



HAL
open science

Chantier “Construction Historique des Espaces Forestiers”

Laure Nuninger, Catherine Fruchart, Clément Laplaige, C. Bas, S. Bépoix, G. Bossuet, Thomas Chenal, A. Crozet, D. Daval, A. Dupin, et al.

► **To cite this version:**

Laure Nuninger, Catherine Fruchart, Clément Laplaige, C. Bas, S. Bépoix, et al.. Chantier “Construction Historique des Espaces Forestiers”. [Rapport de recherche] usr 3124 MSHE C.-N. Ledoux. 2015, pp.263-350. hal-01968331

HAL Id: hal-01968331

<https://hal.science/hal-01968331v1>

Submitted on 14 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

odit

Chantier

« Construction historique des espaces forestiers : dynamiques, ressources et patrimoine » (CHEF)

Rapport final d'activité

Coordination : Laure NUNINGER,
ChronoEnvironnement UMR 6249, CNRS -
Université Bourgogne Franche-Comté



Chantier « Construction Historique des Espaces Forestiers » ¹

Introduction	263
Partie 1 – cadre thématique et méthodologique	265
De quels espaces forestiers parle-t-on ?	265
Une approche intégrée et multiscalaire	267
Partie 2 – L’espace forestier de Chailluz	283
Cadre historique des recherches sur le massif forestier de Chailluz	283
Exploitation des cartes et plans anciens	285
Détection et enregistrement des données archéologiques	285
Opérations sur le terrain : prospections archéologiques.	286
Datations radiocarbone et analyses anthracologiques de plateformes de charbonniers	287
Autres recherches spécifiques autour de la chapelle Saint-Gengoul	290
Aperçu synthétique global de l’évolution de l’occupation du sol en forêt de Chailluz	292
Partie 3 - Vers une approche comparative	294
La forêt de Haye (54)	294
Les territoires entre Morvan et Arroux (71)	295
Les massifs forestiers de Blois, Boulogne, Russy et le domaine de Chambord (41)	296
Les terrasses viticoles de Besançon	297
Partie 4 – transfert et valorisation	299
Sur le plan académique	299
Collaborations interinstitutionnelles et valorisation patrimoniale	300
Transfert de connaissances et expertise au monde socioéconomique	300
Valeur ajoutée entre chantiers et valorisation des données à références spatiales produites en conformité avec la loi INSPIRE	303
Annexes	305

Introduction

La forêt est un objet complexe vivant au rythme des saisons et de la croissance végétale d’une année à plusieurs centaines d’années, tout en enregistrant l’influence de son usage par l’homme sur quelques milliers d’années. De fait, les sols et la végétation actuelle qui ont leur propre cycle de vie, demeurent néanmoins marqués par les usages passés de l’espace forestier. Les conditions

¹ Auteurs du rapport : Nuninger L. (dir.), Fruchart C. (dir.), Laplaige C. (dir.), Bas C., Bépoix S., Bossuet G., Chenal T., Crozet A., Daval D., Dupin A., Fovet E., Georges-Leroy M., Girardclos O., Grosbois J.-P., Jossieron J.-P., Nouvel P., Opitz R., Rossi A., Ruffaldi P., Thivet M., Zimmer C.

Contributeurs institutionnels au chantier CHEF : Universitaires : Barral P., Causevic-Bully M., Favory F., Forlin P., Lucot E., Mougin A., Pactat I., Rodier X., Sordoillet D., Tourneux F. P., étudiants de licence (Sciences, Technologies, Santé) et master (ECoS et ACTE) ; autres institutions et collectivités : Llorca Roberto, Werlin Gilles, Mous Benjamin, E. Dubois (ONF), Bassi M.-L., Thivet E., Bénard F., Deloge B., Magnenet J., Mouneyrac, M. (Ville de Besançon), Kasprzyk Michel, Goy Corinne, Tisserand Nicolas (INRAP), Laurent H., Gaidon-Bunuel M.-A., Chenevoix M.-H., Jounin C. (SRA-DRAC), Hitter M., Meynet F., Froissart E. (archives municipales et départementales) .

