



HAL
open science

Hydrosystèmes anthropiques de la Montagne de Reims

Julien Berthe, Pierre-Yves Ancelin

► **To cite this version:**

Julien Berthe, Pierre-Yves Ancelin. Hydrosystèmes anthropiques de la Montagne de Reims : Apport du lidar aéroporté. Archéo.doct, 2024, 17. hal-04529704

HAL Id: hal-04529704

<https://hal.science/hal-04529704>

Submitted on 2 Apr 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Sarah Georgel-Debedde, Camille Hut, Valentine Martin et Stèlio Poli (dir.)

Le passé au fil de l'eau L'eau et ses enjeux dans les sociétés anciennes

Éditions de la Sorbonne

Hydrosystèmes anthropiques de la Montagne de Reims

Apport du lidar aéroporté

Anthropogenic Hydrosystems of the Montagne de Reims. Contribution of Airborne Lidar

Julien Berthe et Pierre-Yves Ancelin

Éditeur : Éditions de la Sorbonne
Lieu d'édition : Paris
Année d'édition : 2024
Date de mise en ligne : 2 avril 2024
Collection : Archéo.doct
EAN électronique : 979-10-351-1008-6



<http://books.openedition.org>

Référence électronique

BERTHE, Julien ; ANCELIN, Pierre-Yves. *Hydrosystèmes anthropiques de la Montagne de Reims : Apport du lidar aéroporté* In : *Le passé au fil de l'eau : L'eau et ses enjeux dans les sociétés anciennes* [en ligne]. Paris : Éditions de la Sorbonne, 2024 (généré le 02 avril 2024). Disponible sur Internet : <<https://books.openedition.org/psorbonne/115977>>. ISBN : 979-10-351-1008-6.

Ce document a été généré automatiquement le 2 avril 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Hydrosystèmes anthropiques de la Montagne de Reims

Apport du lidar aéroporté

Anthropogenic Hydrosystems of the Montagne de Reims. Contribution of Airborne Lidar

Julien Berthe et Pierre-Yves Ancelin

Les auteurs remercient l'Office national des forêts et le Parc naturel régional de la Montagne de Reims pour l'accès aux données LiDAR. Il remercie également les co-auteurs de cette contribution, Alain Devos (professeur de géographie), Pierre-Yves Ancelin (doctorant en géographie au GEGENAA) et l'ensemble du comité scientifique de l'université Paris 1 ainsi que le relecteur pour leurs corrections.

Introduction

Contexte

Apports du LiDAR à l'archéologie environnementale

- 1 Depuis une vingtaine d'années, les campagnes LiDAR aéroportées se sont grandement démocratisées, et ont contribué à l'amélioration des connaissances archéologiques, voire de leur renouvellement dans de nombreux massifs forestiers (Costa *et al.*, 2020), au point d'en faire des objets d'étude archéologique idéals (Georges-Leroy *et al.*, 2009).
- 2 L'exploitation du LiDAR aéroporté a particulièrement été effective dans l'est de la France, notamment dans la région Grand-Est, regroupant près d'un quart des campagnes nationales en 2021 (Georges-Leroy, 2022).

Quelques études de cas en France

- 3 Dans la forêt de Haye, les formes en élévation sur les calcaires du Bajocien déterminent un réseau parcellaire, viaire et de bâti (Georges-Leroy *et al.*, 2011) et secondairement

des réseaux de fossés périphériques à la forêt appelé woodbank¹ (2 % vs 98 % parcellaire). Dans la forêt de Trois-Fontaines, au contact des formations argilo-sableuses du Crétacé et des formations calcaires du Tithonien, des formes karstiques naturelles se dégagent (Bensaadi, 2020). Ailleurs, dans les plaines charentaises, ce sont les charbonnières qui sont davantage étudiées (Rassat *et al.*, 2015). Enfin, sur la craie Champenoise du secteur de Reims ou sur les calcaires de l'Oxfordien à Verdun, les polémiformes de la Première Guerre mondiale déterminent essentiellement des réseaux de fossés correspondant à des réseaux de défense (tranchées, boyaux) (Taborelli *et al.*, 2017 ; De Matos-Machado *et al.*, 2016).

- 4 En revanche, dans les espaces à faible pierrosité comme en contexte argileux en Montagne de Reims, l'absence de matériaux cohérents semble diversifier l'usage des fossés habituellement réservés aux woodbank (David, 2019). Par exemple dans ce contexte, la délimitation du parcellaire se fait non plus par des murets en pierre sèche mais par des fossés.

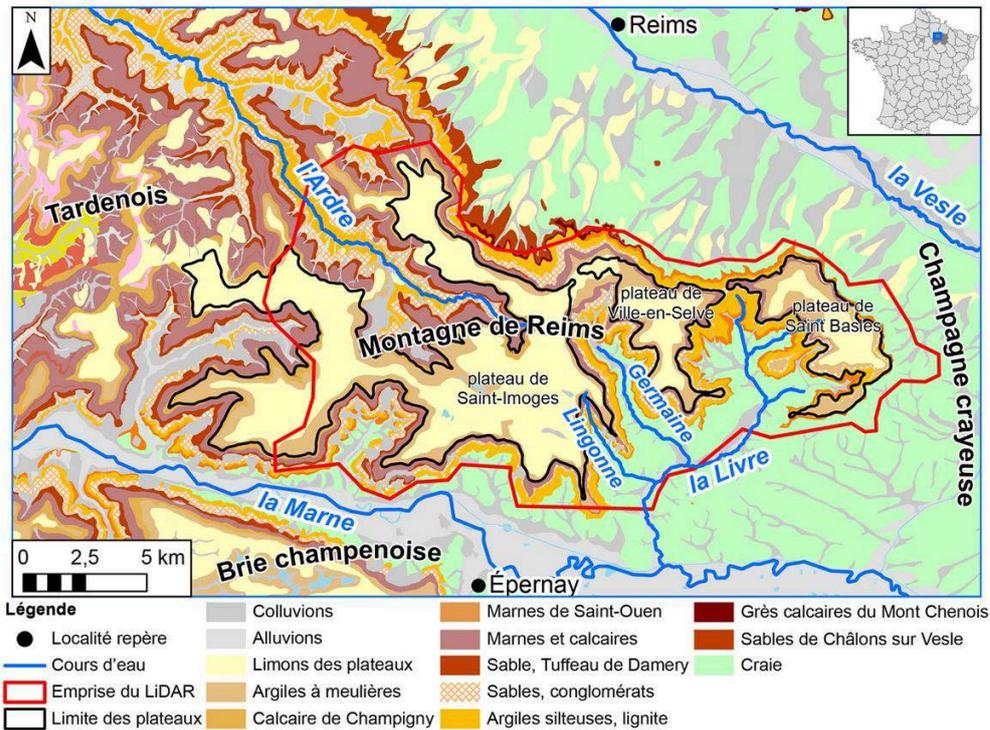
Problématique

- 5 L'objet de cette contribution est de caractériser ces anomalies topographiques creuses en s'intéressant à leur organisation spatiale. Pour les dispositifs à fonctionnement hydrologique, il s'agit d'évaluer les conséquences de leur intégration aux hydrosystèmes existants.
- 6 Pour répondre à cette problématique, la Montagne de Reims est choisie comme zone atelier.

Site d'étude

Contexte géographique

Fig. 1 : Carte géologique de la Montagne de Reims et de ses environs



Julien Berthe.

- 7 La Montagne de Reims, qui culmine à 296 m, correspond à la terminaison orientale des plateaux tertiaires du Bassin parisien. Elle forme le revers de la Côte d'Île-de-France qui constitue l'interfluve séparant les vallées de la Marne (au sud) et de la Vesle (au nord ; fig. 1). Il s'agit d'un plateau très incisé par le réseau hydrographique de la Livre et de l'Ardre supérieur. Il est divisé en trois plateaux (Saint-Basle, Ville-en-Selve, Saint-Imoges), coiffés par les Argiles à Meulière et des limons, qui dominent d'environ 200 m le plateau de Champagne sèche (ou Champagne crayeuse).
- 8 Le plateau de la Montagne de Reims présente un caractère humide notable, lié aux Argiles à meulière, sur lesquelles se concentrent de nombreux secteurs marécageux et dû à la présence des limons des plateaux qui produisent localement des sols hydromorphes.
- 9 Sur les versants, les formations géologiques du Paléocène sont bien plus filtrantes du fait de la présence des sables et des calcarénites qui recouvrent la craie de champagne. Cet espace de contact lithostratigraphique est matérialisé par la présence d'un alignement de gouffres et de dolines² le long d'un front de karstification, qui absorbe localement les écoulements du plateau (Berthe *et al.*, 2021, 2022).
- 10 Enfin la concomitance du caractère argileux du sol et de la présence d'un couvert forestier dense (taux de couverture forestière d'environ 67 %) induit l'existence de conditions environnementales favorables à l'entretien de zones humides à fort potentiel de patrimonialisation géohistorique (PNR MR, Forêt d'Exception®, Unesco) et biologique (ZNIEFF³, Natura 2000, Réserve biologique dirigée de l'ONF).

