HAL
open science

Le laser révolutionne la prospection archéologique dans le massif forestier de Haye

Muriel Georges Leroy, Jérôme Bock, Etienne E. Dambrine, Jean-Luc Dupouey

To cite this version:

Muriel Georges Leroy, Jérôme Bock, Etienne E. Dambrine, Jean-Luc Dupouey. Le laser révolutionne la prospection archéologique dans le massif forestier de Haye. Journée d'étude archéologique, association pour le développement de la recherche agronomique en Lorraine et Cercles d'études locales de Contrexéville, Mar 2008, Contrexeville, France. pp.11-13. hal-02824264

HAL Id: hal-02824264

https://hal.inrae.fr/hal-02824264v1

Submitted on 6 Jun 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.

Compte-rendu de la journée d'étude archéologique, Association pour le Développement de la Recherche Archéologique en Lorraine (ADRAL) et Cercle d'Études Locales de Contrexéville, 30 mars 2008, Contrexéville, 11-13

Le laser révolutionne la prospection archéologique dans le massif forestier de Haye

Murielle Georges-Leroy[1], Jérôme Bock[2], Etienne Dambrine[3], Jean-Luc Dupouey[3]

1 DRAC de Lorraine, SRA – 6, place de Chambre – 57045 Metz cedex 1
2 ONF, Pôle R&D, DT Lorraine – Bâtiment 802 – 54840 Velaine-en-Haye
3 INRA, CRF – 54280 Seichamps

Un levé topographique par laser aéroporté ou LIDAR (*LIght Detection and Ranging*) a été réalisé en mars 2007 dans le massif forestier de Haye, situé à côté de Nancy (Meurthe-et-Moselle), dans le cadre d'un programme de recherche interdisicplinaire, regroupant le Service Régional de l'Archéologie de Lorraine, le centre de Nancy de l'Institut National de Recherches Agronomiques et l'Office National des Forêts. Ce programme porte sur les habitats et parcellaires fossiles gallo-romains conservés sous couvert forestier sur les plateaux calcaires entre Pont-à-Mousson et Neufchâteau, ainsi que sur leur impact sur la biodiversité et la fertilité actuelles (Dupouey *et alii* 2002 et 2007 ; Georges-Leroy *et alii* 2003 et 2007). Ces vestiges se présentent sous la forme de pierriers (murées) ou de terrasses, parfois longs de plusieurs centaines de mètres et hauts de quelques dizaines de centimètres à 1,50 m. Ils délimitent des anciens champs ou pâtures, mais aussi des voies, et sont associés à des habitats également conservés sous forme de micro-reliefs.

Fin 2006, 7 à 8000 ha avaient été cartographiés dans le massif forestier de Haye, soit près de 200 km de murées et terrasses, 45 km de voies antiques et de chemins de toutes époques et une cinquantaine d'habitats. Ces travaux de cartographie ont été réalisés au GPS depuis 2000, mais ils comprennent principalement des relevés effectués au décamètre ou au topofil et à la boussole. Les modes d'acquisition de ces données ont entraîné des précisions très inégales, variant de 1 m à plusieurs dizaines de mètres selon les zones prospectées. De plus, leur compilation et leur intégration à un système d'information géographique (SIG) se sont également soldées par une perte de précision. Seul l'usage du GPS, outil qui permet une approche à grande échelle avec une intégration immédiate à un SIG, aurait pu améliorer cette précision. Toutefois cela n'était pas envisageable compte tenu des moyens humains qu'il aurait fallu y consacrer et de l'inaccessibilité actuelle de certains secteurs suite à la tempête de 1999 (présence de ronces, régénérations denses, ...). C'est pourquoi un levé topographique très précis par laser aéroporté a été programmé afin de repositionner les vestiges archéologiques connus, mais aussi pour explorer les zones inaccessibles.

Par ailleurs, cette méthode de télédétection va aussi permettre d'acquérir des informations sur les peuplemnts forestiers (hauteur des arbres principalement). Or, en foresterie, la hauteur à un âge donné est un indicateur de la fertilité des sols. Un croisement entre ces données forestières, les informations archéologiques et les données écologiques recueillies par les chercheurs de l'INRA devrait également permettre d'analyser l'impact de l'utilisation ancienne des sols sur l'état et le fonctionnement des écosystèmes forestiers actuels (diversité végétale, productivité des peuplements). Il faut noter que c'est la mutualisation des moyens des trois organismes qui a permis la réalisation de ce levé, après une année de « gestation » et d'élaboration du cahier des charges.

