



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



8 et 9
AVRIL
2022

Remuer ciel et terre

Apport du
LIDAR
à l'
chéo
logie

Programme

Vendredi 8 avril 2022

09h15 -10h00 - Accueil des congressistes

10h00 -10h30 - Mots d'accueil

Thème 1 : Le Lidar, un outil en développement à adapter au milieu

10h30-11h00 - Murielle GEORGES-LEROY

L'utilisation du lidar dans le Grand Est : état des lieux et enjeux

11h00-11h30 - Laure NUNINGER, Catherine FRUCHART

Apprendre à lire dans les pas du passé

11h30-12h00 - Philippe EVEN, Phuc NGO

Extraction de structures linéaires archéomorphologiques de données LIDAR brutes en contexte montagneux

12h00-12h30 - ANCELIN Pierre-Yves, BERTHE Julien, PERARNAU Robin, DEVOS Alain, BOLLOT Nicolas

Analyse critique de la qualité de données LiDAR : approche comparative multisectorielle

Thème 2 : Le Lidar, au service de l'archéologie régionale

14h00-14h30 - Pierre FETET

La chronologie relative des routes et des chemins révélée par l'étude des microreliefs

14h30-15h00 - Thierry DECHEZLEPRETRE, Aline RESCH

L'apport du LiDAR à la connaissance de l'agglomération antique de Grand

15h00-15h30 - Simon RITZ

Les vestiges de parcellaire antique révélés par le LiDAR dans les plaines argileuses de Lorraine (Plateau Lorrain et plaine de la Woëvre). État des connaissances et questionnements actuels

15h30-16h00 - Pause café

16h00-16h30 - Michel KASPRZYK, Perrine TOUSSAINT

Le LIDAR du « Châtelet de Gourzon » (Haute-Marne, Meuse) : premiers résultats sur l'occupation et l'aménagement du territoire pour les époques antique et médiévale

16h30-17h00 - Robin PERARNAU, Alain DEVOS, Amélie QUIQUEREZ

Empreinte morphologique de l'artillerie lourde de la Grande Guerre dans la Montagne de Reims (Marne, France) – apport du lidar aéroporté.

17h00-17h30 - Vincent ROBIN, Claudia OLIVEIRA, Cédric PRADALIER, Simon DEVIN, François GUEROLD

L'outil lidar pour la détection et l'inventaire des charbonnières

Samedi 9 avril 2022

**Thème 3 : Un LiDAR pour la forêt du Fossard.
Premier bilan du projet collectif de recherche AGER
(Archéologie et Géoarchéologie du premier Remiremont)**

09h30-10h00 - Pierre-Henri BLARD, Dominique HARMAND, Stéphane CORDIER, Jérôme LAVE, Julien CHARREAU, Didier BOURLES[†], Jean-François THOMAS, Manfred FRESCHEN, Émile I. MBAGOU-MWEZUEONA.

Déglaçiation post dernier maximum glaciaire du massif des Vosges : nouvelles contraintes chronologiques par 10Be cosmogénique et IRSL

10h00-10h30 - Dominique HARMAND

Les formes des versants du Saint-Mont : l'apport des données de terrain confrontées aux images Lidar

10h30-11h00 - Pierre-Yves ANCELIN

Apports du LiDAR dans la caractérisation de l'anthropisation du Saint-Mont

11h00-11h30 - Axelle GRZESZNIK

Un ensemble d'architecture vernaculaire en milieu forestier à la lumière de données Lidar : le système d'enceintes du Saint-Mont

11h30-12h00 - Xavier ROCHEL

Les dynamiques paysagères du massif du Fossard de 1830 à nos jours

12h00-12h30 - Charles KRAEMER

Des cartes planimétriques anciennes au LiDAR : recherches sur les parcellaires agricoles du massif du Fossard

12h30-13h00 - Jean-Pierre HUSSON

Conclusions du colloque

Introduction

Un énième colloque sur le LiDAR. Pourquoi ?

Dans l'Est de la France, la cartographie LiDAR a été à de nombreuses reprises utilisée. La dernière en date, a été réalisée sur un massif forestier du versant lorrain du Massif vosgien, entre Remiremont et Épinal. Elle a pour objectif, dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire, de mesurer, par le biais de méthodes archéogéographiques l'impact qu'eut l'abbaye de Remiremont, fondée au VII^e siècle, sur la gestion du sol et l'évolution du paysage, dans un environnement de moyenne montagne, sans rien négliger des aménagements humains antérieurs et postérieurs à cette période.

Trois années après la livraison du LiDAR par le prestataire, Cette rencontre a pour objectif, la restitution publique d'un premier bilan. Mais elle a également été pensée comme un lieu d'échanges avec des spécialistes français internationalement reconnus, à l'origine de méthodes d'analyse objectives pour un bon usage de cet outil, et des archéologues locaux et régionaux, qui l'utilisent ou l'ont utilisé. Ce colloque, sera donc l'occasion de présenter quelques dossiers de recherche archéologique mis en œuvre dans le Grand Est et de contribuer à la réflexion méthodologique qu'imposent une utilisation de plus en plus fréquente du LiDAR depuis une vingtaine d'années, les performances accrues de l'indissociable outil informatique et l'évolution des problématiques scientifiques dans les zones de forêts et de reliefs contrastées.