Contextes historique et archéologique

- 11 La dualité entre les plateaux humides de la Montagne de Reims et la « Champagne sèche » s'exprime également dans l'occupation du sol. La Montagne de Reims fait état d'une exploitation intermittente et très hétérogène qui semble être dominée par des activités sylvo-forestières impliquant des acteurs privés. En contrebas Reims et Épernay autrefois nommés respectivement Durocortorum et Sparnacum, constituent deux sites d'occupation antiques majeurs, implantés au centre des entonnoirs de percée cataclinale⁴, respectivement creusés par la Vesle et la Marne (Laratte, 2022). La Champagne crayeuse connaît une occupation relativement précoce et plurielle dès le Néolithique. Elle se concrétise par une déforestation totale dans les fonds de vallée et le développement massif d'activités agricoles et pastorales, notamment ovines durant l'Antiquité (Devos *et al.*, 2022). Les différentes sources textuelles mettent en évidence que la Montagne de Reims est un espace occupé par des seigneuries et par des abbayes (Saint-Basle, Hautvillier, Saint-Nicaise) à l'époque médiévale (Demaison, 1900 ; Demaison et Robert, 1931 ; Robert 1940), que ces derniers l'aménagent pour pratiquer la pisciculture, l'agriculture du chanvre et l'élevage. Elle est ensuite reconvertie pour une utilisation uniquement forestière (sylviculture, charbonnage) par les religieux de Reims jusqu'à la Révolution française, durant laquelle toutes les forêts sont achetées par des particuliers.
- 12 Les recherches archéologiques en Montagne de Reims sont peu nombreuses avec 200 « découvertes » archéologiques recensées dans la Carte archéologique de la Gaule sur les 68 communes (Chossenot, 2004). On peut attribuer cette méconnaissance d'une part à la faible piérosité du milieu (structure archéologique d'ordre taphonomique), d'autre part à l'absence d'études préventives dans le cadre d'aménagement du territoire mais également au régime foncier du sol largement privé et voué à la forêt (78 % des forêts sont privées).
- 13 Les sites remarquables comme le site de l'ancienne abbaye de Saint-Basle à Verzy ou l'ancien château de Vernay (Eliciel, 1994) ont fait l'objet de fouilles et de sondages sauvages organisés par des collectionneurs privés.
- 14 Toutefois le relevé LiDAR réalisé en Montagne de Reims en 2018 a mis en évidence de nouveaux sites archéologiques comme l'ancien château de Germaine ou l'ancienne abbaye de Serriers (David, 2019). Ces travaux ont également mis en évidence de nombreuses structures surfaciques, linéaires et ponctuelles en creux ou en élévation.

Matériels et méthodes

- 15 Un inventaire cartographique exhaustif du linéaire de fossés a été réalisé sur une zone atelier de 245 km² correspondant à l'emprise spatiale de l'acquisition LiDAR de la Montagne de Reims produit en 2018. Cela a été rendu possible grâce à l'exploitation d'un modèle numérique de terrain à très haute résolution, généré à partir du nuage de points émanant de cette campagne LiDAR, par l'intermédiaire d'une stratégie d'enregistrement cartographique.
- 16 De nombreuses études LiDAR mettent en évidence des formes naturelles et des structures archéologiques très diversifiées par l'intermédiaire de typologies historiques⁵(Georges-Leroy, 2020) ou morphologiques⁶ (De Matos-Machado, 2018).

- 17 Ces approches permettent de saisir les caractéristiques et la variété des anomalies topographiques, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Toutefois, en Montagne de Reims, l'approche historique implique également l'utilisation d'une méthode de datation indirecte, basée sur l'étude diachronique des plans, des archives, de la bibliographie et des rapports archéologiques afin de mieux définir le phasage de l'occupation humaine de ce plateau forestier.

Paramètres d'acquisitions du vol LiDAR

Tabl. 1 : Paramètres du LiDAR

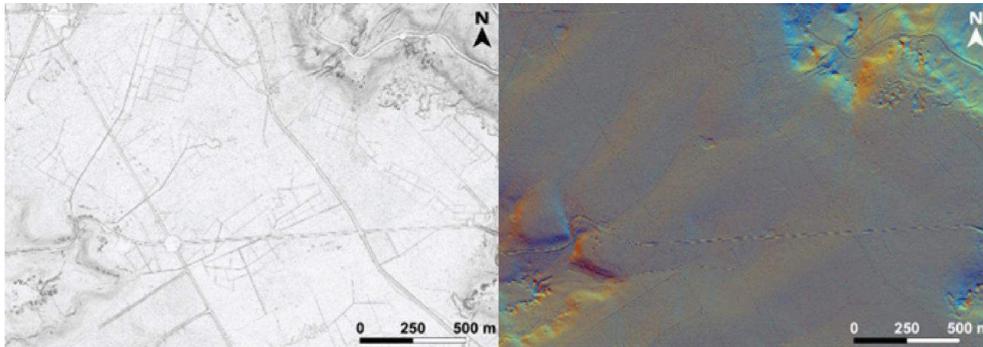
Conditions générales de l'acquisition	
Date d'acquisition :	21-22-23 / 02 / 2018
Laser :	Riegl LMS Q680i
Condition météorologiques	
Date	Météo
21/02/2018	Brume, faible visibilité
22/02/2018	Brume, faible visibilité, des rafales à partir de 16h
23/02/2018	Ciel clair, vent fort
Paramètres de vol LiDAR	
Paramètres d'acquisition	Valeur nominale
Hauteur de vol	550 m / sol
Vitesse de vol	125 Nœuds
Angle de scan	60°
Fréquence de scan	400 kHz
Précision altimétrique (écart-type)	10 cm
Précision planimétrique (écart-type)	25 cm
Densité moyenne de points émis par bande	6 points / m ²
Recouvrement	60%
Densités des points sol du nuage de point LAS (études à une résolution de 25 m)	
Nombre de points par m ²	Surface couverte (%)
< 5	1,66
5 à 10	34,12
10 à 15	56,79
15 à 20	6,54
> 20	0,89
Caractéristiques des MNT finaux	
Nombre	1 079
Surface couverte par image	500 m X 500 m
Résolution	50 cm X 50 cm
Surface totale	245,2 km ²

Julien Berthe, d'après Méchin, 2018 et David, 2019.

- 18 La campagne LiDAR de la Montagne de Reims couvre 245 km² correspondant à environ 80 % de la surface forestière du Parc Naturel Régional éponyme (fig. 1).
- 19 L'acquisition aéroportée a été réalisée à la fin de l'hiver 2018, dans des conditions météorologiques et phénologiques optimales (litière dégradée, absence de feuilles pour les peuplements caducifoliés, débourrement des bourgeons non entamés) (tabl. 1).
- 20 Les paramètres de vol, en particulier le taux de recouvrement, l'angle de scan et le capteur utilisé, ont abouti à l'acquisition d'un nuage de points « sol » possédant une densité moyenne d'environ 13 pts/m² et une bonne isotropie⁷ (Ancelin *et al.*, 2022). Cette densité élevée est restituée sous la forme d'un modèle numérique de terrain dont la haute résolution, latérale et verticale, permet une exploitation à des fins archéologiques des informations topographiques qu'il contient (Georges-Leroy *et al.*, 2011).

Traitements de visualisation

Fig. 2 : Exemple de traitement LiDAR



À gauche : Sky-view-factor ; à droite : Ombrage multidirectionnel.
Julien Berthe.

- 21 Afin de pouvoir interpréter le modèle numérique de terrain en faisant ressortir la microtopographie, divers indices de visualisation, classiques et standardisés en archéologie, ont été réalisés via le logiciel RVT⁸ (Kokalj et Somrak, 2019). Afin de faciliter la manipulation des données et d'optimiser le temps de calcul, les 1 079 dalles de modèle numérique de terrain de base ont été fusionnées en un seul raster.
- 22 Ce raster a été recalculé via RVT pour produire différents modèles tels que :
 - l'ombrage multidirectionnel, somme de rasters ombrés d'azimuts différents, afin de pallier les défauts de l'ombrage unidirectionnel en négligeant les ombres portées (Devereux *et al.*, 2008 ; Nuninger *et al.*, 2010) ;
 - le Sky-view Factor (SVF) simule une illumination diffuse (Kokalj *et al.*, 2011), dont l'efficacité dans la détection de structures archéologiques est largement démontrée (Kokalj *et al.*, 2011 ; Zakšek *et al.*, 2011 ; Chase *et al.*, 2017 ; Nuninger *et al.*, 2010 ; De Matos-Machado, 2018) (fig. 2) ;
 - le modèle de relief local (Local Relief Model ou LRM) pour sa capacité à révéler les concavités et les convexités du terrain (Hesse, 2010).

Cartographie et analyses morphométriques

- 23 Les anomalies topographiques ont été numérisées avec l'appui d'un protocole préalablement déterminé qui favorise la transparence et la reproductibilité des méthodes employées (Georges-Leroy *et al.*, 2011).
- 24 Chaque type d'anomalie est défini par rapport à ses caractéristiques morphologiques. À partir de ces définitions, des normes cartographiques sont émises. Elles ont pour but de conditionner les choix d'individualisation des entités, d'explicitier le type de vecteur choisi (point, polyligne, polygone) et la manière dont elles sont digitalisées. Pour faciliter leur reconnaissance, leur signature topographique et leur signature morphologique agrémentent le protocole sous la forme d'un exemple de profil topographique et d'une vue en plan associée, établie selon un mode de visualisation jugé efficace pour la détection de chaque type d'anomalie.

