

René Goguey
(avec la collaboration de Zoltán Czajlik)

UN ASPECT DE LA COOPÉRATION BOURGOGNE-HONGRIE DANS
LA RECHERCHE ET LA PROTECTION DES SITES:
LE GPS, VECTEUR ENTRE L'ARCHÉOLOGUE,
LE CHERCHEUR AÉRIEN ET LA CARTE INFORMATISÉE¹

La mise en parallèle des recherches d'archéologie aérienne menées en Bourgogne depuis 1958 et en Hongrie depuis 1993 montre l'intérêt que peut présenter l'utilisation du GPS (Global Positioning System), aussi bien pour organiser une navigation sur des zones définies par les archéologues de terrain que pour enregistrer avec précision la position des sites découverts en prospection aérienne. L'Institut archéologique de l'Université Eötvös Loránd de Budapest expérimente un logiciel intégrant directement les données dans les cartes digitalisées.

Sur le quart Nord-Est de la France, une importante base de données aériennes qui n'a pu au départ bénéficier du GPS

Menées dans un premier temps avec la collaboration de l'Armée de l'Air française, les recherches utilisèrent d'abord les méthodes de l'Aviation de Reconnaissance (33^e Escadre de Reconnaissance de

Strasbourg-Entzheim), que ce soit pour désigner un objectif à photographier ou pour localiser par "plotting" les clichés. La réalisation de "couvertures" en bandes continues par cinq caméras opérant d'un horizon à l'autre permet alors de tracer les axes sur les cartes et de positionner facilement chaque cliché.

La deuxième phase des recherches a eu pour support des avions de tourisme "standard". Depuis 1990 est utilisé l'avion R 3000 affecté par le Conseil Régional de Bourgogne à l'archéologie aérienne, équipé de trappes pour la photographie oblique et la photographie verticale. L'exploitation des quelque 60000 clichés rassemblés sur la Bourgogne, l'Alsace, la Champagne et l'Île-de-France ne pose en général pas de problèmes majeurs. S'ils couvrent un large éventail diachronique allant du néolithique à l'époque moderne, leur interprétation est le plus souvent étayée par référence à des formes bien connues : camps néolithiques de type "causewayed camp" (Autun),



Fig. 1 Eschau (France): sanctuaire

nécropoles à enclos circulaires simples, doubles ou triples (Heiteren, Wittelsheim, Artzheim en Alsace, Tréclun, les Maillys, Genlis, Bresse-sur-Tille en Bourgogne...), enclos quadrilatéraux de type cultuel (Vix) ou funéraire (Muntzheim, Longeault, Vix, Montmort...), sanctuaires gallo-romains à cella centrale carrée (Vertault, Eschau fig. 1), circulaire (Entrains), pentagonale (Saint-Usage), théâtres gallo-romains (Autun extramuros, Mâlain...), camps de légions (Mirebeau, Bisheim...), agglomérations et villas gallo-romaines multiples, organisées le plus souvent autour d'une cour carrée péristyle (Nicey, Griselles, Rouvres, Comblanchien...), mottes castrales et plates-formes de maisons fortes médiévales... Les cartes éditées en France par l'Institut Géographique National (IGN), très riches en informations topographiques de toutes natures, permettent de repérer aisément chaque structure. Partant d'un pointage rapide en vol sur la carte au 1/100000, complété par quelques clichés panoramiques incluant des

lignes caractéristiques du paysage, on aboutit à un "plotting" de plus en plus précis sur carte au 1/25000. Les sites définis par leurs coordonnées Lambert peuvent alors être enregistrés en base de données informatique sur logiciel Access (fig. 2).

La restitution graphique des plans sur fond cadastral ou cartographique n'atteint pas la précision obtenue avec un logiciel de redressement informatique (SCOLLAR 1978, WILSON 1982). Elle parvient cependant à une bonne approximation, même pour des sites étendus et complexes, lorsque l'on peut réunir un grand nombre de clichés pris à des dates, des altitudes, des angles différents. Même si les traces y sont généralement moins visibles, des "strips" de photographies verticales complétant les photographies en oblique basse sont particulièrement précieux puisqu'ils permettent de couvrir de façon plus exhaustive des ensembles et qu'ils en donnent une image plus proche du plan topographique (GOGUEY 1992). Les plans de synthèse ont ainsi pu être réalisés pour les