Contributeurs bénévoles : Mosca P., Petit M. (Asso. ARESAC) ; Nuninger J., Bois R. (Asso. AVALFORT), Boussemart P., Lassus F., Broquet P., Ory G., Cousin Ch..

environnementales ont été plus ou moins durablement influencées par l'action humaine avec des phénomènes de réminiscence parfois en décalage de plusieurs générations après un évènement ou une action anthropique. La sylviculture elle-même est un projet productif qui dépasse le cadre habituel de la vie humaine puisque la génération qui plante n'est pas celle qui récoltera (Corvol 2014). L'histoire d'une forêt n'est donc pas linéaire et ne peut se résumer à une succession d'états ; elle doit être appréhendée comme un ensemble de processus qui interviennent à différents moments selon des rythmes variables. Comme le rappelle M. Chalvet à propos du territoire français, « la forêt n'est pas un donné [géographique, environnemental] mais une construction matérielle, juridique, économique, symbolique, sociale et imaginaire qui se fait dans la durée, en parallèle de la construction d'un territoire ». C'est en ce sens que nous entendons discuter l'idée d'une construction historique des espaces forestiers.

Une telle approche vise à produire une meilleure connaissance des espaces forestiers actuels avec une perspective de longue durée, de la Protohistoire au XIX^{ème} siècle, qui offre un recul suffisant pour aborder les questions de gestion durable. Elle s'inscrit dans des enjeux socio-économiques et environnementaux aux niveaux régional, national et européen. En effet, la région de Franche-Comté figure parmi les territoires les plus boisés au niveau national avec un taux de boisement de 46%, dans un espace européen où la couverture forestière représente plus de 40% de la surface totale. Les espaces forestiers constituent donc un enjeu important en termes de ressource énergétique et économique, de valeur patrimoniale et de bien-être des populations. Ce sont également des espaces dont l'usage, potentiellement conflictuel, est en perpétuel changement. En outre, contrairement à une idée reçue, le couvert forestier en France a quasiment doublé depuis le milieu du XIX^{ème} siècle (Chalvet 2011, IFN) et cette progression des espaces forestiers doit également être questionnée car elle modifie considérablement la relation de l'homme à son environnement et pose des questions de fond sur son entretien mais également sur le recul des terres agricoles. En ce sens, la gestion des espaces forestiers nécessite une réflexion impliquant des points de vue variés et sur une longue échelle de temps, comme l'a maintes fois rappelé Andrée Corvol, pour estimer la valeur de ces espaces et pour donner des arguments permettant de mieux concilier les intérêts et pratiques des acteurs dans une perspective d'aménagement et de développement du territoire.

Dans ce cadre, la contribution du chantier CHEF - Construction Historique des Espaces Forestiers - repose essentiellement sur un développement méthodologique original qui intègre la vision de différents acteurs (chercheurs, gestionnaires forestiers et patrimoniaux, personnels des collectivités territoriales et petites entreprises innovantes) et une approche interdisciplinaire associant des compétences en sciences historiques et sciences de la vie et de la terre (*cf.* partie 1). La démarche menée implique une connaissance locale approfondie de l'histoire des espaces forestiers et c'est pourquoi nous avons choisi une zone atelier pilote (la forêt de Chailluz à Besançon, *cf.* partie 2), mais cette connaissance locale est élaborée dans un cadre partenarial au niveau national et international qui permet des comparaisons interculturelles (*cf.* partie 3) (figure 1).

Ces comparaisons ont pour objectif de souligner le potentiel des territoires régionaux dans un cadre beaucoup plus large. Les enquêtes historiques et paléo-environnementales associées permettent quant à elles de poser la question des équilibres entre déforestation et enfrichement, leur caractère plus ou moins durable voire irréversible, les problèmes que cela pose en termes d'occupation du sol et d'exploitation des ressources et les conflits que cela peut susciter entre les acteurs à différentes périodes.

