



**HAL**  
open science

## Les structures archéologiques et les peuplements de la forêt domaniale de Haye analysés par laser aéroporté

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

### ► To cite this version:

Jérôme Bock, Jean-Luc Dupouey, Etienne E. Dambrine, Murielle Georges Leroy. Les structures archéologiques et les peuplements de la forêt domaniale de Haye analysés par laser aéroporté. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2008, 20, pp.15-18. hal-02664105

**HAL Id: hal-02664105**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02664105>**

Submitted on 31 May 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.

# t e c h n i q u e s

## RenD ez - V o u s

n° 20 - printemps 2008



**Dossier**  
p.19

**Forêt et lutte contre l'effet de serre**

**Observatoire de l'orpaillage en Guyane**



p. 10

patrimoine  
sylviculture  
progrès

connaissances

économie

forêts et société  
environnement

biodiversité

gestion durable

# Les structures archéologiques et les peuplements de la forêt domaniale de Haye analysés par laser aéroporté

En mars 2007, un avion a survolé la forêt de Haye pour en percevoir, avec une technique révolutionnaire de télédétection laser (LIDAR), les secrets archéologiques et forestiers. L'opération, la plus importante du genre en forêt française, devait aboutir à la réalisation de « la carte du plus grand cadastre gallo-romain connu en Europe » et à des évaluations en matière dendrométrique et de biodiversité. En voici les premiers enseignements, très prometteurs.

L'inventaire des vestiges archéologiques en forêt présente un intérêt patrimonial majeur ne serait-ce que par l'ampleur des surfaces concernées. L'analyse de leur répartition fournit d'autre part une des clés de compréhension du fonctionnement actuel des écosystèmes forestiers car les anciens usages de ces forêts influencent encore leur fertilité et leur biodiversité actuelles (Dupouey et al., 2002 et 2007).

En Lorraine, un des plus grands parcellaires gallo-romains connus en Europe a été patiemment levé dans la forêt de Haye grâce à une collaboration de longue haleine entre l'INRA, l'ONF et le Service régional de l'archéologie de Lorraine (DRAC). Des campagnes de terrain ont permis d'inventorier les vestiges des parcellaires fossiles sur plus de 6 700 ha. Ils correspondent à des structures agraires (limites de parcelles, terrasses, tas d'épierrement, etc.) mais aussi à des voies, chemins, enclos et habitations, marqués par des dénivelés de quelques dizaines de centimètres. Ils se présentent sur le terrain sous forme de pierriers qui nous restituent un véritable paysage fossilisé (Georges-Leroy et al., 2007).

Mais, fin 2006, ce travail fastidieux de cartographie sur le terrain était encore loin d'être achevé. Certaines parties du massif restaient mal connues car peu accessibles, en particulier les zones endommagées par la tempête de 1999. La précision des levés était moyenne, puisque les sites ont été positionnés à l'aide de techniques classiques (topofil et boussole ou GPS). C'est pourquoi l'ONF, l'INRA et la DRAC se sont associés dans un projet de recherche commun utilisant une nouvelle technique de télédétection par laser aéroporté (LIDAR, voir encadré pour le principe de fonctionnement), avec trois objectifs principaux :

- apprécier les capacités du LIDAR à identifier précisément des structures archéologiques sous forêt et obtenir ainsi une cartographie de l'utilisation ancienne des sols ;
- tester la possibilité d'utiliser le LIDAR pour la mesure de certains paramètres dendrométriques des peuplements, en particulier la hauteur ;
- étudier l'impact de l'utilisation ancienne des sols à l'époque gallo-romaine sur le fonctionnement actuel des écosystèmes forestiers (selon les résultats des deux premiers objectifs).

## Une nouvelle méthode pour scruter les forêts

En décembre 2004, lors du colloque « Forêt, archéologie et environnement », les résultats présentés par Benoît Sittler à partir de données LIDAR laissaient envisager des perspectives de recherche prometteuses. Cette technique avait permis de mettre en évidence des structures agraires (champs bombés) sous une forêt séculaire en Pays de Bade et les clichés publiés montraient clairement des séries de crêtes et de creux parallèles, organisés en parcelles agricoles, invisibles en photographie aérienne (Sittler et Hauger, 2007). En mars 2007, les fonds nécessaires ayant été réunis, un avion équipé d'un LIDAR a survolé la forêt de Haye à basse altitude pendant 2 jours afin de cartographier précisément l'ensemble des vestiges archéologiques et la végétation qui les recouvre (voir encadré).