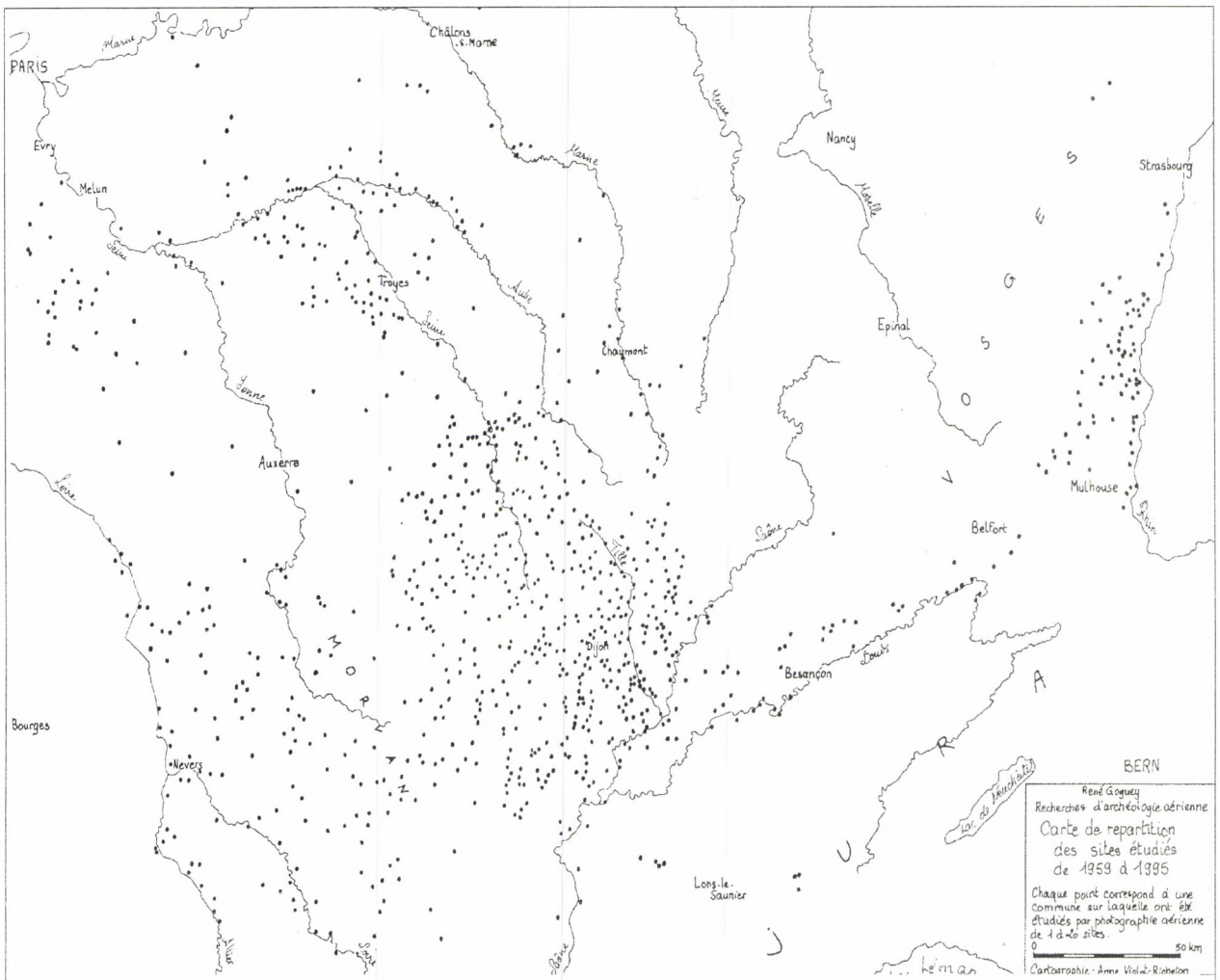


Fig. 2 France: carte de répartition des sites étudiés de 1959 à 1995.

agglomérations gallo-romaines de Côte d'Or, telles qu'Alésia, Vertault, Mâlain (GOGUEY 1994). Pour des sites moins homogènes, le repérage des différentes structures sur agrandissement au 1/10000 de la carte IGN 1/25000 est d'autant plus aisé que les lignes caractéristiques du paysage sont plus nombreuses: ainsi à Pluvet/Pluvault, dans le Val de Saône, le gisement est-il, clairement délimité par les maisons du village, une gravière, un chemin, des parcelles cadastrales de faible surface (fig. 3). Dans ce canevas peuvent être

l'extension de la recherche sur vastes zones montre que, même dans des pays aussi bien dotés de cartes modernes que la France, ce système peut rendre autant de services à l'archéologue qu'au pilote. Le développement des programmes de prospection aérienne/inventaire dans le cadre des Services Régionaux du Ministère de la Culture incite en effet à collecter le plus grand nombre possible de sites ponctuels plutôt que d'approfondir l'étude des sites majeurs dont l'emplacement est déjà connu, comme Alésia, Vix, Bi-



Fig. 3 Pluvet/Pluvault (France): site protohistorique à structures multiples

facilement insérés les fossés du parcellaire gallo-romain, les cicatrices de tumulus de terre et de gravier visibles sous forme d'enclos circulaires simples ou doubles, les grandes enceintes quadrilatérales à angles arrondis, les zones de prélèvement de matériaux, les fosses et trous de poteaux d'habitats (fig. 4). Lorsque des sites sont à la fois multiples et dispersés sur tout le territoire d'une commune, comme aux Maillys (au confluent de la Tille et de la Saône), on peut recourir à un orthophotoplan établi d'après les couvertures stéréoscopiques au 1/25000 de l'Institut Géographique National.

