



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION

Direction générale des patrimoines

Inspection des patrimoines

N° 2014-31

LA GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE À LA
RECHERCHE ARCHÉOLOGIQUE
EN MILIEU TERRESTRE

APPORTS ET LIMITES

septembre 2014

François FICHET de CLAIRFONTAINE
Inspecteur des patrimoines

Collège Archéologie

SOMMAIRE

Introduction : le contexte de la réflexion.....	2
1. La prospection géophysique - méthodes et techniques d'investigation.....	4
1.1. Définition.....	4
1.2. La méthode appropriée (électrique, magnétique et électromagnétique).....	5
Conclusions sur les méthodes.....	7
2. Géophysique et archéologie préventive.....	7
2.1. Géophysique et diagnostic préventif.....	7
Conclusions sur l'apport de la géophysique à la phase de diagnostic.....	15
2.2. La géophysique et la phase de fouille préventive.....	15
Conclusions : géophysique et la phase de fouille préventive : une association qui peut être fructueuse.....	18
3. Géophysique et archéologie programmée.....	18
3.1. Mieux connaître pour mieux protéger : l'exemple des cités antiques disparues et les investigations géophysiques.....	18
3.2. La prospection géophysique : une étape dans la construction d'un programme de recherche – l'exemple des sites du Vieil-Evreux, de Vix et du Mont-Beuvray.....	21
Conclusions sur l'apport de la géophysique à la recherche programmée.....	23
4. Le coût des interventions en géophysique.....	23
5. Conclusions : une méthode inappropriée au diagnostic « à l'aveugle » mais utile en soutien et en complément d'étude.....	26
6. Préconisations : comment organiser et encadrer le recours aux techniques d'investigation géophysiques en archéologie.....	27
Bibliographie.....	28
Annexe 1. Les opérateurs de prospections géophysiques : un domaine d'activité en développement.....	30

Introduction : le contexte de la réflexion.

Depuis les années 1950, l'utilisation des techniques de prospection géophysique, originellement employées en prospection minière et pétrolière, s'est peu à peu développée au sein de la sphère des recherches archéologiques. Cette évolution a pris d'abord souche auprès des pays anglo-saxons comme en Italie. Elle occupe aujourd'hui une place croissante dans les programmes de recherche français, préventifs comme programmés.

Si nul ne remet en cause l'intérêt de l'approche géophysique dans le processus de nombreuses études, la situation actuelle n'est toutefois pas sans susciter des interrogations. Un courrier de Géocarta (09/08/2013) à la Sous-direction de l'archéologie a soulevé la question de savoir si la prospection géophysique était intégrable au processus du diagnostic archéologique. En parallèle, l'aménageur pouvait s'enquérir de la possibilité que la prospection géophysique remplace le sondage mécanique¹. Plus récemment, une motion du conseil scientifique de l'INRAP en date du 18 mars 2014 affichait l'opposition de l'institut à la mise en place de la prospection géophysique comme seule méthode d'investigation pour le diagnostic d'archéologie préventive. Pour ces raisons, il avait été proposé que l'Inspection des patrimoines dans son programme 2014, au chapitre "Accompagnement de la politique de la direction générale des patrimoines", dresse une évaluation de l'utilisation de la géophysique en archéologie préventive.

Les interrogations concernent en premier la pertinence et la fiabilité de cette démarche dans le cadre du diagnostic préventif et plus largement au sein de la recherche préventive. En second, elles questionnent le rapport d'équilibre recherché entre l'économie de l'acte (coût, temps, surface, non immobilisation de terrains) et la valeur des résultats scientifiques attendus (nature des vestiges, taphonomie du gisement, stratification, état, extension, valeur scientifique et patrimoniale).

Quelles sont plus précisément ces interrogations ? :

Pour une grande partie, la première porte aujourd'hui sur la capacité réelle de la prospection géophysique à pouvoir suppléer totalement ou partiellement des démarches plus conventionnelles de reconnaissance : à commencer par l'ouverture mécanique qui constitue actuellement près de 99% des interventions de terrain en France. Pourquoi et sous quelle forme les services régionaux de l'archéologie peuvent-ils être amenés à prescrire une investigation géophysique dans le cadre d'un diagnostic, seule ou intégrée à un processus l'associant à d'autres méthodes d'investigations successives ou complémentaires ? **Cette approche seule peut-elle apporter des résultats fiables qui permettront à l'Etat de motiver une prescription scientifique (fouille, conservation partielle ou totale, abandon) reposant sur un état de connaissance suffisant à la définition de problématiques scientifiques ?** (art. L522-2, R 523-15 du code du patrimoine - voir aussi CNRA 2008-2012, avis n°1 et annexe du 04/12/2009).

¹ Rappelons que plusieurs entreprises utilisent par ailleurs de manière récurrente les méthodes géophysiques pour analyser la composition d'un terrain dans le cadre de la préparation et la mise en œuvre de leur projet d'aménagement (homogénéité/hétérogénéité des remblais, compacité, pollutions, présence d'anomalies,...). Pour la réalisation de ce rapport ont été plus particulièrement consultés par l'inspection générale des patrimoines : D. Bayard, V. Guichard, G. Hulin, S. Quevillon, M. Talon, A. Koehler et V. Mahé que nous remercions.

La prospection géophysique pourrait-elle suppléer au diagnostic par ouverture mécanique ?

Dans cet ordre d'idée, le questionnement est bien évidemment concomitant à deux faits :

- **La recherche d'un moindre impact sur le sous-sol** et les vestiges qu'il peut recouvrir (lors des phases de reconnaissance par sondages/diagnostics). Il s'agit, d'une part, de tenter de sauvegarder autant que possible d'éventuels vestiges par une intervention non intrusive sinon à très faible impact sur le sous-sol (surtout si l'aménagement est au final abandonné, quelles qu'en soient les raisons). Il s'agit, d'autre part, de limiter tout bouleversement d'un terrain qui pourrait remettre en cause son utilisation ultérieure (élevage, mise en culture,..) ou l'économie de la construction, par le recours à d'autres modes de fondation plus coûteux sur un sous-sol déstructuré.
- **La recherche d'investigations à moindre coût** pour les aménageurs publics ou privés (sachant toutefois que le coût du diagnostic est assuré par la redevance d'archéologie préventive), comme par tout acteur intervenant sur l'aménagement du territoire, ces investigations étant susceptibles aussi d'être menées et ce rapidement (avec le développement de systèmes de mesures tractés et la prise de mesure en quasi continu) sur de très grandes surfaces (tendance actuelle) et sans immobilisation de parcelles d'une future zone d'aménagement concertée ou d'un grand projet d'infrastructure.

Ces premiers questionnements lient donc étroitement et principalement le sujet à l'acte de diagnostic préventif. Ils révèlent combien la démarche archéologique ne peut s'exonérer du fait qu'elle se déroule aujourd'hui dans une société qui cherche à maîtriser ses coûts en optimisant toute investigation qui croisera, autant que faire se peut, les trois objectifs à atteindre en matière de coût, de temps et de fiabilité des résultats.

Pour autant ces interrogations ne peuvent réduire l'intérêt de la prospection géophysique au seul segment de sa pertinence à l'acte de diagnostic. Les expériences et recherches menées ces dernières années ont révélé combien les apports de la géophysique pouvaient s'avérer importants et essentiels dans de nombreux travaux : ceux visant la prospection thématique d'un site déjà reconnu (extension, complexité, structuration,..), ceux destinés à affiner la stratégie de fouille (en cours ou dans sa phase de préparation) d'une occupation - on pense par exemple en premier lieu aux sites d'ateliers de potiers comme de métallurgie - , ceux visant à identifier des structures dites fantômes ou « fantômes magnétiques », invisibles à l'œil nu, bien que constituant des anomalies anthropiques dans le substrat. Le sous-emploi des analyses géophysiques en France est, dans ces domaines, sans doute pour partie liée à une méconnaissance des possibilités de la géophysique dont les techniques et potentialités ne sont pas suffisamment appréhendées par l'archéologue. Elles sont sans doute aussi liées à une absence de dialogue entre archéologues et géophysiciens.

C'est donc bien l'ensemble de l'approche géophysique (méthodes, apports et limites) qui sera ici interrogé.

1. La prospection géophysique - méthodes et techniques d'investigation².

1.1. Définition.

La géophysique est une discipline des sciences de la Terre qui étudie ses propriétés physiques. Elle observe ainsi les variations spatiales et temporelles des propriétés électriques, magnétiques, électromagnétiques, gravimétriques ou acoustiques du sous-sol en un endroit donné. Elle se propose donc à l'aide d'hypothèses géologiques de valider un modèle mathématique, issu de mesures faites sur le terrain. De fait, elle se trouve à la confluence de la géologie, de la physique, des mathématiques et de l'informatique.

Il existe de nombreuses méthodes géophysiques qui fournissent chacune des indications sur la nature du sous-sol par le biais de l'étude de la variation d'un paramètre physique. La géophysique est essentiellement la mesure de contrastes dans les propriétés physiques de matériaux constituant le sous-sol et la tentative de déduire la nature et la distribution des matériaux responsables de ces observations.

Il s'agit donc de reconnaître la présence de structures anormales. A savoir, des structures qui se distinguent du milieu environnant par l'une ou l'autre de leurs caractéristiques physiques. Comme une anomalie ne peut être définie que par rapport à une norme, la première question que l'on se posera est de savoir si la structure peut provoquer une anomalie par rapport à la norme qui est son environnement et si le contraste est suffisamment important pour provoquer une anomalie mesurable ? Cette notion conduit tout naturellement au problème du choix des méthodes.

La meilleure méthode est celle qui fournit une norme aussi stable que possible et une anomalie bien marquée. On notera aussi que les différentes méthodes géophysiques sont souvent complémentaires et qu'il est généralement très utile d'en employer plusieurs conjointement. Toutes les études démontrent que la qualité du contraste entre l'anomalie et la norme varie aussi avec la nature des structures et la nature du terrain environnant

1.2. La méthode appropriée (électrique, magnétique, électromagnétique)

Le choix de la méthode la mieux adaptée dépend en définitive :

- **de la nature des structures enfouies et de leur possibilité de provoquer une anomalie sur la ou les grandeurs mesurées, donc l'existence d'un contraste entre la structure et son environnement.**

- **du but des travaux de prospection et de la superficie de l'aire à explorer.**

- **de la précision demandée. Chaque méthode et chaque technique mise en œuvre se caractérisent par un certain pouvoir de résolution.**

Il importe donc avant de faire intervenir une prospection géophysique dans l'étude d'un site ou d'une aire donnée que l'on essaie d'**évaluer les chances de réussites**. L'objectif doit être défini le plus explicitement que possible, en sachant ce qui peut être accompli et ce qui ne le peut pas, savoir ce qui est important et ce qui n'est pas essentiel. En définitive, le choix d'une méthode géophysique et du programme technique ne peut être établi qu'après examen du problème posé, des données géologiques et des conditions d'environnement. Ce choix conduit à retenir le ou les paramètres physiques susceptibles de présenter un contraste suffisant pour répondre à l'objectif. Sur ce point, il est évident que l'une des clés de la réussite reposera sur **un dialogue entre le géophysicien, le géo-archéologue (géologue,**

2 Chapitre technique révisé par G. Hulin, géophysicien et archéologue, que je remercie. On ne fera pas ici un historique de la prospection géophysique appliquée à la recherche archéologique : voir à ce sujet Hesse 1966, 1978, Benech et Hesse 2007, Dossiers d'Archéologie, n°308, nov.2005, Simon 2012, Hulin et Simon, 2012. Voir aussi le guide de English Heritage, 2008.

géomorphologue) et l'archéologue, pour éviter la simple application mécanique d'un processus d'investigation.

On retiendra parmi les principales méthodes employées :

1.2.1. Prospection électrique

La prospection électrique implique la détection d'effets produits lorsqu'un courant électrique traverse le sous-sol. Le paramètre physique mesuré est la résistivité électrique qui exprime la difficulté des matériaux à laisser passer le courant.

En général, à l'aide d'un quadripôle, on injecte du courant continu au moyen de deux électrodes dites d'injection (A et B) et on mesure la différence de potentiel en résultant avec deux électrodes dites de mesure (M et N). Plus l'écartement entre les électrodes est important, plus la profondeur d'investigation augmente. Cette méthode très sensible au contenu en argile et à la teneur en eau est bien adaptée à la mise en évidence de constructions en dur (pierres, briques cuites) dans un encaissant fin (limon par exemple³) ou de fossés comme des structures en terre dans un encaissant grossier (calcaire de plateau, grave,..). En cas de substrat formé de sable sec ou d'un sol à forte résistivité, le contact électrique des électrodes peut être très/trop minime. C'est par ailleurs une méthode bien adaptée à de grandes surfaces à l'aide d'un système tracté.

