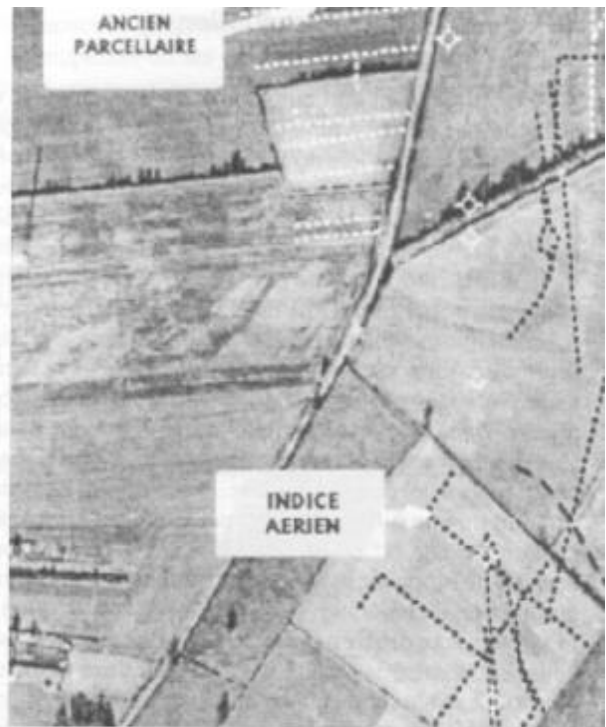


SIG et détection archéologique

B. Chazaly, ing. ENSAIS (Terra novA)
M. Dabas, doct. ing. EOPGS, CNRS
(URA 1367, Département de Géophysique appliquée, Université Paris VI)



Depuis 1993, la société Terra novA s'est donnée pour but de développer et promouvoir l'utilisation des méthodes non-destructives (photographies aériennes, géologie, géomorphologie, pédologie, géophysique, topographie) pour la direction et l'étude des sites archéologiques enfouis ou en élévation. Si Terra novA est la première structure de ce type en France, un nombre important de structures existent déjà dans d'autres pays européens, en particulier en Angleterre.

Les disciplines scientifiques appliquées à l'Archéologie regroupées sous le terme général d'« Archéométrie » sont bien représentées tant dans les Universités que dans les organismes de recherche en France (groupement du GMPCA par exemple). Le niveau de notre recherche en Archéométrie est reconnu mondialement. Mais il semble que leur application au « terrain archéologique » soit plus difficile dans notre pays, en particulier pour les méthodes de télédétection ou de géophysique.

Terra novA créée par l'un des auteurs (MD, Chercheur au CNRS mais aussi directeur scientifique consultant de Terra novA) se veut une structure de transfert des connaissances et du savoir-faire de la recherche. Structure atypique où la recherche garde une place prépondérante, elle s'est développée à partir du constat suivant :

1. On ne peut résoudre un problème de détection et/ou de cartographie archéologique en n'utilisant qu'une seule méthode, en particulier géophysique ou topographique. Une véritable synergie doit exister entre un ensemble de spécialistes (Archéologues, pédologues, géologues, géophysiciens, photo-interpréteurs, topographes). Cette intégration va se traduire au niveau humain mais aussi au niveau matériel (nous reviendrons sur le rôle des SIG par la suite),
2. L'instrumentation géophysique existante, mal ou peu adaptée aux détections archéologiques, limite le champ des applications possibles. Elle aboutit à un protocole expérimental donné qu'il est difficile de transgresser et donc limite le champ des applications possibles. L'auteur (MD) a développé par exemple des centrales d'acquisition autour de capteurs dits « intelligents ». Ces centrales s'adaptent à différents instruments et permettent par exemple d'enregistrer des données tout en garantissant un niveau d'erreur fixé à l'avance quelles que soient les conditions de terrain,
3. Acheter ou louer un appareil (de géophysique ou de topographie), aussi simple soit-il, ne permet pas de « faire » de la détection géophysique ou de la topographie. La phase de pré-étude : « La prospection est-elle possible ? », les traitements et l'interprétation des données « Quelle est l'origine de ce que nous mesurons ? », nécessitent là aussi un travail d'un ensemble de spécialistes.

