



HAL
open science

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

Pierre Taborelli, Alain Devos, Sébastien Laratte, Yves Desfossés, Jérôme
Brenot

► To cite this version:

Pierre Taborelli, Alain Devos, Sébastien Laratte, Yves Desfossés, Jérôme Brenot. 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*, 2017, 10-11, <https://doi.org/10.4000/geohist.925>. 10.4000/geohist.925 . hal-02947067

HAL Id: hal-02947067

<https://hal.science/hal-02947067v1>

Submitted on 11 Nov 2023

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



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

Pierre Taborelli, Alain Devos, Sébastien Laratte, Yves Desfosses et Jérôme Brénot



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/geohist/925>

DOI : 10.4000/geohist.925

ISSN : 2264-2617

Éditeur

Association française de la Revue de géographie historique

Ce document vous est offert par Université de Reims Champagne-Ardenne



Référence électronique

Pierre Taborelli, Alain Devos, Sébastien Laratte, Yves Desfosses et Jérôme Brénot, « 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* [En ligne], 10-11 | 2017, mis en ligne le 20 mai 2017, consulté le 11 novembre 2023. URL : <http://journals.openedition.org/geohist/925> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/geohist.925>

Ce document a été généré automatiquement le 16 février 2023.



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.

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

Pierre Taborelli, Alain Devos, Sébastien Laratte, Yves Desfosses et Jérôme Brenot

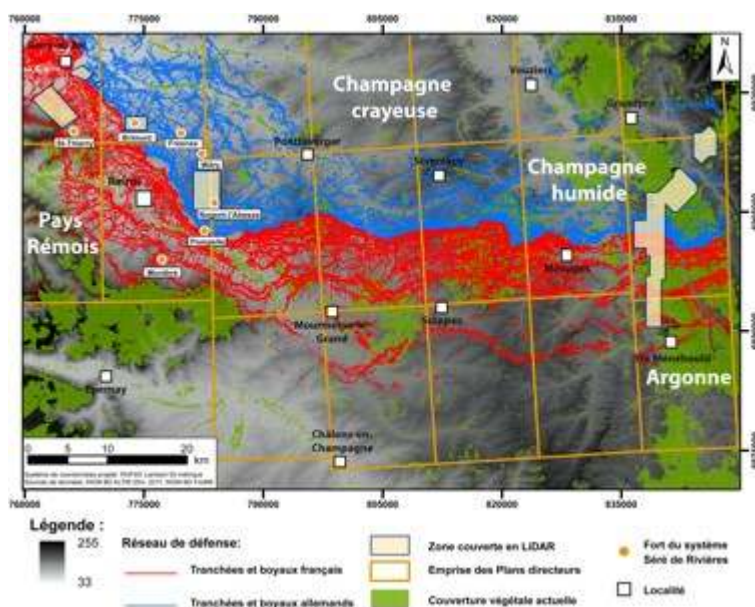
Introduction

- 1 Les conséquences de la Grande Guerre ont fait l’objet de nombreuses publications notamment historiques avec des démarches historiographiques, démographiques, socio-économiques, sociales et géopolitiques. L’approche spatiale davantage cantonnée à la géographie militaire (Vilatte, 1925 ; Boulanger, 2002) se résume généralement aux offensives ou batailles et mouvances du front résumé généralement par une ligne sans compréhension de sa structuration (Buffetaut, 2013). Mais depuis une vingtaine d’années, cette approche est soulevée par les impacts environnementaux de la Grande Guerre, développés autour du paysage avec les « polémoformes » ou modelés militaires (Amat, 1987, 2001, Durup de Baleine, 1998) essentiellement sous forêt (Degron et Husson, 1999 ; Buridant, 2003 ; Amat, 2015) avec l’apport des géosciences autour de la bombturbation (Hupy, 2006), de la contamination des sols par les Éléments Traces Métalliques (ETM) (Meerschman *et al.*, 2011), et par les éclats d’obus (Souvent et Pirc, 2001), l’impact sur les eaux souterraines par les composés nitro-aromatiques contenus dans les charges explosives des obus (Hubé, 2016, Thouin *et al.*, 2016).
- 2 Les morphologies de la zone de front restent peu étudiées, et appréhendées récemment par l’outil LiDAR aéroporté (Hesse, 2014), en premières lignes de défense dans le secteur de Verdun (De Matos Machado *et al.*, 2016), sur les sites de guerre des mines à Berry-au-

Bac (Taborelli *et al.*, 2017), ou par l'approche archéologique dans le cadre de prospections géophysiques (De Smedt *et al.*, 2013). L'étude de leur organisation spatiale originelle, basée sur la numérisation sous SIG des Plans directeurs (Devos *et al.*, 2015, Combaud *et al.*, 2016, Taborelli *et al.*, 2016) concerne essentiellement les réseaux de défense.

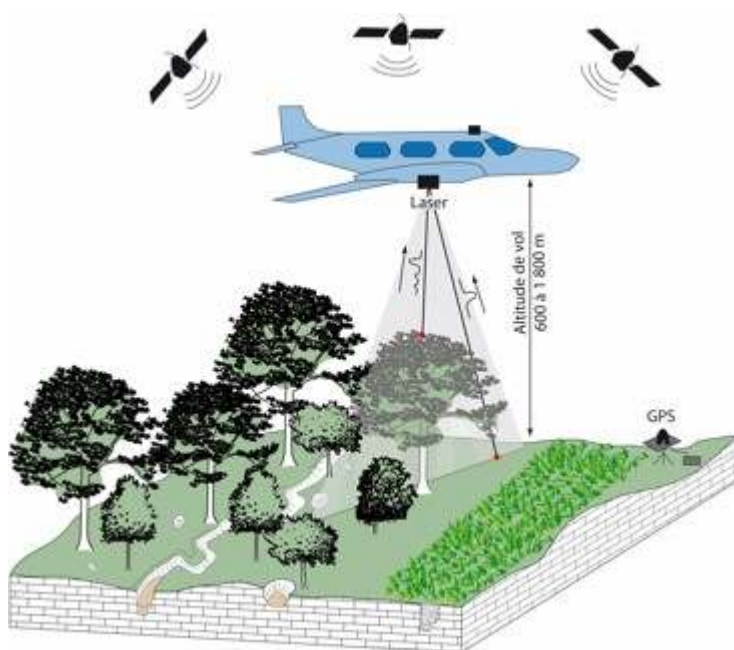
- 3 L'objectif de cette contribution est double. D'une part, il s'agit de proposer des clés de lecture des « polémo-formes » observées en image LiDAR (typologie, empreinte morphologique), de les hiérarchiser selon plusieurs critères et de comprendre leur organisation spatiale au sein des réseaux de défense, du no man's land aux positions arrières. D'autre part, il s'agit d'appréhender leur degré de conservation un siècle après le conflit.
- 4 Les Plans directeurs sont utilisés pour apprécier l'état initial des paysages de la zone de front. Après la stabilisation du front à l'automne 1914 des Flandres à l'Alsace, les États-majors des deux camps comprennent rapidement la nécessité d'élaborer et d'éditer de nouvelles cartes pour cette guerre de position. La carte d'État-major en hachure au 1/80 000 utilisée lors de la guerre de mouvement n'est plus adaptée. L'Armée française crée les GCTA (Groupe de Canevas de Tirs des Armées) pour réaliser des Plans directeurs. Ces cartes, classées « secret défense », à trois échelles différentes (1/20 000, 1/10 000 et 1/5 000) sont réalisées à partir de l'interprétation de photographies aériennes, de croquis de terrain et d'interrogatoires de prisonniers. Elles présentent les dispositifs allemands en couleur bleue et une partie ou la globalité des dispositifs français en couleur rouge (Combaud *et al.*, 2016). La partie ouest de la région Grand Est (ex-région Champagne-Ardenne) est couverte par 19 Plans directeurs au 1/20 000 datés de 1918, depuis Berry-au-Bac à la forêt d'Argonne en passant par Reims et les Monts de Champagne (doc. 1). Après leur numérisation à haute résolution, ils sont géoréférencés dans un SIG (Système d'Information Géographique) et chacune des entités de type point, ligne ou polygone est digitalisée pour constituer une banque de données spatiales traitée et valorisée (densités surfaciques et linéaires, indices morphométriques).

Document 1 : Réseaux de défense en Champagne-Ardenne et emprise des Plans directeurs et des prospections LiDAR



- 5 Pour appréhender les traces, vestiges, morphologies associées à la Grande Guerre en 2016, l'imagerie LiDAR (Light Detection And Ranging) est bien adaptée et préférée à la photographie aérienne (Stichelbaut, 2011). Couplée au traitement de ces cartes sous SIG, elle est utilisée pour la première fois en 2003 en Forêt de Bade en Allemagne (Sittler & Hauger, 2007) et en France près de Nancy en forêt domaniale de Haye (Georges-Leroy *et al.*, 2011). Cette technique est largement utilisée en archéologie (Devereux *et al.*, 2008 ; Hesse, 2010) mais également dans de nombreux autres domaines scientifiques. Dans le thème de la Grande Guerre, elle permet de mettre en évidence des structures archéologiques sous couvert forestier à l'aide d'un avion constamment géoréférencé par GPS volant à une altitude qui peut varier entre 600 et 1 800 m (doc. 2). Un laser émet alors des impulsions à une fréquence de 400 kHz vers le sol et l'analyse du temps de retour des ondes permet de mesurer l'altitude de chaque retour.
- 6 Après un travail de filtrage des données et la classification des objets détectés (sol, végétation, bâti, eau et autres), les prestataires (Guelle et Fuchs, Aerodata) fournissent un MNT (modèle numérique de terrain) et un MNS (modèle numérique de surface) à haute résolution (12 à 17 points/m² en moyenne selon les dalles). Cette technologie non intrusive réalisée en Argonne et près de Reims entre 2011 et 2015 permet d'obtenir des images précises de la topographie du sol sur de vastes zones forestières (100 km²). Une bande nord/sud en forêt d'Argonne traverse l'intégralité des réseaux de défense et permet la mise en évidence de l'ensemble des structures, du no man's land jusqu'à l'arrière des positions. Les zones ateliers dans le secteur de Reims couvrent la première position allemande (Brimont, Nogent l'Abbesse), la quatrième position française et la Cote 108 près de Berry-au-Bac, véritable conservatoire de la guerre des mines (doc. 1). Le croisement des dalles LiDAR avec les Plans directeurs permet d'une part d'inscrire les morphologies de la Grande Guerre dans l'organisation spatiale des réseaux de défense et ainsi de relativiser les résultats mais surtout d'apprécier le degré de conservation des formes.