1.2.2. Prospection magnétique.

Cette méthode a pour objet de mesurer les variations de l'intensité du Champ Magnétique Terrestre (CMT). Dans le champ d'application de la prospection de sub-surface, on élimine les sources trop profondes pour ne garder que les plus superficielles, les appareils pouvant détecter des variations de l'amplitude du champ de quelques centièmes de nano Tesla (nT), unité de mesure. Cette méthode est particulièrement bien adaptée à la détection des structures en creux en général et des vestiges ayant subi une chauffe (fours, foyers, argiles cuites, remblais rubéfiés,..). Elle cartographie les contrastes d'aimantation induite et/ou thermorémanente pour l'essentiel.

Elle peut être parallélisée (association de capteurs) de manière à augmenter la résolution spatiale des cartes et la surface prospectée. Outre un traitement de carte qui peut être assez complexe, la méthode est d'un emploi très limité sur des terrains très humides ou des sols très magnétiques (brouillage des images) naturels (roches métamorphiques, magmatiques dont basalte) ou anthropisés par une pollution riche en métaux ferreux et à proximité d'éléments ferreux tels que les clôtures, routes, poteaux électriques, bâtiments... Il importe ainsi de tenir compte de l'environnement géologique comme humain.

1.2.3. Prospection électromagnétique.

Cette dernière peut se décomposer en deux sous-ensembles

- Prospection électromagnétique basse fréquence

Elle mesure à la fois les variations de conductivité électrique (l'inverse de la résistivité), et donc la facilité pour un courant électrique à traverser le sol, et la susceptibilité magnétique (la capacité d'un corps à s'aimanter quand il est soumis à un champ magnétique) d'un élément. Ce dispositif offre l'avantage de s'affranchir de tout contact entre les capteurs (émission d'un champ magnétique propre) et le sol.

Différentes configurations de capteurs peuvent être mises en œuvre en fonction des problématiques engagées. En archéologie, les dispositifs de type EM31 permettent de

³ On notera une bonne réponse pour la Picardie et la Basse-Normandie, lorsqu'il s'agit de reconnaître des fossés creusés dans un substrat limoneux.

cartographier rapidement les entités géomorphologiques telles que les paléo-chenaux ou les montilles (5-10 ha par jour en moyenne). Des dispositifs plus petits peuvent permettre de localiser des structures de remplissage (poteaux, fosses, silos) comme des fondations de maçonneries mais en pratique ne fonctionnent que dans le cas de contrastes très forts.

Enfin, une sous-catégorie d'appareil (susceptibilitémètre) permet de réaliser des mesures ciblées de susceptibilité magnétique et peut être notamment utilisée sur une surface décapée pour la caractérisation de certaines entités archéologiques (notamment les zones de forges).

- Prospection électromagnétique haute fréquence ou géo-radar

Le géo-radar se base sur la propagation et la réflexion d'impulsions électromagnétiques haute fréquence. La propagation des ondes est régie par les contrastes de permittivité diélectrique du sol. Cette méthode permet une très bonne visualisation en coupe et constitue la méthode la plus fine à l'heure actuelle. La réalisation de profils parallèles permet alors de reconstituer un volume 3D du sol.

Le géo-radar est bien adapté à la prospection en milieu urbain, pour ausculter des maçonneries ou le sous-sol d'un édifice (cas de la recherche de la tombe de Cervantès sous le dallage d'une église). Cependant, son utilisation est fortement limitée par la présence d'argile (même en faible quantité) qui va absorber le signal électromagnétique. Des dispositifs multi-antennes tractés commencent à être commercialisés.

Conclusion sur les méthodes

Les deux premières méthodes sont actuellement les plus couramment employées seules ou associées. Elles utilisent du reste des systèmes tractés permettant de couvrir de vastes surfaces en un temps très court. Le géo-radar tend à se développer en proposant une imagerie de très haute définition mais souvent très complexe à interpréter. La méthode électromagnétique basse fréquence reste quant à elle moins utilisée en archéologie mais des problématiques intéressantes et largement sous exploitées existent (géomorphologie, caractérisation sur surface décapée)

On notera que la plupart des capteurs ont été mis au point dans les années 1990-2000 et qu'ils répondent très bien aux attentes. Les rendre davantage sensibles, par exemple capables de mesurer des variations du CMT à hauteur du centième, voire millième dit PicoTesla, apportera-t-il de la valeur supplémentaire ? Car le facteur limitant est bien aujourd'hui le sol et notamment ses hétérogénéités. Celles-ci constituent une source importante de bruit pouvant masquer les faibles anomalies d'origine anthropique. Quoi qu'il en soit, les principaux acquis de ces dernières années sont dus à la mise en œuvre de la technologie GPS qui permet un meilleur positionnement géographique de la mesure géophysique, tout comme le développement de systèmes tractés qui couvrent de grandes surfaces⁴.

Au final, le choix de la méthode de prospection et ses résultats dépendront toujours de la réponse à une triple question concernant l'objectif visé, la nature des terrains investigués et le coût économique accepté pour le projet.

Les exemples qui suivent illustrent différents aspects de la mise en œuvre de la prospection géophysique.

⁴ Sur l'évolution actuelle et à venir voir : Hulin G. « Evolution des méthodes géophysiques pour l'étude des sites néolithiques ». À paraître dans les actes du colloque Internéo/RMPR -2012, Marseille, et aussi English Heritage 2008

2. Géophysique et archéologie préventive

Plusieurs expériences récentes sont liées à la réalisation de prospections géophysiques dans le cadre de diagnostics préventifs. Elles sont de deux types :

- Dans le premier cas, la prospection géophysique couplée à d'autres méthodes de recensement (textuelles, iconographiques, survols aériens, le cas échéant des sondages mécaniques limités, là où des anomalies significatives ont été constatées..) est la **démarche privilégiée** sur le terrain.
- Dans le second cas, la prospection géophysique **précède ou vient compléter** ultérieurement les sondages mécaniques qui constituent la principale forme d'intervention sur le terrain.

2.1.1. - La prospection géophysique comme principale démarche d'investigation : quatre cas d'école

A - Le Projet BREBEMI (Italie)

L'un des programmes les plus emblématiques a concerné le tracé de la future autoroute longue de 120 km, couvrant la vallée du Pô et devant relier Brescia, Bergame et Milan dans le nord de l'Italie. Il a fait l'objet d'un article paru en 2011 dans la collection en ligne « *Archeological prospection* ». Ce dernier vise à présenter le caractère pilote de l'opération menée en 2008-2009, les méthodes mises en œuvre et les principaux résultats acquis, entre autres sur un bande de 20 km entre Caravaggio et Urago D'Oglio (118 sites déjà recensés par la carte archéologique sur un bande de 2 km de large), le long des rivières Oglio et Serio⁵.

D'emblée cette contribution affiche l'intérêt d'une démarche qui se veut non intrusive et vise à réduire le risque archéologique mais aussi le coût du diagnostic. Les travaux géophysiques ont été précédés, en première phase par le recueil des données, constitué à l'aide d'analyses historiques et géographiques, d'études géomorphologiques, de prises de vues aériennes obliques et d'une couverture LIDAR. Ceux-ci ont mis en exergue plus de 509 aires topographiques pouvant avoir un potentiel archéologique. Au global, ce sont plus de 438 ha qui ont été ensuite prospectés en 4 mois, à l'aide de méthodes magnétiques et électriques sur systèmes tractés, des tests sous forme de sondages mécaniques étant réalisés pour vérifier les anomalies recensées. L'ensemble des données a été géré par un S.I.G., apte à pouvoir proposer des modèles prédictifs. Les auteurs (S. Campana et M. Dabas) considèrent que leur démarche innovante vient caractériser et soutenir une application concrète de la « *total Archaeology* » et une approche historique globale de l'occupation humaine.

Il ne peut être ici question d'analyser l'ensemble de l'article qui vient éclairer la politique d'une équipe en matière de soutien au développement des prospections géophysiques. Il s'inscrit pour l'Italie dans un cadre législatif renouvelé qui a vu l'émergence d'une nouvelle réglementation relative à l'archéologie préventive en 2004 et 2005⁶. Cette loi impose à

5 Campana S. et Dabas M., 2011, « Archaeological impact assesment : The Brebemi Project (Italy) », *Archaeological Prospection*, Wiley online Library, DOI : 10-1002/arp.407. On le complétera utilement par la documentation qui a accompagné la conférence de S. Campana à l'université de Stanford, le 10 mai 2011 : "Archaeological impact assesment vs. rescue archaeology : Brebemi project (Italy)". www.academia.edu/2469864

6 Pour l'Italie, le décret législatif du 22 janvier 2004 (n°42 – article 28) du code des Biens culturels et du Paysage, appliqué à partir du 1er mai 2004, la loi du 25 juin 2005 (n°109) et les règles d'urbanisme ont fixé le cadre de l'activité d'archéologie préventive. La réalisation des fouilles en Italie est du monopole de l'État, qui peut concéder les travaux à des structures de droit public ou privé agréés. Le financement des opérations d'archéologie préventive est à la charge de l'État. Cependant, ses manques de moyens financiers et les pouvoirs des administrations font que les aménageurs acceptent de payer les fouilles ou d'exécuter les travaux de terrassement. Dans un tel cadre l'aménageur transmet son projet à la surintendance qui dispose d'un délai de 20 jours pour rendre un avis. Dans le cas d'une décision positive, la première phase comprend des carottages, des prospections et des sondages. La seconde phase correspond à la fouille du terrain. Le rapport de fouille est ensuite approuvé par la surintendance. Voir I Berlingo, 2007, « archéologie et grands travaux en Italie », in Demoule J.-P., *L'archéologie préventive dans le monde*, La Découverte, coll « Recherches ». Paris,

l'aménageur de réunir un dossier mesurant l'impact de son projet sur le patrimoine archéologique (recensement des sites à l'aide de la carte archéologique, d'études des sources écrites et iconographiques et même orales, de prospections dont celle géophysique, analyse géomorphologique,...) complété par des tests mécaniques sur plus ou moins grande échelle, là où des anomalies ont été recensées. Un tel dossier quasi similaire à celui constitué à l'issue des études d'impact en France, doit comporter au final une carte des risques archéologiques et les mesures pouvant être envisagées pour la prise en compte des sites menacés⁷. En tout 217 ha ont fait l'objet d'une prospection magnétique et 215 ha d'une prospection électrique, 128 tests mécaniques étant réalisés (pour une surface globale de 1,56 ha), la surintendance de Lombardie demandant en sus la réalisation de sondages totalisant 2,2 ha en plus. Au final seuls 5% de l'emprise des travaux ont été ouverts mécaniquement et lors de sa conférence auprès des étudiants de Stanford, S. Campana a insisté sur le fait qu'aucun sondage mécanique n'avait concerné les zones n'ayant rien livré à l'issue des prospections non intrusives. On constate certes des résultats très probants par exemple à Bariano (près de Bergame) où le survol aérien couplé à une couverture Lidar (Laser) puis des prospections géophysiques ont livré un site funéraire. Ailleurs on note la mise en évidence de cercles funéraires inconnus jusqu'alors dans la vallée du Pô.

Mais le problème n'est pas tant l'intérêt indéniable des prospections géophysiques que la valeur qu'on leur attribue. Pour les auteurs, passés quelques problèmes de lectures des mesures, il est clair que leur méthode renouvelle les connaissances et apprécie fortement la nature des sites, et ce en opposition avec la « *caterpillar prospection* » qui détruit les vestiges, ne permettant pas d'en établir un relevé exact, non plus d'en reconnaître l'extension, ni même d'en définir les principales caractéristiques (?). Sans qu'il en soit fait la démonstration, on ignore le niveau de connaissance acquis pour les sites menacés (état de conservation, nature, datation, structuration, stratification, diachronisme ou non, etc.). On notera que l'article n'offre guère de vision claire de l'apport scientifique de cette entreprise, ne mettant en avant que quelques résultats probants. Par ailleurs, là où le recueil de données textuelles ou iconographiques n'a rien livré, non plus que la prospection géophysique, aucune investigation mécanique n'a été conduite. Il s'agit donc d'un système qui prononce l'intérêt de sites importants ou répondant aux signaux, mais qui ignore totalement des vestiges plus difficiles à caractériser comme des sols de la préhistoire ancienne, des habitats sur poteaux de la période médiévale ou protohistorique. Il conduit à privilégier quelques occupations ou phases d'occupation dont les vestiges répondent bien ou mieux aux prospections géophysiques, aux dépens d'une analyse plus approfondie du contexte. C'est sans doute pour ces raisons, entre autres, que la Surintendance a mis un terme à « l'expérience » et fait procéder par la suite à la réalisation de sondages mécaniques plus systématiques.