La zone d'étude correspond aux 112 km<sup>2</sup> du massif forestier de Haye localisé dans une boucle de la Moselle située en bordure ouest de Nancy (Meurthe-et-Moselle). Le massif est composé essentiellement de feuillus (hêtre-chêne-charmaie principalement). Les

## La technique LIDAR

Le laser ou LIDAR (pour Light Detection and Ranging) aéroporté est une technique de télédétection qui permet de modéliser la topographie du sol et de la végétation sous forme d'un nuage de points en 3 dimensions avec une précision d'une dizaine de centimètres.

Le matériel utilisé pour ce projet, de type Leica ALS 20 II, cadencé à 120 kHz, permet d'envoyer 5 à 10 impulsions laser par mètre carré de sol, selon les paramètres du vol. Une partie de ces rayons laser (environ 40 à 75 % selon les caractéristiques du couvert) est interceptée par la végétation (branches, tronc, feuilles, queue d'écureuil...). Le reste atteint le sol. À chaque impact, une partie du signal est réfléctée vers l'avion. L'altitude de chacun de ces impacts peut être déduite du temps de retour du signal et l'intensité de ce signal donne des indications sur les propriétés physiques de l'objet rencontré.

Les données GPS (provenant de stations au sol et de l'avion) et une centrale inertielle embarquée permettent, après trajectographie, de géoréférencer précisément l'ensemble du semis de points.

Un traitement informatique permet de générer, après classification des points, deux modèles numériques, l'un pour la surface du sol (MNT) et l'autre pour la canopée, la différence entre les deux correspondant à la hauteur de la couche de végétation.

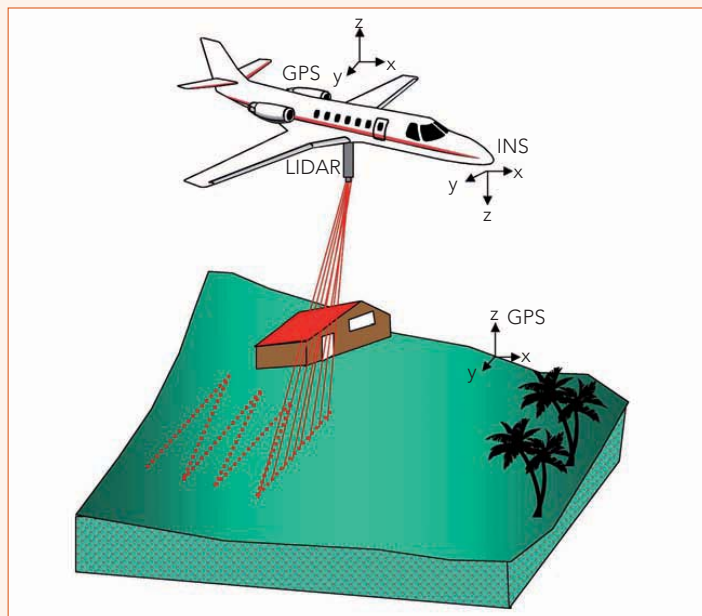


Schéma de la technique LIDAR

## Les premiers résultats : des images fascinantes...

Les données nous ont été livrées en septembre 2007 et mars 2008 et déjà les premiers résultats laissent entrevoir des recherches et des applications très prometteuses. Outre des structures déjà connues comme celle du site de hauteur fortifié du 5<sup>e</sup> s. av. J.-C., appelé Camp d'Affrique (figure 1), de nouvelles structures inconnues ont été découvertes (figure 2) en particulier dans les zones qui étaient (ou sont encore actuellement) inexplores en raison d'une régénération dense, d'un terrain accidenté par la tempête, etc.