Le GPS dans les programmes de prospection aérienne-inventaire en France

On pourrait déduire que, dans les conditions exposées ci-dessus, l'emploi du GPS est superflu. Or,

bracte, Autun... Au cours de ces vols de prospection sur sites multiples, on s'aperçoit que le "plotting" demande parfois plus de temps que la photographie. En période favorable, un vol peut atteindre une durée de 5 heures sans escale, jusqu'à 8 heures dans la journée. La surface quadrillée est si vaste qu'elle ne permet pas d'utiliser une carte détaillée. La recherche des points de repère caractéristiques, de la carte de navigation générale au 1/500000 à la carte habituelle au 1/100000, exige des évolutions, des repérages d'axes et de caps qui peuvent être longs et fastidieux. Dans des zones d'intense circulation aérienne, les contrôleurs ne laissent pas toujours le temps nécessaire. Ainsi dans la vallée du Rhin en Alsace, la tour de contrôle de Bâle-Mulhouse rejette-t-elle rapidement l'avion qui évolue dans son secteur, pour le transférer au contrôle militaire de Colmar, qui en fait de même

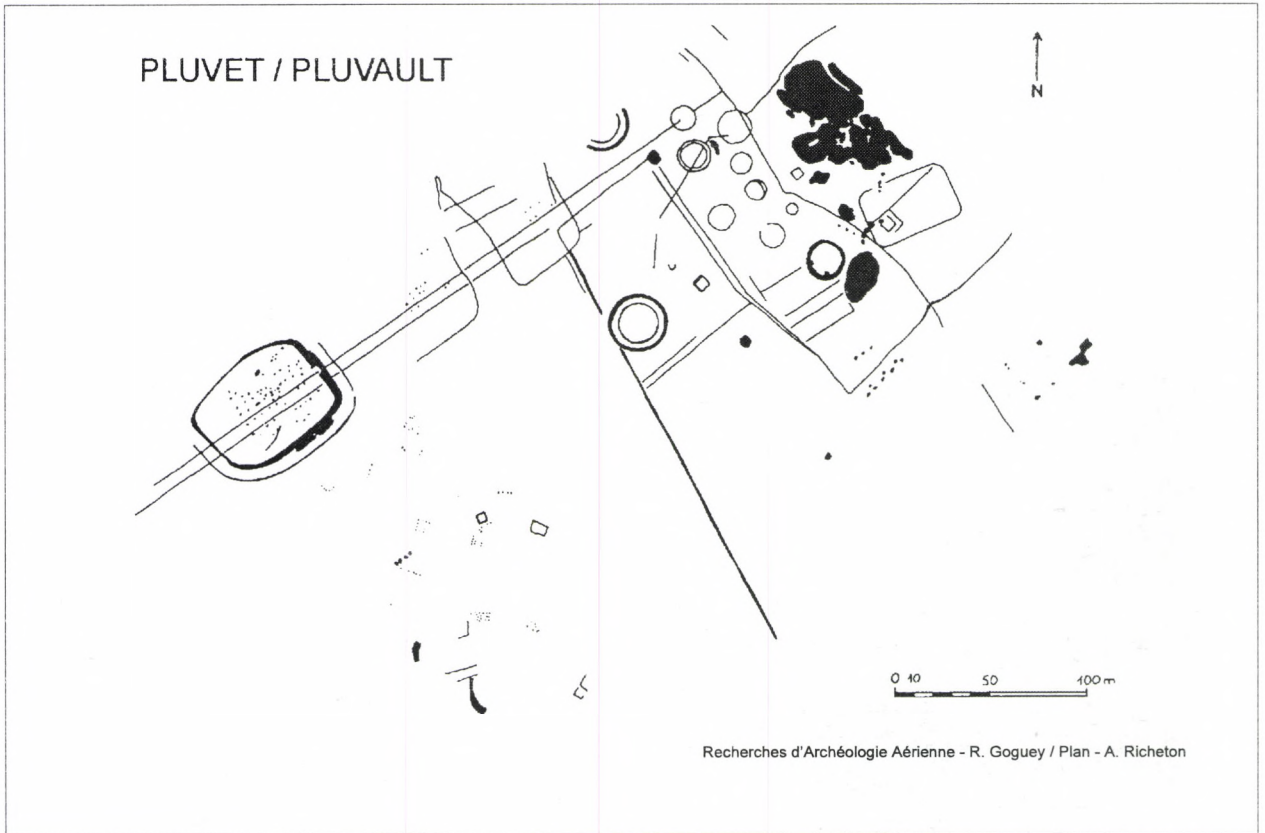


Fig. 4 Pluvet/Pluvault (France): plan de synthèse

au profit de Strasbourg. Les difficultés de repérage sont encore accrues sur les massifs forestiers (où des défrichements partiels révèlent souvent les empièvements de tumulus, de villas, de parcelles), sur les massifs montagneux comme les Alpes (où les déformations dues au relief créent une discordance entre le paysage aérien et la carte). Dans tous ces cas, la technique du GPS donne une localisation rapide et précise. Bien que les appareils utilisés en navigation aérienne progressent très vite, le GPS Garmin 1000 à technologie Multi Track monté en 1992 à bord de l'avion R 3000 remplit parfaitement sa mission. Il suffit en effet, pour mémoriser une position en longitude et latitude, de presser la touche de fonction "Autostore" qui affiche instantanément le nom (optionnel) et le numéro du "way point", ses coordonnées, le choix "store in route" qui permet de la mémoriser sur un trajet et de reconstituer par conséquent au sol la route suivie. Une capacité de 250 points mémorisables assure – très largement – l'enregistrement des sites photographiés au cours de la journée de prospection aérienne la plus intensive. Il suffit chaque soir de transcrire les coordonnées sur le carnet de vol où sont brièvement décrites chacune des structures repérées. Un couplage direct est même possible avec un ordinateur con-

figuré. La confrontation de ces données avec les photographies et les cartes au 1/25000 permettra d'affiner au sol chaque localisation et de fournir aux archéologues de terrain des dossiers faciles à exploiter.