Pratiquement, le travail de l'équipe s'est focalisé sur trois objectifs principaux. Il s'agissait en premier lieu d'identifier les phénomènes d'emprise et de déprise forestière, leur rythme et leurs causes. Pour comprendre cette dynamique, une analyse de l'usage de ces espaces par les sociétés a été développée à partir d'informations archéologiques, paléo-environnementales et historiques. Enfin, notre approche visait à estimer le potentiel en termes d'héritage culturel et naturel des pratiques anciennes sur la forêt d'aujourd'hui.

Les travaux menés ont permis le développement de compétences particulières et d'une expertise qui a pu être valorisée et transférée à d'autres équipes en France et à l'étranger sous la forme de communications, de formations et de partenariats académiques et socio-économiques (*cf.* partie 4).

Partie 1 – cadre thématique et méthodologique

De quels espaces forestiers parle-t-on ?

Appréhender la construction historique des espaces forestiers nécessite de clarifier la nature de ces espaces et leur fonction sur le territoire actuel. En effet, la compréhension de leur construction n'a de sens que pour répondre aux questions précises que se posent les populations actuelles qui doivent gérer, exploiter et valoriser voire protéger ces espaces.

Avant d'entrer dans le détail des éléments qui permettent d'identifier différents types de forêts, il convient de définir le terme même de forêt. Selon l'Inventaire forestier national (IFN), « la forêt est un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité *in situ*, un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur d'au moins 20 mètres »². Cette définition repose donc sur des critères de surface, de densité et de recouvrement du sol qui excluent les formations arborées de type urbain, parcs et jardins d'agrément, bosquets, vergers, vignes... Elle implique une certaine continuité spatiale du boisement.

Si une telle définition peut satisfaire au choix d'entité spatiale qualifiée d'ensemble boisé, elle ne permet pas d'en distinguer ni le contexte géographique (rural, urbain, montagnard...), ni la nature juridique et administrative (publique-privée, communale, domaniale...) qui sont deux éléments indissociables de l'usage que l'on peut faire de ces espaces forestiers.

D'un point de vue historique, les études d'envergure se sont surtout focalisées sur les forêts domaniales (Retz, Fontainebleau, Haye, Chaux, Senart, Châtillon sur Seine, Tronçais entre autres), d'une part en raison de l'ancienneté avérée de ces formations boisées, d'autre part par la facilité d'accès et la qualité des archives s'y rapportant. Jusqu'à il y a une dizaine d'années, l'histoire des forêts a surtout été développée dans le cadre du Groupe d'Histoire des Forêts françaises (GHFF)³ sous l'égide des historiens rejoints par des chercheurs d'autres disciplines en SHS et en écologie, ainsi que des gestionnaires et ingénieurs forestiers. Pour l'essentiel, les études concernent les périodes contemporaine et moderne, dans une moindre mesure le Moyen Âge et assez rarement les périodes plus anciennes, du fait de l'absence de sources cartographiques et écrites notamment. À partir des années 90, les archéologues ont également commencé à s'intéresser à la forêt en développant des recherches de terrain spécifiques qui ont montré que la forêt était un véritable conservatoire de l'usage passé de ces espaces, par la mise en évidence de multiples structures archéologiques d'exploitation du domaine forestier mais également d'ouverture de ces espaces notamment dans l'Antiquité (Dupouey *et al.* 2007). Ces recherches ont été, dans certaines régions, soutenues par l'ONF qui, dès la fin des années 90, a recruté du personnel ayant pour mission d'inventorier, de sauvegarder et de mettre en valeur les sites archéologiques, comme c'est le cas pour les forêts d'Ile-de-France par exemple. Ce travail extrêmement patient des archéologues en forêt va toutefois prendre une dimension inattendue, dès le milieu des années 2000, avec la diffusion de la télédétection lidar qui va permettre de supprimer virtuellement le couvert forestier sur de vastes zones de plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres carrés, révélant une quantité insoupçonnée de structures archéologiques dans la topographie du terrain nu⁴.