L'utilisation du LiDAR dans le Grand Est : état des lieux et enjeux

La région Grand Est occupe une place particulière dans le développement de la technologie LiDAR en France dans le domaine de l'archéologie, avec la mise en place de grands programmes d'acquisition dans cette région dès les années 2006-2007. Depuis, les levés à but archéologique se sont multipliés, mais les archéologues se sont aussi mis à utiliser des données acquises dans d'autres contextes. Nous proposons de faire un état des lieux de l'utilisation du LiDAR en archéologie en Grand Est, près d'une quinzaine d'années après les premiers levés, en examinant son développement, les différents acteurs impliqués, la typologie des acquisitions, ... Seront dans un second temps abordés les grands enjeux de cette utilisation, d'un point de vue administratif (partage et stockage des données, partenariats d'acquisition, ...), mais surtout d'un point de vue scientifique, en s'interrogeant sur la manière de gérer la masse et la spécificité de l'information produite (interprétation et vérification des données, stratégies d'enregistrement, intégration des résultats à la carte archéologique, ...).

THÈME 1

Le Lidar, un outil en développement à adapter au milieu

Apprendre à lire dans les pas du passé

Les données LiDAR donnent à voir, dans la topographie actuelle, l’empreinte des manières d’habiter l’espace dans le passé. Habiter, ce n’est pas simplement occuper un espace défini de façon statique, mais c’est le parcourir, interagir avec les éléments et les êtres environnant et finalement contribuer à produire l’espace. Dans le MNT LiDAR, cette dynamique est figée et réduite dans une vue en deux dimensions qu’il s’agit pour l’archéologue de décomposer pour décrypter les modes d’habiter du passé. Bien que l’on ait conscience de cette dynamique, notre approche théorique est le plus souvent discrète, relativement statique et idéale du paysage sous forme de couches qui se seraient succédé. En d’autres termes, on appréhende généralement le MNT LiDAR comme un jeu de lego géant dont il faudrait dissocier les briques patiemment et plus rarement comme une trame souple et tricotée dont il faudrait tirer les fils pour voir comment les éléments qui la composent sont reliés entre eux.

En prenant comme point d’entrée l’empreinte matérielle des mobilités quotidiennes ou régulières, notre présentation vise à proposer une démarche théorique et méthodologique permettant de relier des observations hétérogènes, à partir de ressources et de paradigmes parfois sans cohérence mais complémentaires. Nous illustrerons notre propos à l’aide d’exemples concrets observés dans plusieurs jeux de données, dans une perspective diachronique et comparative.

Extraction de structures linéaires archéomorphologiques de données LiDAR brutes en contexte montagneux

Cet article synthétise les résultats des travaux exploratoires visant à étudier les apports des notions et outils récents de géométrie discrète pour l'extraction de structures linéaires de données LiDAR. Contrairement aux approches classiques basées sur l'analyse du modèle numérique de terrain, les techniques mises au point dans ce travail exploitent directement les points 3D classés «sol» pour s'affranchir des interpolations inhérentes à la production d'une grille régulière de valeurs altimétriques à partir de données éparées. Dans cet objectif, les données LiDAR du Fossard ont constitué un cadre de test bien adapté, compte tenu de la forte disparité de densité des points obtenue dans ce massif forestier fortement couvert de résineux, peu propices à la pénétration du laser.

Un cadre algorithmique général basé sur l'analyse de profils a été développé pour extraire différents types de structures linéaires. Il a d'abord été appliqué au cas des pistes forestières, en s'appuyant sur un modèle adapté au relief de montagne : un replat bordé de zones pentues. Dans cette approche interactive, l'utilisateur place une graine, à savoir un trait en travers de la structure repérée sur une vue du modèle numérique de terrain. L'extraction est instantanément lancée dans le nuage de points à partir de cette position et le résultat est produit en une fraction de seconde. Les bonnes performances en temps et en précision ont permis une automatisation complète de l'extraction des pistes. Un test mené à grande échelle (313 dalles, 78 km) a montré des performances de détection de l'ordre de 70% en couverture et en précision, pour un temps de traitement d'environ 30 minutes.

Ensuite, un autre modèle a été proposé pour l'extraction interactive de structures linéaires en élévation ou en creux. Il prend en compte une estimation du relief local pour affiner leur localisation et permettre l'estimation de grandeurs géométriques telles que l'aire des sections transversales ou le volume de la structure sur une section déterminée.

L'extraction interactive de structures linéaires a été intégrée dans un logiciel libre multi-plateformes, ILSD, pour permettre une plus large exploitation. L'outil a été testé sur deux contextes applicatifs concrets : l'extraction de portions dégagées et de portions encore enfouies des enceintes du Saint-Mont, puis l'étude de plusieurs séries de chemins creux sur la partie sud du Fossard. Ces travaux expérimentaux menés par les partenaires archéologues et géomorphologues du projet, ont permis de valider l'apport de ce type d'outil en complément de l'analyse visuelle classique du modèle numérique de terrain.

Analyse critique de la qualité de données LiDAR : approche comparative multi-sectorielle

L'utilisation du LiDAR aéroporté dans la compréhension des paysages et des territoires anciens s'est grandement développée ces deux dernières décennies. Les approches méthodologiques sont désormais densément documentées et proposent de décliner son exploitation en différentes étapes regroupées en 4 phases. (1) L'acquisition et les pré-traitements et (2) le traitement des données brutes (classification du nuage de point, création du MNT) sont généralement réalisés par des prestataires. L'exploitation archéologique (3) et l'archivage (4) sont en revanche généralement réalisés par le commanditaire de la campagne LiDAR.