- 25 Plusieurs analyses morphométriques ont été menées, à partir du linéaire de fossés cartographié et du modèle numérique de terrain, afin d'apprécier le degré d'anthropisation de l'hydrosystème :
- la sinuosité du tracé, dans le but de discriminer les drains anormalement rectilignes ;
 - le profil transversal pour décrire la section mouillée du chenal plein bord (présence de bourrelets, de formes emboîtées) ;
 - le profil en long des fossés, témoignant ou non d'une régularisation ;
 - le profil en long de la ligne d'eau artificialisée par l'ouvrage hydraulique.
- 26 Pour ce dernier profil en long, la haute vallée de la Lingonne a été utilisée comme bassin versant atelier pour illustrer l'anthropisation des milieux. Le taux d'équipement a été déterminé en fonction du rapport du linéaire dont la ligne d'eau est artificialisée et du linéaire total.
- 27 Par ailleurs, la cartographie des fossés, objets d'étude principaux, permet de mieux cerner leurs caractéristiques et de proposer des typologies selon trois approches, pour ensuite réaliser des statistiques sur leur fréquence d'apparition par rapport à l'effectif total :
- une typologie morpho-spatiale selon leur forme et leur organisation spatiale ;
 - une typologie génétique, dans notre zone d'étude la faible pierrosité implique que les formes linéaires peuvent correspondre à différentes formes archéologiques, tels que du parcellaire, des réseaux de drainage associés ou non aux réseaux viaires, et des woodbanks ;
 - une typologie hydrologique basée sur les différents types d'exutoires, naturels ou anthropiques, qui replacent chaque forme ou structure dans l'hydrosystème.
- 28 Le modèle numérique de terrain et les traitements numériques dérivés ont également été utilisés pour inventorier les ouvrages hydrauliques (barrages, digues) ou toute sorte d'aménagement associé à une prise d'eau ou à un plan d'eau.

Croisement des bases de données et caractérisation des anomalies topographiques

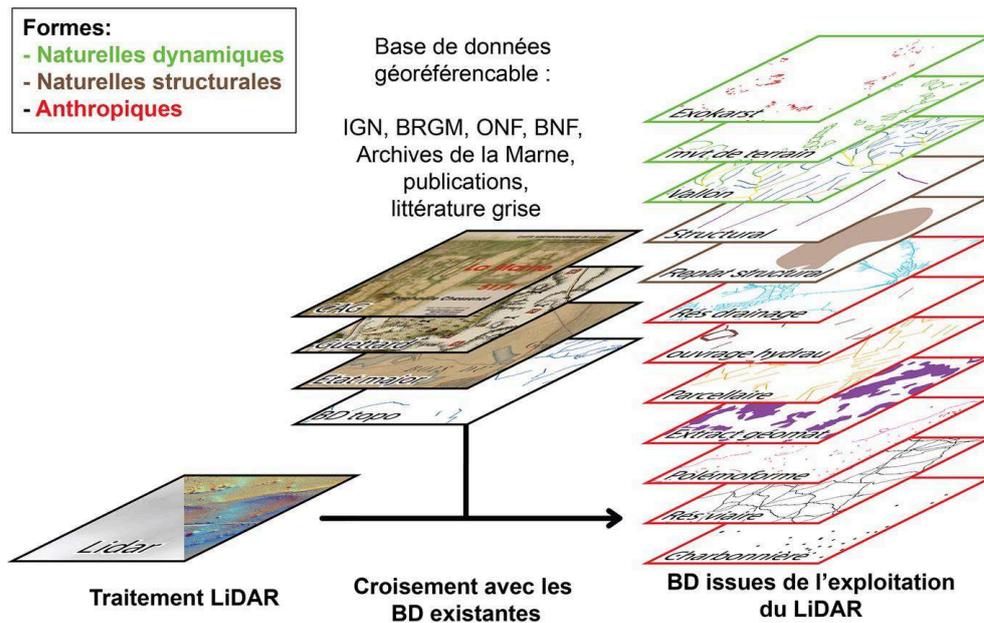
Tabl. 2 : Corpus des archives planimétriques

Carte	Date	Emprise	Echelle	Source	Cote
Plan du bois de Vernay (1620)	1620	Germaine	1 : 3 000	Archives départementales de la Marne	2 G 1642/23
Carte générale de la France. D44, [Soissons]. N°44. File 5e / [établie sous la direction de César-François Cassini de Thury]	1757	1/2 E MR	1 : 80 000	BnF	http://ark.bnf.fr/ark:/12148/cb40860537t
Carte Minéralogique de la Champagne où se trouvent S.te Mennehould, Machaut, Suippe, Planche 13, Atlas et description minéralogique de la France, entreprise par ordre du roi par MM Guettard et Monnet, publiés par M. Monnet d'après les nouveaux voyages.	1770	1/2 E MR	1 : 200 000	Atlas et description minéralogique de la France entreprise par ordre du roi par MM Guettard et Monnet [et Lavoisier], 1780-1794. <i>Bibliothèque patrimoniale numérique de l'École nationale supérieure des mines de Paris (Mines ParisTech)</i> , consulté le 4 juillet 2022, https://patrimoine.mines-paristech.fr/document/Atlas_min%C3%A9ralogique_1780 .	-
Cadastre napoléon, Germaine, Section Bu	1827	Germaine	1 : 2 500	Archives départementales de la Marne	3 P 977/4
Carte d'état-major, feuille de Châlons sur Marne, partie NO	1831	1/4 SO MR	1 : 80 000	Fond cartographique personnel	-
Carte du Canton d'Epemay [Document cartographique] / dressée par M. Leglivaie, Instituteur à St. Amand avec le concours de ses collègues sous la direction de M. Poinsignon	1876	1/4 SO MR	1 : 80 000	BnF	http://ark.bnf.fr/ark:/12148/cb40644915t
Plan directeur, Goupe des canevais de tir, Avise, service géographique de l'Armée 1918	1918	1/6 S MR	1 : 20 000	Archives départementales de la Marne	31 Fi 84
Carte topographique de l'IGN - 1950	1950	Complète	1 : 50 000	Fond cartographique personnel	-
Carte topographique de l'IGN - 2011	2011	Complète	1 : 25 000	IGN - Géose rvice	SCAN 25*

Julien Berthe.

- 29 En supplément de l'approche morphométrique, un croisement de documents, archéologiques et planimétriques, a été réalisé pour caractériser des formes révélées par le LiDAR et les valider. Bien que teintées d'une subjectivité croissante et d'une précision décroissante à mesure que l'on remonte dans le temps, ces archives apportent une vision plus claire du paysage et de l'environnement par les contemporains et sont précieuses pour leur apport diachronique permettant d'étudier leur évolution (Crozet *et al.*, 2017).
- 30 L'archéologie, généralement salvatrice pour les périodes antérieures au XVIII^e siècle et non documentées par des sources textuelles suffisamment représentatives de l'évolution des hydrosystèmes, n'apporte que peu d'éléments de réponse dans un milieu historiquement forestier, au sein duquel les opérations d'archéologie préventive sont très rares, et les opérations de fouilles programmées anciennes (XIX^e siècle), sauvages et destinées à alimenter des collections privées ou des musées locaux.
- 31 Les rares recherches archéologiques d'intérêt portent sur des occupations gallo-romaines essentiellement tournées vers l'exploitation de géomatériaux locaux (argile, sol ferrallitique) et la production de terre cuite architecturale (Chossenot *et al.*, 2004 ; Deru *et al.*, 2005), mais aussi sur des occupations médiévales liées à la production et l'usage de carreaux vernissés (Eliciel, 1994).
- 32 Les critères de sélection des documents cartographiques et planimétriques anciens, utilisés via leur géoréférencement, sont la qualité, l'emprise, leur disponibilité et leur thématique morphogène⁹ (tabl. 2). À titre d'exemple, la carte minéralogique de la Champagne (1770, dite de Guettard) est utilisée pour l'inventaire des carrières. Le cadastre napoléonien restitue de précieuses informations dans l'étude des zones humides, des morphologies du parcellaire et hydrologiques, voire limnologiques, concernant la présence de plans d'eau au début du XIX^e siècle (Bartout, 2011). Enfin, les plans directeurs des Groupes de Canevass de Tir des Armées¹⁰(GCTA ; Combaud *et al.*, 2016), et leur numérisation, révèlent quels fossés sont intégrés aux réseaux de défense pendant la Première Guerre mondiale (Taborelli, 2018).
- 33 Les documents cartographiques et planimétriques ont été géoréférencés via le logiciel Arcmap de ArcGIS 10.3 avec l'utilisation moyenne de 10 points d'amer¹¹ et selon la méthode polynomiale 1er degré¹². Cette attribution de coordonnées projetées permet le croisement de ces diverses couches d'information spatiale avec le modèle numérique de terrain LiDAR et les couches vecteurs créées lors de la compilation cartographique.
- 34 In fine, le repositionnement de chaque objet, archéologique ou non, dans son contexte historique, permet d'agrémenter le SIG « Montagne de Reims » préexistant de différentes banques de données (BD) thématiques liées à la gestion de l'hydrosystème du plateau (fig. 3).

Fig. 3 : Organisation du SIG Montagne de Reims



Julien Berthe.

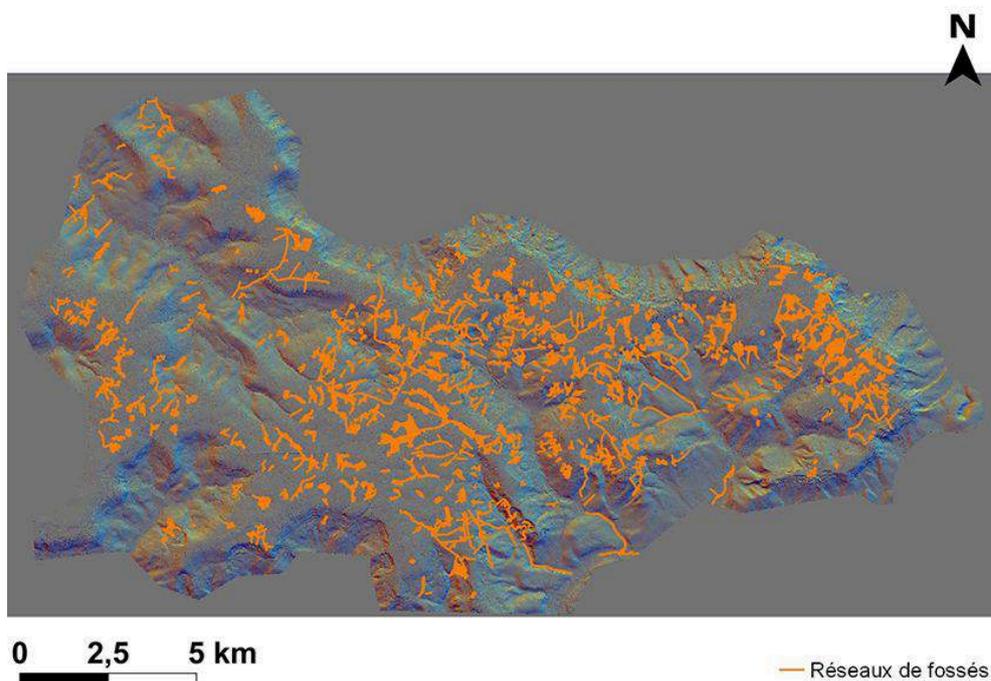
- 35 Les formes associées à la géomorphologie dynamique (exokarst, niches d'arrachement de mouvement de terrain, vallons) sont distinguées des formes structurales comme les replats et les failles. Les structures anthropiques sont également catégorisées en fossés, ouvrages hydrauliques, parcellaires anciens, sites d'extraction de géomatériaux, polémoformes, réseaux viaries et charbonnières.