Document 2 : Schéma de fonctionnement du LiDAR



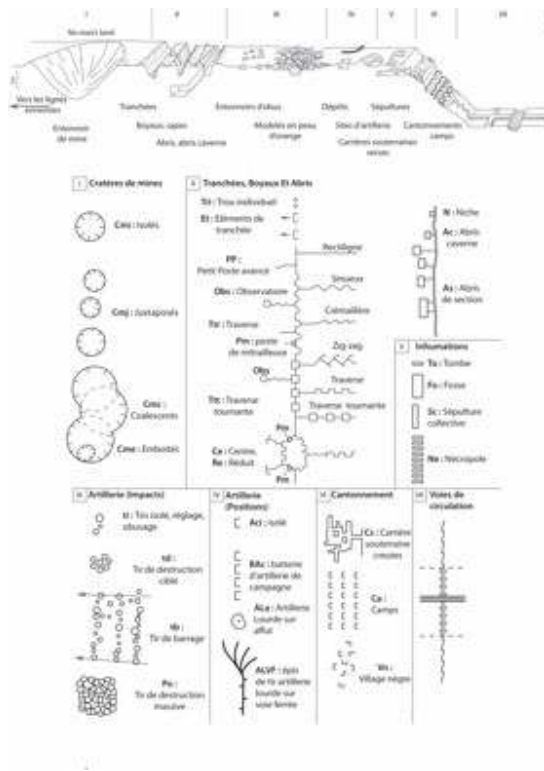
- 7 Enfin, des campagnes de terrain sous forêt (Argonne, Cote 108, Camp de Suippes et sur chantiers archéologiques, programmés et préventifs, en Argonne et dans la région de Reims), ont été réalisées en premières positions, mais aussi en arrière du dispositif de défense. Ces campagnes permettent de mieux appréhender l'organisation des traces morphologiques et leur degré de conservation. Des coupes ou sondages archéologiques sont menés pour connaître la nature et la structure des comblements des formes de la Grande Guerre. Les documents d'archives (manuels d'instruction militaire, Journaux de Marche des Opérations) aident également à l'interprétation des morphologies reconnues sur le terrain et en images LiDAR.

II. Typologie des formes et organisation spatiale

- 8 La typologie des « polémo-formes » ou traces morphologiques de la Grande Guerre (doc. 3) peut être basée sur une analyse multi-critères selon les paramètres typologiques suivants :
- 9 - La taille ou l'échelle scalaire : de la « macro-forme » hectométrique, « méso-forme » décamétrique et « micro-forme » métrique
- 10 - La forme : ponctuelle (abris, site), linéaire (tranchées, boyaux), de surface (exo-forme) ou souterraine (endo-forme)
- 11 - L'agent morphogène : guerre des mines, artillerie, réseaux de défense, vie militaire, transport, etc.
- 12 - L'usage ou la fonction : poste d'observation, abris-dépôt pour le personnel, munitions...
- 13 - L'âge : anté (structures archéologiques et fortifications Séré de Rivières), syn (contemporaines à la guerre) ou post-conflit (désobusage, déminage, exhumation des corps)
- 14 - L'organisation spatiale (densité, structure)

- 15 - Situation et site (inscription dans les réseaux de défense et dans le relief)
- 16 - L'armée (Alliée, Allemande)
- 17 Dans cette contribution, la typologie proposée, sans être exhaustive, s'organise selon la taille des formes tout en caractérisant les autres critères présentés ci-dessus.

Document 3 : Typologie des « polémo-paysages » de la Grande Guerre

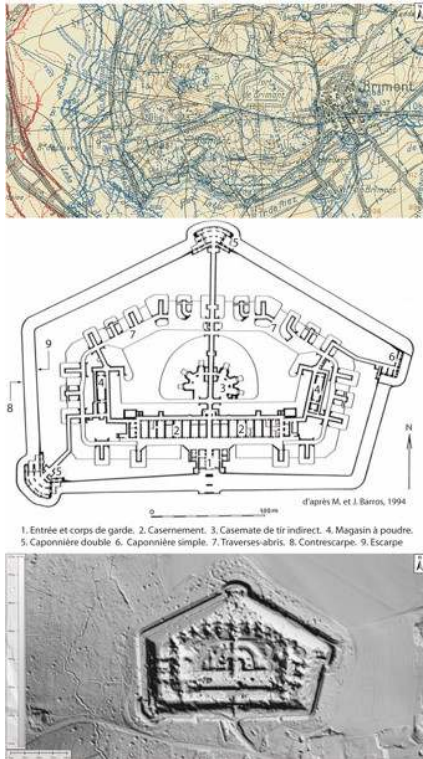


A. Les fortifications « Séré de Rivières », anté-polémo-formes et macro-formes

- 18 Les morphologies les plus importantes ou « méga-formes » sont des « polémo-formes » héritées du système de fortification « Séré de Rivières ». Il est constitué de rideaux et de ceintures de forts détachés, construits et modernisés entre 1874 à 1914 (Le Hallé, 2004). Ces forts s'arcboutent sur les cuestas de l'Est du Bassin de Paris (forts de rideaux et d'arrêt) et ceinturent des places fortifiées ou des villes (forts de ceintures) comme Verdun, Toul ou Reims. Ils sont largement utilisés dans la guerre de position car ils constituent des centres de résistance, de réduits voire de véritables verrous. Ils sont riches en observatoires comme à Verdun (forts de Douaumont, de Vaux, de Tavannes) ou à Reims (forts de la Pompelle, de Brimont, de Nogent). Les images LiDAR et les Plans directeurs soulignent clairement une organisation cellulaire des tranchées et boyaux autour des forts qui s'inscrivent dans les réseaux de défense à structure ternaire mais essentiellement linéaire (Devos *et al.*, 2015) (doc. 4A). Ces forts polygonaux à « cavalier » ou à « massif central » sont originellement protégés par un fossé maçonné (escarpe et contre-escarpe) bien marqué sur les images LiDAR et défendu par des caponnières entourant le casernement généralement non protégé tout comme les pièces d'artillerie (doc. 4B). Cependant, ils sont exposés à l'ennemi car au sein de glacis militaires

dégageant une vue lointaine (déforestation, réseaux de défense accessoires), équipés de protections obsolètes face aux obus depuis 1886, ils sont mal orientés par rapport à la ligne de front. Ils feront l'objet de tirs de destruction dont l'efficacité est vérifiée sur les images LiDAR (doc. 4C). On observe effectivement de nombreux impacts d'artillerie sur les ouvrages (effondrements de voûtes, entonnoirs de soutirage) et notamment sur les casernements comme sur le fort de Brimont de la ceinture fortifiée de Reims.

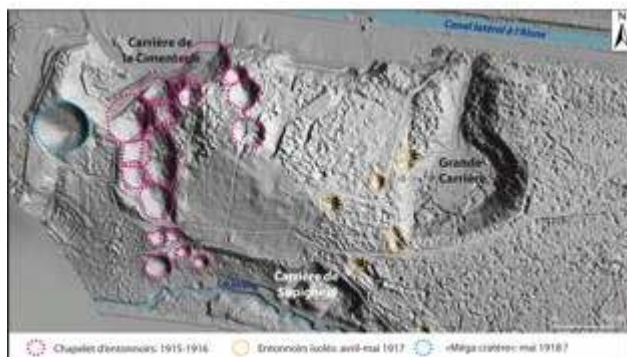
Document 4A : Extrait du Plan directeur de Brimont au 1/20 000 du 20 avril 1918 ; B : Plan du fort de Brimont (d'après M. et J. Barros, 1994) ; C : Image LiDAR du fort de Brimont



- 19 Leur abandon au sortir de la guerre a conduit à une lente colonisation forestière (masque végétal sur les structures maçonnées, friches) et à de faibles retouches morphologiques (mouvements de masse sur l'escarpe et contre-escarpe, effondrements de voûtes), sans grande pression agricole. Les ouvrages sont ainsi figés dans leur format originel (Durup de Baleine, 1998) ce qui explique la forte lisibilité morphologique sur les images LiDAR (doc. 4C). La Grande Guerre a certes atténué par remblaiement les fossés et a moutonné la surface par les impacts d'artillerie sans toutefois oblitérer les formes, conservant la structure polygonale de l'ouvrage et les principales morphologies. Ainsi, un siècle après le conflit, le « polémo-paysage » de la Grande Guerre est structuré par l'enveloppe fortifiée du système « Séré de Rivières ».

B. La guerre des mines : cratères, macro-formes et endo-formes

Document 5 : Image LiDAR des cratères de mines isolés, alignés et emboîtés de la Cote 108 à Berry-au-Bac.