L'examen qualitatif des LiDAR acquis sur le Massif du Fossard (88), la Montagne de Reims (51) et les secteurs de Berry-au-Bac, Berru et Brimont (51) a mis au jour l'existence d'artefacts numériques sur certain MNT. Ce « brouillard » rend impossible l'observation de structures métriques sur des surfaces de plusieurs centaines de m², rendant même invisibles des murs atteignant 2 m de haut sur plusieurs dizaines de mètres de long observés sur le terrain.

L'analyse comparative des différents LiDAR a mis en évidence deux causes à l'existence de ces artefacts. En premier lieu, le mauvais classement du nuage de points est responsable de la disparition du mur qui a été classé en « végétation » et extrait du MNT par le prestataire (phase n° 2). La deuxième cause concerne la faible densité de points au sol dans de nombreux secteurs même après reclassification des points et réapparition de certaines structures. Cette hétérogénéité spatiale des points au sol, qui engendre une interpolation atteignant 30 % de la surface du MNT, est à l'origine de la majorité de l'erreur. L'analyse critique des cahiers des charges a permis de conclure que les prestataires avaient respecté les besoins formalisés. Il s'avère ainsi que cette absence de donnée est la conséquence d'un manque de détails et de précisions du cahier des charges, en particulier concernant la densité de point au sol (phase n° 1) et la mise en place d'une période de concertation entre le prestataire et le commanditaire lors du traitement des données brutes (phase n° 2). Finalement ce travail met en évidence l'importance de la préparation du cahier des charges car elle influe sur tout le processus d'exploitation de données LiDAR. Dans un contexte de généralisation croissante des relevés LiDAR aéroportés, cette présentation souhaite rappeler pour certains, et mettre en lumière pour d'autres, les paramètres indispensables qu'il est nécessaire d'inclure dans le cahier des charges afin d'assurer une qualité de données topographiques propice à une exploitation en recherche archéologique.

THÈME 2

Le Lidar, au service de l'archéologie régionale

La chronologie relative des routes et des chemins, révélée par l'étude des microreliefs

Si la datation des routes anciennes, qu'elles soient antiques ou médiévales, est toujours difficile à évaluer, l'utilisation de relevés LiDAR permet d'en affiner la recherche en observant minutieusement les microreliefs qui leur sont liés. La qualité de cette observation est dépendante de l'orientation de l'éclairage virtuel appliquée aux données numériques de terrain. En l'absence de sources littéraires concernant certaines voies antiques, l'association Escles-Archéologie s'appuie ainsi depuis quelques années sur l'analyse de plusieurs relevés LiDAR pour inventorier et repérer les anciennes routes traversant la Vôge, souvent invisibles en prospection pédestre. Mais un chemin antique ressemble beaucoup à un chemin moderne, c'est pourquoi il est nécessaire de comparer les reliefs qu'ils forment, surtout quand ils se croisent ou se rapprochent l'un de l'autre. À partir de plusieurs exemples d'études de voies anciennes, nous montrerons l'importance de la maîtrise de l'éclairage afin de produire les images les plus adéquates à une bonne compréhension de la chronologie de ces aménagements.

DECHEZLEPRETRE Thierry

Conservateur en chef du patrimoine, Conseil départemental des Vosges, AOOrOc, UMR 8546 CNRS-ENS)

RESCH Aline

Docteur de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, ArScAn UMR 7041 CNRS-Université Panthéon-Sorbonne

L'apport du LiDAR à la connaissance de l'agglomération antique de Grand

Le village de Grand a fait l'objet, dès le XVIII^e siècle, de relevés archéologiques ayant permis de cartographier les vestiges antiques encore en élévation. Au début du XIX^e siècle, Jean-Baptiste Prosper Jollois dresse un plan qui servira de référence pour les archéologues qui se succéderont à Grand. En 1948, Maurice Toussaint rédige quant à lui un répertoire archéologique de l'ensemble des découvertes réalisées sur le territoire de cette commune. Ces différents travaux alimenteront les nouvelles recherches impulsées par Edouard Salin, dans les années 1960. Le rempart puis l'habitat feront l'objet de premières synthèses topographiques. L'actuel Projet collectif de recherche, porté par le Conseil départemental des Vosges avec le soutien du Service régional de l'archéologie, s'est appuyé sur les possibilités offertes par les SIG pour la création d'un atlas archéologique.

Parmi les problématiques développées dans le cadre de ce Projet collectif de recherche, figure notamment l'étude de l'organisation urbaine ainsi que de l'occupation du sol autour de cette agglomération antique. La réalisation d'un relevé LiDAR a permis une restitution très fine de la topographie des vestiges présents dans le village de Grand, ainsi que dans la vaste forêt qui se développe au nord et à l'est. Une première étude des microreliefs présents dans ce massif forestier a été réalisée dans le cadre du master d'Aline Resch. L'analyse combinée du LiDAR, des photographies aériennes et du cadastre napoléonien a permis notamment une relecture des tracés considérés comme des voies antiques et de développer de nouvelles hypothèses.

