



**HAL**  
open science

## Diagnostic et évaluation du potentiel archéologique dans le cadre des tracés linéaires

Michel Dabas

► **To cite this version:**

Michel Dabas. Diagnostic et évaluation du potentiel archéologique dans le cadre des tracés linéaires : apport des Systèmes d'Information Géographiques. *Archeosciences, revue d'Archéométrie*, 1999, 23, pp.5-16. 10.3406/arsci.1999.971 . hal-02925659

**HAL Id: hal-02925659**

**<https://hal.science/hal-02925659>**

Submitted on 30 Aug 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Diagnostic et évaluation du patrimoine archéologique dans le cadre des tracés linéaires. [Apport des systèmes d'information géographiques]

In: Revue d'Archéométrie, N°23, 1999. pp. 5-16.

### Résumé

Sur les sites archéologiques, la prospection avant les sondages et les fouilles, correspond à une phase importante d'acquisition de données. Les tracés linéaires et en particulier les autoroutes imposent un certain nombre de contraintes spécifiques à la fois en terme de temps et d'échelle spatiale. Dans le cadre de l'autoroute A77, une méthodologie a été mise au point pour intégrer dès le départ tous les éléments d'information : base de données DRACAR des SRA, missions aériennes spécifiques de photogrammétrie, missions verticales IGN, cadastres récents et napoléoniens, informations issues du Système d'Information Géographique MACAO des Scetauroutes (Modèle Numérique de Terrain, limites cadastrales, traits oro-hydrographiques, etc.). A ces éléments, ont été rajoutés les résultats des prospections pédestres, de cartographie pédologique et géophysique. Toutes les cartes ont été géoréférencées (système Lambert II) dans un SIG. Du croisement de ces informations, un diagnostic précis du risque archéologique et du risque d'érosion potentiel a pu être établi.

### Abstract

For archaeological sites, the survey before trial and final excavations, corresponds to a specific and important phase. For linear transects, and especially for motorways planning, there is exist certain constraints which are specific either in terms of timing or in terms of spatial scale. Within the A77 motorway project, a methodology was derived which takes into account different types of information from the very beginning : DRACAR data basis of the regional archaeological service, specific flights for photogrammetry, vertical missions from IGN, field boundaries from recent and napoleonian times, from the GIS MACAO operated by Scetaroutes (Digital Elevation Model, field boundaries, relief and hydrology, etc.). To these elements, were added the results of field surveys : field-walking, pedology and geophysics. All the maps make different layers which are georeferenced (Lambert II projection) in the GIS. The confrontation of these vector and raster layers enable an assessment of the archaeological and erosional potential of the surfaces which will be destroyed by the motorway.

---

Citer ce document / Cite this document :

Dabas Michel. Diagnostic et évaluation du patrimoine archéologique dans le cadre des tracés linéaires. [Apport des systèmes d'information géographiques]. In: Revue d'Archéométrie, N°23, 1999. pp. 5-16.

doi : 10.3406/arsci.1999.971

[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/arsci\\_0399-1237\\_1999\\_num\\_23\\_1\\_971](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/arsci_0399-1237_1999_num_23_1_971)

---

# DIAGNOSTIC ET ÉVALUATION DU PATRIMOINE ARCHÉOLOGIQUE DANS LE CADRE DES TRACÉS LINÉAIRES : Apport des systèmes d'information géographique

Michel DABAS\*

**Résumé :** Sur les sites archéologiques, la prospection avant les sondages et les fouilles, correspond à une phase importante d'acquisition de données. Les tracés linéaires et en particulier les autoroutes imposent un certain nombre de contraintes spécifiques à la fois en terme de temps et d'échelle spatiale. Dans le cadre de l'autoroute A77, une méthodologie a été mise au point pour intégrer dès le départ tous les éléments d'information : base de données DRACAR des SRA, missions aériennes spécifiques de photogrammétrie, missions verticales IGN, cadastres récents et napoléoniens, informations issues du Système d'Information Géographique MACAO des Scetaroutes (Modèle Numérique de Terrain, limites cadastrales, traits oro-hydrographiques, etc.). A ces éléments, ont été rajoutés les résultats des prospections pédestres, de cartographie pédologique et géophysique. Toutes les cartes ont été géoréférencées (système Lambert II) dans un SIG. Du croisement de ces informations, un diagnostic précis du risque archéologique et du risque d'érosion potentiel a pu être établi.

**Abstract :** For archaeological sites, the survey before trial and final excavations, corresponds to a specific and important phase. For linear transects, and especially for motorways planning, there is exist certain constraints which are specific either in terms of timing or in terms of spatial scale. Within the A77 motorway project, a methodology was derived which takes into account different types of information from the very beginning : DRACAR data basis of the regional archaeological service, specific flights for photogrammetry, vertical missions from IGN, field boundaries from recent and napoleonian times, information from the GIS MACAO operated by Scetaroutes (Digital Elevation Model, field boundaries, relief and hydrology, etc.). To these elements, were added the results of field surveys : field-walking, pedology and geophysics. All the maps make different layers which are georeferenced (Lambert II projection) in the GIS. The confrontation of these vector and raster layers enable an assessment of the archaeological and erosional potential of the surfaces which will be destroyed by the motorway.

**Mots-clefs :** Diagnostic, prospection archéologique, tracé linéaire, autoroute, géophysique, SIG, DRACAR, MACAO, MNT.

**Key-words :** Diagnostic, archaeological prospection, motorway planning, geophysics, GIS, DRACAR, MACAO, DEM.

## 1 - INTRODUCTION

Le contrôle par l'Etat du patrimoine du patrimoine archéologique est effectué par un ensemble de textes dont les trois les 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 relativement bien un cadre réglementaire n'est plus adapté aux contraintes modernes de protection du patrimoine, en particulier concernant le délicat problème de la prise en charge du coût associé aux

fouilles archéologiques ainsi que l'aspect qui nous intéresse le plus dans cet article à savoir la prise en considération des phases de prospection et d'évaluations.

On a l'habitude d'opposer en France deux archéologies. L'archéologie programmée, pour laquelle travaille généralement les universités et le CNRS, s'inscrit dans le long terme et opère généralement sur des sites connus avec des problématiques spécifiques. Les financements sont ceux de l'Etat et des collectivités territoriales. L'archéologie qualifiée de «préventive» (ou de sauvetage) intervient, quant à elle, sur des échelles spatiales

\*CNRS UMR7619 Université Paris VI, Boîte 105, 75252 PARIS Cedex 05.  
dabas@ccr.jussieu.fr  
et consultant de Terra Nova sarl, 7 place de la Nation, 75011 PARIS.  
terra-nova@wanadoo.fr

et temporelles complètement différentes dans le cadre d'études d'impact pour les grands projets d'aménagement (routes, TGV, autoroutes, gazoducs). Cette archéologie en terme de financements et de volumes d'opérations est devenue prépondérante en France. Certaines contraintes lui sont spécifiques comme les calendriers complexes de libération foncière de grandes surfaces impliquant des opérations archéologiques d'autant plus complexes.

Le fait que l'échelle spatiale d'étude soit différente (souvent des centaines d'hectares), que les délais d'étude entre phase terrain et rapport soient courts (quelques mois), la difficulté à gérer un ensemble d'évaluations et de fouilles simultanément (souvent plusieurs dizaines), la disponibilité d'un ensemble considérable de données issues des cabinets en charge des pré-études, implique nécessairement des approches différentes par rapport à celles de l'archéologie programmée.