Assez rapidement, après un gros travail d'interprétation et de vectorisation qui sera réalisé par la DRAC début 2008, nous pourrons établir une cartographie très précise de l'ensemble des vestiges archéologiques présents en forêt de Haye. Un important travail de validation sur le terrain et de classification des structures archéologiques, selon leur usage le plus probable, sera également nécessaire avant de pouvoir disposer d'une cartographie de l'utilisation ancienne des sols à l'époque gallo-romaine.

Grâce à cette cartographie, l'ensemble de ces sites pourra alors être mieux protégé et mis en valeur. La méthode pourra ensuite être transposée pour l'aménagement et la gestion patrimoniale d'autres massifs riches en structures anciennes.

## ...et des perspectives originales

### L'extraction des paramètres forestiers

Le deuxième volet de ce projet, en cours de réalisation, consiste à relier le nuage de points en trois dimensions issu du LIDAR avec les paramètres dendrométriques provenant de différents jeux de données : dispositifs de recherche suivis par l'ONF ou l'INRA, placettes

types de peuplements qu'on y rencontre sont très variés : futaies régulières homogènes (du stade de la régénération au stade de futaies âgées, en passant par les jeunes perchis), anciens taillis-sous-futaie plus ou moins irréguliers, peuplements mités ou complètement rasés par la tempête de 1999, certaines zones restant encore non exploitées à ce jour, dont une réserve biologique intégrale.

La campagne LIDAR a eu lieu en période non feuillée, en mars 2007, afin d'optimiser la pénétration du laser sous couvert et d'obtenir ainsi un modèle numérique de terrain (MNT) précis. En pratique, cette technique permet d'obtenir une image du sol en relief comme si on avait coupé virtuellement tous les arbres de la forêt.



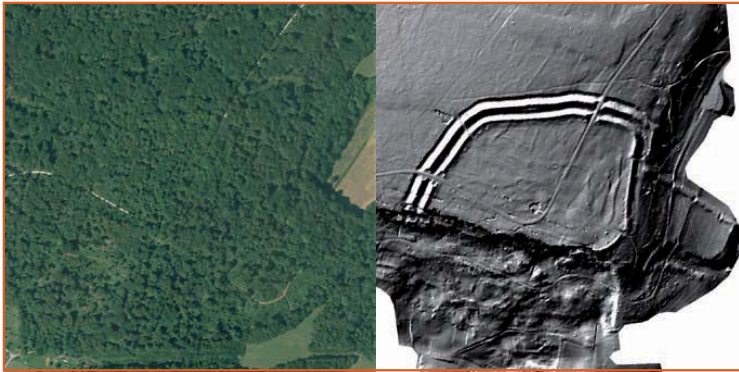


Fig. 1 : photo aérienne (BDOrtho IGN ©) et image issue des données laser révélant le Camp d'Afrique (5<sup>e</sup> s. av. J.-C.)

Camp fortifié par un double mur au nord et à l'ouest et protégé par une falaise au sud. Ce vestige, traversé par une route forestière, est situé en forêt de Haye et recouvert d'une forêt dense de hêtres, de charmes et de chênes. Données LIDAR ONF/INRA/DRAC.

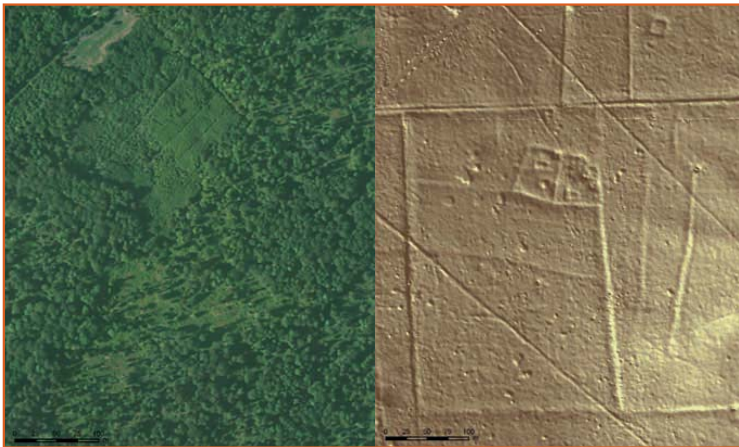


Fig. 2 : photo aérienne (BDOrtho IGN ©) et image issue des données laser révélant les limites d'une ferme gallo-romaine inconnue jusqu'ici

On constate, autour des bâtiments, un double enclos et un réseau de parcelles délimitées par des tas de pierres. Les lignes obliques représentent les limites de parcelle. Données LIDAR ONF/INRA/DRAC.