- 20 Inscrite dans le principe de grignotage du front (Buffetaux, 2011), la guerre des mines est une technique souterraine à la fois offensive (synchrone à un début d'attaque) mais aussi défensive (coupure des communications de l'ennemi) qui ne produit qu'un faible effet tactique. Utilisée depuis l'Antiquité dans le cadre de la guerre de siège (Triolet et Triolet, 2011) elle consiste à ouvrir une brèche dans la première position de l'ennemi par l'explosion de grandes quantités d'explosifs disposés sous terre (creusement de galerie ou rameau de combat assimilé à des endo-formes non révélées par le LiDAR). L'explosion peut soit produire un cratère ou entonnoir de grande taille (fourneau ordinaire et surchargé) destiné à être fortifié dans les lignes ennemies, soit détruire une mine adverse en cours de creusement (camouflet ou fourneau sous-chargé) ne générant pas de cratère. 69 sites de guerre de mines ont été recensés sur la ligne de front constituant des « systèmes de mines » ou « sites de mines » (Villate, 1925 ; Weiss, 2016 ; Taborelli *et al.*, 2017) dont l'activité souterraine est très hétérogène dans l'espace car le nombre d'explosions par site varie d'une (ferme d'Alger à Reims) à plus de 500 (Vauquois). L'image LiDAR couvre ici le site de la Cote 108 à Berry-au-Bac en Champagne crayeuse. Les cratères subsistent nettement et constituent des méga-formes qui marquent fortement le « polémo-paysage » (profondeurs comprises entre 10 et 22 m, diamètres compris entre 10 m et 89 m). Inscrits dans le no man's land ou dans les premières lignes, en position de crête topographique, les cratères présentent quatre types d'organisation spatiale. Ils sont soit isolés (Cmi), soit alignés ou juxtaposés (Cmj) soit emboîtés (Cme) ou coalescents (Cmc) avec une densité très variable. Sur la Cote 108, un chapelet de cratères juxtaposés et emboîtés balafre l'interfluve de craie situé entre la Loivre au sud et l'Aisne au nord (doc. 5). Le nombre d'explosions et les charges explosives sont si importants (plus de 400 tonnes à la Cote 108) que la guerre des mines a modifié lourdement la topographie tout en déstructurant l'encaissant rocheux (Taborelli *et al.*, 2017). À ce titre, elle peut être considérée comme l'agent le plus morphogène de la Grande Guerre et a cristallisé la mémoire collective dans les Flandres (Messines), dans la Somme (Lochnagar Crater), en Meuse (aux Éparges), en Champagne (Perthes-les-Hurlus, Berry-au-Bac), en Argonne (Vauquois, Fille Morte, La Harazée) ou dans les Vosges gréseuses (Col de la Chapelotte).

C. Les réseaux de défense

- 21 Le front en Champagne-Ardenne s'étend sur 115 km de Berry-au-Bac à la forêt d'Argonne et concentre environ 13 000 km de réseaux de défense soit 113 kilomètres de tranchées et boyaux par kilomètre de front. Cette moyenne cache de fortes disparités

car le pays rémois et les grandes étendues de la Champagne crayeuse concentrent respectivement 126 et 113 kilomètres par kilomètre de front alors que la Champagne humide et l'Argonne, seulement 93 et 89 (Taborelli *et al.*, 2017). Les réseaux de défense sont caractérisés par des tranchées parallèles au no man's land, profondes d'environ 1,5 à 2 m et desservies par des boyaux de communications, moins larges, pour le ravitaillement de vivres, de munitions et la relève des troupes. Ce réseau s'organise en positions, chacune constituée par trois à quatre lignes de tranchées, desservies par des boyaux (Devos *et al.*, 2015). Leur tracé sinueux à traverses (Ttr), à traverses en U ou tournantes (Ttt), pour éviter des tirs en enfilade et la dissipation du souffle de l'obus est facilement repérable en LiDAR et sur les Plans directeurs des Groupes de Canevas de Tirs des Armées (doc. 6). Les boyaux de communications à traverses, à crémaillères, en zig-zag, à tracé sinueux régulier ou irrégulier sont légèrement plus rectilignes afin de faciliter la circulation (doc. 6). L'organisation de ces réseaux de défense cache de fortes disparités de densité. Par exemple, dans le secteur de Reims, la première position comprend en moyenne 170 m de tranchées et boyaux par hectare et seulement 64 m en quatrième position (Devos *et al.*, 2015). Ces formes linéaires s'accompagnent de formes plus petites, reliées au réseau de tranchées pour la vie quotidienne des soldats (latrines et feuillets, niches individuelles (N), abris caverne (Ac) ou de section (As)), de surveillance de l'ennemi (petit poste avancé (pp), poste d'écoute, d'observation (Obs), poste de mitrailleuse (Pm)), de commandement (Pc), et s'organisent selon la distance au front.

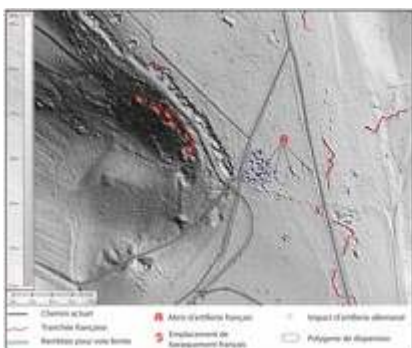
Document 6 : Typologie des réseaux de défense (tranchée et boyau)

	Plan directeur	Schéma de principe	LiDAR
Tranchée à traverses			
Tranchée à traverses en U			
Tranchée à traverses tournantes			
	Plan directeur	Schéma de principe	LiDAR
Boyau à traverses			 25 m
Boyau en crémaillère			 25 m
Boyau en zigzag			 30 m
Boyau à tracé sinueux régulier			 15 m
Boyau à tracé sinueux irrégulier			 30 m

D. Organisation spatiale des cratères d'obus : du trou isolé au modelé en peau d'orange

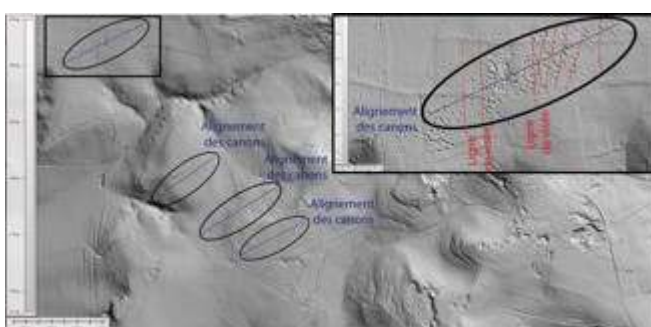
- 22 La Grande Guerre a été marquée par le rôle de l'artillerie qui a déversé sur le front 856 millions (Linnenkohl, 1996), à 1,4 milliard d'obus conventionnels (Prentiss, 1937) ainsi que 66 millions d'obus chimiques (Pommier, 2014). Ces inventaires ne prennent pas en compte les bombes de mortier, de *minenwerfer* et lances bombes utilisées dans les premiers rideaux défensifs. L'impact morphologique des obus a lourdement marqué les paysages du front et l'inconscient collectif. Le front est représenté comme un paysage lunaire, buriné par des entonnoirs, trous d'obus coalescents.
- 23 Cependant, les obus utilisés sont très diversifiés, et tous ne sont pas morphogènes. Cette grande variété permet de remplir un objectif précis, des obus à balles (shrapnell) contre une offensive d'infanterie ennemie, fumigènes pour un effet de masque, à gaz et explosifs. Les obus percutants et les obus à double effet explosent au contact du sol ou après une légère pénétration (obus à double effet avec retardateur) formant des dépressions fermées et désignées sous l'appellation de trous, entonnoirs ou cratères d'obus. Leur forme et leur diamètre dépendent des paramètres du tir, du poids des projectiles, de leurs calibres, de la charge explosive, de l'angle, de la vitesse de pénétration et de la nature du terrain. Avec son milliard d'obus (Hubé, 2016), le trou d'obus est devenu avec la tranchée, le symbole morphologique de la Grande Guerre (gravures d'Otto Dix). L'image LiDAR permet non seulement de mesurer les diamètres des dépressions, mais surtout leur organisation spatiale.
- 24 Les tirs de réglages (ti) permettent de déterminer les conditions de tir d'efficacité (réglage des hausses et des directions). Généralement limité à un tir d'essai qui tente de coiffer la zone de dispersion (polygone de dispersion) des coups sur l'objectif et à un tir d'amélioration qui rapproche cette zone de dispersion vers la cible. Ces salves de réglage génèrent des trous d'obus épars mais proches de l'objectif qui sera détruit par un tir de destruction.
- 25 Les tirs de destruction (td) (« à hausse unique ») visent des espaces restreints, ou un objectif clairement identifié comme une batterie ennemie, un nœud de tranchée, un abri, une place d'arme dans un système de défense, un abri ou un carrefour de route, une portion de tranchée d'une centaine de mètres pour préparer un coup de main, etc. Ces points sont généralement géolocalisés sur les Plans directeurs des GCTA. On remarque nettement l'effet des tirs de destruction ou de contre batteries sur des sites d'artillerie avec un polygone de tir rassemblant plusieurs dépressions juxtaposées dans le Massif de Saint-Thierry (doc. 7).

Document 7 : Image LiDAR d'un tir de destruction sur une batterie d'artillerie française dans le Massif de Saint-Thierry



- 26 L'organisation spatiale des trous d'obus est différente dans le cas des tirs de barrage et du « feu roulant ». Un tir de barrage fixe ou de couverture (tb) consiste à protéger les troupes d'assaut (tir offensif) ou se protéger d'une attaque ennemie (tir défensif) par un effet de masque dissuasif d'explosions simultanées d'artillerie. Les batteries effectuant un tir de barrage, sont généralement proches et alignées parallèlement au front d'attaque, tirant par salves et produisant des entonnoirs nombreux, rapprochés et remarquablement alignés en rideaux parallèles corrélativement au déplacement de l'objectif ou des troupes à protéger. Ce tir n'ayant pas vocation à détruire, les conditions de tirs des coups de réglage proches de l'objectif sont exploitées (bombardement indifférencié mais linéaire). Pour la protection des centres de résistance, bastion et ouvrages isolés, des tirs « d'encagement » sur trois cotés sont organisés pour isoler une partie du dispositif de défense.
- 27 La technique du « feu roulant » ou du tir de barrage mobile ou « barrage roulant » ou « tir progressif » associe l'amplitude des rideaux d'explosion à la vitesse de déplacement des troupes offensives par un allongement du tir (une centaine de mètres pour quelques minutes) lié à des hausses croissantes par des salves interrompues (doc. 8).