Résultats

Inventaires des « Fossés »

Cartographie

Fig. 4 : Cartographie des fossés dans l'emprise de la campagne LiDAR Montagne de Reims



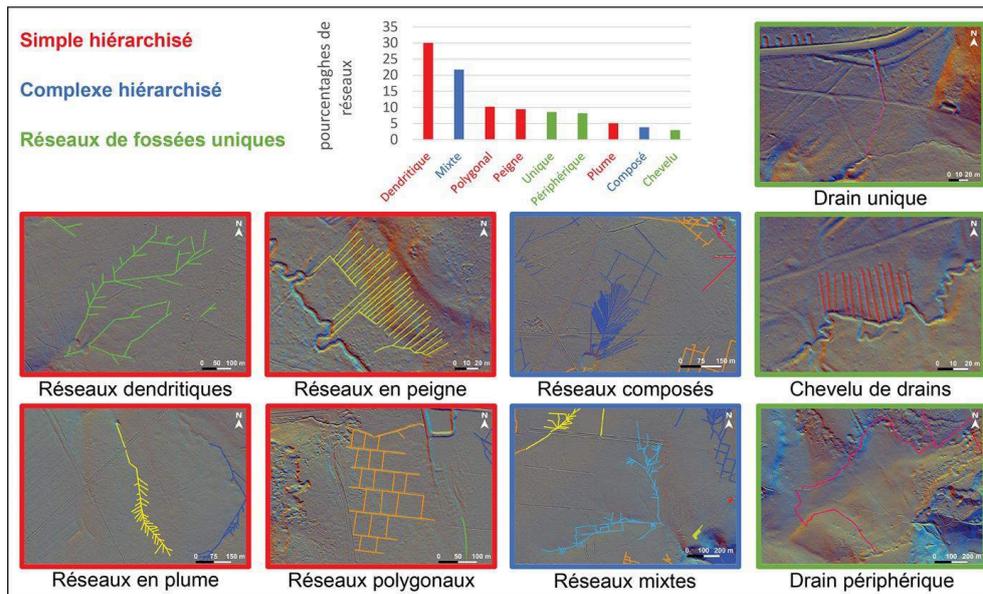
Julien Berthe.

- 36 La cartographie des fossés visibles sur le modèle numérique de terrain LiDAR atteste de l'omniprésence de ces structures drainantes (fig. 4). Les 791 réseaux de fossés ont été mis en évidence par la cohérence de leur organisation spatiale, et l'existence d'un exutoire¹³ simple ou multiple. Cela correspond à un développement total de 650 km sur 245 km², débouchant sur une densité moyenne linéaire d'environ 2,6 km/km². Cette statistique revêt une forte hétérogénéité spatiale au sein de l'emprise du secteur d'étude du fait de la concentration majoritaire des fossés sur les plateaux sur lesquels la densité s'élève à 4,3 km/km² (403 km/94 km²), contre 1,6 km/km² retrouvé sur les versants (151 km sur 235 km²).
- 37 Ces chiffres cachent de fortes disparités spatiales avec des secteurs à très forte densité apparente comme sur le plateau de Saint-Basle.

Typologie et analyses statistiques des réseaux de fossés

- 38 Les réseaux de fossés peuvent être analysés selon différents critères, le plus abordable d'entre eux étant l'étude de l'organisation spatiale des fossés qui constituent le réseau. Cette typologie s'organise en trois groupes.
- 39 Parmi les trois groupes, deux groupes sont hiérarchisés, les réseaux simples présentant une seule organisation spatiale et les réseaux mixtes et composés en présentant respectivement deux ou plus de deux organisations spatiales.
- 40 Les réseaux composés et mixtes sont constitués de la fusion de deux ou plus réseaux simples.
- 41 Le troisième groupe est constitué des drains présentant une cohérence spatiale sans connexion hydraulique (fig. 5).

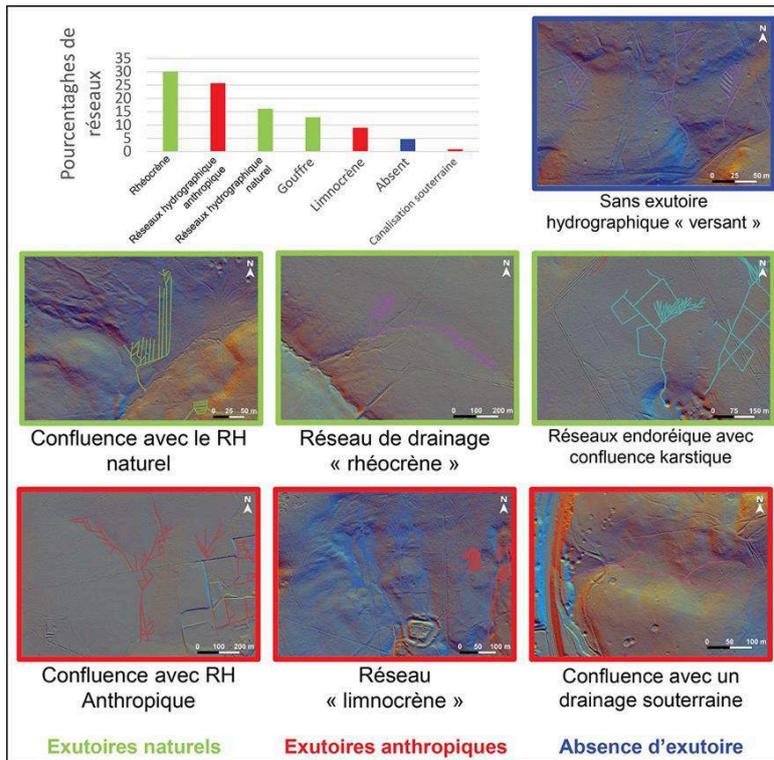
Fig. 5 : Typologie morphologique des réseaux de fossés



Julien Berthe.

- 42 De façon plus précise les réseaux hiérarchisés sont composés de deux types. Le premier regroupe des réseaux qui possèdent une véritable organisation de leurs fossés, hiérarchisés autour d'un collecteur. C'est le cas des réseaux dendritiques (hiérarchisation), en peigne (une série de fossés parallèles se jetant dans un collecteur périphérique en aval), en plume (un fossé collecteur central collectant une série de fossés uniques/élémentaires) et polygonaux (réseau formant des polygones caractéristiques).
- 43 Le second type regroupe les fossés uniques/élémentaires ou multiples sans connexion, tels que les drains élémentaires (fossé à la géométrie simple), les drains périphériques (fossé unique à la géométrie complexe) et le chevelu de drains (fossés multiples, sans drain collecteur).
- 44 La typologie morphologique des réseaux de fossés montre que la majeure partie de ces réseaux s'organise de façon dendritique (30 %) ou mixtes (20 %) donc de manière hiérarchisée vers un drain collecteur. Les autres types morphologiques (unique, polygonal, peigne, périphérique, plume, chevelu, composé) constituent chacun moins de 10 % de l'effectif total.
- 45 La typologie hydrologique repose sur le type d'exutoire des réseaux de fossés. Il peut être naturel lorsque le fossé est en tête d'un cours d'eau (rhéocrène) ou d'un phénomène exokarstique (gouffre et doline) lui affectant un caractère endoréique¹⁴ (fig. 6).

Fig. 6 : Typologie hydrologique des réseaux de fossés

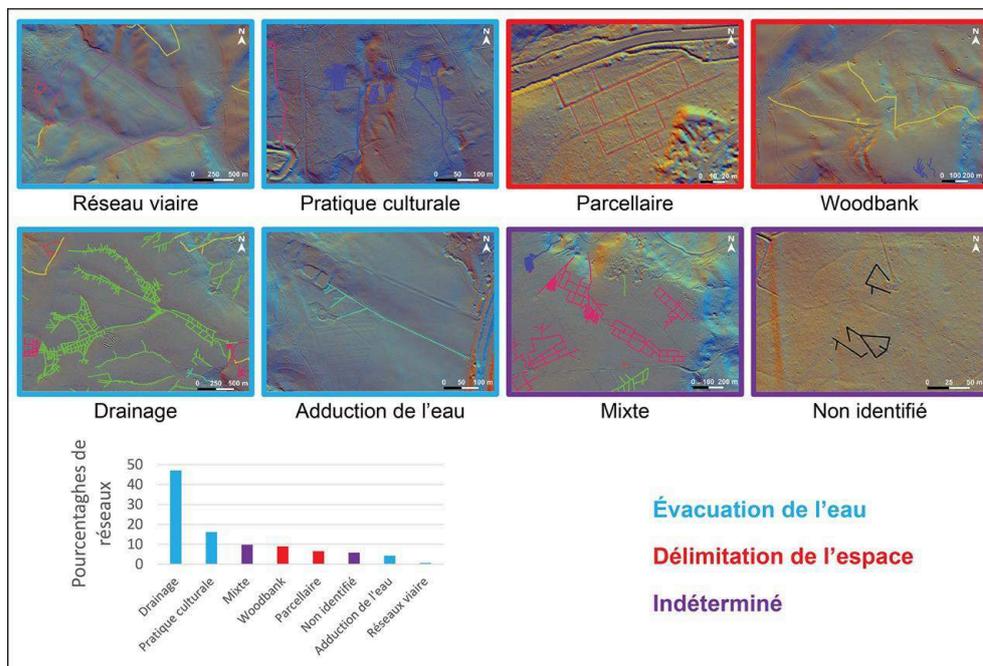


Julien Berthe.