Dans le cas présent, il semble que cette contribution soit davantage à l'attention des aménageurs (pour qui on met en avant l'acquisition rapide de données et le caractère non intrusif des investigations) que des archéologues. Faut-il ainsi être étonné de constater que l'un des critères énoncés dès le début de l'article est le coût de l'intervention, celle plus classique, car nécessitant des ouvertures mécaniques, étant considérée comme trop coûteuse par les aménageurs, un « non-sens économique » selon les auteurs de la contribution, S.

p. 206-214.

7 En Italie, les diagnostics et fouilles peuvent être réalisés par des entreprises publiques ou privés sur le modèle d'une activité commerciale avec un marché libre sur lequel l'aménageur peut procéder à des appels d'offre. Le diagnostic peut être conduit par une entreprise privée ou même une équipe universitaire agréée (ATS de l'Université de Sienne pour le projet « BREBEMI »). La réalisation des fouilles se fait toujours sous la direction des agents des surintendances qui assurent l'environnement et le contrôle scientifique en faisant travailler sous leurs ordres des entreprises privées ou des équipes scientifiques. On notera que l'Italie ne dispose pas du cadre d'évaluation des résultats des opérateurs mis en place avec le CNRA et les CIRA.

Campana évoquant un coût multiplié par 10 (?) lors de sa conférence à Stanford. Elle aurait ainsi conduit l'aménageur à se rapprocher de l'équipe de l'université de Sienne pour qu'elle lui offre une alternative acceptable par la Surintendance. S. Campana démontre aussi l'efficacité de la méthode par opposition au « *test excavation by caterpillar clearly showed selectivity and inefficiency for the detection of certain types of evidence* » comme cela est évoqué lors de sa conférence de Stanford. L'article semble avoir voulu démontrer l'efficacité d'une méthode au plan économique, ce qui n'est pas prouvé, en oubliant qu'il ne le démontrerait vraiment que sous l'angle scientifique. Au final, à trop vouloir être à charge de l'intervention mécanique, dite « *caterpillar prospection* », la contribution ne valorise guère celle géophysique dont on s'aperçoit qu'elle est à mettre sur le même plan que la prospection aérienne ou la couverture Lidar (laser explorateur aérotransporté) : un recueil d'informations très utiles qu'il faut préciser pour disposer de données fiables motivant une décision de fouille voire de conservation ou d'abandon... Nul étonnement donc à constater que la surintendance n'ait pas voulu poursuivre l'expérience.

Le projet Brebemi repose sur un emploi des investigations géophysiques dont on mesure mal l'apport final et la pertinence pour la caractérisation de l'occupation humaine sur la longue durée dans la vallée du Pô. La géophysique y apparaît plus comme une méthode de recensement novatrice, au même titre que la prospection aérienne ou le Lidar. L'avantage concerne toutefois la possibilité d'investiguer de grandes surfaces en un temps limité. Mais cela ne peut suffire à justifier son emploi unique ou majoritaire dans le processus de diagnostic.

B - La Z.A.C. parc d'activités de Honfleur (Calvados).

Cet exemple vient illustrer un des rares cas par lesquels la prospection géophysique est directement mise en avant du fait, principalement, des conditions d'accès à un terrain. En 2007, le service régional de l'archéologie de Basse-Normandie a décidé de prescrire un diagnostic archéologique sur une surface de 78 ha correspondant à une zone située en bordure de la Seine. La problématique visait à recenser d'éventuels aménagements de bords de fleuve (quais de transbordement), des traces d'activités économiques (pêcheries par exemple) ou encore la présence d'épaves enfouies. Parce que gagné récemment sur l'estuaire du fleuve, ce vaste espace était susceptible d'avoir un très faible potentiel patrimonial. Une prescription mécanique pouvait nécessiter de mobiliser des moyens importants pour des résultats supposés très limités ; de plus, on se situait dans une aire dont le sol pouvait, ponctuellement, ne pas pouvoir soutenir le passage d'un engin mécanique. Il a donc été décidé de prescrire une prospection géophysique posant les problématiques évoquées ci-dessus. Cette prescription devait s'accompagner de sondages mécaniques pour vérifier les anomalies ; une tranche ferme de 8 ha devait mettre en œuvre les trois principales méthodes de prospection géophysique (électrique, magnétique et électromagnétique). En fonction de la qualité des mesures, la tranche dite conditionnelle de 70 ha serait réalisée à l'aide de la méthode étant la mieux adaptée au sous-sol humide et peu compact. Un appel d'offre a ainsi été lancé par le conseil général du Calvados (marché de services) et la société Géocarta a été retenue pour l'été 2008, l'intervention étant placée sous la direction d'un agent (X. Savary) du service archéologie de la collectivité, désigné responsable du diagnostic par arrêté du préfet de région Basse-Normandie. Cette opération utilisant des systèmes tractés a confirmé le très faible potentiel de ce secteur. Les quelques anomalies recensées ont fait l'objet de vérifications (négatives) à l'aide de sondages mécaniques, qui n'ont surtout livré que des remblais de dragage épais et des zones polluées. On note que dans le cas présent, le recours à la prospection géophysique (d'un coût qui s'est toutefois avéré, au final, sensiblement au même niveau que celui estimé en cas d'utilisation d'engins de terrassement) était soutenue par la nature du substrat, le faible

potentiel supposé de ce secteur et la recherche d'une économie de coûts humains, techniques et financiers au regard des attentes scientifiques et patrimoniales⁸.

Un tel recours reste exceptionnel car lié aux conditions particulières d'accès au site, qui ici a nécessité l'emploi de la prospection géophysique sur grande surface.

C – La prospection de Houssen.

L'absence de toute intervention sur une zone n'ayant rien livré à l'issue d'un diagnostic géophysique peut être problématique. On citera l'exemple de **Houssen (Haut-Rhin)**. A titre expérimental, une surface de 1,7 ha à Ostheimerweg y a fait l'objet en 2011 d'une prospection magnétique en amont du diagnostic préventif⁹. Si aucun vestige n'était connu sur les parcelles, par contre l'environnement patrimonial attestait de nombreuses occupations s'échelonnant du Néolithique au haut Moyen Age. La méthode magnétique employée n'a livré quasiment aucun vestige, alors que des sondages mécaniques linéaires ont par la suite reconnu près de 93 structures dont un puits de 3m de diamètre. Dans le cas présent, la présence d'éléments ferreux en surface et un substrat argileux d'origine marécageuse au-dessus duquel les matériaux magnétiques ont été dissous, expliquent les fortes limites de la prospection magnétique sur cette aire en zone péri-urbaine.

On ne peut aujourd'hui considérer que l'absence de résultats des investigations géophysiques traduit automatiquement l'absence de vestiges archéologiques. Des paramètres importants, comme la nature du substrat et son hétérogénéité, peuvent fortement limiter la pertinence de la méthode.

D - Prospection géophysique et sondages mécaniques – analyse comparative : exemple du canal Seine Nord Europe. La section de Péronne.

Le canal Seine-Nord Europe constitue un aménagement de grande envergure, long de près de 106 km en site neuf et dont l'impact concernera à terme quelques 2500 ha. La société Voies Navigables de France (VNF) a financé en 2009 une prospection géophysique, réalisée par la société Géocarta, sur près de 70 ha du tracé, de part et d'autre de Péronne (Somme) et ce, avant la phase de diagnostic prescrite par l'Etat. Les résultats n'étaient pas encore connus de l'INRAP, lorsque l'Institut est par la suite intervenu pour la réalisation de sondages mécaniques. Depuis, l'examen comparé des deux modes d'investigations, à partir des rapports remis à la Direction régionale des affaires culturelles de Picardie, a permis de juger des apports et limites de chaque mode d'investigation.

En début 2009 la société Géocarta a donc conduit une prospection magnétique sur 59,3 ha et électrique sur 63,2 ha (une petite zone étant aussi concernée par une investigation électromagnétique). Les deux méthodes étaient associées sur 56 ha. Durant l'été 2009, l'INRAP a lui mené une campagne de sondages mécaniques sur 97,3 ha, l'ouverture des tranchées totalisant près de 10 % de la surface. Au total, 13 indices de sites (non compris les vestiges de la Grande Guerre 14-18) ont été recensés sur cette section de près de 14 km de long, 12 étant comptabilisés par l'INRAP et 6 par la géophysique. Seuls 5 sites ont été ainsi concernés par les deux modes d'investigation à la fois. Plusieurs d'entre eux ont fait l'objet de fouilles dont les résultats permettent d'appréhender l'apport de chaque méthode.

⁸ A ce titre, on pourra faire un parallèle avec la photographie redressée d'élévations, comme un scan 3D de celles-ci, laquelle permet de disposer rapidement d'un relevé pierre à pierre mais nécessite toujours un retour sur site pour vérifier la nature des mises en œuvre, l'origine des matériaux, la texture des liants, etc.

⁹ Simon 2012, p. 184-188.

<i>Site</i>	<i>Type de site</i>	<i>Vu en géophysique</i>	<i>Vu en diagnostic</i>	<i>Fouillé</i>
<i>Cléry-sur-Somme</i> <i>« Pré de l'Orgibet »</i>	Occupation laténienne et gallo-romaine Ensemble funéraire (tombes à coffre)	Non	Oui	Oui
<i>Biaches</i> <i>« Sole du Bois Marc »</i>	Habitat ouvert du premier âge du Fer	Non	Oui	Oui
<i>Biaches</i> <i>« Sole du Grand Bois »</i>	Vestiges néolithiques (fosses en V-Y)	Non	Oui	Non
<i>Biaches</i> <i>« Sole de Barleux »</i>	Habitat ouvert du premier âge du Fer / La Tène ancienne	Non	Oui	Non
<i>Barleux</i> <i>« Sole de la Maissonnette »</i>	Parcelle et chemin gallo-romain	Oui (fossés)	Oui	Non
<i>Barleux</i> <i>« Sole de la Maissonnette »</i>	Ensemble funéraire laténien Habitat gallo-romain	Oui (fossés)	Oui	Non
<i>Barleux</i> <i>« Les Trois Poissons »</i>	Occupation laténienne et gallo-romaine	Oui (fossés)	Oui	Non
<i>Barleux</i> <i>« La Croisette »</i>	Habitat de La Tène ancienne	Oui (fossés)	Oui	Oui
<i>Barleux</i> <i>« La Commanderie »</i>	Occupation protohistorique et gallo-romaine	Non	Oui	Non
<i>Barleux</i> <i>« Le Chemin de Lamire »</i>	Enclos circulaires de l'âge du Bronze	Non	Oui	Non
<i>Eterpigny</i> <i>« Les Onze Polleux »</i>	Habitat de La Tène ancienne Ensemble funéraire	Oui (fossés)	Oui	Oui
<i>Eterpigny</i> <i>« La Carlote »</i>	Habitat du second âge du Fer	Non	Oui	Non
<i>Cléry-sur-Somme</i> <i>« Pré de l'Orgibet »</i>	Enclos circulaire	Oui (fossés)	Non	Non

A **Cléry-sur-Somme**, au lieu-dit «**de Parc de l'Orgibet**», on constate que la géophysique (électrique et magnétique) n'a rien livré. Toutefois les sondages ont mis au jour des vestiges (fossés, fosses et tombes en coffre d'un type rare). Ils s'avéreront appartenir, après fouille, à un habitat antique complexe associé à deux aires funéraires du Haut-Empire, riches en mobiliers.

A peu de distance, toujours sur **Cléry-sur-Somme**, les diagnostics ont livré une série de fossés dont l'intérêt a été jugé trop faible. Pourtant l'examen des résultats de la prospection électrique y révèle l'existence d'un enclos circulaire, dont un petit tronçon a été certes mis au jour mais non identifié par le diagnostic.

A **Biaches**, «**Sole du Bois Marc**», le diagnostic mécanique a livré, outre des vestiges de la Grande Guerre, des fossés, des fosses et des trous de poteau. La fouille a confirmé l'existence d'un habitat ouvert du Bronze final/ premier Fer. La géophysique n'a offert qu'un fossé (en prospection électrique) mais dont rien ne supposait un intérêt patrimonial et archéologique.

Le site de **Barleux**, «**la Croisette**», correspond aussi à un habitat ouvert du Bronze final/ premier Fer. Le diagnostic mécanique y a localisé un fossé et des fosses, en plus de tranchées de la Grande Guerre. Si le procédé magnétique n'a rien donné, par contre, on constate que la prospection électrique a bien recensé le fossé, en plus des tranchées et des trous d'obus. Toutefois, les éléments apparaissent peu probants et en l'absence de sondages mécaniques, il aurait été difficile d'y percevoir un site archéologique.