Document 8 : Image LiDAR de l'organisation de cratères d'obus associés à un tir de barrage.

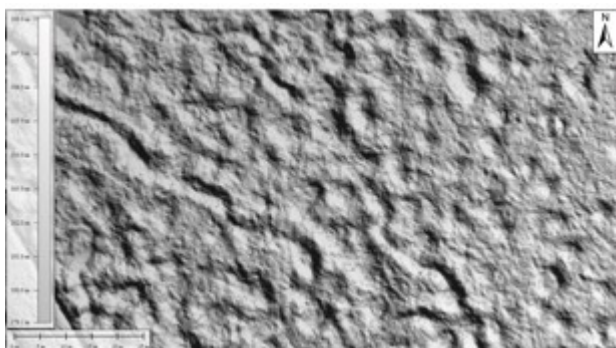


- 28 Le tir sur zone consiste à balayer une zone dans lequel se situe l'objectif avec des coups plus ou moins réguliers et répartis. Lorsque l'objectif est mal identifié, difficile à observer ou sous couvert forestier, le tir sur zone s'impose, mais reste très consommateur en munitions sans être très efficace. Répété plusieurs fois et longtemps, il génère un « modelé en peau d'orange » (Po) qui a marqué la symbolique de la Grande Guerre. Cette signature morphologique du tir sur zone détruit les autres formes

notamment celles des réseaux de défense et perturbe donc fortement leur lisibilité comme à Verdun (doc. 9).

- 29 La préparation des grandes offensives de la Grande Guerre s'accompagne d'une augmentation exponentielle du nombre de pièces d'artilleries et de projectiles tirés de 1915 à 1918. Les concentrations d'artilleries passent de 1 000 pièces en 1915 durant l'offensive française de Champagne, à 1 250 pièces allemandes à Verdun, pour atteindre 6 000 au printemps 1918 durant les offensives Ludendorff. Cette concentration est associée à une densification des pièces d'artillerie par kilomètre linéaire de front de l'ordre de 40 pièces/km en 1915 (Champagne) à 177 pièces/km durant l'offensive d'avril 1917 au Chemin des Dames.
- 30 La brutalité des offensives s'exprime également par la diminution de la durée de la préparation d'artillerie pour accentuer l'effet de surprise. L'offensive allemande devant Verdun déverse 2 millions d'obus en 2 jours et une nuit du 21 au 23 février 1916. Celle du Printemps 1918, passe à 3,5 millions de projectiles en seulement 5 heures (Pommier, 2014). Les règlements militaires de 1918 annoncent un nombre de coups pour un jour de feu par pièce, de 150 coups pour les calibres de 95, 105 et 155 mm, de 120 coups pour les 120 L, 155 C et logiquement moins, 80 coups pour les calibres supérieurs (220 mm).

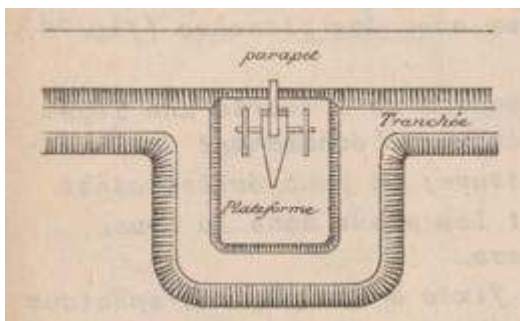
Document 9 : Image LiDAR d'un modelé en peau d'orange en forêt d'Argonne



E. Abris d'artillerie

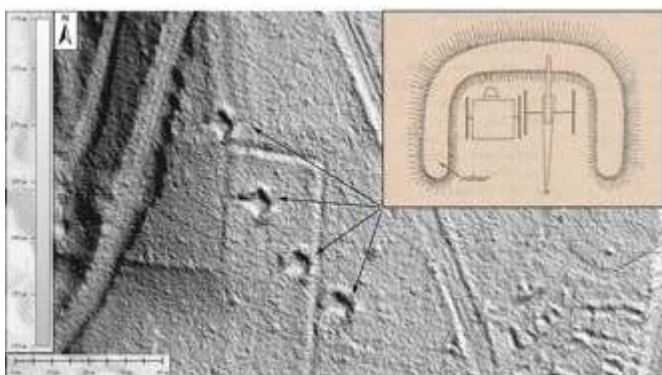
- 31 Si l'artillerie de campagne dans la guerre de mouvement a moins généré de forme, dans le cadre de la guerre de position, elle s'inscrit dans les réseaux de défense en premières lignes du front pour l'artillerie dite de tranchées (mortiers, crapouillots, et *Minenwerfer*). Dans ces cas, les plateformes de tir sont intégrées aux tranchées dans des abris voire des casemates, rendant leur lisibilité morphologique plus tenue (doc. 10).

Document 10 : Retranchement d'un canon de tranchée dans le réseau de défense (in Ecole militaire de l'artillerie, Leçon de fortification, 1915, 103 p, BNF)



- 32 Ce n'est qu'avec une résolution fine du LiDAR qu'elles sont révélées (De Matos Machado *et al.*, 2016). Les canons à tirs tendus s'expriment surtout entre les 3^e et 4^e positions dites « d'artillerie ». Leur site porte une signature morphologique caractéristique avec une plateforme de tir avec rampe, un bourrelet de terre pare-éclat ou épaulement accompagné d'abris pour les servants de la pièce et pour les munitions (Aci) (doc. 11). Les batteries d'artillerie de quatre ou cinq canons (Ac) sont bien marquées dans le paysage par l'alignement des pièces et les éléments de tranchées qui les rejoignent comme on l'observe dans le Massif de Saint-Thierry. Les talus ou front de taille de carrières aériennes peuvent être utilisés pour creusement des abris d'artillerie. Aux abords de ces batteries d'artillerie, il est parfois retrouvé des abris à munitions, alignés, profond de 0,5 à 1 m de profondeur et d'une longueur d'une dizaine de mètres.

Document 11 : Emplacements de batteries d'artillerie dans le Massif de Saint-Thierry



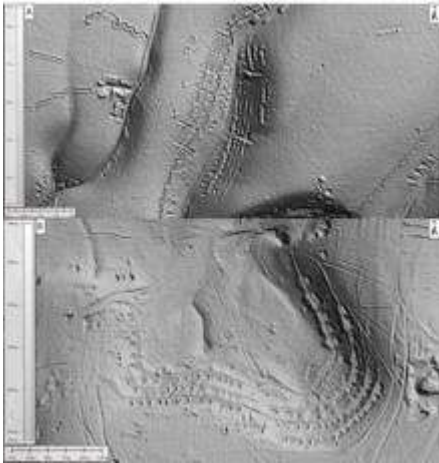
- 33 Plus en arrière l'Artillerie Lourde sur Voie Ferrée (ALVF) à longue portée prend le relais et seuls les épis de tirs sont visibles sur les images LiDAR (remblais de la voie ferrée) ainsi que les canons sur affuts fixes (ALa) dont la forme d'amphithéâtre terminal en tête de voie ferrée, permettant l'approvisionnement de la pièce lourde est visible, comme dans le Bois de Muzeray près de Verdun (Ehret, 2012).

F. Cantonnements et camps militaires

- 34 Les camps militaires (Ca) s'organisent en arrière des 3^e voire des 4^e positions de défense sous couvert forestier ou sur un versant, non exposés à l'ennemi. Organisés selon un schéma rationnel avec un étagement des baraquements métriques adossés au versant, sur plusieurs niveaux conformément aux manuels d'instruction militaires. Chaque niveau peut être ainsi desservi par des voies étroites. Les sites géomorphologiques

favorables sont les sites de méandres comme dans la vallée de la Biesme en Argonne (doc. 12A) et de « cuves » ou « amphithéâtres » naturels équipés de sources pour l'alimentation en eau potable (AEP) comme au Borrieswald (doc. 12B) (Desfossés, 2012). Les « villages nègres » (Vn) ou camps improvisés et mal organisés sont des cagnas, gourbis dont la trace morphologique est plus tenue que les camps militaires réglementaires.

Document 12A : Image LiDAR d'un camp militaire français près du village de La Harazée en Argonne ; B : Image LiDAR du camp militaire allemand du Borrieswald près d'Apremont-sur-Aire en Argonne



G. Voies ferrées

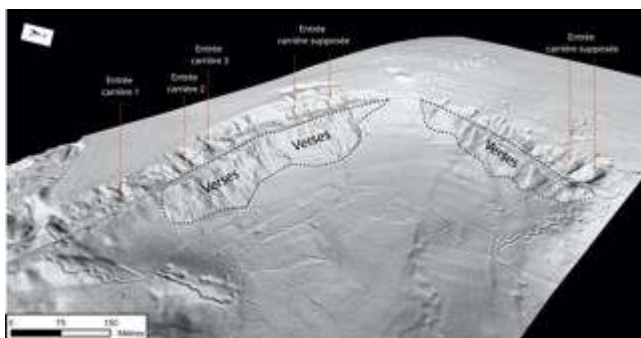
- 35 Les chemins de fer présentent une signature morphologique linéaire étroite (supérieure à 2 m pour voie large et inférieure à 2 m pour une voie étroite) par la trace de leurs remblais surhaussés d'une trentaine de centimètres par rapport au sol. Leurs tracés sont amples et suivent les courbes de niveau avec une structure hiérarchisée ou arborescente pour desservir en matériels, en munitions et en hommes chaque position du réseau de défense, notamment au niveau des réduits ou centres de résistance (Ce, Re). Ils dessinent également des « épis de tir » rectilignes, courbes, et « en tenaille » permettant à plusieurs wagons portant l'Artillerie Lourde à Longue Portée sur Voie Ferrée (ALVF) de s'orienter puisque l'affut de la pièce est parallèle aux rails et de bénéficier d'un bon champ de tir. Chaque pièce d'artillerie lourde sur affut fixe est également desservie par une voie ferrée pour l'alimenter en munitions. Enfin, en 4^e positions voire en arrière, des parcs ou dépôts (Pvf, Dvf) (munitions, vivres, eau, matériels) sont révélés morphologiquement par des faisceaux de voies. Les camps militaires et carrières souterraines (Cs) hébergeant des troupes (« Creutes ») sont également desservis par des voies.