Ceci nous a amené à l'occasion d'un chantier test sur l'autoroute A77 (Dordives- Cosne s/ Loire) et grâce au support financier de la SAPRR (cf. remerciements) à développer une nouvelle démarche d'approche de la phase «prospection» précédant la phase lourde de diagnostic puis de fouille. Les différents éléments de la phase prospection (archives, prospection pedestre, photos aériennes) ne sont bien évidemment pas des éléments nouveaux dans ce test si ce n'est l'utilisation systématique des méthodes géophysiques qui fera l'objet de plusieurs articles en cours de rédaction et publiés (Dabas, 1999). Par contre, l'utilisation des données informatiques du tracé de l'autoroute, l'intégration au jour le jour de toutes les informations issues des différents chantiers de prospection, et enfin le rendu de cartes de «risque archéologique» sont autant de données nouvelles qui ont été développées grâce à l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG). Le chantier a été déclenché sur un linéaire de 15 km dans la partie nivernaise de l'autoroute. La linéaire moyen prospecté toutes équipes confondues a été de 500 m par jour sur une bande de 100 m de large.

Il est clair que l'outil mis au point ici ne se limite pas à l'archéologie préventive et son utilisation peut être étendue à des chantiers d'archéologie programmée et surtout comme cela a déjà été fait à des thématiques relevant plus de l'archéologie du paysage (expériences sur le Tricastin (Jung, 1999) ou l'Argonne).

## 2 - INSERTION DANS LE PLANNING AUTOROUTIER DE LA PROSPECTION ARCHÉOLOGIQUE

Avant d'aborder les différentes phases d'une prospection archéologique sur un tracé linéaire, il nous semble utile de rappeler le calendrier d'exécution d'un projet autoroutier car de ce calendrier découlera les périodes d'intervention des archéologues et prospecteurs.

On distingue classiquement deux grandes périodes dans un projet autoroutier : celle avant et après le Déclaration d'Utilisation Publique (DUP). Une autoroute commence par l'inscription dans le schéma directeur des routes pour finir, en ce qui nous concerne, aux travaux de terrassement (TOARC). Généralement une période de l'ordre de cinq ans s'écoule entre ces deux moments.

Avant la DUP, le projet est généralement confié aux CETE (Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement). Il abouti à la création d'un fuseau de 300 mètres de large dans lequel passera la future autoroute. Après la DUP, le projet est confié à un concessionnaire, maître d'œuvre, qui va alors choisir un ensemble de maîtres d'ouvrage.

Les fouilles archéologiques interviennent toujours durant la seconde phase pour des problèmes évidents de propriété de terrain entre autre. La phase prospection peut commencer juste avant la DUP mais dans la pratique courante intervient après.

Sans rentrer dans trop de détails, les six phases d'un projet autoroutier peuvent être décomposées comme suit :

1 - Dossier préliminaire : création d'un document graphique définissant un «fuseau à 1 km» (bande de 1 km de large dans laquelle s'inscrira la future emprise de l'autoroute). Ce fuseau est calculé en fonction de nombreuses contraintes (économiques, réglementaires, politiques, etc.) mais les contraintes archéologiques ne sont malheureusement pas pour l'instant prises en considération.

2 - Dossier de l'Avant-Projet Sommaire (APS) : création de différentes bandes de 300 m.

Le CETE inventorie, après approbation ministérielle de la phase préliminaire, les contraintes pesant sur les différentes bandes. Sont prises en considération les contraintes environnementales, économiques et patrimoniales entre autre. L'archéologie n'intervient ici que sous sa forme de patrimoine «émergé» (monuments visibles et inscrits, etc.).

3 - Dossier d'enquête préalable à l'enquête publique et IMEC (Instruction Mixte à l'Echelon Central) : ces derniers dossiers créés par le CETE, après approbation ministérielle de l'APS, concluent sur une bande de 300 m en inventoriant les différentes contraintes. Ce projet est entériné par le Conseil d'Etat et abouti au décret interministériel de DUP.

4 - Avant-Projet Autoroutier (APA) : le concessionnaire maintenant désigné ainsi que son maître d'œuvre affinent les dossiers transmis par le CETE et proposent la géométrie de l'axe de l'autoroute.

5 - Définition des emprises (autoroute + servitudes) : Ce n'est souvent généralement qu'à ce stade que le prospecteur va intervenir car le concessionnaire déclenche alors les enquêtes de maîtrise foncière.

6 - Début des travaux de terrassement (TOARC).

Le prospecteur pourrait en fait intervenir très tôt, mais en pratique il n'est appelé qu'après la DUP et même souvent qu'après l'APA. Il en résulte des calendriers très serrés et un télescopage rapide avec les équipes de diagnostic lourd (appelé aussi sondage d'évaluation maintenant) et de fouilles qui suivent...

Nous pensons que l'intervention au niveau du fuseau à 1 km serait assez lourde à programmer du fait de la superficie à gérer. Néanmoins, il serait utile de prendre en considération les données incluses dans la base DRACAR, même si l'on sait qu'en moyenne un site sur dix y est répertorié. Par contre, nous pensons que, de la même façon que les contraintes environnementales sont prises en compte au niveau de l'APS, il serait nécessaire de prendre en considération les contraintes archéologiques dès ce stade du projet autoroutier. Il en résulterait un délai de quelques années entre prospections et diagnostics lourds et fouilles et donc pour les archéologues une meilleure planification de celles-ci, pour l'aménageur une prise en considération plus tôt des servitudes liées aux fouilles et pour notre patrimoine des possibilités de ne pas détruire certains sites jugés très importants (cf. l'article sur les ferriers de la Bussière dans ce numéro (Dabas, 1999)).

La phase prospection traitée ici s'insère en deuxième position dans un calendrier des opérations archéologiques qui généralement comporte lui-même 6 phases (Ferdrière et Riolland, 1994) :

1) Etudes préliminaires,

- 2) Prospections systématiques,
- 3) Sondages d'évaluation,
- 4) Fouilles proprement dites,
- 5) Surveillance (éventuelle) des travaux (TOARC),
- 6) Etude et diffusion des résultats.

Pendant l'automne 95, une équipe de douze personnes (cf. remerciements) a été créée pour mener la phase de prospection systématique sur les 15 km de l'autoroute A77 dans sa partie nivernaise (entre les Points Kilométriques 83,220 et 98,250).

Cette phase est intervenue après l'APA. Elle intervenait avant une phase plus traditionnelle de prospection menée par l'AFAN début 96 ainsi que les sondages d'évaluation (tranchées à la pelle mécanique). L'objectif de ce papier n'est pas de comparer les résultats de la phase 3 par rapport aux phases 1 et 2 (objet d'une future étude quand tous les dossiers de diagnostics seront disponibles).

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 entre acquisition des données de terrain et intégration dans la base du SIG), sortie de cartes à des échelles variables en fonction des besoins journaliers et des stratégies évoluant en fonction des informations acquises et traitées. Le taux d'avancement moyen toutes équipes confondues est de 500 m par jour.

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, les missions IGN, 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). Nous ne rentrerons pas dans les détails de mise en œuvre sur le terrain de chacune des méthodes traitées déjà par ailleurs (Ferdrière et Rialland, 1994 à 1996) et expérimentées sur quelques autoroutes (A70, A71, A85, A20 par exemple). Nous préférons insister sur l'apport du SIG à cette étude et les spécificités de certaines méthodes et/ou données peu ou pas utilisées.

Dans un premier temps, une définition rapide d'un SIG est donnée.

## 1 - SIG

Un système d'Information Géographique (SIG ou GIS dans la littérature anglo-saxonne) est avant tout un système informatique permettant de gérer à la fois une information graphique et une information de type données (attributaires). Il possède donc un moteur graphique comme n'importe quel logiciel de représentation de données (Adobe Photoshop®, Micrografx Picture Publisher®, etc.) et un moteur de base de données (Microsoft Open Access®, Oracle®, File Maker Pro®, etc.). Ces deux moteurs sont en interaction et c'est ce qui fait la puissance d'un SIG : il est possible par exemple de référencer (créer un lien) directement ou indirectement un objet de la base de données et un objet graphique (Rouet, 1991 ; Pornon, 1990).

