux rangées définit une allée centrale de 10 m de largeur où les résistivités environnantes sont légèrement plus fortes que celles observées entre les piliers et les murs (sol différent?, tassement ?). À 49 m à l'est de la grange, juste au bord de la prospection, on peut remarquer une anomalie résistante de 3,5 m de largeur qui fait penser à un ancien chemin. Enfin, on remarquera une anomalie à des bords arrondis qui peut faire penser à un enclos autour de la grange. Même s'il n'a été vu que sur plusieurs profils, il n'est pas impossible qu'un second enclos existe juste au nord.

3. Les prospections radar-sol

Les prospections radar-sol ont été réalisées entre 2016 et 2018 afin d'apporter une image encore plus précise du sous-sol en termes de définition horizontale et verticale. Ces missions ont eu lieu en été, contrairement aux missions électriques, afin de privilégier des périodes où le faible taux d'humidité du sol permet un meilleur couplage des antennes ainsi qu'une meilleure profondeur d'investigation. Trois missions se sont succédé : la première fin juin 2016 a permis de fournir des images des zones les plus importantes : devant la Grande maison, (S3, **fig. 21**) autour de la grange des Beauvais (S2) et dans la

parcelle au sud-est (S1)³⁸. Les deux autres missions, en début et fin juillet 2018³⁹, ont permis de compléter les surfaces couvertes lors de la première mission (S3, S6), d'étendre à de nouvelles surfaces (S4, S5, S7 et S8) et enfin d'utiliser un radar à plus haute fréquence permettant une résolution encore plus élevée (intérieur de l'église abbatiale [S9] et parterres au sud [S10]).

Les données ont été traitées selon le protocole décrit précédemment et quatre types de représentations ont été délivrées (**fig. 22**) :

- sous forme de coupes verticales le long du profil d'acquisition (*B-Scan*),
- sous forme de cartes d'amplitude correspondant à des coupes successives horizontales de 3 à 5 cm d'épaisseur entre la surface et la profondeur d'investigation maximale soit 1,5 à 2,5 m sous la surface du sol en fonction des zones (*C-Scan*),
- sous forme d'une carte horizontale synthétique obtenue en superposant toutes les amplitudes correspondant à l'ensemble des profondeurs. Cette représentation aide à mieux distinguer les limites des zones riches en réflecteurs quelle que soit leur profondeur,
- sous forme de vues 3D d'iso-amplitude (pratiquement on définit un niveau d'amplitude au-dessous duquel les réflecteurs ne sont plus visibles et ne sont alors représentés en 3D que les énergies au-dessus de ce niveau de coupure avec une seule couleur).

Pour les cartes, les variations d'amplitude (niveau d'énergie réfléchi par des réflecteurs dans le sol) sont présentées dans une échelle de couleur allant du blanc à l'orange (les tons noir et blanc sont associés à des amplitudes faibles et moyennes tandis que les tons brun-orange correspondent à des réflecteurs plus marqués). Pour les comparaisons avec la méthode électrique une palette identique allant du blanc (absence de réflecteur) au noir a été aussi utilisée.

Pour le premier secteur étudié (S1, **fig. 21**), le potentiel archéologique important confirmé par la méthode électrique suite à la présence d'un indice fourni par l'observation aérienne a été précisé : sur les coupes radar horizontales les plus superficielles l'anomalie linéaire est bien retrouvée entre 18 et 30 cm de profondeur (ces deux couches d'informations sont superposées à l'aide d'un SIG sur la **fig. 23a**). L'intérêt de la prospection radar est ici de préciser la profondeur des structures, elle conforte l'hypothèse que nous avons émise en 2013 sur la présence d'un chemin d'accès qui ne semble pas avoir de lien fonctionnel avec les autres structures détectées.