H. Cantonnements souterrains et creutes

- 36 Dans le secteur de Reims, de nombreuses carrières souterraines (Cs) appelées « Creutes » (Devos *et al.*, 2012) s'inscrivent au sommet de la Côte d'Île de France dans les Calcaires grossiers du Lutétien. Ces endo-formes sont réhabilitées en abris de bataillon par le Génie (Compagnies MD) pour un cantonnement durable en 4^e position de

défense. Leur signature morphologique en surface est caractérisée par un front de taille aérien percé d'une entrée en bouche de cavage à partir de laquelle les verses ou remblais de carrière sont déversés sur le versant (doc. 13). Localement des dépressions fermées corrélatives à un soutirage des carrières jalonnent les plateaux. Dans le secteur d'Hermonville, les données LiDAR montrent des boyaux de communication desservant les entrées des Creutes ouvertes sur les flancs du front de côte.

Document 13 : Image LiDAR des tranchées et des boyaux reliés aux carrières souterraines dont les verses drapent le front de la Côte d'Île-de-France (Hermonville-Mont Chatté)



II. L'après-guerre : désobusage, sépultures exhumées...

- 37 Après-guerre, la remise en culture des terres dévastées passe par une période de dépollution des champs de bataille (Laval, 1927), constituant au déminage ou désobusage, à la récupération des métaux et déchets militaires divers (« épaves de guerre inertes »). Près de 200 millions obus tirés n'ayant pas explosés sont alors à traiter, nécessitant des sondages, leurs récupérations, leur destruction *in situ* ou dans des centres de désobusage. S'ajoutent à ces déchets, les surplus des dépôts de munitions estimés à 1 700 000 tonnes dont 1 100 000 tonnes destinées à la destruction entre les deux guerres (Hubé., 2016). Les signatures morphologiques du désobusage s'observent sous la forme de cratères coalescents alignés dans des champs d'éclatement d'obus (Vaudoncourt-Loison en Meuse) fourneau de désobusage, tranchées de brulage d'obus, et entonnoirs de déminage observés en image LiDAR en Wallonie (cratères de Bellefontaine). Outre le désobusage, d'autres cratères d'explosion peuvent être générés dans des zones d'essai militaire inscrits dans les paysages dévastés comme en 1919 à Tahure (explosion de 49 tonnes de mélinite) et à la Courtine en 1924 (charge de 10 tonnes).
- 38 L'observation des dépressions alignées de 2 m de longueur est interprétée comme des sépultures exhumées non remblayées (To, Fo, Sc et Ne). La note du 19 novembre 1914 du général Joffre interdit l'exhumation et le transfert des morts dans la zone des Armées. Mais suite à la loi du 29 décembre 1915 par laquelle l'État accorde aux « *morts pour la France* » une concession individuelle et perpétuelle, et à la loi du 31 juillet 1920 instaurant la création de nécropoles nationales et autorisant enfin dans la zone des Armées, la récupération des corps (article 106), de nombreuses sépultures simples (To) et multiples (dont les fosses communes (Fo)) isolées ou groupées dans des cimetières provisoires sont exhumées pour être concentrées dans les nécropoles (Ne) (Pau, 2016). Ce grand remuement des corps (Flucher, 2011) induit une exhumation et un transfert de masse confiés à des entreprises privées, qui pour des raisons mercantiles, voire

malhonnêtes, ont bâclé le travail (paiement forfaitaire, cercueils inappropriés) ce que l'approche archéologique montre nettement (récupération très partielle des ossements).

III. Discussion

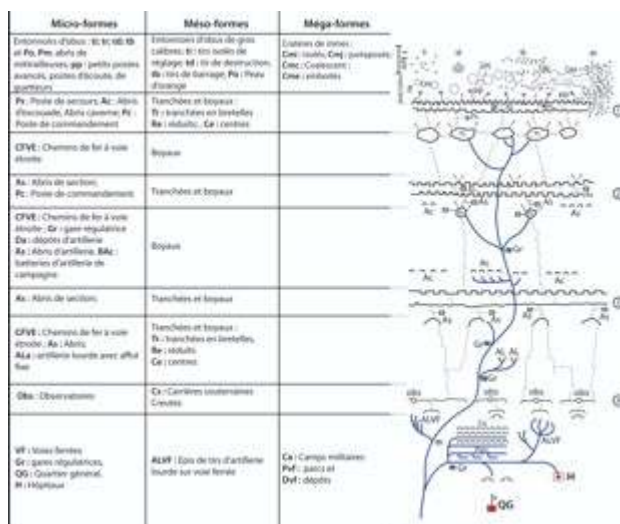
39 La typologie des formes associées à la Grande Guerre révélées par les images LiDAR pose de nombreux problèmes inhérents aux critères typologiques présentés plus haut et à la résolution de l'image. L'empreinte morphologique soulève également le degré de conservation des formes depuis un siècle associé aux pratiques culturelles, à la sédimentation naturelle et à la résilience du milieu.

A. Formes et organisation spatiale

40 L'impossibilité de visualiser à la même échelle toutes les formes de la Grande Guerre conditionne la vision multiscale des morphologies de la zone de front, de la « macro-forme » hectométrique à la « micro-forme » métrique. Les micro-formes se révèlent qu'à une échelle importante avec une résolution suffisamment bonne (plus de 10 points/m²) sans pour autant révéler des formes souterraines (abris-cavernes). Le repérage des types de formes à l'échelle d'une ligne de défense (De Matos Machado *et al.*, 2016) permet de montrer leur diversité avec un usage opérationnel notamment pour les archéologues.

41 Pour d'une part appréhender l'organisation spatiale des morphologies par des indices de densités surfaciques ou linéaires (Devos *et al.*, 2015 ; Taborelli *et al.*, 2017), et d'autre part pour relativiser les résultats, il est nécessaire d'inscrire ces formes dans la structuration spatiale de la zone de front. Cette inscription est faite en indiquant sa situation au sein des positions et des lignes de défense, ce que l'analyse sous SIG des Plans directeurs au 1/20 000, au 1/10 000 et au 1/5 000 permet. En effet, chaque rideau ou position de défense présente non seulement ses propres morphologies, mais aussi sa propre structure spatiale (doc. 14).

Document 14 : Organisation spatiale des formes de la Grande Guerre dans la géographie de la zone de front



- 42 Le no man's land concentre les cratères de mines, de nombreux impacts d'artillerie et un chevelu de petits postes avancés, postes d'écoutes, postes de guetteurs dans les réseaux de défense accessoires (trous de loups, fossés d'abatis, fougasses en tranchées). Le premier rideau ou position, est le plus dense en tranchées (170 m/ha) (Devos *et al.*, 2015) et peut même présenter quatorze lignes de défense comme en Argonne (Taborelli *et al.*, 2016) avec de nombreux abris pour mitrailleurs et abris individuels. Les boyaux sont en proportion moins nombreux et desservent des abris-cavernes de demi-section, postes de premiers secours et abris-dépôts d'artillerie de tranchées. En troisième voire en quatrième ligne de tranchées, une structure cellulaire autour de centres de résistance ou de réduit apparaît nettement avec des postes de commandement et des abris d'artillerie. Dans ce rideau de défense, les abris d'artillerie de mortier à tirs courbes sont difficilement repérables car intégrés aux tranchées.
- 43 Les secteurs de liaison entre les positions sont davantage représentés par des boyaux de communication que par des tranchées de tirs surtout avant 1918. Quelques « *tranchées en bretelles* » permettent le tir de flanquement sur d'éventuelles percées aménagées. Des places d'armes sont retrouvées permettant la concentration de troupes pour des contre-offensives. En arrière immédiat de la ligne des réduits, un réseau dendritique de voies ferrées à voies étroites (VFVE) dessert les positions avec des gares régulatrices (Gr).
- 44 La seconde position défensive reste renforcée par des lignes de tranchées avec davantage d'abris de section pour le repos et des abris d'artillerie de campagne. Elles s'implantent à 6 km des lignes ennemies permettant des tirs de barrage dans le no man's land et des tirs de destruction dans le premier rideau ennemi compte tenu de la portée des canons de campagne. En arrière de la position, des emplacements de batteries d'artillerie de plus gros calibre desservis par voies ferrées sont révélés. Le troisième rideau est plus lâche ou moins dense en réseaux de tranchées et de boyaux avec des abris de section (As). Le quatrième rideau est une position d'observation et de cantonnement avec des tranchées de défense linéaires équipées d'observatoires du SROT (Section de Repérage par Observations Terrestres), d'éléments de tranchées d'exercice, reliées aux Creutes (Région de Reims) ou aux camps militaires (Argonne). Le réseau ferré est très développé, car il assure non seulement le cheminement des troupes, du matériel, des munitions (parc du train, hôpitaux), mais porte aussi l'artillerie lourde à longue portée (épis de tirs, ALVF).
- 45 Cette géographie des morphologies du front est en outre évolutive selon les conditions géomorphologiques, la couverture végétale, le réseau hydrographique, les stratégies des belligérants et la stabilité locale du front. L'analyse sous SIG des Plans directeurs de Champagne-Ardenne montre clairement une adaptation structurelle des réseaux de défense au modelé, aux conditions de tirs, d'observation et de couverture (Devos *et al.*, 2015 Taborelli *et al.*, 2016 Taborelli *et al.*, 2017) tout en conservant le schéma synthétique (Fig. 14). Cette adaptation passe par un approfondissement du dispositif en zone de plaine dégagée avec une exploitation exacerbée des masques (végétaux et talus), par une densification ou une concentration et une exploitation des ravins en plateau incisé (Argonne). À l'inverse des ruptures ou des lignes de défense discontinues sont constatées en plaine humide ou marécageuse en Champagne humide. Dans les Monts de Champagne, la multiplication des boyaux entre les positions répond à l'exploitation du premier rideau de défense allemand occupé par les Français suite aux offensives de 1915.