Les travaux en cours portent sur l'exploitation du LiDAR pour la connaissance de l'organisation urbaine de cette ville. Les campagnes de prospections aériennes, ainsi que les récentes prospections géophysiques, ont permis d'améliorer sensiblement la reconnaissance de l'occupation antique. Toutefois, le bâti actuel limite l'utilisation de ce type de méthode d'investigation dans le centre du village, qui aussi celui de l'agglomération antique. Ainsi, les microreliefs mis en évidence grâce au LiDAR, confrontés aux cadastres anciens et aux découvertes anciennes, permettent de compléter nos informations, en particulier sur la trame urbaine et le tracé du rempart.

Les vestiges de parcellaire antique révélés par le LiDAR dans les plaines argileuses de Lorraine (Plateau Lorrain et plaine de la Woèvre). État des connaissances et questionnements actuels

Grâce à multiplication des acquisitions LiDAR dans le centre-est et le nord-est de la France ces dix dernières années, les vestiges de parcellaire antique conservés sous les massifs forestiers couvrant les grands plateaux calcaires du Jurassique commencent à être assez bien connus. Des typologies planimétriques et des datations relatives ont pu être établies dans plusieurs secteurs de Bourgogne, de Franche-Comté et de Lorraine recelant ce type de vestiges.

Les systèmes de parcellaire et les vestiges agraires situés dans les plaines argileuses succédant aux cuestas calcaires sont en revanche nettement moins documentés. De récentes missions LiDAR conduites sur le Plateau Lorrain et dans la plaine de la Woèvre ont pourtant montré que ce type de contexte pédo-sédimentaire pouvait accueillir une densité de vestiges de parcellaire antique comparable à celle des reliefs calcaires. Cette communication propose un premier état des connaissances et des questions restant à résoudre sur ces objets géoarchéologiques, à partir de deux zones d'étude imagées par le LiDAR : la Woèvre septentrionale dans la région de Spincourt (Meuse) et, secondairement, le Plateau Lorrain dans la région de Fénétrange (Moselle).

L'étude des vestiges de parcellaire conservés en contexte argileux soulève en effet plusieurs difficultés et de nouvelles problématiques concernant les modes de valorisation de l'espace rural durant l'Antiquité. La première d'entre elles tient au caractère extrêmement ténu de ces structures, qui prennent la forme de levées de terre linéaires, de fossés et de talus de quelques dizaines de centimètres d'élévation ou de profondeur seulement. Elles sont presque toujours invisibles en prospection pédestre – raison pour laquelle leur étude accuse un retard important par rapport à celle des pierriers et murets des plateaux calcaires – et nécessitent des traitements d'imagerie adaptés pour être révélés par le LiDAR. Leur datation pose également problème. Dans les zones calcaires, l'argumentaire chronologique est généralement fondé sur les relations planimétriques qu'entretient le parcellaire avec d'autres vestiges mieux datés (principalement la voirie et les établissements ruraux antiques). Or, les habitats ruraux révélés par le LiDAR dans les plaines argileuses sont excessivement rares, sans doute parce que les exploitations agricoles les plus modestes sont construites en matériaux périssables – faute de disponibilité de la pierre – et laissent moins de traces microtopographiques que les habitats sur fondation de pierre des plateaux calcaires.

Enfin, la fonctionnalité des enclos de parcellaire révélés par le LiDAR dans les plaines argileuses reste en grande partie à établir. Ils présentent une morphologie coaxiale ou polygonale comparable aux parcellaires des plateaux calcaires, mais ne sont pas liés à l'épierrement de champs cultivés, comme on le suppose généralement dans le cas des pierriers et murets en calcaire. Leur origine et leur fonction exacte reste par conséquent à préciser : s'agit-il de limites foncières (parcellaire cadastral) ou fonctionnelles (pièces de culture, pâturages, prairies de fauche, etc.) établies de manière volontaire ? Si oui, comment (édification de levées par apport de sédiment, vestiges de haies) ? S'agit-il au contraire de vestiges résultant d'une édification involontaire, liée à la mise en culture de ces espaces (rideaux de culture, crêtes de labour, etc.) ?

Le LiDAR du « Châtelet de Gourzon » (Haute-Marne, Meuse) : premiers résultats sur l'occupation et l'aménagement du territoire pour les époques antique et médiévale

L'agglomération antique du Châtelet de Gourzon (Bayard-sur-Marne, 52), fouillée à plusieurs reprises entre le XVIII^e et le début du XX^e siècle, a fait l'objet d'une reprise documentaire entre 2015 et 2017 dans le cadre d'une prospection thématique puis d'un Projet collectif de recherche depuis début 2020.

Le site est situé dans la vallée de la Marne, à une quinzaine de kilomètres au sud de Saint-Dizier, à la transition entre les plateaux calcaires du Barrois et les terrains argilo-sableux du Crétacé inférieur. Il s'agit d'un secteur particulièrement boisé à l'époque contemporaine.

Dans ce programme de recherche, qui porte autant sur l'agglomération que son territoire environnant, une acquisition LiDAR réalisée en 2016 sur une emprise de 180 km² a révélé de très nombreux aménagements anciens dans les massifs forestiers de ce secteur, pour l'essentiel attribuables à l'époque romaine et au Moyen-Âge. Les sites d'habitat sont représentés par de nombreux établissements ruraux antiques, médiévaux ou de l'Ancien Régime, mais aussi de type castral et même un prieuré. Le LiDAR révèle en outre de très nombreux aménagements parcellaires, des voies de communication et une multitude de sites d'extraction (carrières et minerai de fer) dont la datation semble s'échelonner de la période antique aux XVIII^e-XIX^e s.