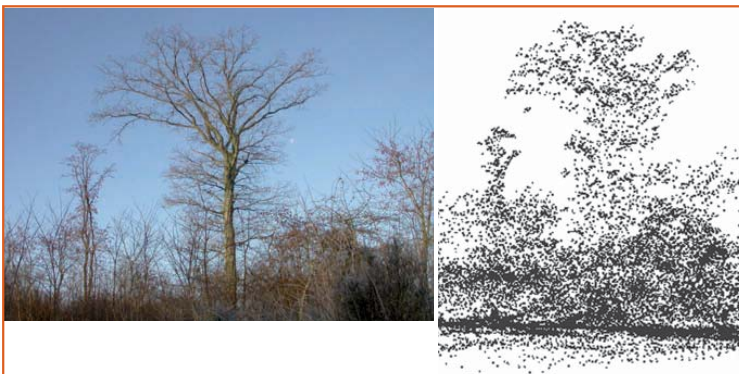


Fig. 3 : chêne isolé, rescapé de la tempête et semis de points 3D provenant des impacts du laser dans la végétation

On distingue le sommet de l'arbre, la structure des branches charpentières, les gourmands, ainsi que la présence d'un sous-étage et d'une strate arbustive dense. Données LIDAR ONF/INRA/DRAC.

d'inventaire relascopique (790 points, soit environ 0,5 point/ha) ou placettes permanentes (290 placettes) installées lors de l'inventaire pour le nouvel aménagement de 2004. Les principales caractéristiques des peuplements y sont connues précisément : hauteur (uniquement pour les dispositifs de recherche), densité, surface terrière, composition, type de peuplement...

Grâce à une analyse spécifique des impacts du laser dans la végétation, on devrait pouvoir disposer d'une cartographie des hauteurs des peuplements sur l'ensemble du massif, une fois pris en compte les effets microtopographiques à l'aide d'algorithmes appropriés. La validation de ces cartes aura lieu en 2008 dans le cadre d'un stage de la Formation Ingénieur Forestier.

Par ailleurs, des collaborations en cours avec l'IGN ou des laboratoires spécialisés dans le traitement physique du signal pourraient permettre d'aboutir à la délimitation automatique des houppiers, et donc au calcul de densité, voire de surface terrière. Même s'il existe des biais (les meilleurs algorithmes n'arrivent pour l'instant à reconnaître qu'environ trois quarts des tiges), les données calculées pourraient être suffisantes pour estimer la surface terrière par grandes catégories de bois et déterminer les types de peuplement. Les premières images sur les arbres isolés, rescapés de la tempête, sont déjà très prometteuses (figure 3).

### Un nouveau regard sur l'écologie forestière

Le troisième volet de cette étude, qui débutera fin 2008 si les premiers résultats sont concluants, consistera à étudier l'impact des pratiques agricoles de l'époque gallo-romaine sur le fonctionnement actuel des écosystèmes forestiers du massif de Haye. Il s'agira d'apprécier dans quelle mesure les activités anthropiques gallo-romaines influencent, 1 600 ans après leur arrêt, la diversité et la fertilité actuelles des écosystèmes forestiers.

Pour cela, une analyse spatiale du modèle numérique de terrain (MNT) indiquant l'utilisation ancienne des sols sera réalisée en relation avec la répartition actuelle de la biodiversité et des potentialités forestières.

L'impact sur la flore sera analysé grâce aux 700 relevés de végétation réalisés par l'INRA dans le cadre de la typologie des stations des Plateaux Calcaires de Lorraine (Becker *et al.*, 1980). Une analyse palynologique, couplée à des datations au carbone 14 de carottes de sédiments prélevées dans le même massif, devrait permettre de reconstruire l'histoire des changements de la végétation ligneuse.

L'effet sur la diversité entomologique actuelle sera analysé en comparant les espèces d'insectes présentes dans l'enclos d'anciennes villas gallo-romaines avec celles présentes dans les zones présumées « anciennement forestières ».