Une nouvelle méthode pour l'archéologie

Le levé LIDAR est une technique de télédétection développée dans les années 1995 et qui a été utilisée pour la première fois à des fins archéologiques par une équipe du *Landespflege Freiburg* (Benoît Sittler) au début des années 2000 sur des champs bombés conservés en forêt à Rastatt en Pays de Bade (Sittler, Hauger 2007). Le principe consiste en un survol à basse altitude de la zone d'étude à l'aide d'un avion équipé d'une source laser qui balaye très rapidement les surfaces au sol, par bandes de quelques centaines de mètres de largeur (de Joinville *et alii* 2003). Les rayons laser sont interceptés par les cibles (branches, feuilles, tronc, bâtiments, sol) et renvoyés en direction de l'avion où un capteur détecte l'intensité et le temps de retour du signal. Ce temps de retour dépend de l'altitude de la cible qui est ainsi calculée. Des systèmes de positionnement dans l'avion et au sol, permettent de recalculer la trajectoire de l'avion et d'en déduire la position des points d'impact avec une précision de quelques centimètres en altitude (z) et de quelques dizaines de centimètre en planimétrie (x, y). Le taux de pénétration au sol des impulsions laser dépend de la végétation. Afin de l'améliorer, le vol doit se réaliser en période hivernale, lorsque les arbres ont perdu leurs feuilles. Dans ces conditions, on peut estimer à 30 à 50 % ce taux de pénétration du laser au sol. La précision du procédé et, en corollaire, son coût financier dépendent également d'un certain nombre de paramètres de vol : altitude de l'avion, fréquence des impulsions laser émises, angle de scannage (qui influe sur la pénétration du rayon dans le couvert végétal).

Le vol LIDAR au-dessus de la forêt de Haye, qui a duré deux jours, a porté sur une surface de 113 km^2, avec une densité moyenne de 5,2 impulsions émises par m^2. Par ailleurs deux secteurs ont fait l'objet d'un survol complémentaire, avec une plus grande densité de points (10 points/m^2) : un secteur de RBI (réserve biologique intégrale) de 80 ha, où aucune intervention forestière n'a été réalisée depuis la tempête de 1999 et une bande de

6 km de long comprenant deux secteurs de dispositifs expérimentaux de l'ONF. Plusieurs centaines de millions d'impulsions ont donc été émises et l'on peut estimer à près de 1,5 milliards le nombre d'échos mesurés, puisque jusqu'à 4 échos ont été enregistrés pour chaque impulsion émise. La première étape du traitement des données a été réalisée par le prestataire de service. Il s'agit de la séparation des points ayant touché le sol de ceux ayant impacté la végétation (points dits de « sursol »), après avoir éliminé les erreurs (points « hauts », points « bas »). Ce traitement permet en quelque sorte d'effacer la forêt. Par ailleurs, le prestataire a également livré les données sous forme d'un MNT (modèle numérique de terrain) pour le sol et d'un MNE (modèle numérique d'élévation) pour la végétation (fig. 1).

Concernant les aspects archéologiques, les données fournies sont ensuite importées et utilisées dans un logiciel de type SIG (ArcGis 9.2 et son extension 3DAnalyst). Un certain nombre de traitements sont alors appliqués pour les visualiser et les étudier. La visualisation la plus immédiate consiste à appliquer un ombrage au MNT ou au TIN généré à partir du semis de points[1], en jouant sur l'altitude et les directions d'éclairage afin de faire apparaître l'ensemble des micro-reliefs. Cette étape en apparence simple nécessite pourtant une certaine expérience pour optimiser la vision des structures archéologiques. Les autres traitements permettent la réalisation de cartes de pente et d'exposition ou l'interpolation de courbes de niveau, de quelques centimètres d'équidistance. Ces données peuvent également être visualisées en 3 dimensions et des coupes de terrain peuvent être facilement réalisées.

Des résultats spectaculaires

Figure 1 : à gauche, image LIDAR obtenue à partir du Modèle Numérique d'Elévation (sommet de la végétation). On devine les différents types de peuplements forestiers, ainsi que les routes forestières ; à droite, image LIDAR ombrée obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain. Outre les routes et chemins forestiers, on observe les parcellaires et voies antiques, ainsi que les habitats composés d'enclos entourant un ou plusieurs bâtiments (documents DRAC Lorraine – INRA Nancy – ONF).

L'observation des premiers secteurs livrés (environ 52 km^2) montre que les structures linéaires, même celles qui sont très peu élevées et quasi imperceptibles à l'œil sur le terrain, apparaissent remarquablement bien (fig. 1) y compris dans les zones totalement détruites par la tempête et même dans la zone de RBI où les arbres n'ont pas été dégagés. Ce fait n'était pas acquis d'avance. Beaucoup de nouveaux tronçons de murées et terrasses ont été identifiés et les erreurs de cartographie ont pu être corrigées sur ceux déjà connus. La cohérence du parcellaire antique apparaît ainsi beaucoup plus nettement que sur les levés précédents menés par prospection au sol ; les images LIDAR permettant un recul que l'on n'a que rarement en forêt à cause de la végétation. Concernant les structures plus ponctuelles, le résultat est également très positif, puisque 7 nouveaux habitats ont été repérés, pour une cinquantaine déjà identifiés, et que la perception de l'organisation de certains habitats connus a été totalement renouvelée. Par ailleurs, parmi les habitats connus, seuls quelques petits bâtiments isolés présentent une image LIDAR peu reconnaissable. Enfin, ce levé va également permettre d'étudier des vestiges non concernés par le programme sur les parcellaires et intéressant d'autres équipes, comme par exemple des sites de hauteur fortifiés protohistoriques (« Côte du Pimont » à Frouard, « La Fourasse » à Champigneulles, « Camp d'Affrique » à