La vision nuancée du paysage antique et le caractère dynamique des espaces forestiers, défendus par les historiens et les archéologues depuis les années 90, sont désormais définitivement admis grâce à la masse des découvertes et au développement des projets de recherche sur la forêt stimulée par cette technologie. Néanmoins, le développement de la télédétection lidar s'accompagne également d'un

² Cf. Le site de l'IFN : <http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?article596>

³ <http://ghff.hypotheses.org/>

⁴ Par rapport aux approches classiques la technologie lidar autorise un relevé systématique et à très haute résolution sur de très grandes surfaces (plusieurs centaines de km²) en quelques heures, alors qu'il fallait des mois, voire des années pour réaliser des relevés avec des méthodes classiques type boussole, topofil et GPS.

nouveau type d'analyse et d'expertise qui vient compléter celle élaborée dans le cadre des recherches précédentes.

C'est dans ce contexte scientifique et méthodologique que s'inscrivent les travaux du chantier CHEF, qui s'appuient en premier lieu sur la détection de structures archéologiques et paysagères à partir des données lidar pour appréhender l'espace forestier sous un angle historique. Dans ces conditions, l'objet d'étude « espace forestier » est compris dans un cadre plus large que celui défini par l'IFN et on s'intéressera, en dehors du cadre strictement urbain et domestique (parcs et jardins) à l'ensemble des espaces sous couvert arboré, y compris les zones de bosquets qui abritent souvent des vestiges. Ce parti pris est également motivé par l'idée d'une compréhension de la dynamique des espaces forestiers compris dans un ensemble territorial. Pour reprendre l'expression de Marc Galochet, on abordera « le massif forestier du dehors et du dedans » avec une attention particulière aux phénomènes de fragmentation et de discontinuité du paysage qui apportent un « moyen de distinguer différentes catégories de construction de sylvo-faciès évoluant dans le temps et dans l'espace » (Galochet 2009). C'est cet aspect qui motive également les travaux transversaux développés avec le chantier D2PE (*cf.* partie 4).

Le choix des cas d'étude

Considérant le contexte scientifique et méthodologique défini ci-dessus, le choix des cas d'étude repose avant tout sur une sélection de zones pour lesquelles nous avons eu l'opportunité d'avoir des données lidar et / ou des équipes archéologiques investies sur le terrain. Ces zones présentent l'intérêt de rassembler des situations très diverses avec des formations arborées plus ou moins vastes, plus ou moins récentes, localisées en zone rurale ou périurbaine, et dont le statut juridique et administratif est variable (public ou privé, protégé ou non, de type communal ou domanial). Comme notre approche comparative repose pour l'essentiel sur la détection et l'interprétation de structures, à la fois, archéologiques et paysagères, la variété des situations étudiées permet d'atteindre un certain niveau de généralisation, tout en tenant compte de facteurs contextuels. En effet, ces derniers peuvent expliquer des différences de nature, de forme, de densité ou de répartition spatiale des vestiges renvoyant à des usages et des pratiques socioéconomiques obéissant à des rythmes et des contraintes spécifiques.

Une enquête plus détaillée a par ailleurs été développée pour élaborer une démarche d'analyse intégrée et interdisciplinaire permettant d'une part de cerner les apports et les limites de chaque discipline à l'étude d'un même objet (les charbonnières par exemple), d'autre part d'explicitier l'articulation entre les échelles spatiales au sein desquelles l'objet est étudié. Nous présentons cette démarche générale dans la partie 1.2. Pour mener l'enquête détaillée, nous avons sélectionné une zone atelier pilote sur laquelle s'est focalisé l'essentiel des travaux développés au sein du chantier CHEF et dont les résultats obtenus sont présentés dans la partie 2 de ce rapport.