On a l'habitude de classer les SIG (Chaillou, 1998) en deux grandes classes en fonction des objets qu'ils manipulent : raster (trame en français) ou vecteur. Dans le modèle vecteur, les éléments de base sont des objets géométriques simples (l'arc, le nœud, la surface, le point et le solide). Dans le modèle raster, les éléments de base

sont des cellules de taille généralement carrée représentant une image à une résolution donnée. Il est possible de passer d'un mode raster à un mode vecteur et vice et versa. Le choix d'un SIG sera fonction du type de données que l'on manipule le plus souvent. Les données vecteurs tiennent peu de place dans une machine et sont faciles à manipuler car individualisables facilement. Par contre leur rentrée dans le système (digitalisation en règle générale, systèmes électroniques de levés topographiques) est longue. Les données raster sont rapides à acquérir (scannérisation ou balayage électronique en français) mais lourdes à manipuler et *a priori* non individualisables (extraire une forme dans une image va justement nécessiter une digitalisation permettant d'attribuer une forme, un identifiant et éventuellement des informations associées).

Un objet vecteur peut toujours être stocké sous forme raster (avec perte de certaines informations). L'inverse n'est pas forcément vrai. En prenant le cas important en archéologie du Modèle Numérique de Terrain (MNT) (DEM : Digital Elevation Model ou DTM : Digital Terrain Model en anglais), il est possible de le stocker sous forme d'une image où la valeur de chaque pixel représentera une altitude. Si on le représente sous forme vecteur, on utilisera un modèle formé de triangles représentant des surfaces élémentaires planes d'autant plus grandes que la topographie est peu mouvementée (modèle TIN). Dans ce cas, le stockage du modèle peut être très économique en place et surtout les calculs sur les surfaces (type écoulement, ensoleillement, visibilité, etc.) beaucoup plus simples qu'en mode raster.

La base de données peut être incluse dans le SIG ou bien externe. Quand à chaque objet graphique correspond une donnée (dite attributaire), il n'y a pas besoin de base de données. Par contre dès qu'il existe un ensemble de données complexes, il faudra créer un lien indirect entre cet ensemble et un objet graphique grâce à une base de données (SGBD). Ce lien s'appelle géocodification. De la qualité de cette codification (autrement dit de l'organisation des données dans la base) dépendra la qualité du SIG et donc le degré de complexité des questions que l'archéologue sera amené à poser au SIG...

Nous avons utilisé un SIG de type raster : IDRISI® (Laboratoire de Géographie, Université de Clark, Massachusetts, USA) à la fois pour des raisons financières, de facilité de mise en œuvre, de possibilité à faire tourner sur un portable de terrain en mode DOS (nous ne disposons pas de la première version sous Windows en 1995) et de type données à traiter (le fond photogrammétrique constituant la couche d'information de base). Même si IDRISI est orienté raster, il peut traiter des couches vectorielles et combiner ces deux types de données.

## 2 - ÉTUDES AVANT TERRAIN

En préambule, nous tenons à rappeler comme le souligne Alain Ferdrière (Dabas, 1998) que la prospection, et en particulier les études avant terrain, constituent une méthode à part entière d'acquisition de données et ne sont pas le préliminaire des fouilles.

En particulier, les données sur le paysage qui seront issues de cette phase constituent une source d'information archéologique différente de celles qu'apporteront les fouilles. Autrement dit, il ne s'agit pas forcément de «trouver» les sites avant que l'équipe de prospection n'aille sur le terrain, mais de prédire l'environnement de sites potentiels, ce que certains appellent «la potentia-

lité archéologique» (et l'aménageur le «risque archéologique»...). Au caractère ponctuel des fouilles, on peut donc opposer le caractère régional de ce type de données.

Dans cette phase appelée aussi «étude documentaire», un certain nombre de documents ont été systématiquement étudiés avant que les équipes de prospection n'aillent sur le terrain : couvertures aériennes verticales de l'Institut Géographique National (IGN), sites inventoriés par les Directions Régionales des Affaires Culturelles (DRAC) dans les bases de données DRACAR et PATRIARCHE, plans anciens existant encore en mairie, toponymie, cadastres récents mais surtout napoléoniens, dépouillements bibliographiques et enquête orale. Nous ne détaillerons pas ces deux derniers types de documents car ils ne rentrent pas dans la problématique des SIG.

Le tout premier travail a consisté à intégrer une partie des données de la base DRACAR dans le SIG. Cette base est uniquement sémantique et ne fournit pas de données graphiquement. Il n'est pas possible de connaître facilement la réponse à des questions comme «combien existe-t-il de sites dans un rayon de XX m autour de l'axe du projet A77 dans sa partie nivernaise ?». Nous avons alors classé les sites en trois types qui ont pu être introduits comme trois couches vecteurs dans le SIG : sites connus ponctuellement (coordonnées Lambert connues précisément), traces linéaires généralement connues à partir de photographies aériennes, sites connus sur une zone (surface dont on connaît les coordonnées extrêmes). Ces objets sont connus de part leurs coordonnées et leur numéro d'inventaire qui renvoie à leur description précise. Nous nous sommes servis de ce numéro comme descripteur direct (fig. 1). Il n'y a pas donc pas de lien indirect entre la base de données et le SIG proprement dit, ce qui limite le champ des questions possibles, seule la position des sites nous intéressant dans cette première phase. Par contre si l'on s'intéresse à la description totale du site selon les différents champs de la base de données, il faut alors créer un lien entre ces champs et le SIG. Il est alors possible de répondre à des questions plus détaillées comme «Combien existe-t-il de sites de l'époque romaine dans une zone donnée ? ou bien Quels sont les sites de type enclos funéraire, de telle époque sur telle commune ?». Un tel effort ne pouvait être justifié de par le faible nombre de sites recensés dans la base. En effet, en prenant la bande des 300 m, nous n'avons trouvé que 13 sites ou indices de site (communes de Neuvy, La Celle, Annay, Myennes, Cosne et Cours) sur la portion étudiée (entre le PK 83,220 et le PK 98,250). Sur l'emprise même de l'autoroute (largeur de la bande entre 60 et 100 m), ce chiffre diminue à 6. Sur ces 6 «sites» beaucoup correspondaient à des leurres (trois sont de simples indices aériens et un est un indice toponymique). Du point de vue pratique, on peut même faire remarquer que l'emploi d'un SIG n'est plus alors strictement nécessaire et la sortie graphique présentée sur la figure 1 a été faite grâce à un logiciel de cartographie. Par contre, si l'on avait eu à traiter l'ensemble des 93 km de l'A77 l'utilisation du SIG et d'un SGBD aurait été nécessaire.

Rappelons à ce sujet que cette base de données ne constitue qu'une première étape de la recherche, le nombre de sites connus mais non inventoriés et/ou ceux qui ne sont pas encore découverts sont probablement dans le rapport approximatif de 1 à 5 voire 10 : la première expérience d'archéologie extensive en Beauce en 1975 avait permis d'augmenter le nombre de sites connus de 6 à 61 (sur 600 ha), des études sur l'A85 ont fait passer le chiffre de 33 à 132 (sur 116 km) et pour devancer les résultats sur la totalité de l'A77 de 20 à 167...

Au-delà de ces données bien connues des archéologues, nous avons découvert au fur et à mesure de l'avancement du projet deux autres types de documents utilisés par les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre (Scetauroute Amilly pour l'A77). Leur étude et intégration dans le SIG ont été capitales pour la recherche archéologique : il s'agit des données géotechniques et de données issues d'un levé photogrammétrique aérien.

Les données géotechniques consistent en un certain nombre de forages que nous avons dépouillé et qui apportent des informations précieuses quant à l'épaisseur des formations alluviales et la géologie du substratum par exemple.