Messein – fig. 2) ou des minières de fer du Moyen Age, mais aussi de nombreux vestiges militaires de la fin du XIXe ou du début du XXe s. (forts, batteries, etc).

Un protocole de vectorisation est en cours d'élaboration pour préciser les entités à cartographier et pour définir un certain nombre d'attributs des structures (morphologie, dimensions, etc). Ensuite, ces résultats seront comparés puis combinés avec les données existantes et éventuellement validés sur le terrain, afin d'établir la cartographie la plus complète possible des vestiges de ce parcellaire fossile.

Figure 2 : Vue 3D du site de hauteur fortifié du Camp d'Affrique à Messein (document DRAC Lorraine – INRA Nancy – ONF).

Ces travaux vont également permettre de valider la méthode et surtout ses différents paramètres (notamment en matière de densité de points). Dans le massif de Haye, nous allons pouvoir la tester dans différents contextes forestiers (futaies, taillis denses,…), mais aussi sur des zones forestières totalement détruites par la tempête de décembre 1999, avec présence de nombreux chablis et même des zones non dégagées des arbres couchés par la tempête (RBI). Les premières analyses de la densité des points arrivés au sol (en moyenne 2,4 points au m^2 dans les zones balayées à 5,2 pts/m^2) montrent en effet une grande variation, liée d'une part à la position des bandes de vol (zones de recouvrement), mais aussi aux types de peuplements forestiers. La finesse de lecture des micro-reliefs dans ces différentes conditions pourra être appréhendée.

D'ores et déjà, on peut affirmer que cette méthode marque une étape décisive dans l'histoire de la télédétection et que l'année 2007 signe son lancement pour l'archéologie métropolitaine, avec, outre le vol lorrain, des levés en Alsace, Bourgogne, Bretagne ou Languedoc.

1 Le TIN (*Triangular Irregular Network*) ou Réseau de Triangles Irréguliers est un mode de représentation des données sous forme de facettes triangulaires 3D calculées à partir d'un semis de points cotés.

Dupouey *et alii* 2002 : J.-L. DUPOUEY, E. DAMBRINE, J.-D. LAFFITE, C. MOARES, Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity, *Ecology*, 83(11), 2002, p. 2978-2984.

Dupouey *et alii* 2007 : J.-L. DUPOUEY, D. SCIAMA, J.-D. LAFFITE, M. GEORGES-LEROY, E. DAMBRINE, Impact des usages agricoles antiques sur la végétation en forêt de Saint-Amond : interaction avec le traitement sylvicole actuel, *in La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement. 14 au 16 décembre 2004*, 2007, p. 181-189.

Georges-Leroy *et alii* 2003 : M. GEORGES-LEROY, E. DAMBRINE, J.-L. DUPOUEY, J.-D. LAFFITE, Habitats gallo-romains et structures agraires fossiles du plateau de la Côte bajocienne (Meurthe-et-Moselle et Vosges). Etat de la question, *in Actualité de la recherche en histoire et archéologie agraire, Actes du colloque international AGER V, septembre 2000*, Besançon, Presses Universitaires Franc-Comtoises, 2003, p. 173-180 (*Annales Littéraires*, 764).

Georges-Leroy *et alii* 2007 : M. GEORGES-LEROY, D. HECKENBENNER, J.-D. LAFFITE, N. MEYER, avec la collab. de E. DAMBRINE et J.-L. DUPOUEY, Les parcellaires anciens fossilisés dans les forêts lorraines, *in La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement. 14 au 16 décembre 2004*, 2007, p. 121-131.

de Joinville *et alii* 2003 : O. de JOINVILLE, S. SAUR, F. BRETAR, Le levé laser aéroporté : techniques, applications et recherche, *Bulletin d'information scientifique et technique de l'IGN*, 74 (2003/3), p. 37-52.

Sittler, Hauger 2007 : B. SITTLER, K. HAUGER, Les apports du laser aéroporté à la documentation de parcellaires anciens fossilisés par la forêt : L'exemple des champs bombés de Rastatt en pays de Bade, *in La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement. 14 au 16 décembre 2004*, 2007, p. 155-161.