Le choix d'une zone pilote : le massif forestier de Chailluz (Besançon, Franche-Comté)

La forêt de Chailluz à Besançon (figure 2.) a été choisie comme zone pilote pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ce massif forestier communal périurbain est caractérisé par sa multifonctionnalité. Il a en effet une fonction économique par sa production sylvicole, une fonction écologique car il comporte une Zone naturelle d'Intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF) et une fonction sociale car il est fréquenté comme espace éducatif, de loisirs et de pratique sportive. Chailluz constitue également un cas d'étude intéressant par son ancienneté : dès les années 1180-1190, les Bisontins sont en litige avec l'archevêque de Besançon pour y obtenir des droits d'usage (Fohlen dir. 1964). Le bois est mentionné sous l'appellation « Chaillou » en 1232 à propos d'un droit de défrichage, puis en 1258 lors d'un droit d'affouage, où le bois est alors appelé « Cholor » ; l'archevêque en est le seul propriétaire. Dès 1290, les Bisontins légifèrent dans la forêt de Chailluz où ils ont désormais des droits. Paradoxalement, en dehors de la chapelle Saint-Gengoul, d'aménagements militaires autour du fort de la Dame Blanche, d'une

lavogne pour abreuver du bétail et de quelques découvertes isolées signalées à la Carte archéologique nationale, jusqu'en 2009, le patrimoine archéologique de Chailluz restait méconnu et très largement sous-estimé. C'est grâce à une acquisition de données altimétriques par laser aéroporté (LiDAR) que le massif s'est révélé très riche en structures d'habitat, agropastorales, de voirie et de production économique. Ces découvertes ont permis de reconsidérer le massif forestier de Chailluz comme un espace dynamique dont l'usage et le rôle au sein du territoire bisontin ont sans doute considérablement varié, à l'instar d'autres forêts anciennes comme la forêt de Haye en Lorraine ou celles du Châtillonnais en Bourgogne (Georges-Leroy *et al.* 2012, Goguey *et al.* 2014).

Ainsi, il convenait de s'interroger sur les emprises du massif forestier au cours de périodes passées et éventuellement de cerner la zone la plus ancienne. Un second niveau de questions visait à comprendre les rythmes et les modalités de déboisement / reboisement en fonction des activités (agropastorale, charbonnage, extraction...) dont l'existence est prouvée par les vestiges conservés et qui sont parfois attestées plus ou moins directement par les textes. Enfin, un troisième niveau de questions vise à mieux comprendre la forêt dans son état actuel en essayant d'évaluer l'influence des pratiques domestiques, extractive et productive, agropastorales et sylvicoles anciennes sur la structure du boisement et la végétation d'aujourd'hui.

Une approche intégrée et multiscalaire

Une entrée par les données altimétriques lidar

Comme nous l'avons précisé ci-dessus, notre équipe aborde la construction historique des espaces forestiers à partir d'une entrée spécifique qui est celle de l'étude des vestiges archéologiques dont on retrouve la trace dans la microtopographie du terrain. Les données en entrée sont donc altimétriques, issues d'une acquisition lidar. Elles permettent la détection de structures paysagères et socio-économiques (structures d'habitats, agropastorales ou d'exploitation de matière première, de transport...). Les objets ainsi identifiés sont ensuite analysés et étudiés en mobilisant des ressources complémentaires : étude de mobilier archéologique, datations radiocarbone, exploitation d'archives textuelles et cartographiques, étude d'archives sédimentaires et botaniques, de signaux de subsurface (géophysique) (figure 3).

L'objectif d'une telle approche est de décrire l'objet détecté, selon différents angles tant matériels que fonctionnels, tout en le restituant dans un contexte géographique et historique signifiant. Ainsi, il est possible d'appréhender les conditions d'apparition et de maintien selon des modalités et des finalités variées (changement de fonction d'une structure) mais aussi de conservation, voire de disparition de certaines structures dont l'usage est néanmoins révélé par d'autres indicateurs (sol, végétation).