La communication présentera l'état des recherches et les premiers résultats obtenus suite au traitement de cette acquisition LiDAR et développera quelques réflexions méthodologiques sur les biais documentaires qu'illustre la confrontation avec d'autres méthodes d'acquisition des données (fouille, prospection aérienne) dans ce même secteur.

Empreinte morphologique de l'artillerie lourde de la Grande Guerre dans la Montagne de Reims (Marne, France) – apport du LiDAR aéroporté.

À l'hiver 2018, une campagne LiDAR aéroportée menée sur le massif forestier de la Montagne de Reims (Marne–51) a révélé les traces d'un réseau de positions de batteries pour l'artillerie lourde (ALVF et affuts fixes) construit par l'armée française entre 1916 et 1918. Situé derrière la 4^e position de défense, à plus de 18 km du front, ce réseau a été pensé par Pétain dans l'objectif de préparer l'offensive du Chemin des Dames et de renforcer les positions françaises de la ville de Reims.

L'utilisation d'une approche pluridisciplinaire à partir d'une analyse historique et géographique a permis de mieux comprendre l'étendue de ce système défensif et d'évaluer son empreinte sur le paysage. En effet, le croisement de documents textuels, de plans et de photographies aériennes anciennes aux données LiDAR, et leur intégration dans un système d'information géographique a permis de mettre en valeur ces vestiges de guerre de manière inédite. Ces derniers se présentent sous la forme d'un réseau ferrée complexe (rampe, voie de desserte, épis de tirs) pour l'artillerie lourde et de nombreuses positions de batterie d'artillerie de gros calibre sur affut fixe. Ces structures sont associées non seulement à des observatoires camouflés au sommet de la côte d'île de France permettant d'observer les réseaux de défense en contrebas dans la plaine de Reims mais aussi à d'autres formes logistiques (abris, cantonnement).

Une analyse de la rugosité à partir du modèle numérique de terrain, ainsi qu'une campagne de prospection pédestre en 2019 a montré des différences de morphogénéité particulièrement importantes, montrant une lisibilité morphologique dépendant notamment de la nature géologique et géomorphologique des terrains.

Ces résultats sont le fruit d'un partenariat inédit entre l'Université de Reims Champagne-Ardenne, l'Office National des Forêts et le Parc Naturel Régional de la Montagne de Reims.

L'outil LiDAR pour la détection et l'inventaire des charbonnières

Avant l'avènement des énergies fossiles comme principales sources d'énergie pour les besoins industriels au cours du XIX^e siècle, le bois, et en particulier le charbon de bois, était la principale source d'énergie, depuis l'émergence des proto-industries. À ce titre, la production du charbon de bois a fait l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche au cours des dernières décennies. Différentes analyses ont abordé cet objet d'étude, et plus spécifiquement les sites reliques qui en résultent : les charbonnières. Une charbonnière est aujourd'hui un ancien emplacement de "plateforme" sur laquelle des meules de bois (de plusieurs dizaines de stères) qui étaient carbonisées, successivement, par pyrolyse afin donc de produire du charbon de bois. De cette production résulte un "niveau de charbonnage", essentiellement fait de cendres, de sédiments brûlés, de fragments de charbon de bois, dans le sol de la charbonnière. Ainsi, les charbonnières et les niveaux de charbonnage ont été étudiés sous différents angles disciplinaires, notamment par des approches anthropologiques, archéologiques, et d'écologie historique. Ces travaux visaient, et visent encore, à comprendre, entre autres questionnements, les mécanismes socio-culturels de la production de charbon de bois, les processus et techniques de production, et les conséquences de la consommation de la ressource bois pour les écosystèmes forestiers. Ces travaux ont abouti à beaucoup de données et de connaissances, sur des problématiques qui restent d'actualité dans certaines parties du monde puisque la production de charbon de bois est aujourd'hui au cœur d'enjeux socio-environnementaux forts dans un grand nombre de pays émergents. Néanmoins, la grande majorité de ces travaux sur l'histoire de la production du charbon de bois n'aboutissent qu'à des conclusions locales, de l'ordre de la parcelle ou du peuplement forestier. Ceci principalement parce que les travaux sur les charbonnières ne focalisent que sur un ensemble restreint et rapproché de charbonnières, même s'il existe des exceptions avec notamment les travaux à l'échelle régionale de la Forêt-Noire en Allemagne. Or, une des principales avancées de travaux de recherche sur les charbonnières et la production historique du charbon de bois est l'observation d'un processus intense, d'une organisation comparable à un procédé industriel, et ayant eu des conséquences fortes et rémanentes sur les écosystèmes. Mais des interrogations importantes subsistent sur la quantification de cette production du charbon de bois à une large échelle spatiale.

L'outil LiDAR joue ici un rôle de levier méthodologique essentiel. En effet, les données issues des couvertures en LiDAR aéroporté, en particulier les modèles numériques de terrain, permettent potentiellement de localiser les charbonnières et de les inventorier numériquement avec un fort niveau de fiabilité. De tels inventaires sur de large de portions de territoire permettent de réaliser des analyses très informatives sur l'histoire de la production du charbon de bois, de ses mécanismes, et de ses conséquences. Divers travaux montrent que l'on peut par exemple analyser la distribution spatiale des charbonnières, identifier des niveaux d'intensité de production, ou encore extrapoler sur de larges échelles des informations obtenues à partir d'un nombre restreint de charbonnières.