À partir de 0,27 m de profondeur, les anomalies liées à ce qui avait été interprété comme un bâtiment à contreforts commencent à apparaître. Il s'agit donc de la profondeur du sommet des murs. Il faut attendre une profondeur de 0,40 m pour voir apparaître l'ensemble des murs et des contreforts (**fig. 23b** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il est donc normal que cette structure de par son faible enfouissement ait été observée en photographie aérienne lors d'une année sèche. La carte radar montre néanmoins beaucoup plus de détails que les cartes électriques et ceci est attendu dès que les profondeurs deviennent plus importantes : ce bâtiment qui semblait ouvert vers le nord, sauf à son extrémité est se prolonge par un mur de direction NE-SO qui rejoint une anomalie interprétée comme celle d'une allée (en blanc **fig. 24** profondeurs 0,69 et 0,80 m) qui se superpose à celle d'un conduit souterrain localisé vers 1 m de profondeur (anomalie D **fig. 22 a**). Ce chemin avait été détecté par la prospection électrique mais sa forme n'était pas clairement définie. Comme sur l'image électrique, nous avons relevé, sur sa bordure sud des anomalies circulaires qui font penser à des trous de plantation d'arbre. Il est clair que ce chemin rejoint le groupe claustral plus à l'ouest comme nous le verrons par la suite. Son lien avec le bâtiment à contreforts est maintenant clairement établi. On remarquera aussi au nord de ce chemin une anomalie qui apparaît à partir de 0,70 m de profondeur et qui devient encore plus marquée à partir de 1 m de profondeur, contrairement aux murs du bâtiment à contreforts qui commencent à disparaître (**fig. 24** profondeur 1,49 m).

Le secteur S2 de part et d'autre de la grange des Beauvais a été 'scanné' en 2016 puis en 2018. Toutes les anomalies de grande amplitude sont détectées à de faibles profondeurs (0,2 à 1,8 m sous le

³⁸ Système radar tracté Stream X 200 MHz, Rapport Géocarta « Cartographie géophysique radar. Site de l'Abbaye de Preuilley, Egligny (77) », Nov. 2016, 35p.

³⁹ Système Stream X 200MHz et Stream C 600MHz, Rapport 3DGeoimaging « 3D-Ground penetrating radar survey at the Preuilley Abbey Site, Egligny (France) », 31 Dec. 2019, 32p.

niveau du sol) et à proximité des murs nord, ouest et est de la grange actuelle. Les éléments rectangulaires et/ou géométriquement réguliers avec une épaisseur verticale de 0,5 à 1 m (voir A et E sur la fig. 25) sont compatibles avec la réponse provenant de maçonneries enterrées. D'autres anomalies sont soit très locales, soit d'interprétation difficile, probablement en raison d'effets de surface et/ou de superposition de signatures radar de différents objets/matériaux. Ces caractères ne permettent pas d'identifier des objets spécifiques, bien que les géométries « étroites » définies par les amplitudes radar le long du coin nord-est de la grange (0,5 à 1,3 m de profondeur) puissent être interprétées comme des conduits de service et les restes de la portion de grange détruite déjà mentionnée en électrique. De plus, la zone étiquetée « D » sur la **fig. 25** présente un écho très fort et persistant jusqu'à 3 m de profondeur. Les zones A et B avaient déjà été identifiées par la méthode électrique, mais les zones C, D et E n'avaient pu être identifiées à cause d'un terrain beaucoup plus hétérogène/remanié à l'est de la grange des Beauvais qu'à l'ouest. La zone S6 correspondant au prolongement à l'est de S2 a été cartographiée en 2018. Plusieurs signatures radar isolées de forme linéaire situées entre 0,6 et 1,2 m de profondeur et jusqu'à 0,5 m d'épaisseur ont été détectées. Elles pourraient être associées à celle de canalisations (mais leur signature radar n'est pas celle de tuyaux métalliques, plutôt celle d'objets en terre cuite).