Un second site de Barleux, "Le chemin de Lamire", correspond à une série de cercles arasés sans doute funéraires, se détachant bien du substrat calcaire constituant l'encaissant. La prospection électrique n'a rien donné, ce qui est normal dans cette zone à forte résistance. Cela aurait dû être différent pour le magnétique. Mais un trop faible contraste entre les fossés et le calcaire explique sans doute qu'elle n'ait rien livré non plus.

C'est sur le site d'Éterpigny, "les Onze Polleux", que l'apport de la géophysique apparaît le plus probant. La prospection électrique (seule méthode géophysique employée sur le site) y a reconnu une série de fossés, dont un double et un chemin. Les vestiges de la Grande Guerre se distinguent bien et les structures archéologiques sont aisées à différencier, de manière à ce que l'on puisse deviner la structuration générale du site. Le diagnostic mécanique a lui aussi bien reconnu des fossés dont le double, des fosses et un grand chemin. Il est évident que l'association de deux méthodes d'investigation aurait permis de préciser l'étendue du site et peut-être d'élargir la fenêtre de fouille vers le nord.

En résumé, on constate que la prospection géophysique «à l'aveugle» sur le Canal Seine-Nord Europe n'aura permis au mieux que de localiser deux, voire trois, sites sur les treize reconnus sur la section de Péronne. Deux ont été ultérieurement soumis à la fouille. Un seul n'aura pas été identifié par le diagnostic mécanique. Dans d'autres cas, il aurait été très difficile de distinguer des structures archéologiques d'autres anomalies, géologiques par exemple.

L'analyse démontre la faible adéquation entre la méthode et l'objectif que l'on souhaite atteindre, les résultats pouvant être très aléatoires d'un site à un autre, alors que le substrat peut être similaire ainsi que la morphologie des structures archéologiques¹⁰.

2.1.2. – La prospection géophysique couplée au sondage mécanique : cinq exemples

De nombreux exemples démontrent l'utilité de la démarche, lorsqu'elle est associée à celle mécanique. Elle permet souvent de disposer d'une vision globale d'un site ainsi que de la nature géomorphologique du substrat, ou peut orienter la stratégie d'intervention mécanique dont l'efficacité est renforcée.

C'est bien la complémentarité des démarches qu'il faut mettre en avant plutôt que leur confrontation.

Sur le site de Steinbourg – Altenberg, Ramsberg (Bas-Rhin), l'aménagement de parcelles en relation avec la LGV -Est Européenne 2ème phase a fait l'objet de prospections géophysiques (1,2 ha pour la prospection électrique et 2 ha pour celle magnétique)¹¹. Un site antique y avait été auparavant recensé à proximité. Les résultats ont par la suite permis d'orienter la stratégie d'ouverture des sondages mécaniques qui ont concerné une ouverture de 10,5 %. La prospection électrique y a démontré l'extension de la villa (grand édifice, bâtiment carré). Celle magnétique n'a pas distingué les fondations des édifices antiques (comblement peu magnétique par rapport à l'encaissant). Toutefois, elle a révélé la présence de structures à fort bruit magnétique dont la fouille ultérieure a démontré tout l'intérêt (structures domestiques et artisanales pour partie liées à l'époque antique et l'autre à une phase alto-médiévale).

L'expérience est très positive en ceci qu'elle a pu orienter la stratégie d'ouverture des sondages. Elle trouve toutefois ses limites avec les fortes variations de nature

10 Etude comparative effectuée avec l'aide de D. Bayard (DRAC-SRA Picardie), G. Hulin, M. Talon et A. Koehler (Inrap). Réunion tenue à l'Inspection des patrimoines le 3 juillet 2014. Voir aussi Depaepe P., Hulin G., Bayard D., Koehler A., Prilaux G., Talon M. "Geophysics and preventive archaeology : Comparison with trial trenching on the CSNE project (France)", colloque de Burgos (à paraître)

11 Simon 2012, p. 122 – 129.

géomorphologique. Elle démontre que la confrontation des méthodes avec les observations de terrain ne peut être partout possible et que le facteur « terrain » est loin d'être anodin. Dans le cas de Steinbourg, on notera aussi que la nature archéologique du site était déjà présupposée, ce qui orientait déjà la réflexion.

L'exemple du diagnostic mené en 2009 au sein de l'abbaye cistercienne de **Baumgarten à Bernardvillé (Bas-Rhin)** vaut d'être mentionné. Il démontre ici tout l'intérêt d'élargir le champ de vision de sondages mécaniques conduits dans des espaces de faible surface. La prospection géophysique permet de mieux comprendre leur relation à l'organisation du site, par une mise en contexte¹². Si les sondages ont livré des maçonneries liées, entre autres, à un espace cimétériel, la prospection géophysique (méthode électrique) aura produit un plan général du site, à commencer par l'abbatiale associée au sud à un complexe pouvant avoir constitué le carré conventuel. A noter que les sondages ont mis au jour des fossés qui n'avaient pas été détectés par la géophysique, du fait du faible contraste entre eux et leur encaissant. Il en est de même pour les sépultures.

La complémentarité entre les investigations géophysiques et les sondages mécaniques s'est vérifiée à plusieurs reprises. Dans ce domaine l'exemple des prospections conduites à **Bernolsheim (Bas-Rhin)** vaut d'être cité. Une prospection magnétique y a été conduite sur le secteur 2, sur et autour d'une première aire prévue à la fouille et pour une surface de 5,25 ha. Le potentiel archéologique n'avait pu être bien saisi du fait de conditions climatiques difficiles lors de la phase de diagnostic mécanique. L'investigation géophysique a révélé l'existence de deux enclos funéraires contenant des sépultures remarquables ; ce qui a permis d'élargir la fenêtre de fouille. Comme le note F.-X. Simon, à l'inverse, la méthode magnétique n'aura pas permis de déceler un des fossés d'un enclos double, non plus que plusieurs sépultures. On soulignera donc ici la nécessaire complémentarité des méthodes plutôt que leur confrontation, qui assure une meilleure définition à la prescription de fouille et des problématiques sur lesquelles on fonde celle-ci.

L'exemple de **Dambach-la-Ville (Bas-Rhin)** vaut aussi d'être cité¹³, par la mise en œuvre de prospections géophysique et électrique sur une surface de près de 60 ha. La prospection magnétique n'a pu livrer de données utiles, faute d'un sous-sol trop bouleversé par des dépôts divers depuis une vingtaine d'années. Celle électrique a été plus positive, révélant l'existence d'anomalies linéaires que des sondages ultérieurs n'ont toutefois pas toujours retrouvées, sans doute parce qu'elles sont naturelles et difficiles à distinguer de l'encaissant à l'œil nu. On soulignera le fait que les sondages ont mis au jour des structures qui n'avaient pu être repérées par la prospection géophysique, du fait de leur taille et sans doute de la nature géomorphologique de l'encaissant.

Le recours à la prospection géophysique lors d'études du bâti tend aujourd'hui à se développer et offre des gains scientifiques indéniables. Ainsi, à **Baignes-Sainte-Radegonde (Charente)**, des prospections électriques ont été réalisées à la demande de la société Hadès qui menait une étude du bâti sur le site conventuel et ses environs, le tout couvrant 1,5 ha¹⁴. La cartographie a livré le plan sommaire du carré conventuel enfoui, suggérant du reste l'existence de deux cloîtres, que confirme l'examen des textes, et la présence d'édifices dont probablement le dortoir. Outre la mise en évidence d'axes structurants, la prospection aura délimité aussi l'organisation générale du/des carrés conventuels.

12 Simon 2012, p. 92-100.

13 Hulin et Simon 2012.

14 Druetz, Chaillou et Mathé 2009, p. 176-177.

Dans de nombreux cas, on constate que le recours à la prospection géophysique sur un site déjà recensé ou connu est « un plus » qui permet d'orienter la stratégie d'ouverture des sondages mécaniques comme de mieux saisir la morphologie globale du site considéré. Les démarches apparaissent bien complémentaires.

2.1.3. La mise en œuvre de prospection géophysique dans le cadre du diagnostic en milieu urbain.

Le cadre urbain impose de nombreuses contraintes à la géophysique, du fait de limites diverses : accessibilité des terrains, souvent de petites surfaces, nature de la couverture des sols (Bitume, dalles ciment,...), et surtout nature d'un sous-sol traversé par des réseaux de canalisations, ou/et pollué par de nombreux remblais fortement magnétiques. La stratigraphie y est aussi plus complexe et difficile à interpréter. Pour autant, la géophysique pourrait apporter des réponses, ce que la table-ronde de Tours avait déjà suggéré en 2003¹⁵. Force est toutefois de constater que les expériences demeurent encore limitées en France. Leur pertinence pourra surtout s'apprécier à l'issue d'interventions suivies et non ponctuelles.

Sans que l'exemple soit entièrement lié à la phase de diagnostic, mais parce qu'il peut s'inscrire dans une démarche visant à mieux maîtriser les potentiels et contraintes archéologiques et offrir ainsi un outil prédictif, le cas récent de Bayeux (Calvados) vaut d'être cité. La mise en évidence d'une partie d'une place dallée des IIe-IIIe siècles ap. J.-C., lors d'une fouille préventive, rue Franche, y a été suivie d'une prospection au géo-radar dans les parcelles et rues adjacentes, couplée par endroits à une prospection électrique. La carte de résistivité a présenté des anomalies orientées nord-ouest-sud-est et nord-ouest/sud est. Elles correspondent à des vestiges connus (murs de thermes, voirie, castrum). La place qui constitue un équipement public est apparue comme une zone plus conductrice et les modifications de résistivité ont permis de proposer une emprise de celle-ci sur près de 2500 m². Ailleurs, ce sont les limites d'édifices thermaux déjà fouillés (rue Laitière, église Saint-Laurent) qui ont été localisés¹⁶. Là encore, les anomalies sont d'autant mieux interprétées que l'on connaît déjà la nature globale des vestiges recherchés.

Les quelques exemples repérés suggèrent que la prospection géophysique en milieu urbain et au stade du diagnostic donne souvent des résultats difficiles à interpréter. Elle serait plus utile dans le cadre de la fouille préventive, comme l'ont montré des interventions sur Lyon et Vaise¹⁷ par exemple.

Conclusions sur l'apport de la géophysique à la phase de diagnostic.

- Trop de vestiges échappent aujourd'hui aux prospections géophysiques, soit du fait de leur ténuité (poteaux, petites sépultures par exemple) soit de leur nature (sols d'occupations préhistoriques), soit surtout du fait de la nature même de l'encaissant ou de la pollution des niveaux supérieurs (entre autres en milieu urbain ou sur une zone industrielle).
- La géophysique ne peut servir de palliatif à d'autres méthodes d'investigation sur le champ des diagnostics en archéologie préventive et ne peut donc constituer une solution visant à simplifier la réalisation de l'acte archéologique en évitant le sondage mécanique.
- Étroitement associée au diagnostic mécanique, le précédant lorsqu'elle est menée sur une aire recouvrant des vestiges déjà connus, ou l'accompagnant lorsqu'il s'agit de compléter et enrichir les données relatives à la morphologie et l'extension du site et son contexte environnemental (dont géomorphologique), elle est toutefois un outil d'aide à la

15 Martinaud 2004.

16 Schütz et al. 2013.

17 Quevillon 2012.

motivation de la prescription de fouille ou de conservation important, voire de modifications de consistance du projet (art. 5 523-15 du code du patrimoine).

Le recours à la géophysique vient aujourd'hui considérablement enrichir l'analyse morphologique des sites, en précisant par exemple le contexte dans lequel ils s'inscrivent, leur extension et forme globale, car rares sont les aménagements dont le périmètre couvre le plan complet d'une occupation (comme une nécropole ou une ferme indigène fossoyée, un habitat alto-médiéval étendu, etc...). Elle peut tout autant livrer des vestiges non visibles à l'œil nu lors de la fouille, mais aussi préciser, voire guider les stratégies des fouilles, avant ou après décapage. C'est dans ces domaines que les apports récents sont les plus marquants, la démarche étant d'autant plus pertinente qu'elle s'inscrira dans le cadre de gestion raisonné d'un chantier, en termes de délai et de coût induit.

2.2.1. Analyse du contexte géomorphologique.

A **Sainte-Croix-en-Plaine (Haut-Rhin)**, une prospection électromagnétique réalisée aux abords d'une nécropole du Ier millénaire av. J.-C. a permis d'aborder le contexte géomorphologique comme les conditions d'implantation de l'aire funéraire. Auprès des limites est du site, une première prospection électromagnétique a localisé un paléochenal. Elle a été suivie de la réalisation d'une carte de conductivité électrique qui a précisé que ce cours d'eau fossile était comblé de près de 2 mètres de sédiments. L'analyse suggère bien que la nécropole est venue se caler contre les rives du cours d'eau alors en activité, ou du moins constituant une forte anomalie topographique¹⁸.