C'est ce potentiel analytique que nous avons utilisé pour aborder l'histoire la production du charbon de bois sur deux massifs forestiers bien distincts dans la région Grand Est : la forêt domaniale de Montiers-sur-Saulx dans le sud de la Meuse et les forêts domaniales de Mouterhouse et Hanau dans le nord-est de la Moselle. Ces deux zones présentent des reliefs et des couvertures forestières très différentes, mais elles ont en commun de présenter toutes les deux une couverture LiDAR de bonne qualité (sur 230 km² à Montiers-sur-Saulx et 150 km² à Mouterhouse/Hanau), et d'avoir fait l'objet de travaux approfondis sur l'histoire de la production de charbon de bois à l'échelle de leur territoire respectif. Nous présentons ici l'approche analytique que nous avons mise en place pour l'utilisation des MNT dérivés des couvertures LiDAR, pour la détection et l'inventaire des charbonnières. Ces approches reposent sur différentes méthodes, depuis le terrain au traitement numérique, qui mettent en exergue des résultats différents selon les contextes d'analyses. Nous présentons enfin les conclusions que nous permettent de dresser les données LiDAR utilisées pour la compréhension de l'histoire de la production du charbon de bois sur ces deux territoires d'étude, ainsi que des perspectives de recherche en cours de développement.

THÈME 3

**Un LiDAR pour la forêt du Fossard.
Premier bilan du projet collectif de
recherche AGER
(Archéologie et Géoarchéologie du
premier Remiremont)**

BLARD Pierre-Henri, CRPG, UMR 7358 CNRS-Université de Lorraine – Laboratoire de glaciologie, ULB
HARMAND Dominique, LOTERR, Université de Lorraine
CORDIER Stéphane, Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591 CNRS–Université Paris 1–UPEC
LAVE Jérôme, CRPG, UMR 7358 CNRS-Université de Lorraine
CHARREAU Julien, CRPG, UMR 7358 CNRS-Université de Lorraine–ENSP
BOURLES Didier †, CEREGE, UMR 7330 CNRS-Aix-Marseille Université
THOMAS Jean-François, Géologue
FRECHEN Manfred, Département des Sciences de la Terre, Université libre de Berlin
MBAGOU-MWEZUEONA Émile I., Géologue

Déglaciation post dernier maximum glaciaire du massif des Vosges : nouvelles contraintes chronologiques par ^{10}Be cosmogénique et IRSL

Les glaciations des Vosges au cours du Quaternaire sont attestées par de nombreuses observations géomorphologiques. Cependant, il y a ce jour peu de données géochronologiques permettant de reconstruire avec fiabilité et précision l'évolution de ces fluctuations glaciaires au cours du temps.

Dans cette étude, nous présentons des âges d'exposition déterminés par le nucléide cosmogénique ^{10}Be mesuré dans des blocs erratiques du massif du Fossard et les roches moutonnées de la vallée de la Moselotte, au niveau de Saint Amé. Nous présentons aussi des datations OSL sur quartz et IRSL sur feldspaths des sédiments lacustres post-datant les moraines frontales de Noireguez (vallée de la Moselle), qui marquent ainsi le début du recul de la calotte vosgienne depuis sa position maximale.

Tous ces âges concordent dans les incertitudes analytiques, suggérant que la phase initiale de la déglaciation des Vosges occidentales s'est produite il y a 18 000 ± 1000 ans (incertitude à 1s). Cette chronologie correspond à la fin du dernier maximum glaciaire global (stade isotopique marin 2).

En reconstruisant cette extension glaciaire du DMG avec un modèle numérique couplant écoulement glaciaire et le bilan de masse de la surface, nous calculons que l'extension glaciaire du Dernier Maximum Glaciaire correspond à des températures annuelles de l'ordre de 14°C plus froides qu'aujourd'hui, à précipitations constantes.

Il y a 18 000 ans, un réchauffement de seulement 2°C a pu suffire pour produire un retrait du front glaciaire de plusieurs dizaines de kilomètres. Ce scénario est concordant avec la présence de moraines de récession sur le versant alsacien, en positions proximales, datées entre 15 000 et 12 000 ans (Mercier et al., 1999, âges ^{10}Be recalculés dans cette étude). Ces résultats sont aussi en accord avec la courbe de température obtenue par inversion des assemblages polliniques (méthode des analogues) dans la tourbière de la Grande Pile (Guiot et al., 1989).

Les formes des versants du Saint-Mont : l'apport des données de terrain confrontées aux images LiDAR

Les images LiDAR du Saint-Mont (672 m), butte granitique située au Nord de Remiremont (Vosges), ont été confrontées aux données de terrain (mesures de fracturation et cartographie) réalisées sur les 3 versants du saint-Mont : versant nord (ou du pont des Fées), versant est (ou des éboulis), versant sud-ouest (ou de la Fontaine Sainte-Claire), ainsi que sur les marges méridionales de ce dernier, plus basses (<500 m, Bois l'Abbesse, Vieux Saint-Amé).

Si les images LiDAR de l'ensemble-Saint-Mont – Saint-Arnould (éperon situé au nord du Saint-Mont) révèlent deux directions moyennes de fracturation : N80 et N145 (Ancelin, 2020), les fracturations mesurées sur terrain indiquent des directions majoritairement situées entre N60 et N90.