- 46 - Si L'agent morphogène (guerre des mines, artillerie, réseaux de défense, vie militaire, transport) est facilement identifiable dans les secteurs calmes, il est moins patent pour les secteurs des grandes offensives. Dans un « modelé en peau d'orange », l'emboîtement des trous d'obus, de cratères de mine perturbe fortement la lisibilité des réseaux de défense. Les cratères de petits fourneaux de mine peuvent se confondre aux entonnoirs d'obus allongés et brisants de gros calibres (220, 280, 370 mm). Cet emboîtement des formes pose un problème dans l'automatisation de la reconnaissance de forme des images LiDAR à partir de moyens informatiques.
- 47 - La détermination de l'usage ou de la fonction des formes (PC, Poste d'observation, abris-dépôt pour le personnel, munitions, etc.) ne peut pas reposer uniquement sur les morphologies ou coupes transversales, mais doit être associée aux documents d'archives (Plans directeurs, JMO, manuels d'instruction) et à des campagnes de reconnaissance de terrain.
- 48 - La signature morphologique et l'organisation spatiale des formes sont certes des indicateurs temporels pour leur datation anté, syn ou post conflit. Cependant, elle reste également contrainte à la bonne connaissance de l'état initial, de l'histoire des combats et des pratiques agricoles ou sylvicoles assujetties aux prescriptions des classements en zone rouge et à la pression agricole (Buridant, 2003 ; Amat, 2015). Par exemple, l'absence d'impacts d'obus dans le « méga-cratère » de la Cote 108 témoigne d'un âge tardif corrélatif au début des offensives Ludendorff de 1918 qui correspondent au retour de la guerre de mouvement (Taborelli *et al.*, 2017).
- 49 - L'appartenance à l'armée (Française, Anglaise, Allemande) d'une forme identifiée est contrainte à l'inscription de cette dernière dans le réseau de défense, mais aussi à la vision diachronique fournie par l'analyse des Plans directeurs à différentes dates et des Journaux de Marche des Opérations (JMO). En effet, durant les grandes offensives de Champagne ou d'Argonne de 1915 ou celles du Chemin des Dames à Berry-au-Bac en 1917, seules les premières positions allemandes ou françaises sont prises et réorganisées pour être englobées aux réseaux de défense. Cette détermination d'appartenance est également assujettie au manque d'informations du côté français conformément aux cahiers des charges d'élaboration des Plans directeurs (Combaud *et al.*, 2016). Ainsi compte tenu de l'emboîtement des formes, dans le no man's land, il est souvent difficile d'attribuer une morphologie à l'un des belligérants surtout dans le cas de la guerre des mines, comme à Berry-au-Bac.

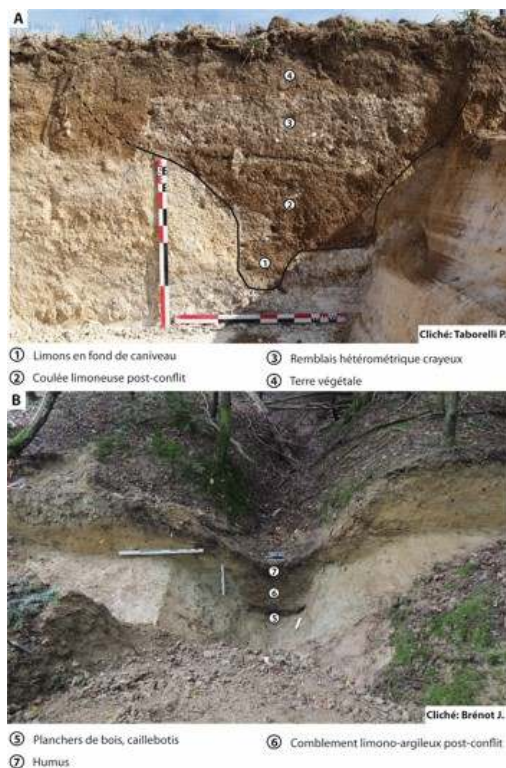
B. Conservation des « polémo-formes »

- 50 Les « polémo-paysages » de la Grande Guerre révélés par l'imagerie LiDAR présentent un degré de conservation très hétérogène dans l'espace lié au degré du pilonnage d'artillerie, à la résilience des terrains, aux pratiques agricoles et sylvicoles, mais aussi à l'expansion urbaine.
- 51 Le degré d'intensité du pilonnage d'artillerie et les calibres utilisés feutrent de manière graduelle les formes des réseaux de défense et de la guerre des mines. Dans les secteurs plus « calmes » (secteur de Reims) n'ayant pas connu de tirs de destruction massive et généralisée, les rideaux de défenses restent lisibles dans le paysage. À la différence des secteurs de Verdun où le modelé en « peau d'orange » feutre lourdement les tracés des tranchées. Contrairement aux obus à balles non morphogènes utilisés durant l'offensive de la Somme (Keegan, 2013), les obus brisants de gros calibres à double effet

atténuent par nivellement et comblement les réseaux de défense (bombturbation, retombées des gerbes de terre).

- 52 La résilience des terrains est liée à la nature lithologique et aux conditions géomorphologiques qui déterminent la conservation des formes. Même durant le conflit, la stabilité des tranchées et la lisibilité des lignes de défenses est bien plus faible en terrain argileux qu'en terrain cohérent (granites, calcaires, gaize d'Argonne, craie de Champagne). Les photographies aériennes et au sol montrent l'absence de claiers, de gabions et la forte lisibilité des tranchées et boyaux dans la craie de Champagne dont la blancheur du parados et du parapet souligne les tracés (doc. 15A). À l'inverse dans les plaines argileuses des Flandres, le tracé des tranchées est plus tenu et le boisage est indispensable. Après la guerre, en l'absence de couverture végétale et pédologique liée à la bombturbation (Hupy et Schaetzl, 2006), l'érosion est exacerbée avec des mouvements de masse affectant les talus intérieurs et de revers des réseaux de défense. Ceci s'accompagne d'un atterrissement ou comblement des caniveaux par des limons bruns caractéristiques, recoupés en fouilles archéologiques (doc. 15B) (Brenot *et al.*, 2017). La météorisation et les dynamiques géomorphologiques sous la dominance de bilans hydriques contrastés (ruissellements en Argonne, infiltrations en Champagne) ont atténué le modelé de la Grande Guerre. À ce titre, l'argument morphologique ne peut seul, définir la fonction, mais doit faire l'objet d'une campagne de validation de terrain et de recherches dans les documents d'archives.

Document 15A : Coupe transversale dans une tranchée comblée dans la craie de Champagne ; B : Coupe transversale dans une tranchée conservée sur la gaize d'Argonne



- 53 Mais l'examen des images LiDAR montre nettement que c'est la couverture forestière et les pratiques agricoles qui conditionnent la conservation des « polémo-paysages » de la Grande Guerre. En effet, en zone cultivée toutes les formes sont nivelées alors qu'en forêt, elles subsistent encore.

- 54 En Champagne-Ardenne, les zones cultivées couvrent aujourd'hui 75 % de la zone de front où les structures de défense ont totalement disparu par remblaiement et nivellement. Elles ne sont révélées qu'en photographies aériennes et en télédétection (Lasaponara et Masini, 2007) par des anomalies de pousses végétales inhérentes aux disparités de rétention hydrique sous la forme d'indices phytographiques (hauteurs), pédographiques (couleurs) et hygrographiques (humidité du sol). Leur lisibilité reste néanmoins dépendante des conditions atmosphériques, pédologiques, géologiques et géomorphologiques faisant apparaître au fil des saisons différentes structures archéologiques (polymorphisme). Le nivellement des formes s'effectue de manière graduelle après la guerre corrélativement à la pression agricole dans le cadre de la remise en culture des terres les plus fertiles (Boulanger, 2001 ; Buridant, 2003). En effet, cela concerne la majeure partie (94 %) des zones agricoles dévastées puisqu'en 1925, 1,8 million d'hectares sont rendus à la culture sur les 1 923 479 ha dévastés (Amat, 2015) alors que le boisement pour les terres considérées comme incultivables est programmé conformément au zonage de 1919 (zone rouge dont les frais de remise en culture sont supérieurs à ceux du sol). Cependant, cette zone rouge se résorbe rapidement car elle passe de 116 794 ha dont 85 527 ha de terre de culture en 1919 à 48 820 ha en 1927 (Laval, 1927).
- 55 Après la dépollution des champs de bataille (désobusage), le nivellement s'effectue avec des apports de terre considérables compris entre 80 et 2500 m³/ha (Le Borgne, 1990 ; Arnould et Simon, 1994 ; Amat, 1987), qui a nécessité l'utilisation de prisonniers, ou de main d'œuvre coloniale et d'une mécanisation agricole. Les matériaux de comblement des réseaux de défense recoupés en fouilles archéologiques se présentent sous la forme de blocs hétérométriques rocheux dans une matrice limoneuse. Ces remblais riches en déchets militaires (fils de fer, barbelés, queues de cochon, piquets) et qui reposent sur des limons d'atterrissement, témoignent d'un comblement par des matériaux *in situ* provenant de la crête de feu et du parado. Enfin, un limon brun de surface assimilé à de la terre végétale apportée car bien moins riche en éclats et déchets militaires recouvrent le tout (doc. 15A).
- 56 Les forêts et les camps militaires couvrent 43 % des réseaux de défense en Champagne-Ardenne reconnus sous SIG à partir des Plans directeurs. Leur degré de conservation calculé à partir du ratio du linéaire de tranchées et de boyaux reconnus sur images LiDAR sur le linéaire calculé sur les Plans directeurs de 1918, est de 22 % pour le secteur de Berry-au-Bac en Champagne crayeuse (Taborelli *et al.*, 2017) et de 26 % sur la gaize d'Argonne à Servon (Brenot *et al.*, 2017). Mais ces chiffres cachent de fortes disparités spatiales selon la gestion sylvicole (doc. 16A, 16B, 16C).