Sur le chantier de l'A77, comme sur les autres chantiers autoroutiers, l'aménageur fait effectuer un levé photogrammétrique le long du tracé. Ceci nous permet d'avoir accès à deux documents différents : un levé aérien à grande échelle et un ensemble de données topographiques incluses dans un SIG propre aux Scetauroutes : MACAO.

Les photographies verticales IGN sont souvent à des échelles trop petites pour être exploitables en terme archéologiques (1/30 000). Après accord avec Scetauroute et achat des clichés photogrammétriques, il nous a été possible de les scanner et les intégrer dans le SIG IDRISI. Après redressement des photographies (mécanisme qui consiste à déformer l'image grâce à une transformation mathématique pour la rendre identique à un plan topographique), nous avons pu créer des orthophotographies, c'est-à-dire des images pour lesquelles chacun des pixels possède une coordonnée géographique précise (système Lambert II pour le cas de l'A77). Ce traitement peut être fait par IDRISI car les clichés photogrammétriques sont quasi-verticaux. Dans le cas de clichés obliques, on est obligé d'utiliser d'autres logiciels. Cette orthophoto constitue la couche raster de base sur laquelle toutes les autres informations seront reportées.

MACAO est un SIG propre aux cabinets d'étude des Scetauroutes. Il a donc fallu créer un programme «passerelle» entre MACAO et IDRISI. Les données intégrées (semis de points altimétriques, courbe de niveaux, limites de bois et de culture, routes, talus, lignes électriques, etc.) sont alors associées à une bibliothèque de symboles. A partir du semis de points, nous avons recréé un modèle numérique de terrain (MNT) afin de ne pas avoir à redigitaliser les courbes de niveaux. La création du MNT a été effectuée par un autre programme de cartographie (Surfer de Golden Software). Les sorties graphiques ont souvent été gérées par d'autres programmes (CorelDraw). On peut donc remarquer que le SIG n'est pas un «outil à tout faire» : un programme spécifique a dû être développé et trois autres programmes du commerce utilisés....

Il a fallu intégrer deux autres types d'information : un fichier de points caractérisant la position des points kilométriques (donné par une entreprise de topographie au fur et à mesure de l'implantation des bornes sur le terrain) et un fichier vecteur caractérisant la limite du projet autoroutier (obtenu après digitalisation de plans au 1/5000 fournis par Scetauroute). Les données issues de Macao et les données de géométrie de l'autoroute forment les couches vectorielles de base tout comme le levé photogrammétrique forme la couche raster de base.

L'utilisation du SIG permet donc, puisque ces couches sont géoréférencées, de les superposer et de ne faire apparaître que certaines d'entre elles. Les documents ainsi obtenus ont servis au fur et à mesure des travaux. Il a été possible par exemple de ne sortir que les limites de par-

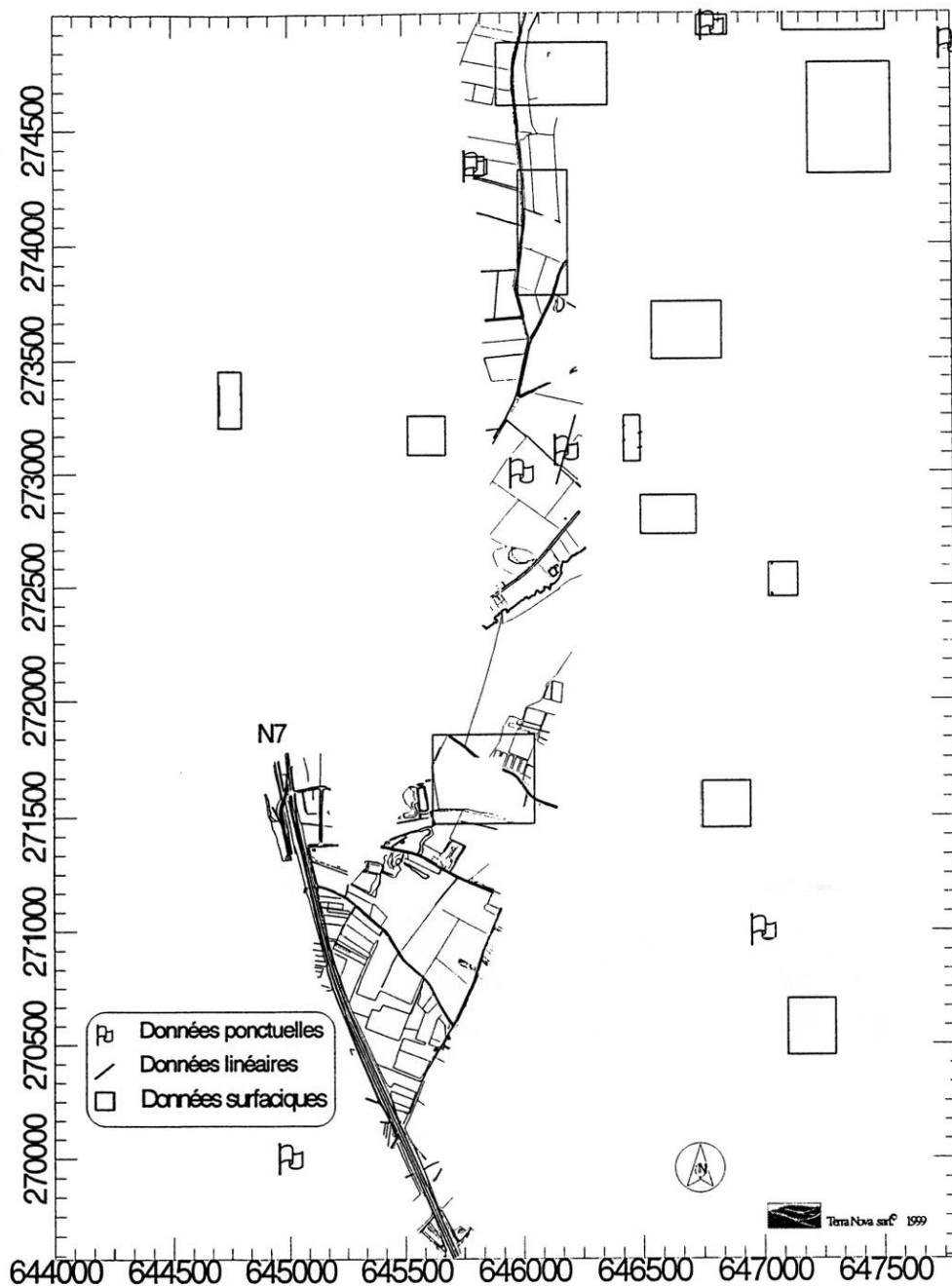


Fig. 1 : Répartition géographique des sites inventoriés dans la base DRACAR du SRA Bourgogne avec superposition des données parcellaires sur le fuseau de 300 mètres.

celles ou les limites de bois pour les prospecteurs pédestres à une échelle quelconque (les plans d'enquête parcellaires n'étaient pas encore disponibles au moment des premières prospections pédestres) : ces documents leur ont servi de minute terrain.

L'information géométrique et sémantique contenue dans les cadastres napoléoniens est très importante. Mais c'est surtout sa confrontation au cadastre actuel, aux anomalies visibles sur les clichés aériens qui est riche d'information. Nous avons donc numérisé le cadastre napoléonien sur les 15 km du tracé et cette couche vectorielle a été référencée grâce à des éléments structuraux stables du paysage (une limite de bois qui n'évolue pas, un corps de bâtiment de ferme, etc.). Le document final est donc un cadastre napoléonien recalé en coordonnées Lambert.

De la même façon, il n'était pas envisageable de scan-

ner toutes les missions verticales IGN (une dizaine par commune en règle générale) et les missions obliques de prospecteurs locaux (A. Bouthier) pour des problèmes de place mémoire ou tout simplement de manipulation de cette information très redondante... Un photo interpréteur a donc relevé sur un ensemble de calques les anomalies aériennes principales. Ces calques ont ensuite été digitalisés et un attribut a été donné à cette couche vectorielle. La dernière phase consiste à géoréférencer ces calques (on admet que les photos IGN sont quasi-verticales) grâce à des points remarquables du paysage localisés sur la couche raster de la photogrammétrie.