- 46 L'exutoire peut également être d'origine anthropique s'il correspond à un autre réseau de fossés, à un plan d'eau aménagé comme des douves, des étangs etc. (exutoire limnocrène¹⁵) ou à un ouvrage de drainage souterrain (buse). Enfin, certains réseaux se distinguent par un écoulement diffus sur les versants sans exutoire.
- 47 La distribution de la typologie hydrologique témoigne d'une grande diversité des types d'exutoire, qu'ils soient anthropiques ou naturels. En possédant presque tous un exutoire (env. 95 %), ces réseaux de fossés affectent nécessairement les écoulements en Montagne de Reims en s'intégrant à l'hydrosystème et en contribuant à la modification des modalités de concentration des eaux.
- 48 Enfin, une dernière typologie sur l'usage historique des réseaux de fossés peut être proposée. Dans l'état actuel des connaissances, la typologie génétique se base uniquement sur une approche interprétative des structures encore présentes et sur le croisement avec des données archivistiques largement incomplètes. Dans certaines organisations parcellaires, les réseaux de fossés peuvent matérialiser des paléo-limites de parcelles potentiellement drainantes (woodbank attestés par le cadastre). La fonction de ces réseaux de fossés peut également être dédiée au drainage (fossés en parallèle du réseau viaire), purement agricoles, tel qu'à l'intérieur des paléo-parcelles culturales (billons, ados, planches ; Sittler et Hauger, 2007) ou encore produits dans le but d'abonner¹⁶ des milieux palustres en évacuant l'eau des zones humides (drainage superficiel). On retrouve enfin des fossés voués à l'adduction de l'eau, d'une pièce d'eau vers un exutoire (fig. 7).

- 49 La distribution de la typologie génétique montre clairement que la majorité des fossés (60 %) sert à évacuer les eaux excédentaires, que ce soit par le creusement de véritables fossés ou par des pratiques agricoles comme les billons de cultures.
- 50 La volonté d'évacuer les eaux et de lutter contre l'hydromorphie des sols semble sans équivoque. Les réseaux de fossés sont nombreux et denses, et manifestement bien structurés et hiérarchisés afin d'optimiser l'efficacité du drainage, tel que l'exprime la situation des exutoires, le plus souvent situés sur les versants (donc à l'extérieur des plateaux). Cette cohérence systémique apparente, révélée par la reconstitution LiDAR de la microtopographie à un moment donné, invite à être questionnée et relativisée. L'apport diachronique des données archivistiques permet ainsi de révéler le multiphasage de la morphogenèse de ces formes et structures qui bouleversent l'hydrosystème, et les pratiques sylvicoles et agricoles qui les génèrent.

Fig. 7 : Typologie génétique des réseaux de fossés



Julien Berthe.

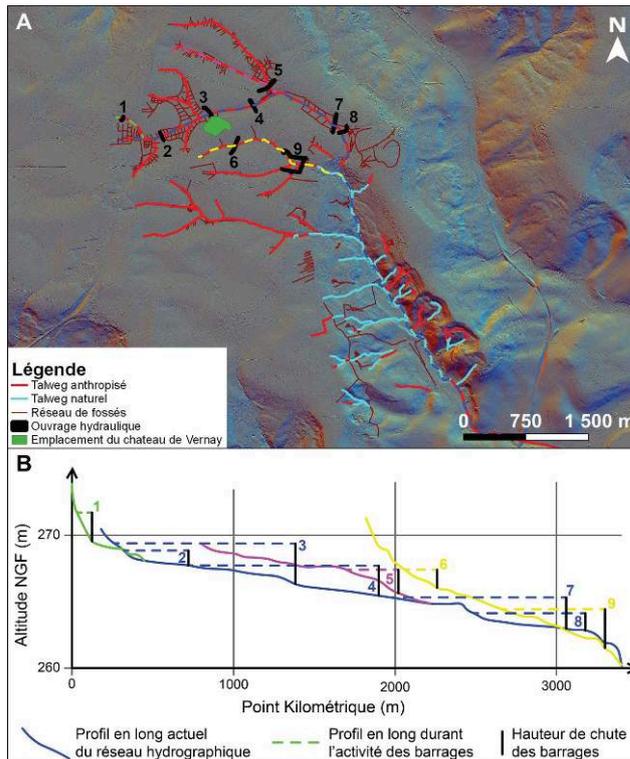
Études de cas : Les ouvrages hydrauliques de la haute vallée de la Lingonne

- 51 La Lingonne est un affluent direct de la Livre, rivière tributaire de la Marne (fig. 1). La haute vallée de la Lingonne a été choisie comme secteur expérimental pour apprécier l'anthropisation de l'hydrosystème car elle fait l'objet d'un fond archivistique, notamment planimétrique, suffisamment fiable pour établir une reconstitution diachronique de l'hydrosystème.
- 52 Le traitement des images LiDAR permet de restituer l'équipement hydraulique et l'anthropisation de la haute vallée de la Lingonne par le dénombrement de 9 barrages (fig. 8A). Ces ouvrages correspondent plus précisément à des digues transversales au talweg¹⁷ qui sont généralement étagées, ce qui forme un chaînage d'étang, modifiant fortement le profil en long de la ligne d'eau (fig. 8B). La reconstitution du profil en long et des différentes hauteurs de chute maximales témoigne d'une anthropisation

quasiment totale du drain principal (en bleu sur la figure 8) du cours d'eau, pour lequel le taux d'équipement est de 95 %. Cette anthropisation s'exprime également par l'existence de plusieurs réseaux de drainages artificiels connexes qui sont connectés au cours d'eau, notamment dans le secteur du Château de Vernay. De ce fait, 90 % des écoulements dans la vallée de la Lingonne se font dans des talwegs aménagés et dans des fossés de drainage au détriment des talwegs naturels (fig. 8A).

- 53 Ce recalibrage des talwegs, principaux ou secondaires, concerne deux tiers du linéaire cartographié. Il est reconnaissable par le caractère rectiligne des tronçons et par des profils transversaux caractéristiques des drains : creusement en « V » avec bourrelet de rive en élévation.

Fig. 8 : Étude hydrologique de la vallée de la Lingonne



A : Inventaire des aménagements hydrauliques de la Lingonne. B : Profil en long de la haute vallée de la Lingonne.

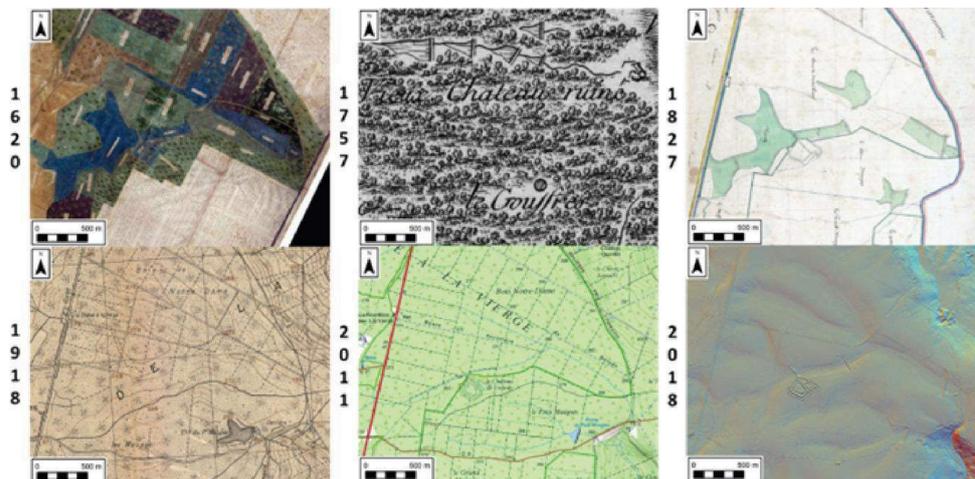
Julien Berthe.

- 54 La mise en parallèle des documents planimétriques de 1620 à 2018 et du profil en long de la ligne d'eau fait clairement ressortir le changement de tracé du drain principal. Au XVIII^e siècle l'écoulement se dirige ostensiblement vers une tour en ruine dans le bassin versant de la Germaine (fig. 9), alors qu'un gouffre karstique fait aujourd'hui office d'exutoire dans le bassin versant de la Lingonne. Cette avulsion¹⁸ d'origine anthropique induit des externalités hydrologiques modifiant les écoulements de surface et souterrains.
- 55 Par ailleurs, le chaînage d'étang observé est le résultat d'aménagements hydrauliques successifs, antérieurs au XVIII^e siècle et dont le nombre évolue de 7 à 9 plans d'eau de 1620 à 1827. La comparaison entre les données archivistiques et le profil en long permet

l'attribution de bornes temporelles à la création de chaque ouvrage, faisant ainsi ressortir le polyphasage des aménagements hydrauliques.