Le secteur S3 (parterre devant la Grande maison au sud de l'église) a été entièrement balayé avec le Stream X 200 MHz en 2018 (un problème de connecteurs en 2016 ayant entraîné une perte partielle de données). Les anomalies A, I, L, M et N sont localisées à côté et parallèlement à la façade de la Grande maison, et tout le long du périmètre de ce secteur (**fig. 26**). Elles reflètent une perturbation intense du sous-sol et/ou la présence de structures récentes sur des épaisseurs de l'ordre de 2 m et/ou des conduites (voir N). Sous le parterre triangulaire devant la Grande maison, les réflecteurs radars dessinent une structure rectangulaire organisée en compartiments carrés. Les caractéristiques anormales (B-H) sont localisées entre ~ 0,7 et 2,1 m sous le niveau du sol, et ont des épaisseurs individuelles entre quelques décimètres jusqu'à 1 m (par exemple B, C, E). Ces structures correspondent *a priori* aux restes du cloître : nous avons tenté une superposition avec un plan connu⁴⁰ et il apparaît clairement que l'anomalie A correspond au mur interne du cloître supportant les piliers de la galerie et l'anomalie B au mur externe du cloître. L'image géophysique montre donc un édifice plus complexe que ce que le plan laissait présager : comme l'existence d'un bâtiment complet s'adossant au mur externe sud du cloître (C, D et E **fig. 26**) servant de [AT8] avec des bases de colonnes (**fig. 27**, profondeur 1,5 m), et un retour d'angle vers la salle capitulaire (F et G **fig. 26**) au nord et rejoignant au sud le chemin mentionné dans le secteur S1. La méthode électrique avait montré de manière beaucoup moins nette ces structures : les profondeurs trouvées par le radar justifient que celles-ci n'aient été détectées qu'à partir de la voie 2 de l'ARP® soit vers 1 m de profondeur.

Le secteur S9 correspondant à l'église abbatiale a été prospecté avec le radar de plus haute fréquence (600 MHz). Dans l'ensemble, la distribution et la géométrie des amplitudes radar définissent une distribution d'anomalies cohérente avec une conception architecturale régulière préservée à l'intérieur de l'église actuelle. Des anomalies latérales continues avec une surface plane et entre 0,5 et 1 m d'épaisseur, détectées le long de l'extrémité ouest de l'église, peuvent résulter des effets du gravier moderne qui couvrent le passage à l'intérieur de l'église, mais représentent également une surface aménagée plus ancienne, comme indiqué dans les premiers 0,40-50 m sous le niveau du sol (**fig. 28**). L'extrémité ouest de l'église montre clairement les deux murs du narthex (**fig. 29** à 1 et 1,2 m de profondeur). Sur la carte, des anomalies de forme géométrique carrée et de forte amplitude à des profondeurs variables (dès 8 cm au sud-est mais généralement vers 0,30 m) signalent les restes de murs et/ou de piliers. Comme on le voit sur les coupes horizontales, elles se rejoignent pour former une anomalie linéaire unique (mur de chaînage ?) jusqu'à ~ 1,3 m de profondeur. Inversement, l'anomalie étroite et continue (H, **fig. 28 Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), traversant la nef, correspond à une structure de drainage vers 0,4-0,5 m de profondeur. Enfin, l'anomalie « M » le long du mur nord de l'église peut être associée à un tunnel partiellement conservé dont l'existence avait été détectée dans le secteur S5 (non montré ici). La **fig. 30** montre la très bonne corrélation entre les

⁴⁰ Dessin Henry Faucheur dans MAILLE 1930, inséré entre la page 14 et 15. (Ajoutée en biblio)

anomalies radar et électrique à l'intérieur de l'église. Même les détails les plus fins, comme ces deux probables bases de colonnes barrant la nef après le narthex, sont clairement identifiés par l'image radar (dans l'ellipse bleue, fig.29, profondeur 1 m).