Sur le site de **Thourotte (Oise)**, la prospection électrique étendue aux abords d'aires de fouilles, dont des sites du Mésolithique, a permis de mieux caractériser les contextes géomorphologiques, avec la mise en évidence d'épisodes fluviatiles marqués par des paléochenaux comblés d'argile ou des barres de méandres à dépôts plus sableux¹⁹. On conçoit ici l'utilité de l'investigation géophysique, qui peut dépasser le cadre restreint de l'aire de fouille. Elle aborde des espaces « extérieurs » non concernés par des aménagements pour mieux analyser le site dans son contexte, voire comprendre sa genèse et sa taphonomie.

L'apport de la géophysique à l'analyse géologique et géomorphologique d'un gisement et de son environnement apparaît ici essentiel.

2.2.2. Reconnaître l'extension et la morphologie globale des sites.

L'exemple de **Saint-Christ-Briost (Somme)** illustre les apports de la prospection géophysique lorsque la fouille ne peut aborder que la partie d'un site concernée par la surface d'aménagement²⁰. Dans le cas présent, la prospection électrique a permis de préciser l'extension et le plan global des vestiges protohistoriques et antiques d'un vaste ensemble quadrangulaire fossoyé. Elle a démontré qu'un premier enclos d'axe nord-sud et ouvert au sud, basculait ultérieurement sur un axe est-ouest et s'ouvrait alors depuis l'est.

En localisant la « porte » est de la seconde phase et les limites ouest et est de l'occupation, la démarche a considérablement réduit le champ des hypothèses et constitué un gain scientifique significatif.

Au **Goulet (Orne)**, une fouille conduite en 2007 sur le transect autoroutier de l'A88 avait mis au jour une partie de la façade occidentale d'une enceinte du début du Néolithique moyen II, formée de tronçons de fossés interrompus. Afin de reconnaître le plan général de l'aire

¹⁸ Hulin et Simon 2012, Simon 2012, p. 155-159.

¹⁹ Hulin et al, 2014, cf fig. 5.

²⁰ Hulin et Simon 2012; Hulin et al. 2014, cf fig.2.

enclose, une prospection magnétique avait été réalisée hors emprise²¹. Couplée à un survol aérien, elle a permis de reconnaître la morphologie de l'enceinte en suivant près de 1,7 km de fossés entourant ainsi une aire de 20 ha. Elle a identifié au sein de celle-ci deux grands édifices circulaires du Néolithique moyen II de type Auneau. La fouille étendue depuis sur et autour de ces édifices a confirmé leur existence. Mais il faut noter aussi la découverte inattendue d'un édifice quadrangulaire de même période et d'une allée monumentale, tous éléments que la prospection géophysique n'avait pu reconnaître, sans doute du fait d'un trop faible contraste avec l'encaissant. Il est possible que les résultats aient pu être autres avec une prospection électrique sur le bâtiment quadrangulaire. Une même démarche est aussi celle qui a été suivie pour les enceintes néolithiques de **Villers-Carbonnel** (Somme), dont la carte d'anomalies magnétiques permet de suggérer la morphologie générale.

2.2.3. Les structures « fantômes » ou anomalies magnétiques.

L'un des aspects les plus emblématiques concerne la mise en évidence de structures « fantômes », ou anomalies magnétiques, sur des sites que la fouille fine n'a pu reconnaître²². Il a été amplement constaté que l'activité humaine jouait un rôle significatif dans la formation d'oxydes de fer dans le sol. Ainsi, qu'il s'agisse de l'apport de matières organiques ou d'activités liées à la métallurgie du fer par exemple, l'activité humaine modifie les caractéristiques magnétiques du sol. La lecture du signal s'avère enfin améliorée dès que les sols superficiels (souvent « pollués » de matériaux récents) ont été enlevés au-dessus des niveaux archéologiques, par décapage.

L'exemple du site alto-médiéval (habitat et nécropole) de **Roeschwoog** dans le Bas-Rhin²³, implanté sur un terrain à substrat gravelo-limoneux, est à ce sujet emblématique. A l'issue de la fouille, la prospection magnétique menée sur une aire décapée a pu mettre en évidence plusieurs poteaux appartenant à un édifice sur charpente en bois (bâtiment III). On notera que seuls quatre trous de poteaux (sur huit) avaient été reconnus lors de la fouille. Ailleurs, comme à **Marquion/Sauchy-Lestée** (Pas-de-Calais)²⁴, c'est la carte de susceptibilité magnétique (zone de forte aimantation liée à des phénomènes de chauffe et/ou une plus forte concentration en matière organique) qui aura précisé le plan d'un édifice néolithique. L'exemple du site d'**Ober-Erlenbach** (Allemagne) vaut d'être mentionné²⁵. Sur le contournement routier long de 1,4 km, la prospection magnétique a localisé le plan de quatre habitations du Néolithique ancien. On notera avec intérêt que les fouilles, en mettant au jour des fosses latérales allongées, ont bien confirmé l'appartenance de ces constructions à la culture rubanée. Mais elles n'ont pas permis de retrouver les plans des maisons dont l'emplacement des poteaux ne se distinguait plus à l'oeil nu de l'encaissant. D'autres vestiges invisibles aussi après décapage et nettoyage ont été ultérieurement identifiés, après intempéries, grâce à la différence de couleur des sols (des enclos funéraires). L'intérêt d'une telle couverture géophysique est aussi évident dès qu'il s'agit par exemple de tombes dont la fosse ne se distinguera pas de l'encaissant, parce que réutilisant celui-ci lors de sa fermeture. Comme le note F.-X Simon, pour l'aire funéraire de Roeschwoog, toute proche de l'habitat, le faible contraste magnétique entre la structure et l'encaissant est très utile dans des contextes

21 Bilan scientifique régional 2007, p. 110.

22 Voir au sujet des structures fantômes ou « fantômes géophysiques », Simon 2012 p. 242-256 ; Fröhlich, Posselt et Schleifer 2005.

23 Simon 2012, p. 194-195 et Hulin et Simon 2012, cf figure 6. D'autres exemples viennent compléter cette approche comme pour le site de Florival à Soultz (Haut-Rhin), où la prospection magnétique suggère bien l'existence de structures non repérées lors de la fouille et venant compléter l'étude d'un édifice Rubané du Néolithique (Simon 2012, p. 225-228). La méthode peut aussi démontrer la forte incidence d'un décapage réalisé jusqu'au niveau d'apparition « visuel » des structures, détruisant celles inscrites uniquement dans l'épaisseur du niveau décapé.

24 Hulin et al. 2014.

25 Fröhlich et al. 2005.

loessiques ou ici limono-graveleux.

Le recours à la méthode magnétique peut ainsi limiter un décapage mécanique trop important réalisé jusque l'apparition "visuelle" de structures, d'un squelette ou de mobiliers associés, parfois ou trop souvent avec une dégradation des ossements ou des objets.

Dans ce domaine de "l'invisible", un second apport de la géophysique et non des moindres concerne la mise en évidence d'installations artisanales (entre autres des forges). Ce sont des vestiges qui peuvent parfois n'être essentiellement constitués que de rejets de battitures quasiment invisibles à l'oeil nu²⁶. La méthode qui permettra alors d'orienter la fouille a été employée sur plusieurs sites. Sur la villa de Noyon (Oise), la susceptibilité magnétique aura mis en évidence un sol de forge bien délimité par ses battitures et en lien direct avec un bâtiment. Les investigations auront aussi permis de préciser le protocole de prélèvement des rejets. A Marquion/Sauchy-Lestée (Pas-de-Calais), c'est une forge protohistorique qui a été ainsi mise en évidence. La susceptibilité magnétique a permis d'identifier des effets de parois mais aussi des zones de travail, dont l'emplacement probable d'une enclume²⁷.

L'intérêt de l'investigation géophysique est ici évident, surtout pour des régions où l'implantation (et donc le plan) d'édifices en bois n'a pas ou trop peu laissé d'empreintes visibles à l'oeil nu dans l'encaissant limoneux. Sans doute les archéologues auraient-ils aussi tout à gagner à faire davantage appel à la géophysique sur des sites préhistoriques en cours de fouille.

Conclusions. Géophysique et la phase de fouille préventive : Une association qui peut être fructueuse.

L'apport de la géophysique à l'étude d'un site, avant ou après décapage, et inscrit dans la phase de fouille, peut être essentiel pour guider la stratégie de fouille, orienter celle-ci vers les éléments pertinents et compléter les résultats, lorsque les structures sont pour parties invisibles.

Le développement d'investigations géophysiques sur des sites en cours de fouille permet souvent de mieux orienter la stratégie d'étude, de retenir un meilleur choix d'implantation des fenêtres de fouille (après ou même avant décapage), comme de disposer surtout d'informations supplémentaires affinant la connaissance sur le gisement (extension, morphologie globale) et son proche environnement. Elle peut s'inscrire ainsi dans la gestion raisonnée d'un chantier technique et scientifique.

3. Géophysique et archéologie programmée

Que l'on soit dans un cadre d'intervention préventif ou programmé, les potentialités de l'investigation géophysique demeurent bien évidemment les mêmes dès que l'on souhaite reconnaître l'extension comme la morphologie globale d'un site, voire sa fonction. Sans chercher à visiter de nouveau chacun des champs possibles d'investigation selon les programmes d'étude (prospections thématiques, inventaires, fouilles, sondages,...), quelques types d'intervention peuvent être mis en avant. Leur présentation viendra ainsi compléter celles analysées pour le cadre préventif.

²⁶ L'apport de la géophysique à la prospection de sites artisanaux est bien connu pour les ateliers de potiers, comme pour les ensembles à métallurgie du fer ou du plomb argentifère. Voir à ce sujet Beyrie et al. 2005.

²⁷ Hulin et al. 2014. L'objet du présent rapport n'est pas d'offrir un panel de toutes les possibilités offertes par la géophysique, entre autres, la magnéto-stratigraphie appliquée à l'analyse stratigraphique (cf Hulin et al. 2014).

3.1. Mieux connaître pour mieux protéger : l'exemple des cités antiques disparues et les investigations géophysiques.

De nombreux exemples démontrent aujourd'hui tout l'intérêt d'une démarche non intrusive, destinée à reconnaître l'extension, la morphologie et les composantes d'un site enfoui, parfois sur une grande superficie. **Pour résumer, lorsque le site n'est pas menacé et que l'on souhaite promouvoir sa protection, il importe de chercher toute méthode d'investigation qui préserve ses vestiges.**

L'exemple de **Pasargades (Iran)** constitue un des cas les plus emblématiques de la démarche (prospection magnétiques sur plus de 37 ha), les données ayant par ailleurs permis d'enrichir le dossier en vue de son inscription sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco. On peut aussi y joindre des villes comme **Apamée** ou **Doura-Europos**²⁸.

Dans la plupart des cas, le recours à la géophysique vient soutenir des projets de protection comme des programmes d'étude. Une meilleure connaissance des sites permet d'affiner par la suite la stratégie d'investigation de fouilles ou de sondages, comme à **Gabies en Italie**²⁹. On reconnaîtra donc que la démarche s'imposera (sauf lorsque la nature du sous-sol est trop hétérogène et complexe, sinon impropre à la géophysique) à l'intervention mécanique dans le but de préserver les vestiges au maximum.

En Poitou-Charente, l'agglomération secondaire au **Fâ à Barzan** (Charente-Maritime) a fait l'objet de campagnes de prospections géophysiques débutées en 1998 et poursuivies de telle manière, qu'elles ont atteint 47 ha en prospection magnétique et 41 ha en prospection électrique ou électromagnétique. Ces travaux ont permis d'identifier la structure urbaine du site (réseau viaire, grands édifices dont un grand sanctuaire dit temple de la Garde). Ils ont aussi concerné des secteurs artisanaux et en périphérie des vestiges encore indéterminés en 2009 (enclos circulaire, fosses, probables trous de poteaux). En limite sud, une prospection électrique à large maille (pour évaluer la profondeur du substrat calcaire) a permis de situer l'ancien trait de côte, dont le tracé dessine une baie pénétrant de près d'un kilomètre à l'intérieur des terres. La poursuite de la prospection électrique a permis de localiser des aménagements (grands édifices, empièvements, quais?). Comme le note Vivien Mathé³⁰, le projet aura permis de disposer d'une « *nouvelle vision, à la fois globale et précise, des structures enfouies, qu'elles soient maçonnées, fossoyées ou de combustion* »

La Basse-Normandie a été récemment conduite à promouvoir des investigations géophysiques sur les agglomérations secondaires antiques de Fontaine-les-Bassets et de Valognes ou la capitale de cité de Vieux. Il s'agissait de mieux identifier leur morphologie, leur extension et de soutenir aussi des programmes visant en premier, pour Valognes et Fontaine-les-Bassets, leur protection.