Le croisement entre les cartes de station forestière, de hauteur et d'âge (aménagement) des peuplements devrait permettre d'aboutir à une cartographie de la fertilité des sols du massif de Haye et de l'analyser au regard de l'occupation ancienne des sols.

## Conclusion

Cette nouvelle technique de télédétection, qui s'avère d'ores et déjà très puissante pour la cartographie des structures archéologiques sous forêt, pourrait être appliquée à l'ensemble des côtes de Meuse et de Moselle, sur lesquelles les structures sont très abondantes. On pourrait ainsi faire apparaître l'organisation rurale gallo-romaine à une échelle régionale, par une approche profondément originale. Ailleurs en France, des massifs de première importance archéologique pourraient bénéficier de l'apport du laser aéroporté : Tronçais, Brotonne, Rambouillet, Arc-en-Barrois, forêts du Châtillonnais ou sommets vos-

giens, forêt tropicale guyanaise... Sur le plan sylvicole, la mesure automatisée de la hauteur des peuplements, dans des massifs forestiers bien connus en terme d'âge, comme les chênaies du Centre-Ouest par exemple, pourrait permettre d'établir sur de grandes surfaces des cartes précises de fertilité.

Le LIDAR est un outil extraordinaire qui peut nous aider à mieux discerner le passé et l'avenir de nos forêts. Le forestier de terrain doit-il s'effrayer de l'introduction d'une telle technique ? Même si le coût d'acquisition des données peut paraître attrayant au premier abord (5 €/ha dans notre cas), nous pensons que le LIDAR restera complémentaire du travail qualitatif réalisé sur le terrain lors des inventaires. En effet, l'extraction de paramètres forestiers n'est pas triviale et restera encore longtemps du domaine de la recherche. D'autre part, le laser aéroporté qui différencie le chêne sessile du pédonculé, voire du hêtre, ou le chêne de qualité merain ou industrielle n'existe pas encore.

**Jérôme BOCK**

Pôle R & D

ONF – DT Lorraine

jerome.bock@onf.fr

**Jean-Luc DUPOUEY**

Équipe Phytoécologie,  
INRA-Nancy, Champenoux

**Étienne DAMBRINE**

Cycles Biogéochimiques  
INRA-Nancy, Champenoux

**Murielle GEORGES-LEROY**

Service régional de l'Archéologie  
de Lorraine

## Remerciements

Ce projet original, fruit de la rencontre entre forestiers, chercheurs en écologie et archéologues, n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien financier de l'ONF (Département

recherche, DEDD, DT Lorraine), de la DRAC Lorraine, de l'INRA, de la Région Lorraine et de l'Union européenne. Un grand merci également à P. Loué (ONF) et P. Behr (INRA) qui ont patiemment relevé les vestiges archéologiques jusqu'en 2006.

## Bibliographie

BECKER M., LE TACON F., TIMBAL J., 1980. Les plateaux calcaires de Lorraine : types de stations et potentialités forestières. Nancy : ENGREF. 268 p.

DUPOUEY J.L., SCIAMA D., LAFITE J.D., GEORGES-LEROY M., DAMBRINE E., 2007. Impact des usages agricoles antiques sur la végétation en forêt de Saint Amont : interaction avec le traitement sylvicole actuel. *In* La mémoire des forêts : actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement », 14-16 décembre 2004. ONF-INRA-DRAC Lorraine, pp. 181-189

DUPOUEY J.L., DAMBRINE E., LAFITE J.D., MOARES C. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology*, vol. 83, n° 11, pp. 2978-2984

GEORGES-LEROY M., LAFFITE J.D., MEYER N., HECKENBENNER D., 2007. L'occupation agricole ancienne dans les forêts lorraines. *In* La mémoire des forêts : actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement », 14-16 décembre 2004. ONF-INRA-DRAC Lorraine, pp. 121-131

SITTLER, B., HAUGER, K. 2007. Les apports du laser aéroporté à la documentation de parcelles 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 », 14-16 décembre 2004. ONF-INRA-DRAC Lorraine, pp. 155-161