En résumé, nous pouvons remarquer que la vision que nous avons du sous-sol de l'abbaye de Preuilley et de son environnement a radicalement changé grâce aux six campagnes de géophysique qui se sont étagées entre 2011 et 2016. Elles sont le reflet aussi de l'utilisation des technologies les plus avancées à l'heure actuelle au service d'un projet visant à la compréhension globale du site. Elles sont complémentaires de l'approche destructive que ce soit par des tranchées d'exploration ou par des fouilles. Elles n'ont évidemment ni le niveau de détail que peut observer l'archéologue dans sa fouille, ni n'enregistrent exactement les mêmes 'faits' archéologiques. Elles ont permis par contre par leur extensivité la radiographie complète de toutes les surfaces disponibles et apportent des informations souvent différentes de ce que les plans historiques laissaient présumer, de la même manière que l'archéologue recrée une histoire différente de l'Histoire écrite. Dans le cas de l'abbaye de Preuilley, contrairement aux autres abbayes décrites en première partie, nous n'avions pas, du moins au départ, à répondre à une question précise posée par l'archéologue (sur l'existence de réseaux hydrauliques dans le cas de Morimond, ou sur l'état de conservation dans le cas de Vauluisant par exemple). Il s'agissait bien ici de faire l'état le plus exhaustif possible des restes archéologiques enfouis. Dans le déroulé des opérations depuis 2013, certaines anomalies détectées au fur et à mesure des campagnes nous ont amené à rechercher des compléments d'information dans les textes et dans les photographies aériennes afin d'en trouver une explication. Par un mouvement inverse, ce qui est fréquent dans la recherche, nous avons été amené à découvrir dans des textes et des photographies aériennes les indices à vérifier par la géophysique (cas de la grange au nord-est et des tours extérieures le long du mur de clôture Est). Ces aller-retours ont été fructueux et ont entretenus un suspense jusqu'à la dernière campagne de 2016. Si beaucoup d'anomalies géophysiques ont une explication simple, nombre d'entre elles ne peuvent pas encore être expliquées par les sources connues à l'heure actuelle. De futurs sondages ou la découverte de nouveaux documents permettront peut-être d'en trouver la raison. Mais cet exercice a aussi ses limites : des zones sont tellement remaniées que toute interprétation semble impossible comme par exemple la zone entre le château et le manège à l'ouest (jardin-verger actuellement). De même, autant la prospection radar à l'extérieur de part et d'autre de la Grange des Beauvais a été utile, autant la prospection à l'intérieur de ce bâtiment (non montré dans ce chapitre) n'a pu laisser présager de la richesse de ce qui a été observé en fouille.

Cette étude est aussi suffisamment intéressante quant à son déroulé pour qu'on la mentionne comme exemple pour l'étude d'autres sites monastiques, voire de sites archéologiques dans un contexte d'archéologie programmée : La première étude en 2011 par les étudiants de l'Université Paris VI a permis d'appliquer un très grand nombre de méthodes (8) utilisées par les géophysiciens. Ces tests ont abouti à une évaluation des caractéristiques du milieu sédimentaire sur lequel a été implantée l'abbaye de Preuilley. Ceci a permis de déterminer les propriétés du milieu ainsi que les limites qui en découlent pour la mise en œuvre des différentes méthodes de prospection. L'existence de cette étude a donc été capitale pour sélectionner la méthode électrique tractée utilisée en 2013 et 2014 avec succès. Le radar, méthode plus complexe, à la fois à acquérir et à traiter, n'a été utilisée dans un second temps (2015 et 2016) que sur les zones où la méthode électrique avait montré les structures les plus importantes (parterre devant le château, église et extérieur de la grange des Beauvais). Si l'on ne regarde que les résultats en plan du radar (**figs. 31 et 30**), on se rend compte de la parfaite coïncidence avec les anomalies électriques, ce qui pourrait renforcer l'interprétation de structures enfouies, mais n'apporte en soi, pourrait-on objecter, que peu d'information supplémentaire. Mais le point fondamental dans

l'utilisation du radar est sa capacité à pouvoir estimer la profondeur des réflecteurs et donc approcher la notion de stratigraphie si importante dans tout raisonnement archéologique. Il a été possible par exemple de définir la relation stratigraphique entre un chemin et le bâtiment interprété comme une grange. La méthode radar est aussi celle qui donne la meilleure résolution spatiale ('finesse') des anomalies, en particulier pour les structures les plus profondes. Ceci est tout particulièrement visible pour les restes du cloître devant le château. Méthode électrique et radar sont donc parfaitement complémentaires.