Sur la figure 2, un document synthétique montre la superposition de ces différentes informations sur la partie la plus au nord de l'A77.



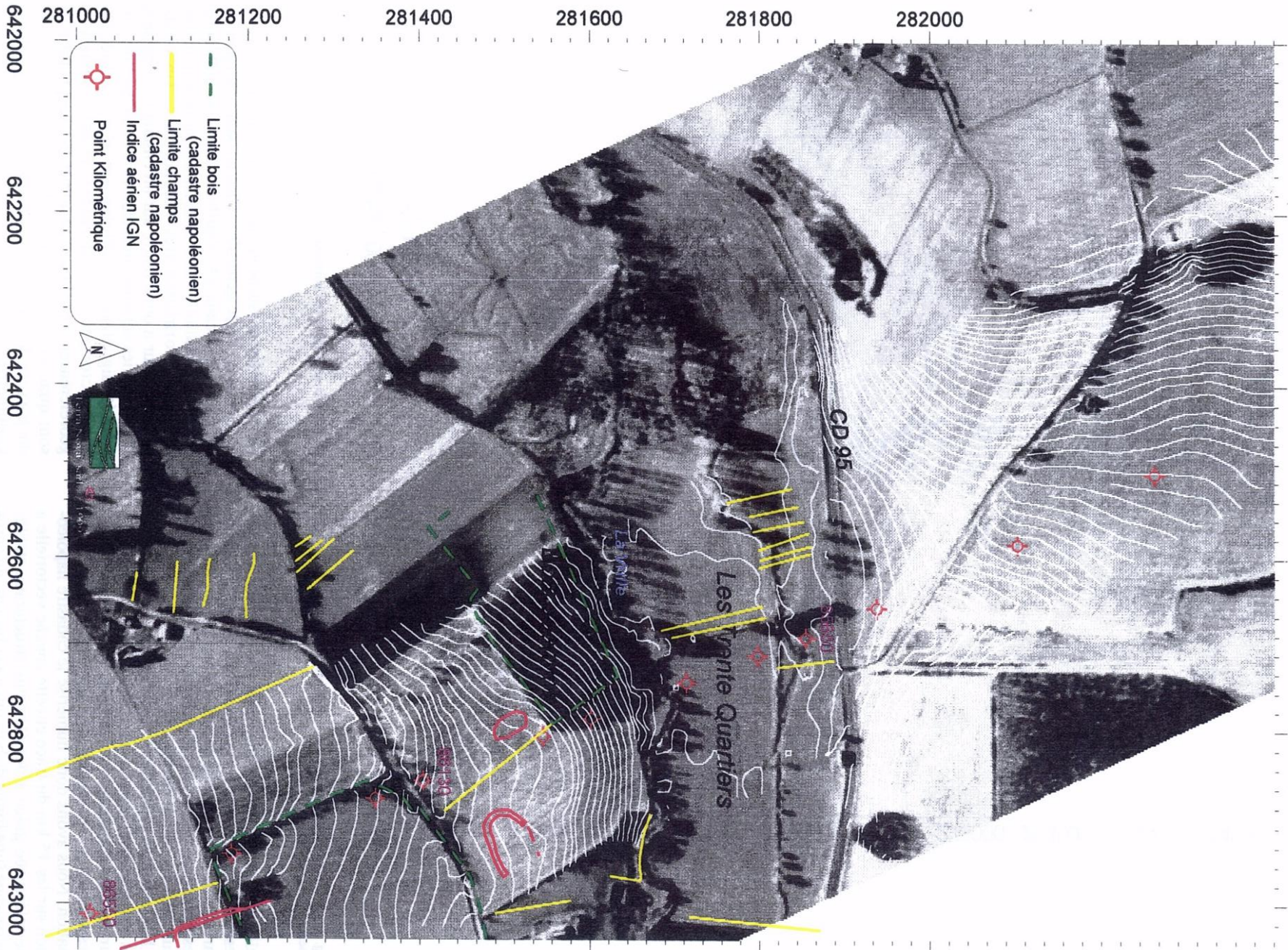


Fig. 2 : Superposition de la couche raster photogrammétrique, du MNT, des indices aériens et du cadastre napoléonien.



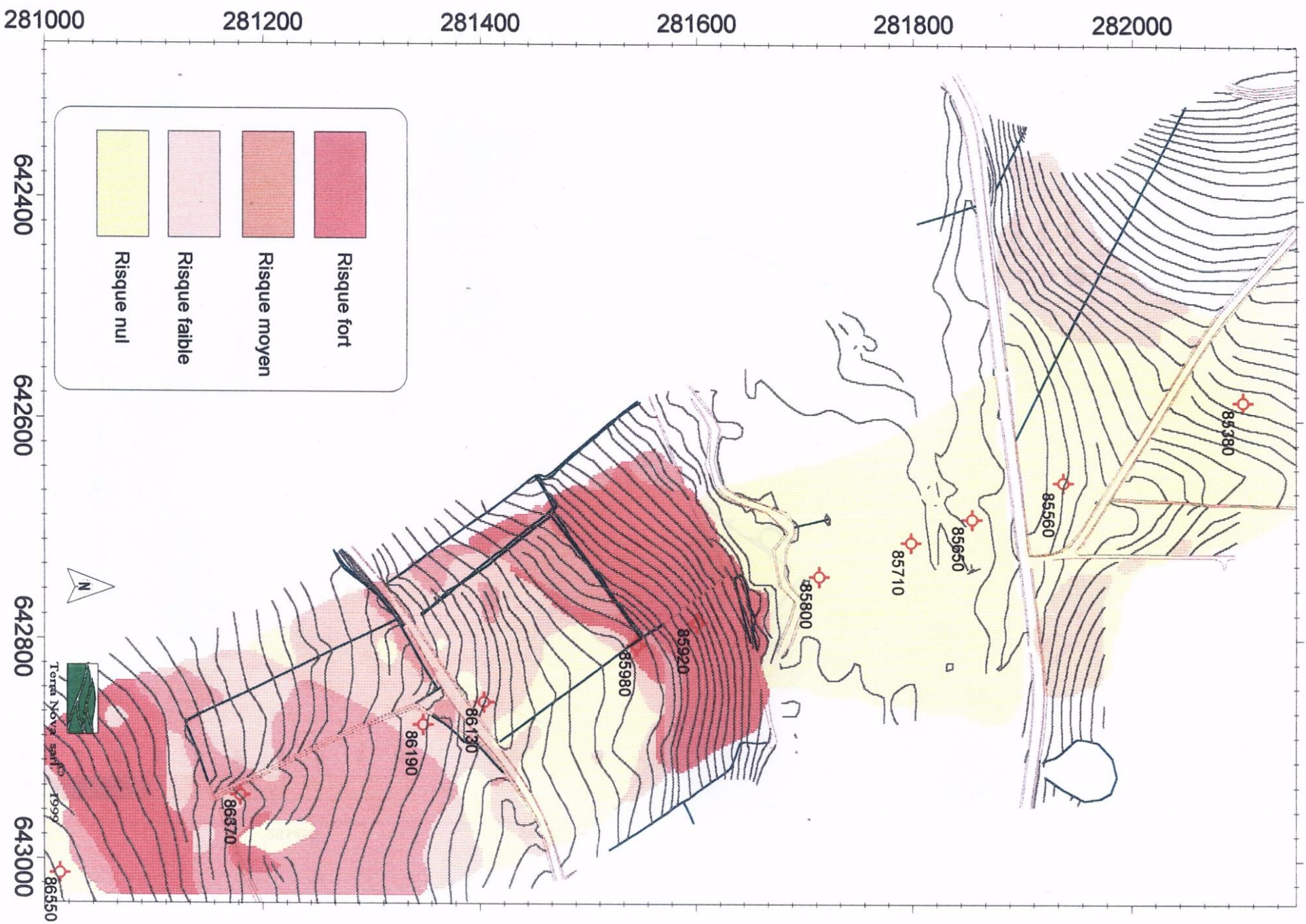


Fig. 3 : Carte des risques d'érosion avec superposition des PK, données parcellaires et courbes de niveau à 1 m.