Document 16A : Extrait du Plan directeur de la « Forêt d'Argonne » du 27 juillet 1918 ; B : Image LiDAR en forêt d'Argonne avec parcelles de régénération nivelées et des parcelles voisines portant encore les stigmates de la Grande Guerre ; C : Photographie aérienne du même secteur



- 57 En effet, dans les parcelles de régénération ou de repeuplement, un nivellement du terrain préalable permettant la mécanisation supprime toutes traces des réseaux de défense (doc. 16B). Mais cette dualité entre zone cultivée et zone forestière cache également de profonds changements de paysages puisque la Champagne crayeuse qui au stade climax se présente sous la forme d'une forêt de hêtres (Bournerias et Timbal, 1979) a été « déforestée » au Néolithique puis à l'époque antique pour être vouée à l'élevage ovin (« savarts » et pelouses sèches) avant d'être reboisée en pinèdes au 18^e siècle qui seront largement mitraillés durant la Grande Guerre puis inscrits dans les camps militaires ou défrichées de 1950 à 1969 (72 000 ha sur les 110 000 ha de la Marne, Colin, 1971) pour la grande culture. La zone rouge s'est fortement résorbée au profit des zones cultivées, car elle passe de 116 794 ha en 1919 à 48 820 ha en 1927 (Laval, 1927). Cette fonte est particulièrement sensible dans l'Aisne (19 000 ha en 1919 à 750 ha en 1925) dans le Pas de Calais (de 20 500 ha à 302 ha, Buridant, 2003) mais moins importante dans la Marne de 23 300 ha en 1919 à 16 953 ha en 1927.
- 58 La pression urbaine notamment autour de Reims contribue également à la disparition des « polémo-paysages » de la Grande Guerre d'autant plus que la ville s'inscrit dans le premier rideau défensif durant la guerre. L'extension de l'agglomération depuis 1918 (calculée sous SIG en comparant les emprises urbaines sur le Plan directeur de 1918 et celle de 2016) couvre une surface de 34 km² (13 km² en 1918 et 47 km² en 2016) recoupant 220 km de tranchées et de boyaux soit 1,7 % des 13 000 km de Champagne-Ardenne (Taborelli *et al.*, 2017). Cette extension multiplie les risques d'affaissement et d'effondrement » associés aux aléas « cavités » ainsi que les risques « archéologiques » et pyrotechniques. En effet, de nombreuses fouilles de diagnostics et de sauvetages des services archéologiques (Eveha, INRAP, service archéologique du Grand Reims) recoupent et concernent des structures de la Grande Guerre.

Conclusion

- 59 Les « polémo-paysages » de la Grande Guerre sont complexes et très hétérogènes dans l'espace. L'outil LiDAR révèle de nombreuses exo-formes permettant d'inventorier et de cartographier un formidable potentiel de valorisation patrimoniale. Les signatures morphologiques sont très diversifiées et sujettes à discussion nécessitant des recherches annexes dans les documents d'archives (manuels d'instruction militaire, JMO) comme dans les Plans directeurs. À l'image de « paysages palimpsestes », ils sont surimposés à d'autres « polémo-formes » antérieures à la Grande Guerre (fortifications du système « Séré de Rivières ») qui ont conditionné leur organisation spatiale, mais sont aussi postérieures au conflit (désobusage, expérimentations militaires, exhumations). Ils sont également emboîtés nécessitant une approche multiscale avec plusieurs échelles et résolutions spatiales de la macro-morphologie (cratères décamétriques) à la micro-topographie (abris individuels). Ils sont multi-formes (linéaires, ponctuels) encore marqués en surface mais mal connus en profondeur (endo-formes). Leur organisation spatiale est à la fois propre au type de forme (isolé, aligné, juxtaposé, emboîté, pour les entonnoirs d'obus et de mine) mais également inféodée aux réseaux de défense (positions et lignes de tranchées et de boyaux) en profondeur sur une bande de 10 à 30 km dont la structure (densité, organisation) varie localement ou régionalement selon les conditions géomorphologiques (topographie, hydrographie, lithologie) et militaires (crêtes de tirs, sites d'observation, paramètres balistiques) (Devos *et al.*, 2015 ; Taborelli *et al.*, 2016). L'étude des traces morphologiques semble donc indissociable de leur situation au sein du dispositif de défense ce que la numérisation et le traitement sous SIG des Plans directeurs permettent.
- 60 Leur conservation est, en Champagne-Ardenne lourdement conditionnée par les mutations de paysages depuis 1919 et de la couverture végétale dépendante des pratiques agricoles et sylvicoles qui ont atténués, voire nivelés les « polémo-paysages » depuis 1919 au gré de la résorption importante de la zone rouge. À la différence d'autres régions (Pas-de-Calais, Picardie) en Champagne-Ardenne, les camps militaires ont sans doute largement contribué à leur conservation et peuvent être considérés comme des conservatoires des morphologies de la Grande Guerre. En zones cultivées les formes nivelées par remblaiement essentiellement entre 1919 et 1927, sont recoupées et exhumées temporairement dans le cadre des fouilles archéologiques préventives et de sauvetages avant d'être une nouvelle fois remblayées dans les zones d'expansion urbaine. Sous forêts et sur les sites étudiés, 25 % des réseaux de défense (tranchées et boyaux) sont conservés et affectés d'un comblement partiel et naturel de l'ordre d'un mètre d'atterrissement en un siècle ce qui pose, dans une vision géoprospective le problème de leur disparition dans le prochain siècle. Ainsi, elles ne seront plus révélées que par l'approche archéologique et géophysique (De Smedt *et al.*, 2013, Saey *et al.*, 2016). Cependant, des associations (Somme-Py-Tahure, Cote 108, Main de Massiges, Vauquois) contribuent à l'entretien et à la valorisation de ces paysages.
- 61 Cet article s'intègre dans le programme de recherche Emergence Impact 14-18 porté par l'EA 3795 – GEGENAA et financé par la région Grand Est. Les auteurs tiennent à remercier l'association de la Cote 108, de la Main de Massiges et du Souvenir de Somme-Py-Tahure ainsi que les musées de Meaux et de la Pompelle.

BIBLIOGRAPHIE

- Amat J.P., 1987, « Guerre et milieux naturels : les forêts meurtries de l'Est de la France, 70 ans après Verdun ». *Espace Géographique*, 16(3), p. 217-233, 10.3406/spgeo.1987.4253.
- Amat J.P., 2001, *La forêt entre guerre et paix, 1870-1995 : étude de biogéographie historique sur l'arc meusien de l'Argonne à la Woëvre*, Thèse d'État, Université de Lille 1, Lille, (p. 1 285).
- Amat J.P., 2015, *Les forêts de la Grande Guerre : histoire, mémoire, patrimoine*. Paris, Presses de l'Université Paris-Sorbonne, (p. 548)
- Arnould P., & Simon L., 1994 « Forêts, guerre, après-guerre, autour du Chemin-des-Dames » dans A. Corvol & J.P. Amat (dir.), *Forêt et guerre*, Paris, L'Harmattan p.251-269.
- Boulanger P., 2001, « Le paysage de guerre dans le canton de Lassigny (Oise), *Ruralia*, sciences sociales et mondes ruraux contemporains [En ligne], 08, <http://ruralia.revues.org/216>.
- Boulanger P., 2002. *La géographie militaire française (1871-1939)*, *Economica*, (p. 619).
- Bournerias M., & Timbal J., 1979, « Le hêtre et le problème du climax en champagne crayeuse ». *Biologie et forêt*, XXXI, p.209-223.
- Brenot J., Saulière N., Léty C., Taborelli P., Zélie B., Blondeau R., Devos A., Desfossés Y., 2017, « How much did the soldiers dig ? A quantification of WW1 remains in Argonne, France ». *Geoarcheology*, accepté
- Buffetaut Y., 2011, « le grignotage, une tactique qui n'en était pas une », *Tranchées, Un regard nouveau sur la Grande Guerre*, Hors série 2, p.5-9.
- Buffetaut Y., 2013. *Atlas de la Première Guerre Mondiale*, Autrement, (p.98).
- Buridant J., 2003, « La forêt mutilée - la reconstitution forestière dans l'Aisne après la Grande Guerre. ». *Graines d'Histoire - La mémoire de l'Aisne*, 17, p.13-24.
- Colin G., 1971, « Un grand département agricole : la Marne, *Mélanges - La grande agriculture - La propriété foncière riche et pauvre* », *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, 7, p.3-15.
- Combaud A., Devos A., Chalumeau L., Taborelli P. & Bollot N., 2016, « Les plans directeurs de la Grande Guerre : une nécessaire innovation cartographique ». *Revue Internationale de Géomatique*, [http://dx.doi.org/10.3166/rig.2016.00004\(3\),p.363-393](http://dx.doi.org/10.3166/rig.2016.00004(3),p.363-393), <http://dx.doi.org/10.3166/rig.2016.00004>
- De Matos Machado R., Amat J.-P., Arnaud-Fassetta G., & Bétard F., 2016, « Potentialités de l'outil LiDAR pour cartographier les vestiges de la Grande Guerre en milieu intraforestier (bois des Caures, forêt domaniale de Verdun, Meuse) », *EchoGéo* [En ligne], 38.
- De Smedt P., Saey T., Lehouck A., Stichelbaut B., Meerschman E., Monirul Islam M., 2013, « Exploring the potential of multi-receiver EMI survey for geoarchaeological prospection : a 90 ha dataset ». *Geoderma*, 199, p.30-36.
- Degron R., & Husson J.-P., 1999, « Les forêts d'Alsace-Lorraine (1871-1918). Les contrastes de l'héritage allemand, reflet de l'annexion », *Histoire-Economie-Société**, (3), p.599-611.
- Desfossés Y., 2012, Le camp de repos allemand du Borrieswalde en forêt d'Argonne, *Culture et recherche*, 131, p.15-16.