Mais cette démarche "chercheur aérien – GPS – archéologue" est inversée lorsque la prospection "tous azimuts" fait place à une recherche sur objectifs prédéterminés. Souvent, en effet, des sites inconnus sont signalés à la suite de découvertes fortuites (éléments architecturaux arrachés par des labours, vestiges mis au jour par des pelleteuses...) ou de prospections de surface (tegulae, tessons de céramique, objets divers...). En navigation classique, par calcul de cap et distance, l'arrivée sur la zone signalée n'est le plus souvent qu'approximative car en vol de prospection archéologique on ne peut accorder toute son attention aux variations de dérive et de vitesse/sol. D'où une perte de temps parfois importante pour détecter tel champ dans un paysage uniforme de labours. Avec le GPS, il suffit d'entrer au départ les coordonnées du site dans la fonction "waypoint". La procédure "GO TO" appliquée à ce point affichera la distance entre l'avion et le site, la vitesse/sol, le cap à suivre et soit le temps de route ou l'heure précise d'arrivée sur le site. Le calcul de ces paramètres est sans cesse réactualisé :

si le trajet est interrompu par la découverte d'un site imprévu et si des circuits sont nécessaires à la photographie, il suffit de jeter un coup d'œil sur l'écran du GPS pour retrouver le cap exact.

Autre forme de prospection aérienne fréquente en France depuis quelques années: l'étude de tracés d'autoroutes, de trains à grande vitesse (TGV), de canaux à grand gabarit (du Rhône au Rhin). Le survol exact en est toujours difficile puisqu'il s'agit d'un tracé virtuel, non rectiligne et sans repères dans le paysage. Ainsi, la prospection aérienne commencée en 1995 sur le projet de TGV Rhin-Rhône porte sur une zone de prairies et de petits champs sur lesquels on place mal les limites du tracé. La procédure de navigation GPS par "route" est dans ce cas d'une grande simplicité: le tracé d'ensemble est divisé en segments déterminés par un certain nombre de "way points" sont les coordonnées successivement mémorisées. Le vol se déroulera du point 1 (entrée de bande) au point 2 puis 3 par l'affichage de la fonction "GO TO" et du numéro du point. Un signal sonore de proximité peut même avertir de l'arrivée sur chaque "way point". En mode de navigation "offset", la route pourra être décalée, à droite ou à gauche, d'une distance prédéterminée pour faciliter la recherche visuelle sous le meilleur angle. Mais ce confort d'utilisation n'est qu'un aspect secondaire. Deux critères restent essentiels: fiabilité du système, précision des données.

La fiabilité d'un système de navigation, si perfectionné soit-il, n'est jamais totale en aviation s'il n'est doublé par aucun autre. Une déficience électronique est toujours possible. Aussi le GPS n'est-il pas reconnu comme système de navigation primaire en France. Ses concepteurs en indiquent les limites: "le gouvernement des Etats-Unis d'Amérique est le seul responsable, tant en ce qui concerne sa précision que son maintien en état" et "toute aide de ce type, mal utilisée ou mal interprétée, peut devenir dangereuse". Dans la pratique, les dysfonctionnements sont dus à une géométrie défectueuse des positions satellites, ou à l'acquisition d'un nombre insuffisant de satellites, dont le pilote est averti par les messages "Degraded accuracy" ou "Poor GPS coverage". A l'extrême, le GPS ne transmet plus aucune information, sauf "No GPS Position", comme on a pu le constater en 1993 et 1994 en Europe Centrale dans une zone du lac Balaton. Le GPS n'exclut donc pas l'usage des cartes et des méthodes de navigation VFR ou IFR classiques. Mais l'expérience montre que 99% des cas, on peut lui faire confiance, et que par les messages d'alerte on est averti des problèmes techniques.

La précision annoncée pour les utilisateurs civils est de 15 mètres pour la mesure d'une position en 3 D, mais sujette à une dégradation volontaire de 100

mètres, 2 D par le Ministère de la Défense des Etats-Unis. Cette précision de 15 mètres est effectivement obtenue lorsque qu'un nombre suffisant de satellites est acquis dans une géométrie favorable, ce qui correspond à la majorité des cas. Elle est satisfaisante à l'échelle de la carte archéologique. Mais une erreur plus importante peut découler des conditions d'enregistrement. Le GPS aéronautique ne donne en effet pas la position du site au sol, mais celle de l'avion dans l'espace. Celle-ci est difficile à apprécier en vision oblique, qui est celle des prises de vues habituelles. La technique utilisée en photographie verticale permet d'obtenir les résultats les plus précis: au cours d'un passage sur axe rectiligne et à altitude stabilisée, le "top" d'enregistrement est donné lorsque le site apparaît, soit dans l'objectif de la caméra, soit dans le hublot de plancher. Un couplage entre la caméra et le GPS pourrait être envisagé pour enregistrer automatiquement les coordonnées de chaque série de photographies.