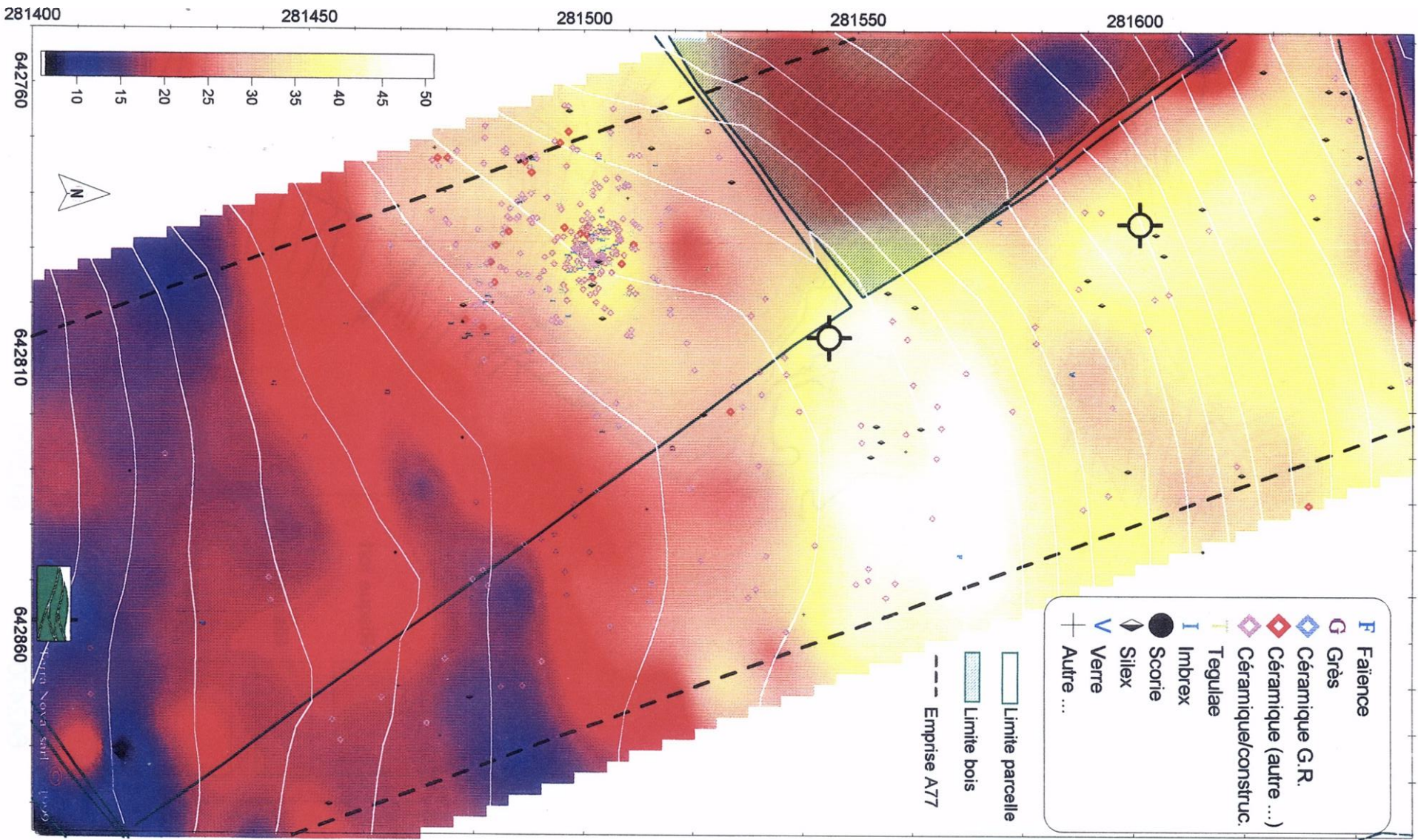


Fig. 4 : Carte de répartition des indices archéologiques sur fond cadastral et valeur des susceptibilités magnétiques.

### 3 - ÉTUDES SUR LE TERRAIN

Nous aborderons spécialement les études pédologiques, la prospection sur sols nus et les prospections géophysiques.

Le but de l'étude pédologique est l'évaluation du risque d'érosion/colluvionnement de sites archéologiques potentiels. C'est la question qui fait le plus appel à la potentialité des SIG. Issue des observations de terrain des deux pédologues, une carte des Unité Cartographiques de Sol (UCS) a été dessinée sur le fond cartographique des courbes de niveaux pour être digitalisée par la suite. Rappelons que la carte pédologique de France, incomplète à l'heure actuelle, est à une échelle (1/100 000) incompatible avec notre recherche. Les études de stabilité de terrain permettent d'attribuer un coefficient d'érosion en fonction des UCS. Mais d'autres paramètres existent dont il faut aussi tenir compte : intensité de la pente localement et couvert végétal en particulier. Il est très difficile de tenir compte de ce dernier paramètre car il a évolué dans le temps et nous n'avons pas forcément de connaissances des paysages passés. La pente peut être considérée par contre comme un paramètre plus stable à notre échelle de temps et dont le poids relatif dans les processus d'érosion est important. C'est un paramètre indirectement accessible grâce au SIG : l'étude photogrammétrique ayant permis de connaître l'altitude en tout point, il est donc possible grâce à une fonction du SIG de calculer en tout point le vecteur gradient dont l'amplitude nous donne la pente en tout point. Les pédologues sont alors capables de fournir un degré de risque d'érosion en fonction de la classe de pente rencontrée. Il ne reste plus alors qu'à croiser la classe de risque issue du MNT et la classe de risque associée aux différentes unités de sol. De ce croisement et d'une reclassification en 5 classes, il est alors possible de prédire en tout point (résolution métrique) de la carte le risque d'érosion classé entre 0 (risque nul = colluvionnement) et 4 risque maximal. La figure 3 illustre le résultat de cette étude.

La prospection pédestre (field walking en anglais) consiste à repérer l'ensemble des artefacts archéologiques, que ce soit sur sols nus (généralement labourés et après une pluie pour les meilleures conditions de détection) ou sur prés et bois. L'hypothèse de départ est que le site archéologique peut être détecté par une concentration plus importante de certains artefacts sur une surface localisée. Les limites de cette méthode sont bien connues : présence d'un sol nu donc le fait de pouvoir se trouver sur le site au bon moment, objets suffisamment proches de la surface pour pouvoir être remontés par les socs de charrue, opérateurs bien formés pour la détection d'artefacts de périodes très différentes, «bruit» de surface pas trop important (apport des fumures). Cette méthode est utile mais peut-être jugée moins intéressante si l'on raisonne en terme de «valeur» archéologique des sites découverts car la plupart du temps arasés. Ce sont justement les sites indétectables car trop profonds qui sont les mieux préservés... De plus, l'évolution récente des pratiques agricoles risque de modifier l'efficacité de cette méthode (abandon progressif des labours profonds et apparition de méthodes de surface par broyage). Le fait que l'on positionne un artefact archéologique et que l'on puisse donner une estimation de sa fourchette de temps se prête très bien à un traitement par un SIG.