Fontaine-les-Bassets (Orne) conserve sous près de 30 ha, un ensemble urbain antique (ancienne capitale des Esvii ? sur la voie Bayeux-Chartres) connu depuis 1788. Mais il n'avait jamais fait l'objet de fouilles jusqu'alors. Sa morphologie urbaine a été reconnue en 1988 par prospection aérienne. À partir de 2009 jusqu'en 2012, un programme thématique associant une prospection pédestre et des investigations géophysiques y a été conduit. La prospection électrique menée par la méthode ARP a révélé, avec une précision inattendue, la trame urbaine et ses limites ainsi qu'un ensemble bâti complexe. Les résultats ont suggéré l'existence d'une parure urbaine monumentale avec la mise en évidence d'un probable sanctuaire composé d'un alignement de trois pièces carrées sur esplanade délimitée par des

28 Boucharlat 2005, Benech 2000, Benech 2005b, Benech et Hesse 2007 pour les jardins royaux de Pasargades.

29 Terrenato et al. 2010, très explicite dans ses attendus et dont la prospection magnétique livre sur plus de 40 ha le plan d'une cité dont la connaissance a orienté la stratégie des études de terrain.

30 BSR Poitou-Charentes 2009.

murs périphériques et surtout d'un édifice de spectacle, le premier recensé sur la civitas des Esvii/Sagii, dans l'Orne. La méthode non-intrusive a permis d'appréhender le site sur une vaste surface et d'enrichir un dossier, complété par des sondages limités afin de mieux identifier la nature exacte et surtout l'état de conservation des deux grands monuments.

Ce retour sur le résultat des investigations géophysiques démontre la difficulté à appréhender l'état des vestiges conservés du site par la seule prospection géophysique³¹. Malgré leur coût³², les investigations géophysiques y ont amplement démontré leur intérêt.

A Valognes (Manche), le site d'Alauna connu depuis le XVIIIe siècle, encadré par ses thermes antiques et son édifice de spectacle, a longtemps échappé aux investigations. La morphologie de sa trame viaire n'était que supposée, tout comme les limites de son extension. Une prospection, thématique a été conduite en 2012 sur le même principe que celle de Fontaine-les-Bassets dont la surface est voisine. Mais les résultats furent différents du fait de la nature du substrat. Dans le cas présent, la prospection électrique sur 10 ha (15000 €) a bien livré le cœur de la ville (et son forum ?) quadrillé par un réseau orthonormé et densément occupé par des constructions dont le plan se dégage toutefois difficilement. Aux abords, les résultats de la prospection sont apparus très limités, hormis pour le tracé des voiries. La campagne 2013 a alors été engagée mécaniquement, en vue de reconnaître la limite urbaine à l'ouest et au sud et la morphologie des occupations (zones dépotoirs, de boucherie, artisanales,...) en périphérie immédiate de la ville. A l'issue du programme, un zonage - voire une mise en zone non constructive au PLU - soutenu par un dossier bien documenté devrait permettre de mieux protéger le site du développement de la ville toute proche³³ :

Tout aussi emblématique est le cas du site urbain antique de Mariana à Lucciana (Haute-Corse) dont la valorisation auprès des publics est un enjeu culturel et touristique régional.

Comme le notent les auteurs d'un programme de prospections géophysiques menées en 2006-2007 sur le site³⁴, il importait de mieux connaître celui-ci pour mieux le protéger, quelques espaces ayant déjà été fouillés antérieurement. Le programme mis en place est ambitieux. Il se propose de reconnaître à terme l'évolution du trait de côte, l'emplacement de l'enceinte urbaine et la structure du cadastre rural antique environnant la cité, en plus d'une analyse de la trame urbaine dont la compréhension demeurerait encore trop imprécise. En 2006, des prospections magnétiques (au nord de la Canonica) et électriques ont été réalisées puis complétées en 2007 par des investigations très pertinentes à l'aide du géoradar. Les deux premières ont livré de nombreuses maçonneries et l'emplacement probable de forges, la dernière a été conduite sur l'emplacement d'un grand édifice public dont le schéma a été reconnu à partir de mesures effectuées à diverses profondeurs. Finalement, l'aire étudiée a livré une trame urbaine orthonormée divisée en quatre *insulae* au sein desquelles de nombreux édifices se distinguent bien. Le plan de la cité ainsi restitué a été enrichi de quelques sondages destinés à vérifier les résultats de la géophysique mais aussi à préciser le contexte stratigraphique.

En conclusion, on soulignera combien l'apport de la géophysique est essentiel pour mieux comprendre la morphologie et l'extension d'un site urbain, ce sur un large espace et dans le but de protéger les vestiges. Cette démarche peut aussi concerner des villae

31 Quevillon 2009 à 2012, Quevillon 2012b.

32 Réalisation Géocarta : 49 000 € actualisés à 2012, pour 37 ha. Les données proviennent de la communication présentée en 2014 au colloque de Bayeux : Jardel K, Jeanne L, Paez-Rezende L, Quevillon S, Schütz G et Thiesson J., le sous-sol des villes antiques de Basse-Normandie exploré par la géophysique. Les exemples de Bayeux, Fontaine-les-Bassets, Valognes et Vieux..

33 Jeanne, Paez-Rezende et Duclos 2012.

34 Vermeulen et al. 2010, Verdonck et Vermeulen 2009.

antiques, comme celle de Nieul-sur-Mer (Charente-Maritime)³⁵ ou encore celle de Bretteville-L'Orgueilleuse (Calvados) dont la *pars urbana* a été reconnue à proximité de la fouille de sauvetage.

3.2 La Prospection géophysique : une étape dans la construction d'un programme de recherche. L'exemple des sites du Vieil-Evreux, de Vix et du Mont-Beuvray

Plusieurs exemples sont liés à la mise en œuvre de prospections géophysiques pour la préparation et l'organisation de campagnes de fouille. L'investigation permet, en acquérant une connaissance du site, d'affiner les problématiques. Elle peut aussi aider à construire une stratégie d'étude comme d'ouverture des fenêtres qui permette d'aller plus à l'essentiel et de fouiller là où les potentiels sont les plus pertinents au regard des objectifs définis.

Le site de *Gisacum* au Vieil-Evreux (Eure) s'est "prêté" de manière très utile et convaincante à une telle démarche. Considéré comme le grand sanctuaire des *Aulerques Ebuovices*, cet exceptionnel ensemble monumental complexe, à l'urbanisme original, a été reconnu très tôt au XIXe siècle. Son étude a longtemps fait l'objet de fouilles. Mais ces dernières ne permettaient toutefois pas de saisir le plan global du site, voire de nombreux monuments (dont le sanctuaire) et ses multiples potentiels. A partir de 1976, les prospections aériennes ont enrichi considérablement les approches sur l'analyse du site, y révélant aussi de nouveaux monuments. Ce sont véritablement les prospections géophysiques (dont l'analyse a été couplée à celle des vues aériennes) qui ont depuis renouvelé la connaissance du site. Elles ont forcé le regard autant sur la structure urbaine singulière de l'ensemble à plan polygonal que sur ses édifices principaux et leurs aménagements environnants (viaires comme hydrauliques)³⁶. Traduits au sein d'une thèse soutenue en 2000 par L. Aubry, les résultats des premières prospections magnétiques et électriques ont porté sur l'édifice de spectacle³⁷, précisant son plan, sa forme et sa structure au regard de la restitution avancée par L. Guyard. Elles ont aussi concerné le *fanum* occidental et les thermes dont l'environnement a été reconnu comme le système hydraulique (ainsi les fondations en silex d'un aqueduc en bois). Ces travaux et ceux ultérieurs ont concerné aussi le Nymphée comme le grand sanctuaire dont le temple central a été repéré ainsi que le temple sud, les erreurs des relevés antérieurs étant rectifiées, etc. Comme le notent les divers auteurs, la géophysique aura permis d'aborder non seulement la morphologie des monuments mais aussi et surtout celle de leur environnement et plus généralement la structuration interne du grand ensemble du Vieil-Evreux, précisant aussi la nature et la profondeur du plancher géologique. Un tel acquis sur une grande surface, aura servi non seulement à orienter les problématiques et stratégies de fouille mais aussi à enrichir les projets de valorisation. Comme cela est aussi remarqué, les principales limites sont liées aux imprécisions relatives à la nature de nombreuses anomalies, aux contacts stratigraphiques et à la datation des vestiges.

Le site du Mont-Lassois et son environnement à Vix (Côte-d'Or) constituent un des ensembles les plus emblématiques de l'archéologie protohistorique française. Pour orienter les recherches et les compléter, le plateau sommital a fait l'objet de prospections magnétiques

35 A Nieul-sur-Mer (Charente-Maritime), au lieu-dit les Groies, une villa antique avait été partiellement reconnue à l'issue de prospections au sol puis de fouilles limitées (1976-1980). En l'absence d'un plan d'ensemble permettant aussi de reconnaître la superficie du site, une aire de 1 ha a été prospectée en 2008 en employant trois méthodes de prospections géophysiques complémentaires (Électrique, magnétique et électromagnétique). Les protocoles de mesure ont été retenus après avoir décidé de prospecter le premier mètre d'épaisseur. La carte d'anomalies magnétiques est très explicite avec la mise en évidence d'un corps de bâtiment sur cour ouverte ou non à l'est et formant la *pars urbana* de la villa, une grande structure circulaire fossoyée (datation indéterminée) étant probablement antérieure à l'angle nord-ouest maçonné de la villa. On notera la mise en évidence de bassins et de structures de combustion. C'est une cartographie qui peut être à même de soutenir un projet de protection du site comme d'affiner une stratégie de fouille. Cf Mahé 2009, p. 182-184.

36 Dabas, Guyard et Lepert 2005.

37 Aubry 2000, fig. III-C-2. Carte de conductivité électrique sur le théâtre, voir aussi Borderie, Jrad et Pétronille 2006.

réalisées par Harald Von der Osten de 2003 à 2007. Sur une surface de près de 9 ha, les prospections ont révélé l'existence d'une trame régulière mise en place vers la fin du VI^e siècle av. J.-C. Le plateau est divisé en deux par une grande voie principale tracée sur un axe nord-sud. La trame se compose de parcelles rectangulaires délimitées par des fossés et dans lesquelles s'insèrent des édifices à architecture de bois. La mise en évidence d'un premier bâtiment à abside, d'une morphologie et d'une taille inédites, a guidé la fouille entre 2005 et 2008³⁸. La prospection géophysique conduite sur l'ensemble du plateau calcaire aura révélé l'existence d'un véritable programme architectural lié à la présence d'une résidence dite palatiale. On soulignera la qualité de la carte magnétique qui offre une grande précision des plans et permet de localiser des structures avec des détails parfois inférieurs à 0,50 m. Toutefois, la prospection est apparue moins performante et de peu de résultats dans certains secteurs. De nouvelles investigations menées en 2010 n'ont pas livré de meilleurs résultats sur ceux-ci. Plus qu'une modification du substrat géologique, il faut sans doute suggérer la superposition de plusieurs niveaux d'occupations. Le plateau est en effet un site majeur aux phases de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Age. L'étude du site du Mont-Lassois a aussi engagé les enquêtes sur son proche environnement. Dès 1995 (magnétique), puis en 1996 (électrique) et en 1998-1999 (géoradar), l'aire du tumulus princier a été reconnue. La prospection magnétique a bien identifié la structure d'un diamètre de 40 m, tout en mettant en évidence une importante anomalie en son centre (meuble métallique ?). La prospection électrique y suggère aussi la présence d'une chambre rectangulaire. Les investigations magnétiques et électriques ont été conduites sur d'autres secteurs, entre autres sur la nécropole des Tillies, sur la zone à l'ouest de la voie ferrée (habitats protohistoriques, sépultures en coffre, enclos quadrangulaires...), ou encore sur des tumulus recensés dans les communes limitrophes comme celui de la Motte à Cerilly³⁹.

Au final, la prospection géophysique aura été d'un apport essentiel, révélant la complexité et la richesse de l'aire du Mont-Lassois (résidences, habitats et nécropoles), orientant un programme de recherche et soutenant une politique de protection des sites (achat de l'aire du tumulus princier).