Les missions franco-hongroises d'archéologie aérienne sur les vallées du Danube et de la Tisza : GPS et carte digitalisée

Comme ses voisins de l'Europe Centrale et de l'Europe de l'Est, la Hongrie est restée longtemps à l'écart de toute prospection aérienne (GOGUEY-SZABÓ 1995, 95-97), les travaux de Zsolt Visy sur le limes romain de Pannonie ne s'appuyant que sur les archives militaires (VISY 1985). Elle présente cependant un intérêt tout particulier avec la richesse bien connue de ses sites néolithiques et protohistoriques, et sa partition marquée par le Danube entre le monde romain et le monde barbare. Les recherches menées à bord de l'avion "Conseil Régional de Bourgogne" en 1993, 94 et 95 avec la collaboration de l'Institut Archéologique de l'Université Eötvös Loránd ont très vite démontré l'efficacité de la photographie aérienne sur la Transdanubie et sur la Grande Plaine Hongroise (GOGUEY 1994). La carte de répartition (fig. 5) présente une première approche des sites étudiés, leur inégale densité s'expliquant surtout par l'inégale répartition des survols à partir des aérodromes de Sármező-Balaton (1993), de Nyíregyháza (1994) et de Kaposvár-Kaposújlak (1995). Un certain nombre des structures détectées sont comparables à celles que l'on connaît bien en Europe Occidentale: large fossé circulaire à Lengyel, grappes de petits enclos circulaires à Nagyabjacs, maison et grenier à trous de poteaux à Und (fig. 6), ensemble "enceinte à porte en tenaille-enclos quadrilatéraux" à Nagydorog, villas romano-celtiques à Polgárdi et à Szabadhidvég... Mais les traces les plus fréquentes sont aussi difficiles à interpréter pour l'archéologue aérien que pour l'archéologue de ter-