Atteindre l'objectif d'une détection archéologique multi-critères nécessite des collaborations avec des groupes de recherche, des Universités ou encore des Écoles. Une collaboration a été créée par exemple avec l'ENSAIS de Strasbourg (B. Chazaly-encadrement DEA puis du mémoire d'ingénieur) pour les problèmes liés à l'utilisation des SIG en géophysique. Le Centre de Recherches Géophysiques de Garchy (M. Dabas) intervient comme conseil sur les problèmes géophysiques. Enfin, l'INRA (Services d'Étude des Sols et de la Carte Pédologique de France) intervient comme pilote scientifique dans des études de cartographie pédologique, pour citer les collaborations principales.

Faire travailler un ensemble de spécialistes utilisant des méthodes très différentes passe nécessairement par l'utilisation d'un commun dénominateur, capable de rassembler les informations pour les traiter dans leur ensemble : le Système d'Information Géographique. On ne saurait trop insister sur le rôle du spécialiste du SIG (B. Chazaly) dans le projet A77 qui sera détaillé par la suite, ou bien encore dans le cadre de la réhabilitation des thermes du Vieil-Evreux.

Le projet A77 concerne la détection, avant les travaux sur la future autoroute A77 (Dordives- Cosne-sur-Loire) de toutes les structures archéologiques, ceci afin de prendre le plus tôt possible le « risque » archéologique en compte. Cette opération a été commandée par la SAPRR (Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône) et contrôlée par les Services de Scetauroute ainsi que ceux de la Direction des Affaires Culturelles du Ministère de la Culture, Sous-Direction de l'Archéologie de Bourgogne, comme la loi sur la recherche archéologique l'impose. Outil capable de fournir aux différentes équipes des cartes au jour le jour, outil capable d'intégrer les données directement sur les portables de terrain issues de capteurs géophysiques, il s'est révélé un outil indispensable. Enfin, au niveau du rapport, il a permis l'intégration de données très disparates qu'il aurait été très difficile si ce n'est impossible de rassembler pour élaborer les documents finaux (plus de 72 planches couleurs A3).

1. Introduction

Le contrôle par l'État du patrimoine archéologique est effectué par un ensemble de textes dont les trois plus importants sont les lois du 27 Septembre 1941 et 1980, l'article R111-3-2 du code de l'urbanisme et la convention européenne de Malte. Ce contexte s'il définit bien un cadre réglementaire n'est plus adapté aux nécessités modernes de protection du patrimoine, en particulier concernant le délicat problème de la prise en charge du coût associé aux fouilles archéologiques. En France, suivant le principe que « le casseur est le payeur », c'est à l'aménageur à supporter le coût des investigations archéologiques. Dans le cas de petits chantiers, le coût lié aux fouilles (pouvant dépasser plusieurs millions) devient prohibitif mais la loi oblige à fouiller... (cf. l'affaire de la destruction du site à Rodez fin 96 par exemple [Nouvelles de l'Archéologie, N° 66]). Des assises sont en cours pour essayer de proposer des solutions en particulier par rapport aux financements (taxe parafiscale, contribution de l'État, etc.). La prise en considération de ce que certains appellent le « risque archéologique » doit donc se faire le plus tôt possible sur un chantier. Terra Nova s'inscrit donc par l'utilisation de moyens non-destructifs dans cette optique. Mais il reste que chaque opération archéologique doit se faire dans un cadre strict après autorisation des membres de la commission des CIRA (Comités Inter-régionaux de la Recherche Archéologique) et contrôlé de la part d'un agent des Services Régionaux de l'Archéologie (Ministère de la Culture, DRAC, SRA).

On a l'habitude de distinguer deux archéologies en France. L'archéologie préventive (dite aussi de sauvetage) intervient comme on l'a dit précédemment dans le cadre des études d'impact dans les projets d'aménagement. Elle est devenue prépondérante en France. Le projet A77 présenté ci-après s'inscrit dans ce cadre.