Les prospecteurs sur le terrain se déplacent selon des lignes parallèles (généralement des labours) régulièrement espacées et souvent parallèlement à des limites

cadastrales pour simplifier les repérages topographiques qui sont ici très légers (boussole et décimètre). Ils balayent ainsi toutes les parcelles sur le tracé de l'autoroute en fonction de leur labour et des pluies. Dans les procédures classiques de recherche de site, deux cas se présentent : soit le site est bien délimité et un des prospecteurs ayant découvert un certain nombre d'artefacts va rayonner autour de sa ligne pour déterminer les limites de l'épandage de surface en laissant des repères à chaque fois qu'il franchit ce qu'il pense être la limite du site, soit le site est diffus et dans ce cas les objets eux-mêmes seront localisés. Les objets sont généralement comptabilisés par ligne et à l'intérieur d'un site quand un indice est détecté, à des fins de comptage et de datation. Dans le cas de l'A77 existait une prescription du SRA qui obligeait à ne pas prendre les objets ou plus exactement à les laisser en place. Chaque objet a donc été positionné. Cette procédure, si elle alourdit de façon certaine la prospection, en particulier pour les densités importantes de vestiges liés aux périodes gallo-romaines ou post Haut Moyen Age, s'est avérée très précieuse car elle a unifié les deux procédures mentionnées précédemment. Avec un SIG, il est possible de calculer une densité d'objet par m<sup>2</sup> et donc de définir par un critère plus mathématique les limites de site (moins de x objets au m<sup>2</sup>). Les artefacts étant positionnés et caractérisés directement sur le terrain, les plans minute des prospecteurs pédestres ont été digitalisés et les objets définis dans un certain nombre de classes. Ces plans sont alors géoréférencés et peuvent être superposés aux autres couches raster ou vecteur. Au vu du grand nombre de classes, nous avons été obligé de regrouper certaines classes. Ceci est un travail simple avec un SIG et la position des objets appartenant à une de ces super-classes peut être aisément affichée. Nous n'avons d'ailleurs pas eu besoin de calculer de densités de points pour limiter les indices de site car la simple visualisation du semis de points est suffisante (fig. 4).

Dans des procédures plus légères, on aurait pu parfaitement imaginer ne repérer sur le terrain que les limites de site et au niveau du SIG vectoriser ces limites.

La prospection géophysique est généralement utilisée lorsqu'un site est déjà repéré et à ce titre n'a que rarement été utilisée sur des tracés autoroutiers. En effet la vitesse d'acquisition des mesures géophysiques n'est pas compatible avec une couverture totale de la surface d'emprise de l'autoroute et une maille utile en archéologie c'est-à-dire une mesure tous les mètres dans les deux directions. On retrouve ce même problème avec toutes les méthodes ponctuelles comme les sondages à la tarière et dans une moindre mesure les sondages par tranchées mécaniques. Mais, de la même façon qu'une concentration de phosphate dans un sol peut être un indice révélateur d'un site, la mesure d'un paramètre physique du sol appelé susceptibilité magnétique peut traduire une occupation humaine sur une surface bien plus importante que le volume d'investigation de la mesure elle-même (travaux de le Borgne). Une mesure statistiquement contrôlée a été effectuée grâce à un susceptibilitémètre selon une maille de 10 x 25 m. Le choix de cette maille résulte à la fois de contrainte de temps et de contraintes statistiques (Dabas, 1999). La vitesse de mesure de l'appareil permet de couvrir entre 300 et 800 m linéaire par jour sur une largeur de 100 m (en incluant la topographie). Le semis de mesure s'appuie sur le terrain sur la matérialisation des PK. Les profils de mesures sont espacés de 25 m et parallèles à l'axe des PK donc à l'axe central de




<b>Fiche de site 5</b>	<b>Prospection A77 Sud</b>
<b>Gallo-romain</b>	<b>(Neuvy - Cosne s/Loire)</b>
<b>Localisation :</b>	
Département: Nièvre	Commune: Neuvy-sur-Loire
Lieu-dit (IGN): Bois Jaunot	
Coordonnées Lambert II: <input type="checkbox"/> Ponctuel <input type="checkbox"/> Linéaire <input checked="" type="checkbox"/> Surfacing	
Xa=642792	Ya=281500 (épicentre)
Cadastre section, parcelle : Neuvy B3/294	
Point kilométrique: <b>PK</b> 86015	
<b>Offset</b> (PK croissant)	30 m <input checked="" type="checkbox"/> Droite <input type="checkbox"/> Gauche
<b>Conditions de surface</b>	
Sol : Labouré - semé en bordure de plateau	
Lisibilité: moyenne	
Degré d'érosion : moyen à fort	
<b>Conditions de découverte :</b>	
Date : 13/11/1995	Auteur(s): Equipe
Moyen : <input type="checkbox"/> Aérien <input checked="" type="checkbox"/> Surface <input checked="" type="checkbox"/> Géophy <input type="checkbox"/> Documents historiques	
<input type="checkbox"/> Témoignage oral <input type="checkbox"/> sondage	
si Geophy.: <input checked="" type="checkbox"/> Elec. <input checked="" type="checkbox"/> Mag. <input checked="" type="checkbox"/> EM <input type="checkbox"/> Radar <input type="checkbox"/> Thermique	
N° site SRA :	
Commentaire: plus à l'Ouest se trouve un site gallo-romain connu depuis le XIXème siècle et fouillé, au lieu-dit les Forges Belles. répertorié au SRA (58.193.005.01)	
<b>Description, remarques : cf. Planches SMA3, RES3 et MAG3</b>	
Structures linéaires bien délimitées par la prospection électrique et magnétique s'étendant probablement sous le bois Jaunot. Structures massives résistantes (élec.) coïncidant avec le maximum de concentration de vestiges de surface.	
Ancien parcellaire visible en résistivité ( direction discordante avec le parcellaire actuel).	
Concentration très élevée de matériel gallo-romain sur une surface de 20 X 10m avec une auréole de diffusion excentrée vers le Sud-Ouest.	
Note : du matériel lithique dont protohistorique (néo?) a été trouvé sur la pente et sa rupture.	
<b>Mobilier</b> cf. Annexe 7 UP16 et 17, Planches SOL UP16 et 17	
grande quantité de tegulae et d'imbrices parfois partiellement carbonisées	
8 tessons dont 2 fragments de sigillé.	
<b>Risque archéologique :</b> <input checked="" type="checkbox"/> Important <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Non déterminé	
Auteur fiche : MD/CD	Date: 16/10/96
Client: SAPRR	 Terra Nova ©1996

Fig. 5 : Exemple de fiche de site (correspond au site de la figure 4).

l'autoroute. La distance entre deux points de mesure est de 10 m. Pour des raisons de simplicité de mesure sur le terrain, et comme les PK sont généralement rapprochés (moins de 100 m), on admet que le tracé de l'autoroute entre deux PK est linéaire (un calcul d'erreur a montré avec des conditions de courbure importante une erreur de  $\pm 1,8$  m pour les points les plus éloignés ce qui est de toute façon très inférieur à la maille de mesure de 10 m).

En connaissant la distance et l'azimut de la direction entre les PK successifs, il est donc possible de référencer en coordonnées Lambert chacun des points de mesure (programme développé sous Excel). Ce semis de points a été introduit dans le SIG pour pouvoir être réinterpolé et une palette de couleurs a été choisie pour représenter les variations significatives de la susceptibilité. Nous faisons remarquer que bien qu'IDRISI propose 4 fonc-



tions d'interpolation, celles-ci sont quand même limitées (en pratique une seule méthode est utilisable pour des données géophysiques) et surtout très lentes si l'on désire une interpolation à 1 m. Nous préférons maintenant utiliser des logiciels spécifiques d'interpolation quitte à réintroduire le semis de points résultant dans le SIG. Comme mentionné précédemment, un SIG n'est pas un outil universel...