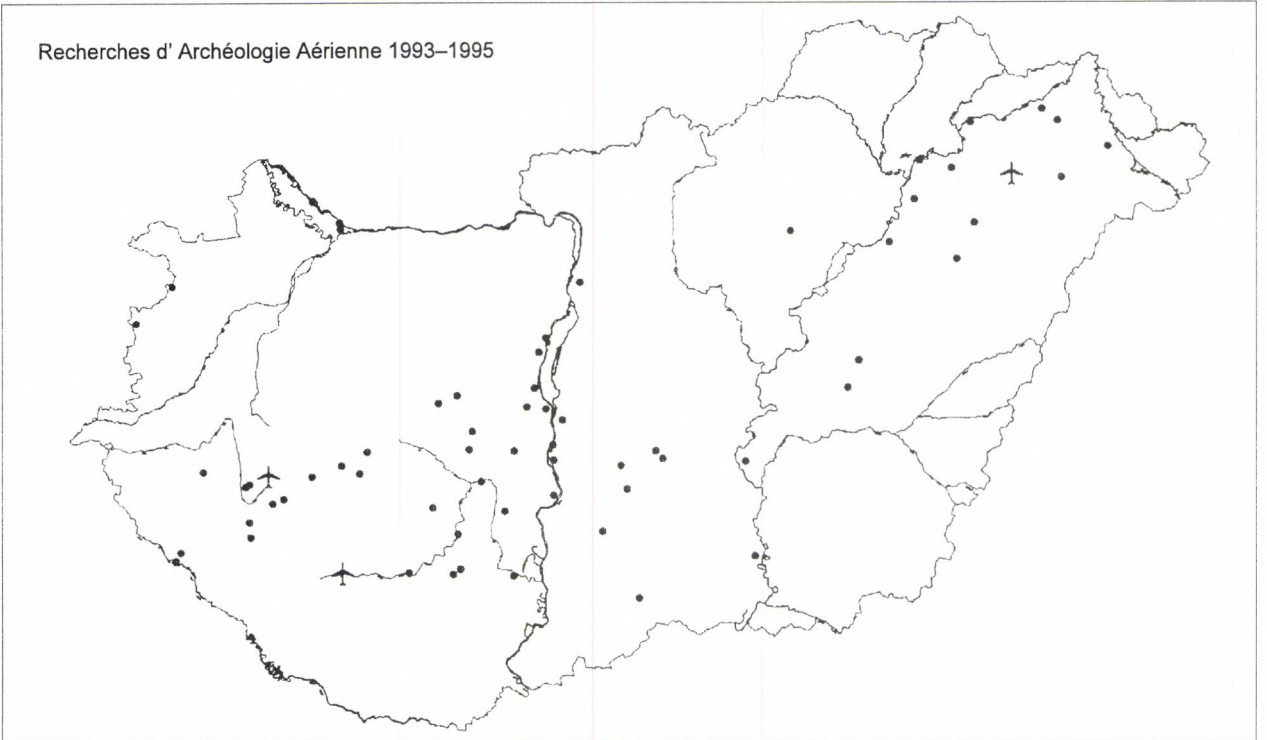


Fig. 5 Hongrie: carte de répartition des sites étudiés en 1993-1994-1995

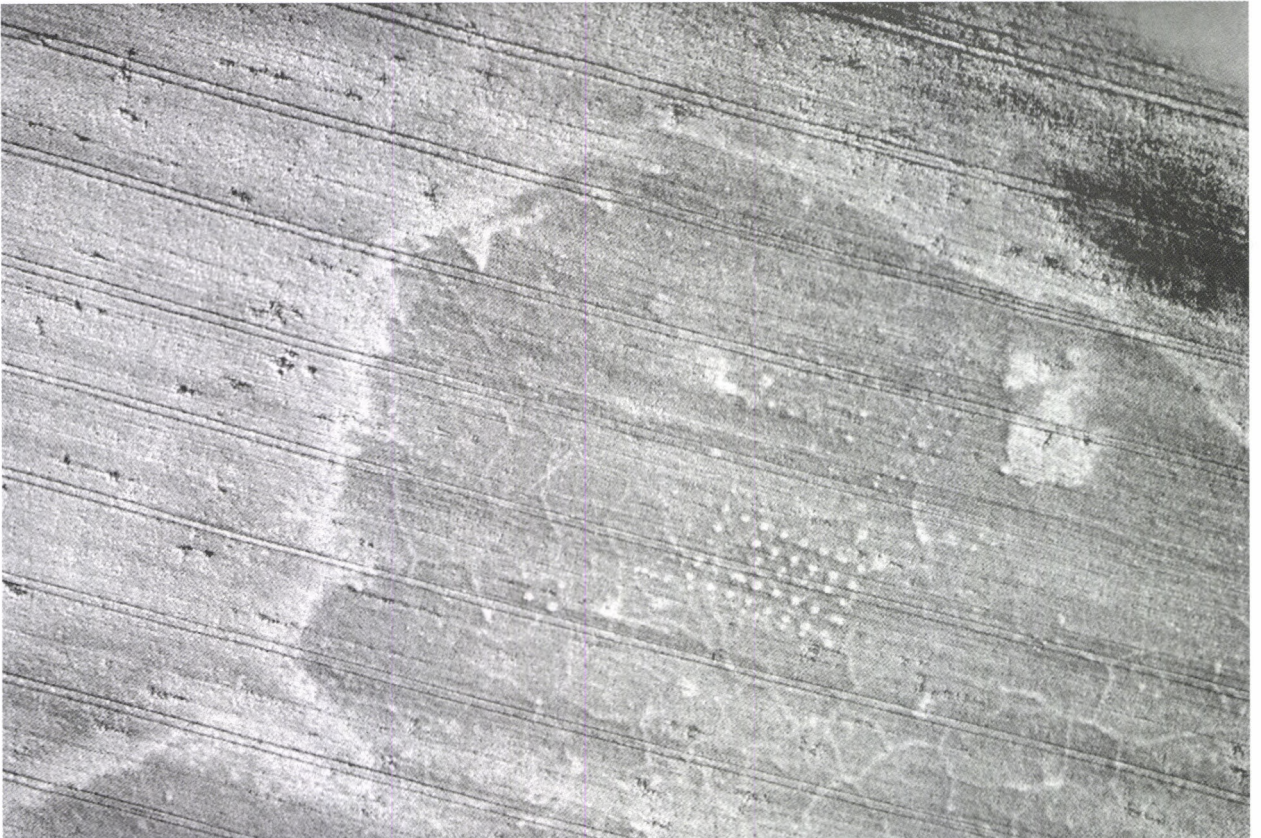


Fig. 6 Und (Hongrie): maison à trous de poteaux, grenier, palissades sur fond de polygones périglaciaires