Les formes de terrain, observées sur les images LiDAR, sont quant à elles, au nombre de quatre (excluant les formes anthropiques comme les carrières) : tors de versants, ces derniers limitant fréquemment des replats ou pentes faibles sur le versant sud-ouest, des alvéoles de versants sur le versant oriental et des ravins au nord (ravin du pont des Fées) et au sud-ouest (ravins du Bois l'Abbesse).

Les données de terrain indiquent, d'une part, que les tors de versants présentent généralement vers l'aval des abrupts rocheux de hauteurs variables (de 1 m à plus de 10 m) se débitant souvent en blocs allongés, et d'autre part, que les abrupts rocheux ont nourri des éboulis de dimensions variables. Les éboulis appartiennent à trois types différents : un tablier d'éboulis sur le versant nord, des cônes d'éboulis isolés de dimensions décimétriques sur le versant sud-ouest et des cônes coalescents atteignant jusqu'à plus de 300 m de longueur, sur le versant oriental, où ils s'inscrivent dans 2 alvéoles. Les mesures réalisées sur 8 éboulis du Saint-Mont (Gérardin, 2020) ont montré que les éléments rocheux appartenaient essentiellement aux 2 classes granulométriques 5-20 cm et 20-50 cm.

Apports du LiDAR dans la caractérisation de l'anthropisation du Saint-Mont

Le Massif du Fossard revêt un intérêt particulier du fait de la première implantation monastique de Lorraine, établie sur la plateforme sommitale du Saint-Mont au début du VII^e siècle (620). L'occupation millénaire presque ininterrompue a bouleversé l'environnement naturel et engendré des impacts qui s'expriment encore aujourd'hui dans le paysage.

L'acquisition LiDAR effectuée sur le Massif du Fossard en février 2018 offre de nouvelles perspectives dans l'étude de ce secteur de moyenne montagne. Le modèle numérique de terrain (MNT) à très haute résolution qui en résulte permet d'attester l'existence de nombreuses anomalies topographiques.

Afin d'éclaircir le palimpseste paysager du Saint-Mont, une stratégie d'enregistrement numérique a été élaborée en vue de réaliser une digitalisation exhaustive et la caractérisation des anomalies topographiques. Celle-ci consiste en l'exploitation des indices de visualisation dérivés des données LiDAR par l'intermédiaire d'un protocole de digitalisation garantissant la reproductibilité et la transparence des résultats.

Cet inventaire permet de saisir les caractéristiques et la variabilité des anomalies topographiques, naturelles ou anthropiques, qui se distinguent sur le relevé LiDAR. Cela permet d'apprécier l'adaptation humaine aux contraintes naturelles de ce secteur accidenté et de mettre en lumière le fort degré d'anthropisation qui le caractérise.

Un ensemble d'architecture vernaculaire en milieu forestier à la lumière de données LiDAR : le système d'enceintes du Saint-Mont

Le massif du Saint-Mont (88) est riche d'une occupation pluriséculaire. Si les vestiges situés sur les plateformes sommitales sont pour la plupart perceptibles dans l'environnement, le système d'enceintes qui traversent de part et d'autre le versant ouest est plus complexe à approcher. Celui-ci pourrait correspondre à la limite du castrum antique dans lequel fut fondé le monasterium Habendum. Ces enceintes sont caractérisées par d'imposants murs en pierre sèche, dont la majeure partie est effondrée dans les pentes. Ils forment au moins trois niveaux d'étagement du site, et ceignent l'espace en bloquant l'accès de cette partie du massif. Afin de préciser la morphologie et la chronologie de ces vestiges, une série de sondages a été menée en 2018 et 2019. Il est apparu qu'au moins l'une de ces enceintes date du haut Moyen-Âge et est bâtie selon un standard jusqu'à alors inconnu pour la période. Malgré ces informations, leur lisibilité dans le paysage demeure faible. L'apport récent d'une cartographie LiDAR a permis de renouveler l'état des connaissances sur ce système qui paraît bien plus étendu qu'on ne l'imaginait et semble correspondre à une enceinte de contour plutôt qu'à un barrage.

Dynamiques paysagères du massif du Fossard – 1830-2022

À l'aide de cartes et plans anciens, il s'agira de reconstituer les usages du sol et les paysages du massif du Fossard vers 1830, avant le temps de la transition forestière et des reboisements. Les paysages agraires et forestiers y apparaissent comme des paysages de transition entre les modèles du piémont vosgien et des hautes Vosges. En ce début du XIX^e siècle, de nombreux domaines agricoles aujourd'hui disparus trouaient le couvert forestier du Fossard. La forte présence des pâtures, des prés et de la forêt ne pourra surprendre personne. Les importantes surfaces dévolues aux terres labourées sont plus étonnantes. Les évolutions qui ont mené aux paysages actuels seront analysées à la lumière de documents historiques, avec un focus sur les évolutions les plus marquantes.