Bibracte au Mont-Beuvray à Saint-Léger-sous-Beuvray (Saône-et-Loire), où les recherches se poursuivent depuis presque trois décennies, est le siège de l'un des principaux centres européens d'étude sur la protohistoire mais aussi sur les premiers temps de la romanisation. Le site s'avère dans un état de conservation exceptionnel, lié au faible impact des activités humaines après son abandon. L'étude de l'évolution de l'espace de l'oppidum a fait appel aux investigations géophysiques dont les résultats sont d'abord demeurés limités, faute de la nature du substrat géologique, complexe et hétérogène, faute "*d'une forte sédimentation archéologique et de la ténuité des structures enfouies*". De nouvelles approches réalisées en 2011 et 2012 sur une surface cumulée de 5 ha ont apporté des informations plus concrètes, sans doute du fait qu'elles ont été aussi conduites dans le cadre d'un dialogue renouvelé entre archéologues et géophysiciens. Elles ont permis d'envisager un programme de prospection à venir sur le secteur enserré par le rempart intérieur (soit près de 140 ha)⁴⁰. On soulignera que le programme tel que défini pour les années 2013-2016 insistait aussi sur la nécessaire confrontation et complémentarité des approches prospectives (Lidar, vues

38 Krausz 2014 dont fig. 3 "Magnétogramme du plateau Saint-Marcel à Vix", Chaume et Mordant 2011, vol. I, p. 129-132 et vol. II, p. 370-371 et fig. 4 - plan au magnétogramme. A noter qu'une prospection similaire menée en 2008 sur le Mont-Roussillon n'a rien donné, le sous-sol étant trop pollué par les reliefs et rejets de pique-nique ! (Chaume et Mordant 2011, p. 129).

39 Baume et Mordant 2011, voir vol. I, « Prospections géophysiques du complexe aristocratique de Vix/le Mont Lassois », p. 115. 139.

40 Guichard 2013, voir p. 40-41, action 1.2 : « Reconnaissance de l'organisation spatiale de l'oppidum ». Pour la géophysique, le référent est P. Milo, avec P. Brengel.

aériennes, etc.), et mettait en avant le rôle de la coordination. Associant prospection magnétique et géoradar, il devait aborder, entre autres, outre les remparts, la question de l'organisation du bâti vis à vis de la voirie en arrière de la Porte du Rebut. Les résultats devaient être calibrés par la réalisation de sondages.

Le rapport de synthèse remis pour l'année 2013 comporte plusieurs chapitres. L'intervention n°785⁴¹, appelée "*Prospection des fortifications de l'oppidum de Bibracte par la technique de la tomographie de résistivité électrique*" ou ERT présente les résultats de l'étude menée sur la structure interne des remparts, au nord-ouest de la Porte du Rebut. Les mesures précisent la géométrie des remparts et les techniques de construction. Elles montrent le parement en *murus gallicus* en place, le comblement du fossé par des accumulations de pierres ou encore le parement interne du rempart. L'intervention n°756 a concerné des prospections géophysiques conduites fin 2012 (magnétique et dans un cas associées au géoradar) au Parc des Chevaux, à la Côte Chaudron, à la Terrasse et au Porrey⁴². Les résultats y révèlent l'existence de structures linéaires liées à des constructions à la Côte Chaudron, des anomalies magnétiques plus fortes pouvant correspondre à des installations artisanales. Les données sont aussi probantes au Parc des Chevaux. Avec le géoradar, qui semble bien adapté à un milieu géologiquement et archéologiquement complexe, elles complètent souvent les observations effectuées en fouille, ainsi le plan de l'ensemble PC8⁴³.

Conclusions sur l'apport de la géophysique à la recherche programmée.

La géophysique constitue une aide à la recherche et à la définition de problématiques tout autant qu'à la programmation des études de terrain qui bénéficieront de meilleurs choix. Elle nous semble essentielle pour des sites majeurs qui requièrent la mise en œuvre de véritables programmes associant parfois des équipes de nationalités différentes. En un sens la géophysique peut aussi être un facteur de coordination. Toutefois, à l'exemple du Mont-Lassois comme de Bibracte, elle ne peut constituer qu'une approche parmi d'autres et la qualité des résultats sera souvent fonction de la capacité des équipes à confronter les données issues de plusieurs modes d'investigation/recensement différents (LiDAR, vues aériennes par exemple).

4. Le coût des interventions en géophysique

Le coût des interventions varie en fonction de la surface prospectée, comme du nombre de méthodes mises en œuvre, mais aussi du statut de l'intervenant (bénévole, universitaire, entreprise privée, spécialiste inséré au sein de l'opérateur d'archéologie,...).

41 Bibracte 2013, p. 38-42.

42 Bibracte 2013, p.43-56.

43 Bibracte 2013, p. 55, fig.10 et 11. On mentionnera aussi la prospection au magnétomètre et au géoradar menée à la Pâture du Couvent et au Champlain sur près de 1 ha. (p. 57-64). Elle démontre tout l'intérêt du géoradar dans ce milieu difficile, lequel a pu compléter le plan des fouilles en cours de publication.

Exemple : Basse-Normandie. Coût de la prospection géophysique, hors toute autre intervention.

Commune - Sites	Superficie	Profondeur d'investigation souhaitée	Nature des vestiges	Méthode	Intervenant	Coût
Bayeux – Rue Franche	2000 m ²	1,5 m	Maçonneries et fosses/fossés/TP	Electrique manuel + Prospection électrostatique	Université (étudiants en stage)	500,00 € maximum
Bayeux - Place de Gaulle	1 ha	4 m	Maçonneries et fosses/fossés/TP	Radar multiple	+ Géocarta	8 000,00 €
Bayeux – Rue Laitière	3000 m ²	2 m	Maçonneries	Radar	Université (étudiants en stage)	500,00 € maximum
Vieux – Champ des Crêtes	3,5 ha	2 m	Maçonneries	Electrique tracté (ARP)	Géocarta	9 800,00 €
Vieux – Vallée de la Guigne	2,7 ha	6 m	Sédimentaire et aménagements anthropiques	Electromagnétique manuel	Université et ULR Valor	3 000,00 €
Valognes	10 ha	2 m	Maçonneries	Electrique tracté	Géocarta	15 500,00 €
Fontaine-les-Bassets	30 ha	1,70 m	Maçonneries	Electrique tracté	Géocarta	49 000,00 €

Ces récents exemples de la Basse-Normandie (Bayeux, Vieux, Fontaine-les-Bassets, Valognes) réalisés dans un cadre d'archéologie programmée sur des sites antiques, depuis la fin 2009, sauf Vieux (Champ des Crêtes), démontrent que le coût peut être en moyenne de 1500 € à 2500 €/ha en rural, à 8000 €/ha en milieu urbain (Bayeux).

Dans la majorité des cas, les diagnostics prescrits étant pris en charge par le FNAP (après liquidation de la redevance d'archéologie préventive), la mise en œuvre de prospections géophysiques ne constituera pas un surcoût pour l'aménageur. Il en va tout autrement pour les opérateurs qui devront (sauf cas exceptionnel comme à Honfleur) supporter et le coût de la géophysique et celui de l'intervention mécanique et manuelle, lesquels ne pourront être entièrement couverts par la RAP.

Pour les fouilles préventives comme programmées, ce coût viendra s'additionner à celui des autres méthodes d'investigation et d'analyses du site. Il importe donc de bien s'assurer au préalable de l'apport attendu de la démarche et ainsi de sa pertinence au regard de l'économie générale du projet d'intervention.

Par ailleurs, toute prescription de diagnostic, comme de fouille, comportant une étude géophysique doit prendre en compte le délai de réalisation. Il doit toujours prévoir deux phases séparées par l'étape d'interprétation des résultats géophysiques à prendre en compte pour organiser les interventions par la suite par sur le terrain. On ne saurait donc que trop

conseiller l'inscription du diagnostic dans un calendrier le plus large possible et, le cas échéant, dans le cadre d'une demande volontaire de diagnostic si le projet est suffisamment avancé.

5. Conclusions

Une méthode inappropriée au diagnostic «à l'aveugle», mais utile en soutien et en complément d'étude.

L'investigation géophysique appartient au même groupe que les techniques de détection non intrusives, telles que la prospection aérienne ou le laser explorateur aérotransporté (LiDAR). Ce sont des sources d'information archéologique importantes, souvent pour les grandes superficies et l'analyse des paysages. Le recours à la géophysique sur de petites aires est parfois très pertinent lorsqu'il répond à un questionnement précis.

Chacune des méthodes trouve ses limites. La géophysique les rencontre avec la nature géologique et géomorphologique du sous-sol, dont le «bruit» peut venir cacher de manière considérable celui des anomalies d'origine anthropique.

Ainsi, là où la géophysique ne révèle aucun signal d'origine anthropique, cela ne signifie pas pour autant absence de site ou de vestiges archéologiques.

Chaque méthode d'investigation en géophysique possède ses atouts et l'association de plusieurs d'entre elles peut venir corriger l'information comme enrichir la recension des vestiges enfouis, dont la nature et l'inscription au sein de l'encaissant offriront une réponse adaptée à une méthode plus qu'à une autre.

Dans tous les cas de figures, la mise en œuvre de la géophysique nécessite un dialogue pluridisciplinaire faisant intervenir l'archéologue, le géophysicien et un géo-archéologue (géologue, géomorphologue)⁴⁴. Elle suppose ainsi la mise en œuvre d'un véritable protocole scientifique d'étude.

Mais, la géophysique ne permet pas, ou de manière trop imprécise, de préciser la datation des vestiges, leur état de conservation et leur association/évolution sur une échelle chronologique fine. Elle n'apporte ainsi que peu d'éléments sur la taphonomie des sites, leur genèse, les relations stratigraphiques entre structures et demeure générale sur la chronologie interne, tous éléments indispensables à la motivation d'un acte de prescription.

Au même titre que les autres méthodes de prospection non intrusives, la géophysique ne peut remplacer l'approche mécanique qui demeure la seule susceptible d'apporter tout élément d'information utile sur les caractéristiques internes d'un site.

Au stade du diagnostic, on ne saurait donc considérer l'investigation géophysique comme une démarche pertinente et suffisante pour localiser et identifier finement des sites archéologiques et reconnaître l'occupation humaine sur une aire donnée.

En général, on constatera que la géophysique est très pertinente lorsqu'elle est mise en œuvre sur un site ou indices de site déjà recensés. Au stade de la fouille ou de la reconnaissance d'un site déjà identifié, elle dispose de réels atouts. Elle permet une approche non intrusive des vestiges, favorise l'accès à de vastes surfaces sans immobilisation de celles-ci, surtout la reconnaissance du plan des aménagements et l'analyse du contexte environnemental.

La prospection géophysique a un coût qui peut être équivalent à celui de la prospection mécanique. **Elle ne peut être considérée comme un moyen bon marché pour suppléer aux autres méthodes d'investigations manuelles ou mécaniques.**

⁴⁴ Principe clairement rappelé par nombre de contributions. Voir par exemple Benech et Hesse 2007.

6. Préconisations, ou comment organiser et encadrer le recours aux techniques d'investigation géophysiques en archéologie.

1 - Développer l'investigation géophysique pour la protection durable des sites connus.

L'investigation géophysique doit être privilégiée à toute intervention mécanisée sur des vestiges pour lesquels un projet de conservation doit être mis en place.

Après analyse des résultats de la géophysique, des sondages pourront, le cas échéant, être réalisés en fonction d'objectifs précis, en vue de compléter la "carte d'identité" du site.

Le recours à la géophysique sera utile :

- Pour permettre de mieux cerner le risque archéologique sur les sites connus.
- Dans le cadre du porter à la connaissance des PLU, de la création de zonages archéologiques (PPA), ou la constitution de réserves archéologiques.

2 - Utiliser avec discernement l'investigation géophysique dans le cadre des études préalables

L'investigation géophysique peut constituer un des outils d'analyse venant enrichir l'« étude préalable », en amont d'un projet d'aménagement ou d'un programme d'étude de terrain.

Toutefois, du fait de la "réponse" trop aléatoire de la géophysique, on déconseillera aux aménageurs de faire réaliser des investigations géophysiques "à l'aveugle" sur de grandes surfaces, pour leur dossier d'aménagement. Dans les autres cas de figure, on conseillera toujours au maître d'ouvrage de faire appel au préalable à un conseil formé au minimum d'un archéologue, d'un géophysicien et d'un géologue/géomorphologue pour juger de l'opportunité de la mise en œuvre de la prospection géophysique et définir le protocole scientifique d'étude.

3 - Mieux adapter le potentiel de la recherche en géophysique à l'archéologie préventive.

Au stade du diagnostic.

Sauf exception (nature des terrains, accessibilité, etc.), une prescription faisant appel à la géophysique, sur une aire au sein de laquelle aucun vestige n'est encore recensé, est inadaptée et déconseillée.

On conseillera de susciter la mise en œuvre de prospections géophysiques :

- lorsque le site est connu pour avoir abrité des ateliers de métallurgie ou de terre cuite,
- lorsque la connaissance de son environnement constitue un élément d'information important.