L'archéologie programmée, pour laquelle travaillent généralement les universités et le CNRS, s'inscrit plus dans le long terme et opère sur des sites connus avec des problématiques spécifiques. Les financements ici sont ceux de l'État et des collectivités territoriales. Le projet Vieil-Evreux présenté plus loin s'inscrit dans ce cadre.

L'Archéologie est le domaine d'application de disciplines différentes comme la Géophysique, la Pédologie, la Télédétection, la Photogrammétrie, l'Architecture, etc. Dans ce contexte scientifique, ces disciplines ont toutes plus ou moins cohabité sans qu'il y ait eu de réelles interactions. Cette interaction est rendue possible par l'intégration et la confrontation des données issues des travaux de chaque spécialiste, via l'utilisation de SIG.

2. Prospection archéologique non destructive sur le tracé de l'A77

Pendant l'automne 95, une équipe de 12 ingénieurs et scientifiques a mené une campagne de prospection intensive sur 15 Km du tracé de la future autoroute A77 (Dordives - Cosne-sur-Loire). La gestion quotidienne du chantier a directement été assistée par le SIG : intégration des mesures au retour du terrain (un retard d'au plus 24 h sur les équipes), décision de la tactique à suivre au vu des informations acquises et traitées.

La construction du modèle s'est appuyée sur l'intégration et le traitement des données suivantes : un ensemble de données cartographiques, une mission de prise de vues aériennes couvrant le tracé, la totalité des données géophysiques issues des différentes prospections, les éléments nécessaires à l'étude de la géomorphologie du terrain, l'ensemble des données issues de la prospection pédestre (matériel archéologique).

Le croisement des différentes couches d'informations (vecteur et raster) a abouti à l'élaboration d'un véritable diagnostic archéologique sur lequel les archéologues ont pu appuyer leur réflexion.

2.1. En préambule à la phase de terrain

Une partie des données a pu être acquise et intégrée au SIG avant le début du chantier :

2.1.1. Les données cartographiques

Constituant le fond cartographique nécessaire au recalage des données dans leur contexte géographique, ces données sont souvent difficiles à traiter. Le traitement numérique de l'information étant encore assez rare en archéologie, le plan général d'un site est souvent fourni sur papier. L'intégration au SIG passe donc obligatoirement par la digitalisation des plans.

Sur le chantier de l'A77, l'aménageur a fait faire un levé photogrammétrique complet le long du tracé. Les données ont donc été extraites de son SIG (Macao), à un format qu'il a fallu traduire via l'écriture d'un programme informatique spécifique. Les données intégrées sont associées à une bibliothèque de symbole, ce qui aboutit au fond cartographique.

Nous avons disposé d'un semis de points altimétriques que nous avons interpolé. Le MNT obtenu est lui aussi intégré.

2.1.2. La toponymie

Issue des plans cadastraux ou des données de l'aménageur, elle est intégrée au SIG car elle peut indiquer la présence d'un site archéologique (le lieu-dit *La Pièce de la Motte* peut faire référence à une motte médiévale).

2.1.3. Les plans anciens

L'ancien cadastre et les plans anciens conservés dans les archives des mairies ont été digitalisés et intégrés au SIG. Cette couche d'information est nécessaire à l'interprétation de certaines traces observées sur les photographies aériennes.

2.1.4. Les prises de vues aériennes

Le but de l'intégration des clichés aériens est l'analyse d'indices visibles. La présence de vestiges enfouis peut en effet entraîner l'apparition de traces visibles à la surface du sol. Nous détaillons ce phénomène dans le 3^e paragraphe.

Nous avons numérisé les prises de vues effectuées pour le levé photogrammétrique. À l'aide des outils de redressement d'image que nous avons développé (depuis le simple redressement polynomial jusqu'à l'orthophotographie numérique utilisant le MNT), nous avons réalisé la couverture orthophotographique des 15 Km de chantier. Les anomalies observées sur les clichés ont pu être digitalisées à l'écran et des traitements d'images ont pu être appliqués localement.

Cette analyse a été affinée par l'étude des photographies de prospecteurs aériens locaux et par l'intégration au SIG des données du Service Régional de l'Archéologie.