Il est alors possible de superposer les différentes couches d'information entre elles et l'interprétation peut alors commencer. Comme exemple, nous montrons une carte (fig. 4) définissant la répartition spatiale de la susceptibilité magnétique ainsi que la répartition des objets découverts pendant la prospection de surface et les limites cadastrales sur ce qui s'est avéré être un petit établissement gallo-romain. On observe que la susceptibilité est beaucoup plus élevée sur le site, mais aussi plus au nord sur la pente. Quelques silex y ont été découverts sans qu'un site puisse être localisé.

Dans le schéma ci-dessous nous représentons les différentes étapes synthétisant la démarche proposée dans cet article.

*In fine*, l'étude réalisée sur cette partie de l'A77 a permis d'étendre le nombre de sites connus des 6 inventoriés dans la base DRACAR (en réalité 2) à 21. Tous ces sites ont été repertoriés sur un ensemble de planches graphiques. Des fiches synthétiques pour chaque site ont été ensuite rédigées et remises au SRA (fig. 5).

### CONCLUSION

L'archéologie et en particulier la prospection est le domaine d'application de disciplines aussi différentes que la géophysique, la pédologie, la géologie, la télédétection, la photogrammétrie, l'architecture, etc. Dans ce contexte scientifique, ces disciplines ont toutes plus ou moins cohabités sans qu'il y ait eu de réelles interactions. Cette interaction est rendue maintenant d'autant plus nécessaire par l'intégration et la confrontation des données issues des travaux de chaque spécialiste. L'outil SIG déclenche d'une certaine manière cette intégration et favorise selon notre expérience un discours interdisciplinaire pour une meilleure compréhension des sites archéologiques et donc une meilleure prise en considération du risque archéologique le plus en amont possible des travaux de terrassement.

L'utilisation d'un tel outil n'est pas anodin : comme pour l'organisation d'une base de données, les échecs seront plus liés au fait que l'archéologue n'aura pas assez bien défini au préalable le type de question que l'on cherche à résoudre plutôt que du fait d'une mauvaise utilisation et/ou d'un mauvais outil.

En résumé et selon notre expérience sur l'A77, nous tenons à signaler quelques désavantages et avantages pour la mise en œuvre d'un SIG.

C'est un outil complexe à manipuler qui nécessite une personne parfaitement formée.

Il oblige à une transformation de certains documents qui peut être longue et laborieuse (digitalisation manuelle de documents anciens). Il est plus facile de pendre une photocopieuse et d'assembler des bouts de plan avec du scotch...

Il n'existe pas à l'heure actuelle de standard en terme de SIG et il y a souvent obligation à écrire des «bouts» de programme pour passer d'un standard à l'autre (par exemple entre MACAO et IDRISI). La coexistence de données raster et vecteur est souvent complexe à gérer.

Enfin, le SIG ne «fait pas tout», il faudra nécessairement utiliser d'autres programmes.

L'utilisation de cet outil a par contre plusieurs avantages.

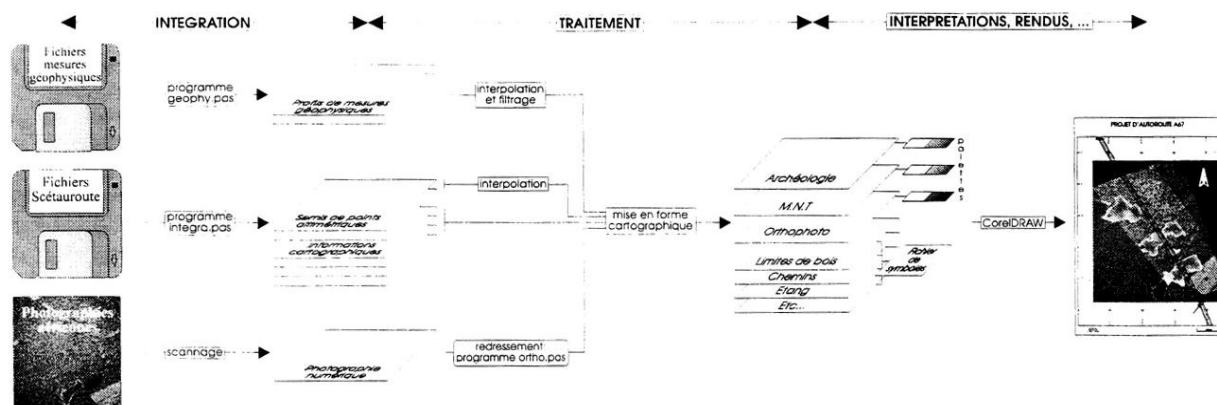
Il permet d'intégrer rapidement une masse d'informations qui existe toujours dans les projets autoroutiers bien avant que les études archéologiques ne commencent. Il permet aussi d'intégrer les données des SRA (base DRACAR). Ces deux sources d'information enrichissent donc la phase prospection.

Il permet de croiser et donc de tester l'apport des différentes méthodes de prospection utilisées. C'est un outil de décision.

Il répond à la nécessité d'enregistrement le plus exhaustif possible des indices de sites et de sites dans un système de référence géographique précis. Il répond alors à l'aspect «réglementaire» de l'inventaire.

Il permet un dialogue approfondi entre aménageur et archéologue et entre archéologues entre eux. C'est un outil facilitant le dialogue.

Il permet par la souplesse de sa base de données et les possibilités graphiques de «sortir» des documents composites en fonction de l'évolution de la réflexion. C'est un outil évolutif de développement et de recherche.



## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu Mme Frère-Sautot, chargée d'Archéologie à la SAPRR (Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône) qui a rendu ce test possible sur l'autoroute A77 ainsi que M. Dargent et Pinoteau. Le chantier a été suivi par M. Meyssonier au niveau du SRA Bourgogne.

Cette expérience a été menée par l'équipe de la société Terra Nova à savoir : Christian David et Stéphane Durand, archéologues ; Guy Pedotti, Cécile Laroche, Emma Bray, Jean-Jacques Estella, géophysiciens ; Bertrand Chazaly, informaticien ; Elisabeth Briend, photo-interpréteur ; Philippe Chery et Isabelle Vion, pédologues. Le chantier a été dirigé par M. Dabas et D. Jordan.

Une partie de ce travail a été effectuée dans le cadre d'un projet de fin d'étude de M. Bertrand Chazaly à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries (ENSAIS), section topographie de Strasbourg.

## BIBLIOGRAPHIE

CHAILLOU, A., 1998 - *Définition, structure et organisation de l'archivage numérique des fouilles du Mont Beuvray*, DEA, Université de Lyon II, (dir. B. Helly), 257 p.

DABAS, M., *et al.*, 1998 - « *La prospection* », collections «Archéologiques» direction A. Ferrière, ed. Errance, 221 p.

DABAS, M., 1999 - Contribution de la prospection géophysique à large maille et de la géostatistique aux tracés autoroutiers. Application aux ferriers de la Bussière sur l'A77, *Revue d'Archéométrie*, 23, 17-32.

FERDIERE, A. et RIALLAND, Y., 1994 à 1996 - La prospection archéologique systématique sur le tracé de l'autoroute A71, *Revue Archéologique du Centre*, Partie 1 : 33, 1994, p. 7-86 ; Partie 2 : 34, 1995, p. 5-87 ; Partie 3 : 35, 1996, p. 5-65.

JUNG, C., 1999 - *Morphogenèse, fonctions et évolution de la centuriation B d'Orange et essais de reconstitution diachronique des paléopaysages du Tricastin (Drôme-Vaucluse)*, Thèse, Université de Tours.

PORNON, H., 1990 - *Systèmes d'Information Géographique, des concepts aux réalisations*, ed. Hermès, Paris.

REMY, H. et SOUMOY, M., 1996 - *Sur la voie de l'Histoire, Archéologie et TGV*, Etudes et Documents, série Fouille, 2, éd. A. Matthys, Namur.

ROUET, P., 1991 - *Les données dans les systèmes d'information géographique*, ed. Hermès, Paris.