Au stade de la fouille

C'est au stade de la fouille que la géophysique peut être d'un apport essentiel :

- en soutenant mieux la stratégie d'étude du site, au moment du décapage ou après celui-ci,
- pour disposer d'un plan global du site,
- pour enrichir les données sur le contexte environnemental.

4 - Susciter la mise en place de référents.

On insistera sur l'intérêt pour les opérateurs d'archéologie préventive, mais aussi plus généralement pour les organismes de recherche, de disposer, en interne, de géophysiciens référents dont la formation double (archéologie et géophysique) permettra de mieux organiser la mise en œuvre de prospections géophysiques. Du reste, certaines interventions sur des surfaces limitées (dans le cadre d'un diagnostic ou d'une fouille) pourraient être menées par eux ou sous leur conseil, l'analyse des résultats pouvant aussi être effectuées par eux.

5 - Renforcer la formation et la sensibilisation des acteurs de l'archéologie aux méthodes, apports et limites de la géophysique.

Un séminaire, une table-ronde ou un colloque réunissant des archéologues, dont des agents des Services régionaux de l'archéologie, des opérateurs d'archéologie préventive, des géophysiciens et des géologues/géomorphologues permettrait chaque année ou tous les deux ans de rapprocher les acteurs de la recherche, de faire le point des acquis et des perspectives d'investigations comme de développement. L'INP pourrait être un des acteurs, dans le cadre de ses manifestations scientifiques, comme dans le cadre de la formation dispensée à ses élèves.

6.- Réaliser un guide de la prospection en géophysique (méthodes, apports et limites, conseils de mise en œuvre, acteurs)

English Heritage dès 1995, puis en 2008 avec une nouvelle édition appelée "*Geophysical survey in archaeological field evaluation*", a mis à disposition un document constituant un guide d'utilisation et de mise en œuvre. Tout en adaptant ce dernier à la réglementation française et aux exigences de notre discipline, la rédaction de ce guide pourrait constituer une aide à la décision tant des services régionaux de l'archéologie que des différentes instances liées à l'exercice du contrôle scientifique et de l'ensemble des archéologues.

7.- Susciter des publications dont les résultats reposent sur une riche complémentarité des données fournies par la géophysique et les autres moyens d'investigations.

Bibliographie

- Aubry L., 2003, Acquisition, Traitement et Restitution des données d'une reconnaissance archéologique : la ville gallo-romaine du Vieil-Evreux, Thèse de doctorat de l'université Paris 6, Sciences de la Terre, (www.sisyphes.upmc.fr/theses/2003/thse-aubry.pdf)
- Baume B et Mordant Cl, 2011, *Le complexe aristocratique de Vix. Nouvelles recherches sur l'habitat, le système de fortification et l'environnement du mont Lassois*, 2 volumes, éditions univ. de Dijon, coll Art, Archéologie et Patrimoines.
- Benech Ch (sous la coord), 2005, *La prospection géophysique*, Les dossiers d'Archéologie, n°308.
- Benech ch., 2000, *Interprétation conjointe de cartographies magnétiques et électromagnétiques des propriétés magnétiques des sols anthropisés*, Thèse de doctorat de l'université Paris 6, Géophysique appliquée, Paris, 158 p (dont annexes).
- Benech Ch and Hesse A., 2007, "Some consideration on the integration of geophysical data into archaeological research", *Geophysik und Ausgrabung. Einsatz und Auswertung zerstörungsfreier Prospektion in der Archäologie*, Internationale Archäologie Naturwissenschaft und Technologie (Ed.), p. 175-186"
- Beyrie A, Florsch N, Fluck P, Leroy M et Tereygeol F, 2005, "La prospection géophysique en paléoméallurgie", in Benech Ch (sous la coord), 2005, *La prospection géophysique*, Les dossiers d'Archéologie, n°308, p. 74-79.
- Bibracte, 2013, *Programme quadriennal de recherche 2013-2016 sur le Mont-Beuvray, Rapport intermédiaire 2013*. Synthèse, Décembre 2013, 402 p.
- Mahé 2010 - Bilan scientifique de la région Poitou-Charentes 2009/ Ministère de la culture et de la communication. Direction régionale des affaires culturelles Poitou-Charentes. Service régional de l'archéologie.- Poitiers : S.R.A. Poitou-Charentes, 2010, 206 p.
- Dabas M, Guyard L et Lepert Th, 2005, "Gisacum revisité. Croisement géophysique et archéologie", in Benech Ch (sous la coord), 2005, *La prospection géophysique*, Les dossiers d'Archéologie, n°308, p. 52-61
- Borderie Q, Jrad A et Pétronille M. 2006, *Prospection géophysique sur le site du Vieil-Evreux Etude de la parcelle A-124 au niveau du grand sanctuaire*, Mémoire de Master Recherche Paris VI, sous la direction d'A. Tabbagh et J. Thiesson, 13-17 mars 2006, 44 p.
- English Heritage, 2008, Geophysical survey in archaeological field evaluation (guide en anglais. Nouvelle édition) (<http://www.english-heritage.org.uk/publications/geophysical-survey-in-archaeological-field-evaluation/geophysics-guidelines.pdf>)
- Guichard V, avec la collaboration de Pierrevelcin G. et Fichtl S, 2013, Bibracte, Les recherches archéologiques sur le Mont-Beuvray. Perspectives et programme opérationnel pour les années 2013-2016, EPCC, Glux-en-Glenne, 64 p.
- Hulin G, Prilaux G. et Talon M, 2014, "Intégration de la géophysique à un projet archéologique d'envergure. L'exemple du projet canal Seine-Nord Europe", *Revue archéologique de Picardie*, n°1-2, p. 245-260.
- Hulin G. et Simon F.-X., 2012, « Geophysics and preventive archaeology in France : new inter-disciplinary issues », *First Break*, vol.10, august 2012, p. 67-71 (www.firstbreak.org)
- Jeanne L, Paez-Rezende L et Duclos C., 2012, "Valognes agglomération antique d'Alauna. Manche" in *Bilan scientifique de la région Basse-Normandie 2012*, Ministère de la culture et de la communication. Direction régionale des affaires culturelles Basse-Normandie. Service régional de l'archéologie.- Caen: S.R.A. Basse-Normandie, 2012, p. 117-119.

- Krausz S, 2014, "L'âge de la ville : les dynamiques urbaines dans les sociétés celtiques de l'Europe tempérée (VIe-Ier siècles av. J.-C.)", in Lorans E. et Rodier X.(sous la dir), *Archéologie de l'espace urbain*, collection « Perspectives Villes et Territoires », Presses universitaires François-Rabelais, CTHS, Tours, p.404-418.
- Martinaud M., 2004, « Méthodes de détection non destructrices pour le diagnostic en milieu urbain », in, *Diagnostiques archéologiques en milieu urbain, objectifs, méthodes et résultats*. Actes de la table-ronde organisée par la Sous-direction de l'archéologie et le centre national d'archéologie urbaine. Tours, les 6 et 7 octobre 2003, p. 97-106 (discussion p. 107-109).
- Quevillon S., 2009-2012, Rapports de prospection thématiques sur Fontaine-les-Bassets, DRAC Basse-Normandie, service régional de l'archéologie, 4 années
- Quevillon S., 2012a, *La question de l'évaluation du potentiel archéologique en milieu urbain : l'exemple de Lyon*. Rapport scientifique de stage de conservateur du patrimoine, Institut National du Patrimoine
- Quevillon S, 2012b, "L'agglomération antique de Fontaine-les-Bassets (Orne, France) : apports des recherches récentes sur un site oublié", *ArchéoSciences* 2012/1 (n° 36), p. 23-37
- Schütz G, Sauvin Ch-Ed, Borderie Q, Piolot A. et Thiesson J., 2013, « Bayeux de l'Antiquité au haut Moyen-Age : approche interdisciplinaire des opérations récentes en centre-ville. », in Lorans E. et Rodier X.(sous la dir), *Archéologie de l'espace urbain*, collection « Perspectives Villes et Territoires », Presses universitaires François-Rabelais, CTHS, Tours, p.92-107.
- Simon F.-X, 2012, *L'apport de l'outil géophysique pour la reconnaissance et la caractérisation des sites en archéologie préventive, méthodes et perspectives : exemples en Alsace*. Thèse de doctorat. Mémoire de sciences de l'Université Paris, Sorbonne (tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/74/91/12/pdf/THESEFXSIMON.pdf)
- Vermeulen F, Verdonck L et Corsi Cr, 2010, "L'apport des méthodes non-destructives à l'étude de sites archéologiques complexes. Etude de cas MARIANA". n°7 (http://www.art-conservation.fr/colloques/2008/07_apport_des_methodes_non_destructrices.pdf)
- Verdonck L et Vermeulen F, 2009, « GPR survey at the Roman town of Mariana (Corsica) », *ArcheoSciences*, 33 (suppl.), p.241-243.
- Terrenato N, Gallone A, Becker J.A et Stephen Kay, 2010, "Urbanistica ortogonale a Gabii. Risultati delle nuove prospezioni geofisiche e prospettive per il futuro", in Ghini G (coord), Lazio e Sabina, 6, atti del convegno, Roma 4-6 marzo 2009, p.237-248.

Annexe 1 : Les opérateurs de prospections géophysiques : un domaine d'activité en développement (Texte en grande partie repris à partir d'une note présentée par V. Mahé)

En France, les prospections géophysiques sur des sites archéologiques sont effectuées, soit par des structures privées, soit par des acteurs de la recherche publique.

Les structures privées françaises spécialisées dans le domaine sont peu nombreuses, contrairement par exemple à la Grande-Bretagne (plus d'une dizaine).

Les structures privées sont :

- un bureau d'étude : **Géocarta**, localisé à Paris (<http://www.geocarta.net/html/index.html>). Fondé en 2001, il emploie une douzaine de personnes.
- une filiale de valorisation d'une université : **ULR Valor**, localisée à La Rochelle (<http://ulrvalor.univ-larochelle.fr/-Prospection-geophysique>). Créée en 2006, elle emploie 3 permanents début 2014 (équipe opérationnelle : 1 docteur).
- L'entreprise de géologie et de géophysique BRPG, localisée à Sète. Créée en 1985, elle a diversifié ses compétences, originellement en hydrogéologie, et aujourd'hui en géophysique appliquée à la géotechnique, la géologie structurale et l'archéologie

D'autres structures privées (bureaux d'étude en géophysique comme le BRGM) interviennent très occasionnellement en archéologie. Le manque de formation de géophysiciens aux problématiques spécifiques à l'archéologie (exemple des premières prospections sur Bibracte) ainsi que l'absence d'une réelle prise en compte des possibilités de la géophysique (et des limites de celles-ci) par des archéologues ont conduit le plus souvent à des échecs très néfastes pour le développement de l'utilisation des outils géophysiques.

Les autres acteurs de la recherche géophysique en archéologie ont compté un ingénieur (G Hulin) recruté il y a quelques années par l'INRAP et des chercheurs travaillant au sein de laboratoires universitaires. Chaque laboratoire s'y investit en moyenne et en équivalent temps plein (ETP) :

- UMR 7266 LIENSs Univ. La Rochelle-CNRS, 2 chercheurs (V. Mahé et F. Levêque), soit 2 ETP.
- UMR 7619 Sisyphe UPMC-CNRS-ENSMP-EPHE, 6 chercheurs (Alain Tabbagh, Nicolas Florsch, Christian Camerlynck, Fayçal Réjiba, Roger Guérin, Julien Thiésson), soit 1,5 ETP.

Ces deux laboratoires forment des docteurs dans le domaine de la géophysique appliquée à l'archéologie.

- UMR 7330 CEREGE, Univ. Aix-Marseille-CNRS-IRD, 2 chercheurs Y. Quesnel et P.-E. Mathé), soit ½ ETP.
- UMR 6249 Chrono-environnement, Univ. Besançon-CNRS, 1 chercheur (G. Bossuet), ¼ ETP.
- UMR 5563 GET, Univ. Paul Sabatier-CNRS-IRD, 1 chercheur (M. Llubes), ¼ ETP.
- UMR 7516 IPGS, Univ. Strasbourg, 1 chercheur (M Munsch), soit ¼ ETP.

A cette liste, probablement non exhaustive, il est possible d'ajouter un chargé de recherches Christophe Benech (UMR 5133 Archéorient Univ. Lyon 2-CNRS) qui n'exerce toutefois pas son activité en France.

Comme pour certaines structures privées, il faut également noter que la problématique archéologique n'est pas toujours au cœur des études menées par certains géophysiciens universitaires. Cette remarque semble d'autant plus vraie quand les géophysiciens interviennent peu dans le domaine. Il convient donc de distinguer les géophysiciens intervenant ponctuellement en archéologie, des véritables archéomètres prenant en considération le site archéologique et les questionnements associés.