Les traces ont pu alors être filtrées grâce à leur confrontation aux données digitalisées sur les plans anciens. Toutes les traces n'ayant pu faire l'objet d'une explication formelle (ancien parcellaire, traces dues aux activités agricoles, structures périglaciaires, ...) constituent alors une couche d'information essentielle pour la détection archéologique.



Fig. 1 Compilation d'informations pour la constitution d'indices aériens

2.2. La phase terrain

Elle s'est déroulée en deux étapes. La première a consisté à localiser des sites pour lesquels les indices d'une occupation humaine passée sont importants. Pour ce faire, trois prospections extensives ont été réalisées sur les 15 Km du tracé.

2.2.1. Prospections extensives

— Prospection pedestre.

C'est une exploration des surfaces culturelles possédant des caractères de visibilité du sol suffisants pour repérer des témoins de l'occupation humaine ancienne. Sur le terrain, ces témoins (restes de poterie, pierres taillées, matériaux de construction, ...) sont repérés par les prospecteurs. La localisation de ces artefacts sur des cartes précises puis leur digitalisation aboutit à l'intégration d'un semis de données ponctuelles. Ce semis, premier indice d'une occupation du sol, peut être superposé aux autres couches d'informations, ou être interpolé pour aboutir à la cartographie de la densité de matériaux archéologiques. Cette prospection est en principe extensive. Mais les conditions de visibilité des artefacts (le sol doit être labouré et lavé par la pluie) limitent les surfaces explorables. Sur les 15 Km de chantier, 30 % ont pu être prospectés de cette manière.

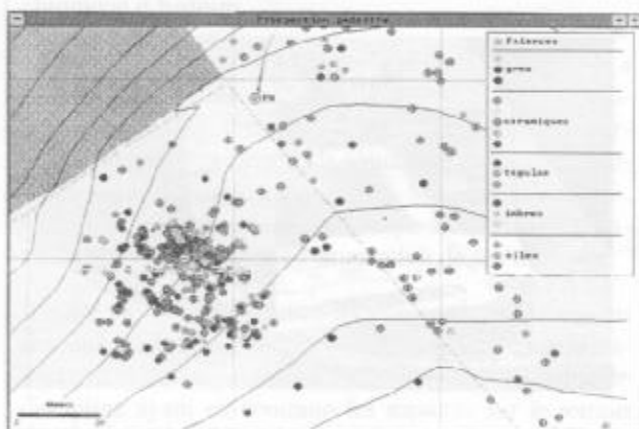


Fig. 2 Cartographie du matériel archéologique sur le tracé de l'A77

— Prospection géophysique : la susceptibilité magnétique.

L'occupation du sol par l'Homme, son anthropisation, entraîne une augmentation d'un paramètre physique mesurable appelé susceptibilité magnétique.

Les variations de ce paramètre permettent d'indiquer les zones potentielles d'occupation par l'Homme. Le susceptibilimètre utilisé est très rapide et permet un fonctionnement « tout terrain ». Un semis de points réguliers a alors pu être mesuré sur l'ensemble du tracé, zones boisées ou d'accès difficile comprises. L'interpolation du semis a conduit à la cartographie systématique de la susceptibilité magnétique sur la totalité de l'emprise. Elle fournit un deuxième indice de l'occupation anthropique du sol.

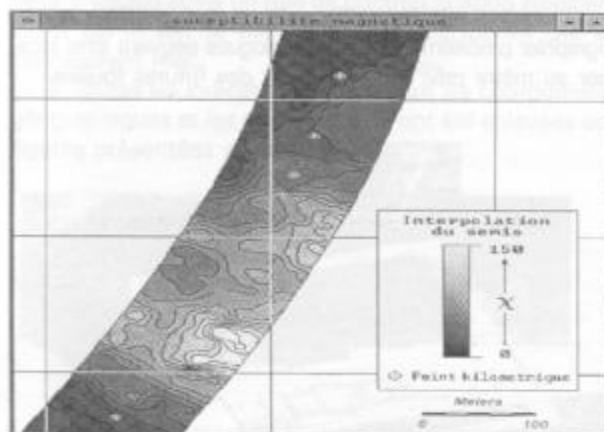


Fig. 3 La susceptibilité magnétique : mesure de l'anthropisation des sols

— Prospection pédagogique.