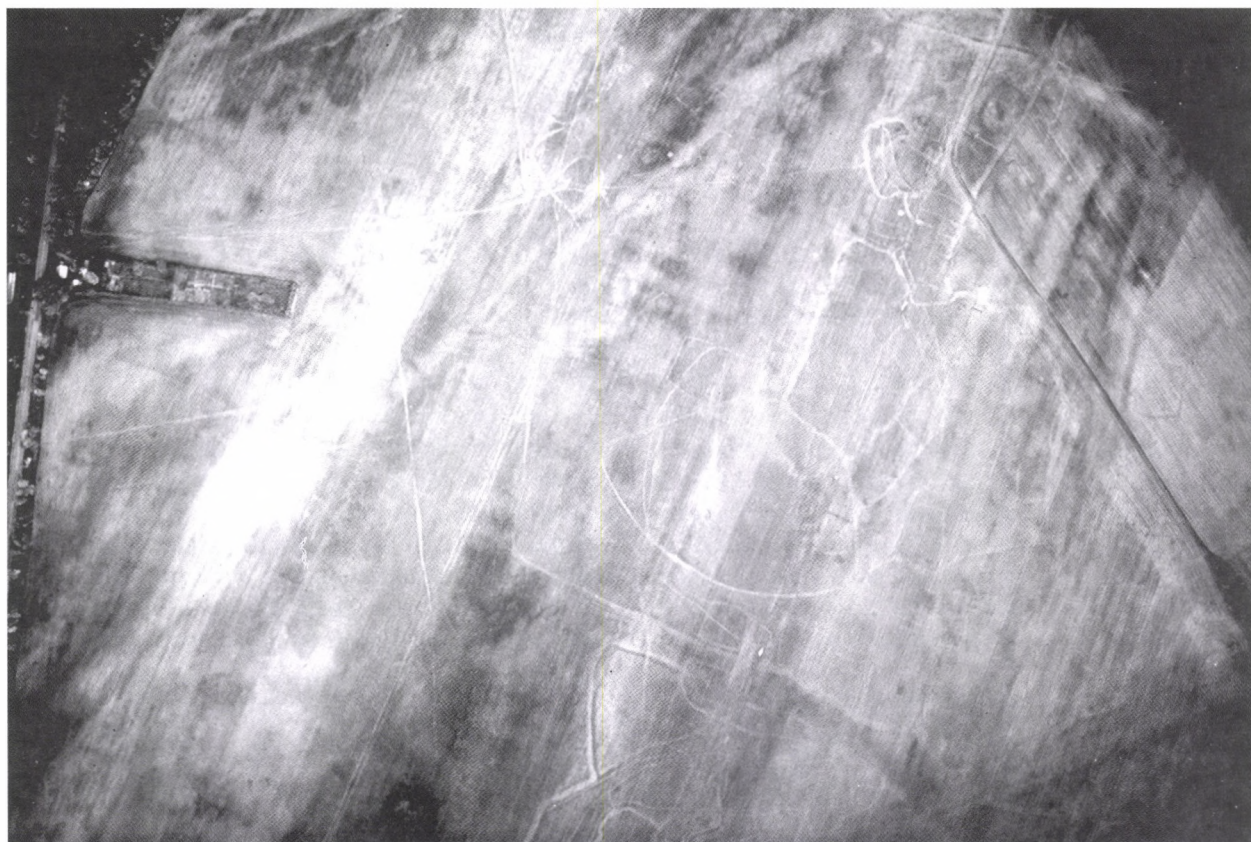


Fig. 7 Szalkszentmárton (Hongrie): parcellaire et habitats (photo verticale partielle)

rain. Si dans la vallée du Danube le parcellaire photographié sur la rive droite à Beloiannisz présente quelques points communs avec celui de Little Bromley dans l'Essex (WILSON 1982), celui de Szalkszentmárton sur la rive gauche déroule sur une quinzaine d'hectares des enclos à palissades en forme de rectangles irréguliers, d'éventails, d'absides dont on saisit mal l'origine (photo partielle fig. 7 et plan d'ensemble fig. 8). Au Sud, les vastes retranchements arasés découverts à Szekszárd semblent d'origine militaire, mais ils ne correspondent pas à aucun type connu. Peut-on avancer l'hypothèse de fortifications turques ? Dans les méandres fossiles de la Tisza, les milliers de taches observées, apparemment multiformes et inorganisées, avaient-elles une origine archéologique ? Leur recensement systématique a été entrepris lorsque les photographies de Polgár permirent d'établir un parallèle entre les fosses et trous de poteaux d'installations néolithiques, celtiques et sarmates des fouilles de l'autoroute M3 et le semis de taches voisines.

Les campagnes de prospection aérienne sur la Hongrie n'auraient pu être menées à bien – ou du moins auraient-elles été très ralenties – sans le GPS.



SZALKSZENTMÁRTON (HONGRIE)

Recherches d'Archeologie Aérienne - R. Geoguy / Plan - A. Richeton

Fig. 8 Szalkszentmárton (Hongrie): plan de synthèse

Les essais de "plotting" traditionnel sur cartes se sont heurtés en effet à des difficultés. Les cartes aéronautiques (aeronautical chart ICAO 1:500000) ont les mêmes qualités que celles d'Europe Occidentale, mais leur échelle ne permet qu'un pointage très approximatif. Plus précises, les cartes au 1:100000 ont une graphie si confuse qu'elles sont illisibles en vol. Or, la présence d'espaces aériens contrôlés, civils (Budapest) ou militaires (Kecskemét) laisse peu de temps pour le pointage. Dans la Grande Plaine, mis à part le cours de la Tisza, les repères sont souvent rares dans le paysage. Le GPS a trouvé là une application optimale, favorisée par les recherches de cartographie digitalisée, effectuées à l'Institut archéologique de l'Université Eötvös Loránd. Dans le sens "archéologue de terrain - chercheur aérien", les objectifs à prospecter ont été systématiquement définis par leurs coordonnées GPS soit en "way points" isolés pour les sites ponctuels, soit en "way points" successifs pour les tracés d'autoroute M3 (Nord-Est) et M7 (Balaton-

Slovénie/Croatie). En sens inverse, tout site photographie a été mémorisé en "autostore", dont les coordonnées ont accompagné les jeux de clichés remis à l'Institut.

Localisation précise des photographies aériennes archéologiques à l'aide des cartes digitales et du GPS