- 56 Les documents établis depuis la Première Guerre mondiale font état de l'assèchement des plans d'eau, probablement important, au XIX^e siècle, à l'arrêt de l'activité piscicole et au creusement de nombreux fossés de drainage entraînant l'assèchement général des zones humides de la Montagne de Reims (Eliciel, 1994).
- 57 L'exemple de la vallée de la Lingonne illustre le poids considérable que peuvent avoir les aménagements hydrauliques dans le fonctionnement d'un hydrosystème fortement anthropisé, avec une densité de 1 barrage pour 2 km² de bassin versant (9 barrages pour 18 km²). Toutefois, ces ouvrages sont strictement circonscrits sur les plateaux, ce qui témoigne d'une pression anthropique supérieure sur ces derniers. De plus, les morphologies révélées par le LiDAR ne sont pas systématiquement synchrones mais s'intègrent dans plusieurs périodes historiques avec un phasage caractéristique qui restera à approfondir. Ces nombreux équipements hydrauliques, concentrés sur les plateaux et la longueur élevée de linéaire de fossés organisés en réseaux, rendent particulièrement tangible l'anthropisation de l'hydrosystème de la Montagne de Reims.

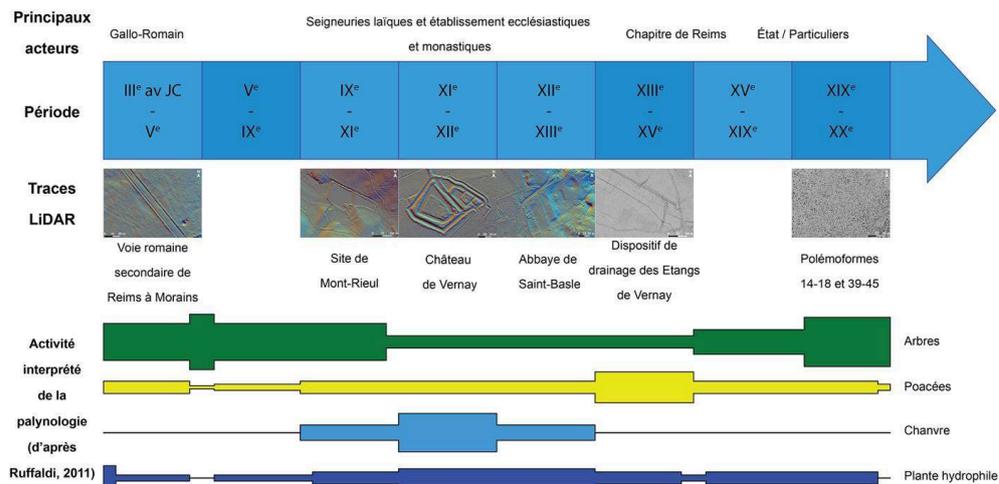
Fig. 9 : Étude diachronique de la haute vallée de la Lingonne



Julien Berthe.

Discussion

Fig. 10 : Évolution du paysage de la Montagne de Reims



Julien Berthe.

- 58 Au sein de la Montagne de Reims, massif aujourd'hui forestier, l'occupation humaine apparaît relativement faible et ancienne. Les témoins les plus marquants sont trois vestiges de châteaux forts médiévaux (château de Verzenay, tour ruiné de Germaine, douve de la forêt des bâtis) et trois vestiges d'abbayes (Saint-Basle, Hauviller, dépendance de Saint-Nicaise), ainsi que deux fermes et environ un millier de sites de charbonnage (David, 2019).
- 59 Malgré cela, on observe une artificialisation exacerbée de l'hydrosystème, particulièrement à la surface des plateaux. Cela témoigne d'une volonté d'aménagement d'un espace naturellement peu propice à l'installation humaine, du fait de son isolement géographique, de la présence de zones humides et de sols hydromorphes lourds. Pour cela, l'excès d'eau pédologique est concentré, des plateaux vers les versants, dans des exutoires naturels (gouffres, ravins de raccordement, ruisseaux) ou anthropiques pour un usage particulier (pisciculture).
- 60 Le caractère tardif des archives à disposition incite à l'utilisation d'autres approches, telles que l'interprétation des données palynologiques, afin de proposer un phasage de l'anthropisation de l'hydrosystème. Le secteur de la Montagne de Reims bénéficie à ce titre d'une étude réalisée sur une tourbière à Verzy, à l'est du plateau de Saint-Basle (Ruffaldi, 2011). L'auteur y propose un diagramme pollinique, sur une épaisseur d'environ 5 m, indiquant une occupation humaine intermittente depuis 2 250 ans.
- 61 Pour la période de la Protohistoire, l'âge du Fer se traduit principalement dans la région par une colonisation forestière importante marquée par une prédominance d'espèces hygrophiles (fig. 10), concordant avec les conditions hydromorphes des sols générés par les Argiles à meulière des plateaux. La présence de Poacées¹⁹ témoigne probablement d'activités agropastorales dédiées essentiellement à l'élevage. Cette pression humaine semble diminuer à la transition de l'Époque gallo-romaine et du Haut Moyen Âge à la faveur d'une reconquête forestière. Il est possible d'envisager que la faible valeur agronomique des sols induise cependant une pression moindre en Montagne de Reims.
- 62 Le Moyen Âge s'accompagne d'une pression anthropique croissante, matérialisée par des déboisements. Parallèlement, les cultures associées à l'élevage (indiquée par la

- présence de Poacées) et la culture chanvricole (chenevières) s'intensifient. Ces dernières cultures sont associées à une augmentation de la présence d'espèces aquatiques, ce qui suggère une gestion alternée entre pisciculture et agriculture. Dans la Montagne de Reims, cela correspond non seulement à un enchâtellement du milieu mais aussi à l'aménagement hydraulique des plateaux (barrage, digue, étang).
- 63 L'Époque moderne fait état d'une disparition des cultures du chanvre ainsi qu'un enrichissement progressif avec une persistance des activités d'élevage. La diminution de la proportion de plantes aquatiques évoque une baisse de la surface en eau. Ce qui suggère la mise en place de réseaux de fossés de drainage, afin de mettre en assec les étangs, et d'un « ensauvagement » généralisé qui s'exprime par la prolifération des plantes de milieux tourbeux (sphaigne) et de plantes hygrophiles (cyperaceae) : les zones humides, perçues comme des milieux répulsifs, sont drainées pour un usage forestier, charbonnier et sylvicole.
- 64 La culture du chanvre est progressivement abandonnée pour des raisons écologiques (pollution des cours d'eau) et un véritable arsenal législatif de lutte contre les zones humides confirme leur assèchement dans un contexte de démantèlement des propriétés seigneuriales et abbatiales post-révolution (Derex, 2006). Les réseaux de fossés semblent s'inscrire dans cette dynamique d'assèchement des plateaux.
- 65 Depuis le XIX^e siècle la recolonisation forestière s'accélère en parallèle d'une disparition des prairies, ce qui implique une fermeture des paysages et des milieux.
- 66 Pendant la Première Guerre mondiale, au début du XX^e siècle, les plans directeurs des GCTA permettent de replacer la Montagne de Reims en quatrième position de défense française, située à environ 20 km du *no man's land* séparant les belligérants (Taborelli, 2018). À cette occasion, l'armée française dote le plateau d'un nouveau réseau de fossés sans vocation hydrologique. Celui-ci correspond à des boyaux de communication et des tranchées de combat (Devos *et al.*, 2015), ainsi qu'à un ensemble d'infrastructures militaires logistiques et offensives (e.g. les voies de chemin de fer courbées dédiées à l'artillerie lourde sur voie ferrée ou les batteries d'artillerie sur affût fixe ; Perarnau *et al.*, 2022). En outre, les tirs d'artillerie allemands sur le plateau ont provoqué l'apparition d'une multitude de cratères d'obus ayant « bombturbé » le terrain. Cette bombturbation (Hupy et Schaetzl, 2006) fut accompagnée par un remaniement pédologique (« pédoturbation »), de nombreuses pollutions (Cao, 2020) et d'une quantité très élevée de polymères (ou traces morphologiques d'origine polymérique), qui font de la Grande Guerre un événement morphogène majeur de l'histoire ayant bouleversé l'hydrosystème (Taborelli, 2018).
- 67 Depuis les années 1970 et l'émergence d'une conscience écologique collective (Derex, 2006), les zones humides sont de plus en plus sanctuarisées par l'intermédiaire d'une pluralité de dispositifs de protection (Natura 2000, ZNIEFF, Réserve biologique dirigée). Cette protection est entretenue par la proximité de Reims et d'Épernay, dont les populations, urbaines comme rurales, considèrent la Montagne de Reims comme un poumon vert et un espace d'agrément.
- 68 Finalement, l'analyse du diagramme pollinique, produit par Pascales Ruffaldi en 2011, confirme l'évolution classique des zones humides métropolitaines avec un phasage caractéristique qui s'explique par une pression humaine évoluant dans le temps.
- 69 À ce titre, le paysage topographique révélé par l'acquisition LiDAR aéroporté constitue un véritable palimpseste des pratiques et des occupations humaines morphogènes. En

Montagne de Reims, la disparition progressive et partielle des zones humides, la déprise agraire et l'intensification des activités sylvicoles tendent à conserver les morphologies antérieures, la couverture arborée agissant comme un bouclier à l'encontre des pressions climatiques et anthropiques (agriculture intensive, étalement urbain ; Thorne, 1990 ; Georges-Leroy *et al.*, 2009). À l'image des forêts de l'est de la France (Georges-Leroy, 2020 ; Ritz, 2020 ; Ancelin, 2022 ; Fruchart, 2014), la Montagne de Reims porte l'empreinte de l'occupation humaine et constitue un véritable conservatoire des pratiques morphogènes des sociétés.