- Desfossés Y., Jacques A., & Prilaux G., 2008, *L'archéologie de la Grande Guerre*. Rennes, Ouest-France/INRAP, (p.127).
- Devereux B.J., Amable G.S., & Crow P., 2008 « Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. ». *Antiquity*, 82(316), p.470-479, 10.1017/S0003598X00096952.
- Devos A., Chalumeau L., Bollot N., Sosson C., Barre E., Lejeune O., Gobancé G., 2012, « Organisation spatiale de la fracturation de détente mécanique de versant en carrières souterraines. Application aux plateaux des calcaires éocènes du Bassin de Paris ». *Physio-Géo*, 6(1), p.243-262, 10.4000/physio-geo.2819.
- Devos A., Taborelli P., Dodici M., Chalumeau L., Buridant J., Bollot N., Comabud A., Desfossés Y., 2015, « 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(1), p.157-174, DOI : 10.4000/physio-geo.4615.
- Durup de Baleine A., 1998, « Paysages hérités de la fortification «Séré de Rivières » au sein des Côtes lorraines », *Revue Géographique de l'Est*, 38(1-2 : Géohistoire des paysages des côtes de Lorraine et du Luxembourg), p.57-84, 10.3406/rgest.1998.2483.
- Ehret T., 2012, « Le canon du bois de Muzeray », *Tranchées, un nouveau regard sur la Grande Guerre*, 10, p.64-68.
- École militaire de l'artillerie., 1915, *Leçons de fortifications*, (p.103).
- Flucher G., 2011. *Le Chemin des Dames, du champ d'honneur... au champ des morts*. Louviers, YSEC, (p. 127)
- Georges-Leroy M., Bock J., Dambrine E., & Dupouey J.-L., 2011, « Apport du LIDAR à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye », *ArchéoSciences, revue Archéométrie*, 35, p.117-129.
- Hesse R., 2010, « LIDAR-derived Local Relief Models (LRM) - a new tool for archaeological prospection », *Archaeological Prospection*, 17, p.67-72.
- Hesse R., 2014, « Geomorphological traces of conflict in high-resolution elevation models », *Applied Geography*, 46, p.11-20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.10.004>.
- Hubé D., 2016, *Sur les traces d'un secret enfoui - enquête sur l'héritage toxique de la Grande Guerre*, Édition Michalon, 285 p.
- Hupy J.-P., & Schaetzl R., 2006, « Introducing "bombturbation" a singular type of soil disturbance and mixing ». *Soil Science*, 171(11), p.823-836.
- Keegan J., 2013. *Anatomie de la bataille*. Paris, Perrin, (p.420).
- Lasaponara R., & Masini N., 2007, « Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery », *Journal of Archaeological Science*, 34(2), p.214-221, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.04.014>.
- Laval P., 1927, *Rapport de la commission des finances, chargée d'examiner le projet de loi, adopté par la Chambre des Députés, portant fixation du budget général de l'exercice 1928, Ministère des travaux publics, rapport n°680 du Sénat en session extraordinaire, annexe au procès verbal de la séance du 13 décembre 1927*.
- Le Borgne A., 1990, *La guerre de 1914-1918 et les forêts de l'Aisne. Recherches biogéographiques sur la guerre de 1914-1918, son impact et ses conséquences sur les forêts de l'Aisne*. Paris, (p.186)
- Le Hallé G., 2004, *Précis de la fortification*, Ysec, (p.192).

- Linnenkohl H., 1996, *Vom Einzelschuss zur Feuerwalze. Der Wettlauf zwischen Technik und Taktik im Ersten Weltkrieg*, Bernard et Graefe, (p.304)
- Meerschman E., Cockx L., Islam M.M., Meeuws F., & Van Meirvenne M., 2011, « Geostatistical Assessment of the Impact of World War I on the Spatial Occurrence of Soil Heavy Metals ». *Ambio*, 40(4), p.417-424, 10.1007/s13280-010-0104-6.
- Pau B., 2016, *Le ballet des morts -Etat, armées, familles : s'occuper des corps de la Grande Guerre*, Paris, Vuibert, (p. 361)
- Pommier C., 2014, Un milliard d'obus. Au cœur et aux marges de la Grande Guerre", en écho à l'exposition "Vu du front. Représenter la Grande Guerre" (15 octobre 2014 - 25 janvier 2015), <https://www.youtube.com/watch?v=feMadT3g0m4>, consulté le 15 janvier 2017.
- Prentiss A.-M., 1937, « Chemicals in war, a treatise on chemical warfare », *Poor man's James Bond*, 2, p.169-281.
- Saey T., Stichelbaut B., Bourgeois J., & Van Eetvelde V., 2013, « An interdisciplinary non-invasive approach to landscape archaeology to landscape archaeology of Great War », *Archaeological Prospection*, 20(1), p.39-44, 10.1002/arp.1437.
- Sittler B., & Hauger K., (2007), Les apports du laser aéroporté à la documentation de parcelles anciens fossilisés par la forêt : l'exemple des champs bombés de Rastatt en Pays de Bade. . In J.-L. Dupouey, E. Dambrine, C. Dardignac & M. Georges-Leroy (dir.), *La mémoire des forêts*, p. 155-161.
- Souvent P., & Pirc S., 2001, « Pollution caused by metallic fragments introduced into soils because of World War I activities », *Environmental Geology*, 40(3), p.317-323, 10.1007/s002540000156.
- Stichelbaut B., 2011, « The first thirty kilometers of the western front 1914-1918: an aerial archeological approach with historical remote sensing data », *Archeological Prospection*, 18(1), p. 57-66, 10.1002/arp.397.
- Taborelli P., Devos A., Dodici M., Desfosses Y., Bollo, N., & Brénot J., 2016, « Apport des plans directeurs sur la compréhension de l'organisation spatiale du front durant la Grande Guerre. Application à l'Argonne ». *Revue de Géographie Historique*, 8.
- Taborelli P., Devos A., Laratte S., Brenot J., Bollot N., Cancès B., Desfossés Y., , 2017, « Apport des plans directeurs et de l'outil lidar aéroporté pour la caractérisation des impacts morphologiques de la grande guerre - exemple de la cote 108 (berry-au-bac - france) », *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, accepté.
- Thouin H., Le Forestier L., Gautret P., Hubé D., Laperche V., Duparçz S., Battaglia-Brunet F., 2016, « Characterization and mobility of arsenic and heavy metals in soils polluted by the destruction of arsenic-containing shells from the Great War », *Science of the Total Environment*, 550, p.658-669, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.111.
- Triolet J., & Triolet L., 2011, *La guerre souterraine - sous terre, on se bat aussi*, Paris, Perrin, (p.337).
- Villate R., 1925. *Les conditions géographiques de la guerre sur le front français de 1914 à 1918*. Paris, Payot, (p.325).
- Weiss J.-F., 2016, *Les souterrains de la Première Guerre mondiale - du creusement au témoignage*, AREESVS, (p.223).

RÉSUMÉS

La Grande Guerre a fortement marqué les paysages de la zone de front. La guerre des mines, l'artillerie et les réseaux de défense ont été morphogènes dégageant un « polémo-paysage » des champs de bataille caractéristique du conflit avec ses nombreux cratères de mine, d'entonnoirs d'obus, de tranchées, de boyaux, d'abris, etc. L'objectif de cette contribution est de hiérarchiser ces formes, de comprendre leurs organisations spatiales et de mesurer leur degré de conservation. L'utilisation combinée des Plans directeurs et de l'outil LiDAR aéroporté permet de révéler la persistance de ces formes dans le paysage. À partir de 5 missions aériennes en Argonne, et dans la région de Reims, les formes de la Grande Guerre subsistent sous forêt mais sont intégralement nivelées en zone cultivée. L'organisation spatiale et typologique des formes répond à la structure des réseaux de défense selon les positions. Sur le no man's land et dans les premières positions, les formes sont emboîtées et juxtaposées (cratères de mine décamétriques, tranchées, boyaux et impacts d'artillerie métriques). Par contre, dans les positions arrière, d'autres formes sont mises en évidence (cantonnements, abris, sites d'artillerie) et s'adaptent aux conditions géographiques locales (exposition, alimentation en eau, couvert végétal). Cette approche spatiale et multiscalaire peut être valorisée dans le cadre de la patrimonialisation, de la cartographie des risques archéologiques et des impacts environnementaux de la Grande Guerre.

The Great War marked the landscapes of the frontal zone. Mine warfare, artillery and defense networks have been morphogenic, giving rise to a "polémo-paysage" of the battlefields characteristic of the conflict with its many craters of mine, shell craters, trenches, communication trenches, shelters... The objective of this contribution is to prioritize forms, understand their spatial organizations and measure their degree of conservation. The combined use of directing Plans and the airborne LiDAR tool reveals the persistence of these forms in the landscape. From 5 air missions in Argonne, and in the region of Reims, the forms of the Great War remain under forest but are completely leveled in cultivated area. The spatial and typological organization of the forms corresponds to the structure of the defense networks according to the positions. On no man's land and in the first positions, the forms are nested and juxtaposed (decametric craters of mine, metric trenches, communication trenches and impacts of artillery). However, in the rear positions, other forms are highlighted (cantonments, shelters, artillery sites) and adapt to local geographical conditions (exposure, water supply, vegetation cover). This spatial and multiscalar approach can be valued in the context of the heritage, the mapping of archaeological risks and the environmental impacts of the Great War.

INDEX

Keywords : War landscapes, Great War, airborne LiDAR, shell craters, trenches, shelter, Champagne-Ardenne

Mots-clés : Polémo-paysages, Grande Guerre, LiDAR, cratères, tranchées, abris, Champagne-Ardenne

AUTEURS

PIERRE TABORELLI

EA3795 GEGENAA, Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Lettres et Sciences Humaine

YVES DESFOSSES

DRAC Champagne-Ardenne

JÉRÔME BRENOT

Eveha