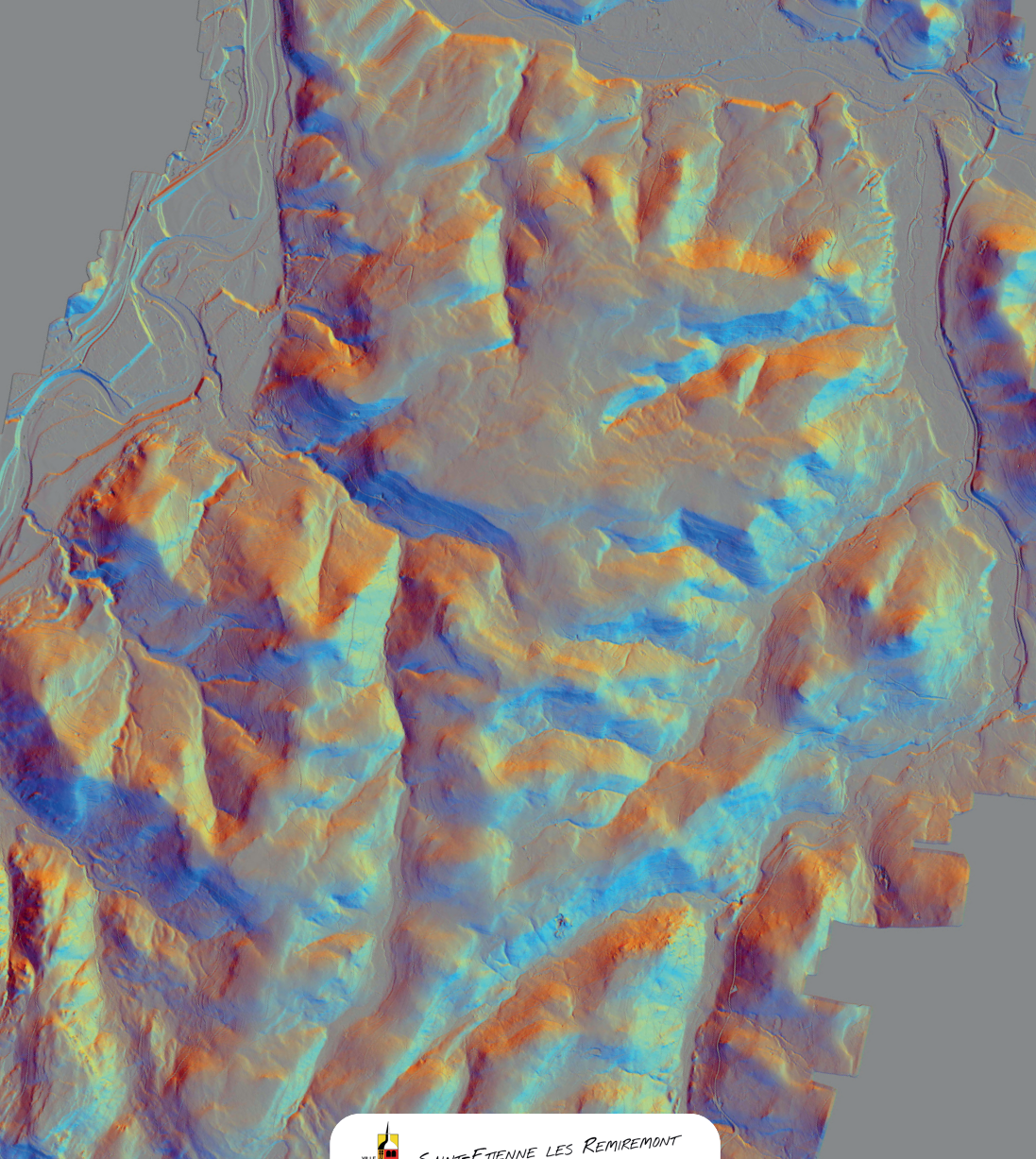
Des cartes planimétriques anciennes au LiDAR : recherches sur les parcellaires agricoles du massif du Fossard

Depuis près de deux décennies, des recherches sur les paysages agraires et, en particulier, sur les parcellaires anciens sont entreprises sur le versant alsacien des Vosges (Schwarz et al., 2020) et dans le massif au nord du Donon (Meyer, 2014). Elles ont permis de mettre en évidence, le plus souvent sous couvert forestier, un ensemble de limites matérialisées par des micro-reliefs de type murgers et rideaux de culture, voire champs bombés, qui définissent, selon les contextes topographiques ambiants, des parcellaires linéaires ou curvilignes caractéristiques de l'exploitation ancienne du sol. Dans les Vosges occidentales et méridionales, ces recherches restaient à faire pour compléter les premières observations faites par des géographes, particulièrement dans les Vosges moyennes, sur les enclos en pierres sèches caractéristiques des paysages lithiques (Rochel, 2017).

Le projet AGER – Archéologie et Géoarchéologie du premier Remiremont et de ses abords – procède de cette réflexion. Il apporte, grâce à une imagerie LiDAR, les premiers éléments de réponse sur l'existence de signatures structurelles de gestion du sol dans un secteur d'une centaine de km² du versant lorrain, entre Moselle, Moselotte et Vologne et en limite du socle hercynien et des grès triasiques, dont le nom, « Fossard » – étymologiquement « creux », « dépressions », « vallons encaissés » et « essartés » –, invite à penser que la forêt qui le recouvrait fut massivement défrichée avant l'ultime reprise qui s'amorce lentement dès le milieu du XIX^e siècle. La datation de ces structures, qui peut éventuellement être déduite de comparaisons, reste toutefois en suspens, faute de sondage.

HUSSON Jean-Pierre
LOTERR, Université de Lorraine

Conclusions du colloque



SAINT-ETIENNE LES REMIREMONT