- 70 Dans ce milieu à faible valeur agronomique, et à faible pierrosité, les morphologies les plus prégnantes sont paradoxalement celles associées aux politiques de disparition des zones humides par le drainage superficiel. À la différence des plateaux calcaires de l'est de la France à plus forte valeur agricole, comme le plateau de Haye (Georges-Leroy, 2020), les structures agraires et parcellaires sont minoritaires pour ce plateau argileux (Guillerme, 1997).

Conclusion

- 71 L'apport du LiDAR permet incontestablement d'améliorer la compréhension des hydrosystèmes en Montagne de Reims. C'est notamment le cas en terrain privé, traditionnellement très peu accessible en prospection pédestre, qui constitue 78 % de l'espace forestier dans le PNR MR. La restitution des actions morphogènes des sociétés anciennes, et l'appréhension de l'occupation du sol, très marquée par l'action anthropique, invitent à envisager l'hydrosystème comme un anthroposystème, le fait humain étant un facteur explicatif prépondérant dans sa composante surfacique (Carcaud, 2004).
- 72 L'activité humaine est intermittente depuis l'Époque protohistorique. Elle s'organise en quatre phases principales qui se calquent globalement sur les grandes périodes de l'Histoire :
- une période antique peu morphogène, un Moyen Âge caractérisé par un enchâtellement généralisé et la réalisation d'aménagements hydrauliques connexes ;
 - une époque moderne qui se caractérise principalement par un drainage massif des zones humides, découlant d'une réelle volonté politique et territoriale ;
 - une époque contemporaine marquée, au xx^e siècle, par deux conflits armés, dont un premier très morphogène, et dans la seconde moitié, par un renouveau patrimonial des zones humides.
- 73 Dans ce milieu répulsif hydromorphe, palustre et humide, les formes les plus présentes révélées par le modèle numérique de terrain LiDAR sont les fossés, dont la principale dynamique est le drainage qui s'oppose directement à la nature du milieu. Leur densité induit un forçage sur les conditions d'écoulement qui modifie les dynamiques hydrologiques des versants, espaces périphériques qui concentrent les exutoires des réseaux (karst, mouvements de terrain, ravins, cours d'eau).
- 74 Les processus géomorphologiques atténuent ces formes par sédimentation, fluage des bords ou érosion. En conséquence, leur détection devient inversement proportionnelle à leur âge, tendant ainsi à renforcer l'empreinte des Époque moderne et contemporaine, au détriment des Époques plus anciennes.

- 75 À ce titre, la connaissance de l'anthropisation des hydrosystèmes nécessite d'autres approches, en particulier archéologiques (sondage, fouille, microscopie) sur des structures d'ordre taphonomique. Compte tenu de la déprise rurale et de la reconquête forestière généralisée depuis le XIX^e siècle, la Montagne de Reims concentre de nombreux sites propices à l'enregistrement sédimentaire, dont l'analyse permettrait d'affiner cette étude de l'hydrosystème du plateau.
- 76 De même, le développement d'une approche hydrométrique et hydrochimique des mares, des ravins et des systèmes karstiques agrémenterait la compréhension de son fonctionnement hydrodynamique.

BIBLIOGRAPHIE

Ancelin Pierre-Yves *et al.*, « Analyse critique de la qualité de données LiDAR : approche comparative multi-sectorielle (Fossard, Vosges ; Montagne de Reims et "Berru-Berry-Brimont", Marne) », communication au colloque « Remuer ciel et terre : apport du LiDAR à l'archéologie », Remiremont, université de Lorraine (8 et 9 avril 2022).

Bartout Pascal, « L'apport du cadastre napoléonien aux problématiques spatiales des retenues d'eau », *Revue géographique de l'Est*, 51/3-4, 2011. DOI : 10.4000/rge.3382

Bensaadi Kamila, *Caractérisation et susceptibilité aux effondrements dans un karst de contact lithostratigraphique. L'exemple du barrois*, thèse de doctorat dirigée par Dominique Harmand, université de Lorraine, 2020.

Berthe Julien *et al.*, « Imagerie LiDAR et cartographie semi-automatique de l'exokarst de la Montagne de Reims (Champagne, France) », *Karstologia*, 78, 2021, p. 41-48. URL : hal.science/hal-03543184/document

Berthe Julien *et al.*, « Apport du LiDAR aéroporté sur la compréhension des facteurs d'exokarstification en contexte de bas plateau, exemple de la Montagne de Reims (France) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 28/4, 2022, p. 207-221. DOI : 10.4000/geomorphologie.16829

Cao Feifei, *Approche interdisciplinaire pour la caractérisation hydrogéologique du milieu crayeux. Application au transfert de perchlorate dans la craie de Champagne*, thèse de doctorat dirigée par Vincent Barbin, université de Reims Champagne-Ardenne, 2020.

Carcaud Nathalie, « D'espace et de temps : un itinéraire de recherche et d'enseignement sur les anthroposystèmes fluviaux », thèse d'habilitation à diriger des recherches dirigée par Jean-Paul Bravard, université d'Angers, 2004, t. 2.

Chase Adrian, Chase Diane, Chase Arlen, « LiDAR for Archaeological Research and the Study of Historical Landscapes », *Sensing the Past. Part of Geotechnologies and the Environment*, 16, 2017, p. 89-100. DOI : 10.1007/978-3-319-50518-3_4

Chossenot Raphaëlle (dir.), Charpy Jean-Jacques, Chossenot Michel, Chossenot Sophie, *La Marne : 51/1*, Paris, Académie des inscriptions et belles-lettres, 2004.

- Combaud Anne *et al.*, « Les plans directeurs de la Grande Guerre, Une nécessaire innovation cartographique ». *Revue internationale de géomatique*, 26/3, 2016, p. 363-393. DOI : 10.3166/rig.2016.00004
- Costa Laurent, Laüt Laure, Petit Christophe, « Archéologie, forêt et Lidar : une recherche qui a du relief ! Introduction », *Archéologies numériques*, 4/1, 2020. DOI : 10.21494/ISTE.OP.2020.0536
- Crozet Aude, Laplaige Clément, Rodier Xavier, « Une approche multidisciplinaire de la fabrique des paysages dans la longue durée dans les forêts de Blois, Russy, Boulogne et Chambord (Loir-et-Cher) », *Projets de paysage*, 16, 2017. DOI : 10.4000/paysage.5487
- David Sophie, *Rapport d'analyse des données LiDAR et résultats des prospections archéologiques. Forêt publiques du Parc Naturel régional de la Montagne de Reims (Marne)*, Rapport ONF agence Seine-nord, Fontainebleau, 2019.
- Demaison Léon, *Inventaire-sommaire des archives départementales antérieur à 1790, Marne, Archive ecclésiastiques – série G, clergé séculier*, Reims, Archive de la ville de Reims, 1900, t. 1.
- Demaison Léon, Gaston Robert, *Inventaire-sommaire des archives départementales antérieur à 1790, Marne, Archive ecclésiastiques – série G, clergé séculier, Fonds déposés à Reims*, Reims, Archive de la ville de Reims, 1931, t. 2, partie 1.
- De Matos-Machado Rémi, *Paysages de guerre et Lidar : de la caractérisation des polémoformes à la conservation des patrimoines naturel et culturel de la forêt domaniale de Verdun (Meuse, France)*, thèse de doctorat dirigée par Gilles Arnaud-Fassetta et François Bétard, université Sorbonne Paris Cité, 2018.
- De Matos-Machado Rémi *et al.*, « Potentialités de l'outil LiDAR pour cartographier les vestiges de la Grande Guerre en milieu intra-forestier (bois des Caures, forêt domaniale de Verdun, Meuse) », *EchoGéo*, 38, 2016, 26p. DOI : 10.4000/echogeo.14791
- Derex Jean-Michel, « L'histoire des zones humides », *Études rurales*, 177, 2006, 12p. DOI : 10.4000/etudesrurales.8321
- Deru Xavier *et al.*, « Prospections à Trépail, "Le Trou de la Batacaude" (Marne) : l'atelier de potiers et le site gallo-romain », *Revue du Nord*, 353/5, 2005, p. 181-208. DOI : 10.3917/rdn.353.0181
- Devereux Bernard, Amable Gabriel, Crow Peter, « Visualisation of LiDAR Terrain Models for Archaeological Feature Detection », *Antiquity*, 82/316, 2008, p. 470-479. DOI : 10.1017/S0003598X00096952
- Devos Alain *et al.*, « Géographie et hydrologie de Reims/ Durocortorum et de ses environs », *Gallia -Archéologie des Gaules*, 79/1, 2022, p. 39-45. DOI : <https://doi.org/10.4000/gallia.6549>
- Devos Alain *et al.*, « Rôle des conditions géographiques sur l'organisation spatiale des réseaux de défense de la Grande Guerre. Application à la Champagne (région de Reims) », *Physio-Géo*, 9, 2015, p. 157-174. DOI : 10.4000/physio-geo.4615
- Eliciel Amélie, *Les carreaux vernissés du château de Vernay à Saint-Imoges (Marne) d'après les collections du musée d'Épernay*, mémoire de master, université de Reims Champagne-Ardenne, 1994, t. 1.
- Fruchart Catherine, *Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) de l'Antiquité à nos jours*, thèse de doctorat dirigée par François Favory, université de Franche-Comté, 2014.
- Georges-Leroy Murielle, « L'utilisation du LiDAR dans le Grand Est : état des lieux et enjeux », communication au colloque « Remuer ciel et terre : apport du LiDAR à l'archéologie », Remiremont, université de Lorraine (8 et 9 avril 2022).