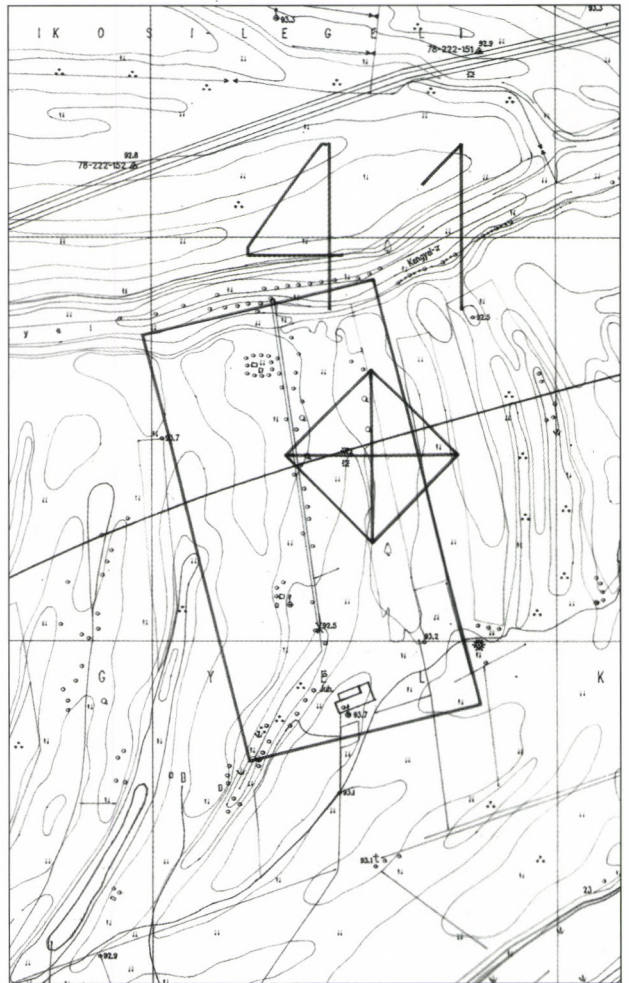
Depuis le début des années 90, le développement rapide des instruments de navigation satellite et des cartes digitales a permis d'identifier avec une grande précision le lieu des photographies aériennes archéologiques, et cela même tout à fait automatiquement.

La plupart de cartes digitales que l'on connaît sont faites par la digitalisation des cartes traditionnelles, c'est-à-dire à l'aide des cartes faites à partir des données analogues (satellite, orthophotographie).

La carte OTAB représentant le Hongrie est faite à l'aide de la digitalisation des cartes à l'échelle de 1:100000. Nous avons amélioré cette carte de base par la digitalisation et l'incorporation d'autres cartes à une



a



b

Fig. 9 Polgár (Hongrie): de la photographie verticale (fig. 9a) localisée au GPS à la carte digitalisée (fig. 9b)

échelle supérieure (1:10000 et 1:2000 pour les fouilles liées à la construction de l'autoroute M3).

Nous utilisons un logiciel simple, que nous avons développé pour la réception transfonctionnelle électronique des données satellite. Le logiciel est intégré dans les cartes digitales. Le document reproduit (fig. 9a–b) montre le résultat de cette digitalisation qui localise l'une des photographies verticales des traces maculiformes de Polgár dans des cartes de plus en plus générales.

Les contrôles ont montré que la précision de la localisation digitale est supérieure à celle des données du GPS original. La précision de la localisation fondée sur satellite et carte digitale dépend dans ce système de la précision des données GPS. Mais, si l'on considère l'extension des sites et la hauteur des enregistrements, on peut pratiquement ne pas tenir compte de l'erreur de celui-ci (+/-50 m maximum).

Notre système fonctionne également "à l'envers", c'est-à-dire que l'on peut imprimer des cartes aux coordonnées précises identifiant des sites recherchés à partir de la carte de base (carte OTAB) ou des fragments. Il paraît évident que l'on peut attacher une base de données aux cartes digitales avec toutes les informations concernant les photographies aériennes des sites divers appliquant cette technique. On peut même faire des archives d'enregistrement digitales.

En sa phase expérimentale, cette technique de cartographie informatisée est plus coûteuse que le "plotting" manuel. Mais elle est une solution d'avenir pour accompagner le développement d'une prospection aérienne systématique du patrimoine archéologique de l'Europe, dans la mesure où chaque équipage aérien voudra bien faire du GPS son instrument de référence.

Note

* Pour la réalisation des cartes, Anne Violot-Richeton (figures 2, 4, 5 et 8) et Ádám Marton (figure 9b) doivent être remerciés.

BIBLIOGRAPHIE

- GOGUEY 1992 GOGUEY, R., *Archéologie aérienne de la Loire au Rhin : du "dossier d'objectif" au plan de synthèse*. Colloque Archéologie Aérienne, Amiens, 1992, 297–305.
- GOGUEY 1994 GOGUEY, R., *Archéologie aérienne et agglomérations gallo-romaines de Côte d'Or*. les Belles Lettres 1994, 22–26; 143–148; 153–155; 171; 203–206; 213–222.
- GOGUEY 1995 GOGUEY, R., *Archéologie aérienne de la Seine au Danube : quelques aspects des récentes recherches sur la Bourgogne et la Hongrie*. Luftbildarchäologie in Mittel- und Osteuropa. Potsdam, Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte, 1995, 227–235.
- GOGUEY—SZABÓ 1995 GOGUEY, R.—SZABÓ, M., *L'histoire vue du ciel: photographie aérienne et archéologie en France et en Hongrie – A történelem madártávlattól, légi fényképezés és régészet Franciaországban és Magyarországon*. Budapest, 1995.
- SCOLLAR 1978 SCOLLAR, I., *Computer Image Processing for Archaeological Air Photographs*. World Archaeology 10(1978) 71–86.

VISY 1985

WILSON 1982

VISY, Zs., *Der pannonische Limes in Ungarn*. Budapest, 1985.WILSON, D.R., *Transcription and Data Retrieval*. Air Photo Interpretation for Archaeologists 1982, 195–204.

R. Goguey

pilote-archéologue

UMR 5594 Université de Bourgogne

9 bld Gabriel, 21000 DIJON

Z. Czajlik

ELTE Régészettudományi Intézet

1088 Budapest, Múzeum krt. 4/B