Le but de cette étude est l'évaluation de l'érosion de sites archéologiques possibles.

Issue des observations du pédagogue sur le terrain, une carte des unités cartographiques du sol est dessinée sur le fond cartographique, avec les outils du SIG.

Cette carte, croisée par le SIG avec le MNT aboutit à la couverture cartographique des risques d'érosion des sols. Cette couche d'information permet d'évaluer la stabilité dans le temps d'un site archéologique probable.



Fig. 4 Risques d'érosion des sols sur l'emprise de l'A77

2.2.2. Prospections locales et détaillées

La deuxième étape est constituée de prospections beaucoup plus ciblées. En fonction d'une première analyse des données intégrées au SIG, nous avons pu guider les recherches de deux équipes de prospecteurs sur des sites susceptibles de contenir des structures archéologiques enfouies, sites détectés par les prospections extensives. Pour détecter et cartographier précisément les structures éventuelles qui confirmeraient ou infirmeraient la présence d'un site, deux méthodes ont été utilisées.

— Prospection électrique.

Les variations locales de l'homogénéité du sol (présence d'un objet enfoui, remplissage d'un fossé par une terre différente du sol environnant) perturbe la résistivité électrique de ce sol. La nature de cette grandeur tous les mètres carrés permet donc une cartographie de détail de structures enfouies.

La centrale d'acquisition, développée par l'un des auteurs, fournit directement une image, véritable radiographie du sous-sol proche. Les structures en place, résistives, y apparaissent en blanc. Inversement, les structures conductrices (fossés, ...) apparaissent en noir. Sur les images, recalées dans leur contexte géographique et intégrées au SIG, apparaissent parfois les traces d'édifices spectaculaires (Cf. Figure 5), qu'il est alors possible de cartographier précisément. Les archéologues peuvent ainsi localiser au mètre près l'emplacement des futures fouilles.

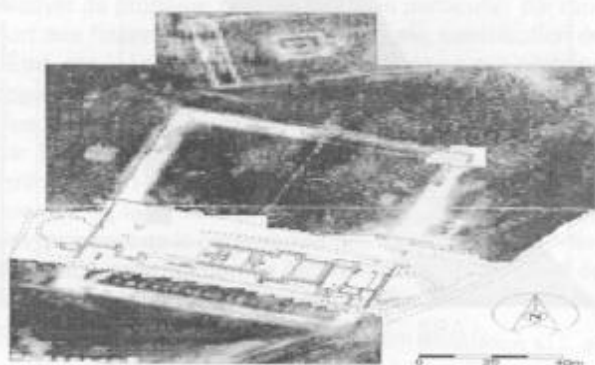


Fig. 5 Prospection électrique : détection et cartographie de structures archéologiques enfouies

— Prospection magnétique.

La présence d'objets ayant notamment subi l'action du feu (terre cuite, par exemple) perturbe localement le champ magnétique terrestre. La mesure tous les mètres carrés des variations de ce champ par un magnétomètre aboutit ici aussi à la construction d'une image sur laquelle peuvent apparaître des structures.

2.3. Synthèse des résultats

À l'issue des deux mois nécessaires à l'acquisition des données sur le terrain, une longue phase d'analyse et de synthèse des résultats a été menée, assistée par le SIG.

La confrontation des indices d'une occupation anthropique du sol (indices aériens, prospection pédestre, susceptibilité magnétique) aux indices de stabilité des sites (étude pédagogique, prospections détaillées) a abouti à l'élaboration d'un véritable diagnostic archéologique, à savoir l'estimation d'un risque de présence d'un site archéologique enfoui. Pour chaque site détecté, une carte a été dressée, couplée à une fiche indiquant notamment le degré de risque archéologique (de faible à très fort).