Quand on regarde l'image électrique (**figs. 30**) dans sa globalité (8 ha), ce qui frappe tout d'abord est la différence des réponses entre une zone d'une soixantaine de mètres autour du château et le reste de la propriété. Comme mentionné précédemment, ceci est le reflet entre les zones fortement remaniées où la lecture des anomalies est très difficile et la zone en périphérie où les anomalies sont bien mieux individualisées et donc interprétables. Plusieurs anomalies ont confirmé l'existence des structures connues par des sources iconographiques (tours extérieures, bras nord du transept par exemple), mais aussi des indices détectés par photographie aérienne (bâtiment interprété comme une grange au sud-est). Sur la totalité de la surface périphérique, la majorité des autres anomalies montre des structures liées à un/des aménagement(s) paysager(s) qui ne sont pas documentés à ce jour (allées, bassins, parterres, ...). Enfin, que ce soit par la méthode électrique ou radar, l'existence du cloître est maintenant prouvé que ce soit son mur externe sud ou sa colonnade. Par contre l'existence de bâtiments s'appuyant sur le mur sud du cloître et d'un autre dans l'axe de la salle capitulaire a pu être observé même si aucun plan historique à ce jour ne le montre. Une relation entre le bâtiment dans l'axe de la salle capitulaire et celui détecté et interprété comme une grange reste possible mais n'est pas démontrée (existence d'une zone remaniée par un réseau d'eau). Ces bâtiments posent le problème des voies d'accès à l'abbaye. De la même façon, un bâtiment simple, mais non confirmé par la méthode radar (surface non prospectée) est peut-être positionné proche de l'entrée actuelle à l'est. Tous ces éléments permettent donc de dresser un état de patrimoine bien différent de ce qui est en connu actuellement par les parties aériennes.

Les plans produits serviront nous l'espérons comme base de travail à la fois pour les chercheurs et pour les propriétaires qui, même s'ils étaient conscients de l'importance historique de leur propriété, ont pu visualiser pour la première fois l'épaisseur historique de leur demeure.

Bibliographie

Abbaye de Morimond. (2020, février 28). *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Page consultée le 13:25, février 28, 2020 à partir de http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Abbaye_de_Morimond&oldid=167905873.

BULLY et al. 2011

BULLY Sébastien, CAMERLYNCK Christian, FIOCCHI Laurent, BASSI Marie-Laure, « L'abbaye Saint-Pierre de Baume-les-Messieurs (Jura) : les prospections géophysiques », *Bulletin du Centre d'études médiévales d'Auxerre*, 2011, <https://doi.org/10.4000/cem.11873>

CAILLAUX 2010

CAILLAUX Denis, « Prospections électriques à l'abbaye de Vaultuisant », *Dossiers de l'archéologie*, 2010, 340, p. 10-15.

DABAS 1998

DABAS Michel, « La prospection géophysique », dans *La prospection*, Collection Archéologiques dirigée par A. Ferdière, Paris, Errance, 1998, p. 161-207. —à vérifier à mon retour bureau.

DABAS 2000

DABAS Michel, *sous le sol de l'abbatiale : les prospections géophysiques*, dans Sapin Christian (dir.), « Archéologie et architecture d'un site monastique, 10 ans de recherche à l'abbaye Saint-Germain d'Auxerre », Centre d'études médiévales et Paris, éd. CEM et CTHS, mémoires de la section d'archéologie et d'histoire de l'art, Auxerre, 2000, vol. IX, p. 150-153.