Georges-Leroy Murielle, « Typologie d'après LiDAR des structures agraires et parcellaires fossilisées sous couvert forestier en Lorraine », *Archéologies numériques*, 4/1, 2020. DOI : 10.21494/ISTE.OP.2020.0521

Georges-Leroy Murielle *et al.*, « Apport du LiDAR à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye », *ArcheoSciences*, 35, 2011, p. 117-129. DOI : 10.4000/archeosciences.3015

Georges-Leroy Murielle *et al.*, « Le massif forestier, objet pertinent pour la recherche archéologique. L'exemple du massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle) », *Revue géographique de l'Est*, 49/2-3, 2009. DOI : 10.4000/rge.1931

Guillaume André, *Les Temps de l'eau. La cité, l'eau et les techniques, Nord de la France fin III^e-début XIX^e siècle*, Seyssel, Champ Vallon, 1997.

Hesse Ralf, « LiDAR-derived Local Relief Models – a New Tool for Archaeological Prospection », *Archaeological Prospection*, 17/2, 2010, p. 67-72. DOI : 10.1002/arp.374

Hupy Joseph, Schatzl Randall, « Introduction “Bomburbation”, a Singular Type of Soil Disturbance and Mixing », *Soil Science*, 171/11, 2006, p. 823-836. DOI : 10.1097/01.ss.0000228053.08087.19

Kokalj Žiga, Somrak Maja, « Why Not a Single Image? Combining Visualizations to Facilitate Fieldwork and On-Screen Mapping », *Remote Sensing*, 11/747, 2019. DOI : 10.3390/rs11070747

Kokalj Žiga, Zaksek Klemen, Ošti Krištof, « Application of Sky-View Factor for the Visualisation of Historic Landscape Features in Lidar-Derived Relief Models », *Antiquity*, 85/327, 2011, p. 263-273. DOI : 10.1017/S0003598X00067594

Laratte Sébastien, *Les ressources en pierre de construction dans le bâti antique de Reims et leur utilisation, application à l'étude de la Porte de Mars*, thèse de doctorat dirigée par Gilles Fronteau et de Céline Schneider-Thomachot, université de Reims Champagne-Ardenne, 2022.

Méchin Cécile, « Levé lidar. Rapport technique : la Montagne de Reims », *Sintégra*, 2018.

Nuninger Laure, Fruchart Catherine, Opitz Rachel, « LiDAR : quel apport pour l'analyse des paysages ? », *Bulletin AGER*, 2010, p. 34-43. URL : /hal.science/halshs-00617050

Perarnau Robin, « Assessing the Role of Slope, Lithology and Land Use in the Formation and Conservation of War-Related Geomorphic Features (Case study of WW1 Railway Artillery in montagne de Reims, Marne, France) », *Applied Geography*, 142, 2022. DOI : 10.1016/j.apgeog.2022.102691

Perarnau Robin *et al.*, « Empreinte morphologique de l'artillerie lourde de la Grande Guerre dans la Montagne de Reims (Marne, France) : apport du LiDAR aéroporté », communication au colloque « Remuer ciel et terre : apport du LiDAR à l'archéologie », Remiremont, Université de Lorraine (8 et 9 avril 2022).

Rassat Graziella *et al.*, « L'utilisation et l'apport de données LiDAR pour l'étude des forêts charbonnées de plaine charentaises (16, France) », Poster au colloque « XX^e colloque d'archéométrie du GMPCA », Besançon, université de Franche-Comté (27-30 avril 2015).

Ritz Simon, *Senon-Amel (Meuse) : contribution d'une agglomération bipolaire à l'histoire du fait urbain dans le nord-est de la Gaule, du second âge du Fer au haut Moyen Âge*, thèse de doctorat dirigée par Sandrine Huber et Pierre-Stanislas Nouvel, université de Lorraine, 2020.

Robert Gaston, *Inventaire-sommaire des archives départementales antérieures à 1790, Marne, Archive ecclésiastiques - série G, clergé séculier, Fonds déposés à Reims*, Reims, Archive de la ville de Reims, 1940, t. 2, partie 2.

Ruffaldi Pascale, « Analyse pollinique d'une mare intra-forestière en forêt domaniale de Verzy (Marne, France) », rapport d'étude, Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS/UFC, 2011, 15 p.

Sittler Benoît, Hauger Karl, « 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 », dans J.-L. Dupouey, E. Dambrine, C. Dardignac, M. Georges-Leroy (dir.), *Les mémoires des forêts*, actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement » (Velaine-en-Haye, 14-16 décembre 2004), Nancy, Office national des forêts/Inra/Direction régionale des affaires culturelles de Lorraine, 2007, p. 155-161.

Taborelli Pierre, *Les conditions géographiques et l'organisation spatiale du front de la Grande Guerre. Application à l'évaluation environnementale post-conflit en Champagne-Ardenne (France)*, thèse de doctorat dirigée par Alain Devos, université de Reims Champagne-Ardenne, 2018.

Taborelli Pierre *et al.*, « Typologie et organisation spatiale des « polémo-formes » de la Grande Guerre révélées par l'outil LiDAR et les Plans directeurs. Application à la Champagne et à l'Argonne », *Revue de géographie historique*, 10/11, 2017. DOI : 10.4000/geohist.925

Thorne Robert, « Revegetation: the Soft Approach to Archaeological Site Stabilization », *Archeological Assistance Program. Technical Brief No. 8, September 1990*, Washington DC, U.S. Department of the Interior National Park Service, 1990. DOI : 10.6067/XCV8RX99VP

Zakšek Klemen, Oštir Kristof, Kokalj Žiga, « Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique », *Remote Sensing*, 3, 2011, p. 398-415. DOI : 10.3390/rs3020398

NOTES

1. Limite physique en creux et/ou en élévation permettant de circonscrire les limites d'un bois, pratique courante au Moyen Âge pour limiter la circulation des animaux et des ressources de la forêt (bois, géomatériaux).
2. Dépression topographique fermée, de forme arrondie et d'origine naturel.
3. Inventaire de Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique.
4. Forme d'érosion générée par le percement d'un relief par un cours d'eau s'écoulant dans le sens du pendage (autrement appelé cataclinal). Dans le cas présent, l'entonnoir est constitué d'affleurements crétacés triangulaires dans le plateau éocène de la cuesta d'Île-de-France.
5. Classification des anomalies topographiques relevées au LiDAR par leur date d'apparition présumée qui est déterminée sur la base de ramassages de terrain, de fouilles archéologiques et d'autres éléments de datation.
6. Classification basée sur les caractéristiques morphométriques des anomalies topographiques révélées au LiDAR.
7. Caractérise l'homogénéité dans toutes les directions de l'espace.
8. *Relief Visualization Toolbox* est un logiciel permettant de générer une dizaine de traitements de visualisation standardisés à partir d'un MNT, et qui suggère des paramètres usuels efficaces facilitant son usage.
9. Qui se rapporte aux activités qui modifient le relief de la surface du sol (extraction de géomatériaux, activités militaires).
10. Carte établie par l'Armée Française entre 1914 et 1918 pour localiser les infrastructures militaires alliées et ennemies dans le but d'organiser les opérations militaires.
11. Points homologues entre la carte ancienne à géoréférencer et des cartes dont le géoréférencement est fiable (SCAN25® ou ORTHO HR® de l'IGN).

12. Méthode mathématique permettant de déformer la carte à géoréférencer pour minimiser les distances entre les différents points d'amer.
 13. Correspond à la partie aval d'un réseau de fossés depuis lequel ce dernier se vidange.
 14. Se dit des cours d'eau dont l'écoulement disparaît par infiltration ou évaporation à son exutoire.
 15. Se dit des cours d'eau dont l'exutoire se manifeste sous forme d'un plan d'eau.
 16. Dans le cas présent d'améliorer les qualité physique et hydrologique du sol.
 17. Ligne regroupant les points de plus basses altitudes dans une vallée et conduisant généralement l'écoulement.
 18. Changement de destination physique du cours d'eau.
 19. Familles végétales regroupant la majorité des plantes regroupées sous les termes génériques « céréales » et « herbes ».
-

RÉSUMÉS

La Montagne de Reims, située entre Épernay et Reims, correspond à la terminaison orientale des plateaux tertiaires de la cuesta d'Île-de-France. Ce plateau forestier est drapé d'Argiles à Meulières qui entretiennent des milieux humides. Le traitement d'un MNT LiDAR à haute résolution révèle des formes naturelles et des vestiges archéologiques dont 650 km de fossés et des ouvrages hydrauliques. Ils sont connectés au réseau hydrographique et au karst constituant des hydrosystèmes complexes. Le croisement des données LiDAR avec les documents d'archive et la palynologie permet de proposer un phasage du forçage humain (pisciculture, enchâtellement et drainage) sur les écoulements de la zone d'étude.

The Montagne de Reims, located between Epernay and Reims, is the eastern terminus of the Tertiary plateaus of the Île-de-France cuesta. This forested plateau is draped with millstone clay, which supports wetlands. Processing of a high-resolution LiDAR DTM reveals natural landforms and archaeological remains, including 650 km of ditches and hydraulic structures. These are connected to the hydrographic network and karst, forming complex hydrosystems. By cross-referencing LiDAR data with archival documents and palynology, it is possible to propose a phasing of human forcing (fish farming, entrenchment and drainage) on flows in the study area.

INDEX

Mots-clés : hydrosystème, LiDAR, Montagne de Reims, typologie réseau de fossés, ouvrages hydrauliques, approche diachronique

Keywords : Hydrosystem, LiDAR, Montagne de Reims, ditch network typology, hydraulic structures, diachronic approach

AUTEURS

JULIEN BERTHE

Université de Reims Champagne-Ardenne, EA 3795-GEGENAA, 57 rue Pierre Taittinger, BP 30,
51571 Reims Cedex, France

Thèse sous la direction d'Alain Devos et sous le co-encadrement de Nicolas Bollot, *Morphologies et paysages de la Montagne de Reims, apport de l'analyse spatiale sous SIG des images lidar*

PIERRE-YVES ANCELIN

Université de Reims Champagne-Ardenne, EA 3795-GEGENAA