3. Traitement de photographies aériennes : le cas du site archéologique de Vieil-Evreux

Dans le cadre de l'étude visant à exploiter toutes les données existantes sur le site gallo-romain de Vieil-Evreux¹, il a été demandé à Terra novA de construire un modèle

géographique à partir des photographies aériennes prises sur la zone des thermes. Sur les clichés apparaissent en effet les traces de structures archéologiques enfouies. Cette étude s'est inscrite dans la prolongation de la prospection géophysique menée par Terra novA en Octobre 1996 et ayant débouché sur la cartographie extrêmement précise des vestiges enfouis dans une zone de 3 ha autour des thermes. Cette cartographie a été intégrée au modèle et a fourni les éléments d'appui indispensables au redressement des clichés.

3.1. Les indices phytologiques

Les artefacts archéologiques peuvent être décelables par avion car ils présentent des contrastes de propriétés physiques par rapport à leur environnement.

Si des différences de dureté (mise en évidence par une érosion), de couleur du sol ou de température (fonte différentielle de la neige) peuvent être observées, c'est surtout les anomalies de croissance dans les végétaux (indices phytologiques) qui attirent l'œil. Ces traces apparaissent généralement dans les champs cultivés ou plus rarement dans les surfaces en herbe.

3.2. Les problèmes des prises de vues aériennes

3.2.1. Les clichés de l'IGN

Si les clichés de l'IGN présentent l'avantage de pouvoir être traités facilement sur le plan photogrammétrique, de nombreux problèmes limitent souvent leur utilisation :

— Leur échelle n'est généralement pas compatible avec la finesse des informations recherchées.

— Nous n'avons aucune maîtrise du calendrier des vols : les dates et heures de prise de vue ne sont pas forcément favorables à une bonne détection des indices phytologiques. L'utilisation des clichés des prospecteurs aériens est forcément plus adaptée.

3.2.2. Les prises de vue des prospecteurs aériens

Elles sont très riches en information car le prospecteur a généralement travaillé dans les conditions optimales. Cependant, les photographies « amateur » ne sont jamais faites dans l'optique d'un redressement, et elles concernent des zones naturellement pauvres en repères identifiables et stables, nécessaires au calcul des paramètres de redressement d'une image (vastes champs, prés). C'est le cas du site de Vieil-Evreux.

3.3. La géophysique au secours du redressement d'image



Fig. 6 Superposition du levé de géomètre et d'un extrait des données géophysiques à une photographie aérienne redressée

1. Laurent Guyard, Conseil Général de l'Eure

Les indices phytologiques visibles sur les prises de vues obliques ont été retrouvés par la prospection géophysique. Recalée géographiquement par un géomètre, cette prospection a fourni une image qui, intégrée au SIG comme couche d'information, a fourni les coordonnées de points d'appui indispensables au redressement précis des clichés.

L'image redressée a permis d'étendre la détection des structures du site, le coût d'une prospection géophysique limitant la zone d'investigation. Elle a fourni de précieux renseignements sur la géométrie des éléments composant le site gallo-romain.

4. Conclusions

L'utilisation de l'outil SIG pour une détection archéologique précise, en matière d'archéologie préventive comme d'archéologie programmée, est une expérience unique en France. Même si la communauté archéologique

n'est pas encore prête à utiliser en routine l'ensemble des outils créés dans le cadre de Terra novA, la qualité des résultats obtenus justifie la démarche adoptée.

De plus, l'intérêt du modèle numérique créé dépasse largement le cadre archéologique car il peut être intégré dans une étude environnementale. Sa valeur est dynamique car le modèle peut être modifié, complété ou intégré dans un projet plus vaste.

Le pilote du SIG doit être capable d'accompagner et d'assister le travail des différents spécialistes en mettant à leur service l'ensemble des outils de traitement qu'il est seul à maîtriser. Il doit pour cela être à l'écoute des différents acteurs. Au-delà du rôle technique incontournable, la modélisation et la restitution qu'il fait alors de leurs données implique aussi un rôle de communication indispensable car il est le lien entre des disciplines qui se connaissent mal.

« Toutes les indications concernant les coordonnées géographiques et les noms de lieux ont été enlevées des figures présentées dans ce texte ».