DABAS 2009

DABAS Michel, « Theory and practice of the new fast electrical imaging system ARP® », dans *Seeing the Unseen, Geophysics and Landscape Archaeology*, éd. Campana and Piro eds., CRC Press, Taylor and Francis Group, 2009, p. 105-128.

DABAS et al. 1989

DABAS Michel, HESSE Albert, JOLIVET Alain, « Prospection électrique de sub-surface automatisée », Bruxelles, CIRA (Centre Interdisciplinaire de Recherches Archéologiques), 1989, p. 73-81.

DABAS et al. 1994

DABAS Michel, DÉCRIAUD Jean-Paul, DUCOMET Georges, HESSE Albert, MOUNIR Abdo, TABBAGH Alain, « Continuous recording of resistivity with towed arrays for systematic mapping of buried structures at shallow depth », *Revue d'Archéométrie*, 1994, 18, p. 13-19.

Novo et al. 2012

NOVO Alex, DABAS Michel, MORELLI Gianfranco, « Fast High-Resolution Archaeological Mapping: STREAM X tested at Vieil-Evreux (France) », *Archaeological prospection*, 2012, 19, 3, p. 179-189.

DAVID et al. 1998

DAVID Christian, AUBRY Laurent, DABAS Michel, « Vaultuisant (Yonne) : Détection et cartographie par la méthode électrique de l'ancienne abbaye de Vaultuisant (Courgenay) », *Archéologie médiévale* 28, 1998, p. 243-244.

HARRIS et al. 2015

HARRIS Chrys, GAFFNEY Chris, NEWMAN Mark, LANGTON Mike, WALKER Roger, OTTERSEN Mariah, « Ghosts, surprises, and unsolved mysteries: a multi-technique approach to the enigmatic third guesthouse at Fountains Abbey », *Archaeologia Polona*, 2015, 53, p. 463-466.

MAILLE 1930

MAILLE Aliette de Rohan-Chabot, marquise de, « L'église cistercienne de Preuilly (Seine-et-Marne) », *Bulletin monumental*, t. 89, 1930, p. 257-354.

MATHE 2008

MATHE Vivien, « Saint Bris-des-Bois (Charente-Maritime). Abbaye de Fontdouce », prospection géophysique réalisée dans le cadre du PCR « Conditions d'implantation des monastères dans les pays charentais au Moyen Âge » coordonné par Cécile Treffort, *Archéologie médiévale* 38, 2008, p. 236.

PANISSOD et al. 1997

PANISSOD [Cédric](#), DABAS Michel, JOLIVET [Alain](#), TABBAGH Alain, « A novel mobile multipole system (MuCEP) for shallow (0-3m) geoelectrical investigation: the 'Vol-de-canards' array », *Geophysical prospecting*, 1997, 45, p. 983-1002.

SAPIN et al. 2015

SAPIN Christian, HENRION Fabrice, BÜTTNER Stéphane, « Les origines de l'abbaye de Vézelay et les débuts de son organisation claustrale (IX^e-XII^e siècle) », *Archéologie médiévale* 45, 2015, p. 59-84.

ROUZEAU et al. 2005

ROUZEAU Benoit, AUBRY Laurent, DABAS Michel, DAVID Christian, « La géophysique et d'autres méthodes d'investigation non destructives pour des études de sites archéologiques : l'enclos de l'abbaye cistercienne de Morimond à Parnoy-en-Bassigny (Haute-Marne, 52), *Bulletin de la Société archéologique champenoise* [archéologique de l'Est](#), 2, 2005, p. 74-92.

VINCENT et al. 2018

VINCENT Jean-Baptiste, avec la collaboration de DUBOIS Adrien, HULIN Guillaume, MANEUVRIER Christophe et TABBAGH Alain, « L'abbaye cistercienne du Val-Richer (Calvados) : prospections microtopographique et géophysique d'un monastère disparu », *Archéologie médiévale*, 2018, 48, p. 129-152.