L'apport des sources complémentaires (terrain, archives) n'a pas pour seule finalité l'interprétation de l'objet étudié : il permet en retour l'identification d'autres structures potentiellement présentes dans le paysage. À partir de ces nouvelles connaissances, le processus de détection peut être relancé pour affiner la perception ou découvrir de nouvelles structures. Cette démarche systématique menée au sein du chantier CHEF a permis d'élaborer une expertise reconnue en termes de détection. Les résultats obtenus ont pu être confrontés avec ceux de plusieurs équipes au niveau national et international (en particulier lors des rencontres TRAIL et CAA, cf. partie 4 de ce rapport) et la méthodologie elle-même a valu à l'équipe d'être sollicitée à plusieurs reprises pour contribuer à d'autres projets régionaux (SOLiDAR 2014-2017)⁵ et à des projets européens dont la candidature n'a malheureusement pas été retenue (cost ArcFOR, interreg RemainAlps, H2020 Identity).

L'entrée par les données altimétriques lidar a l'intérêt tout particulier d'offrir un cadre spatial de référence, géolocalisé avec une très grande précision (à quelques centimètres près) et de façon continue et

⁵ <http://citeres.univ-tours.fr/spip.php?article2133>

relativement homogène sur de larges espaces de plusieurs dizaines voire centaines de km². Cette couche d'information est par ailleurs combinable à d'autres sources d'information à références spatiales (cartes, imagerie, relevés de terrain) dans un système d'information géographique (SIG). Ainsi, les objets détectés sont parfaitement localisés et ils peuvent être analysés dans différents contextes et à différentes échelles, tout en conservant la possibilité d'articuler ces échelles, ce qui n'est pas nécessairement le cas quand on mobilise une documentation hétérogène sans réelle continuité spatiale. La base de données lidar peut couvrir un espace régional ou de façon plus ciblée un massif forestier, c'est-à-dire des superficies relativement importantes. Mais sa très haute résolution permet par exemple d'identifier des microstructures comme les charbonnières qui vont ensuite être analysées de manière très détaillée pour finalement mieux comprendre en retour la manière dont l'ensemble de ces microstructures forme un paysage dynamique et nous renseigne sur les interactions entre l'homme et son environnement.

Pour résumer, on va chercher à produire de la connaissance, le plus objectivement possible, avec une approche à la fois horizontale et verticale. Horizontale, dans le sens où elle va concerner des espaces différents observés avec les mêmes outils et méthodes. Et verticale, au sens où on va étudier un objet à différentes échelles en conservant le lien entre les différents niveaux d'analyse, au moins sur la zone atelier pilote (figure 4)

Qu'est-ce que la technologie LiDAR et quel est son intérêt par rapport aux cartes ou aux images aériennes et satellites ?

Le LiDAR, acronyme de l'expression anglophone *Light Detection And Ranging* (détection et télémétrie par la lumière), est une technique de télédétection active à impulsion laser utilisée dans le domaine atmosphérique et terrestre. Au niveau terrestre, il sert en particulier à réaliser des levés topographiques en trois dimensions de surfaces naturelles ou construites. Il permet d'obtenir une description précise de ces surfaces sous la forme d'un nuage de points géolocalisé. Il existe différents modes d'acquisition mais ce sont les systèmes aéroportés qui retiendront notre attention ici pour des applications topographiques.

Par rapport à d'autres méthodes de télédétection classiques (images satellite et aérienne), la technologie LiDAR présente deux avantages pour l'archéologie. D'une part, elle permet de réaliser des acquisitions altimétriques avec une très grande finesse puisque l'on obtient usuellement des densités de points comprises entre 0,1 et 30 points par m². Dans le cas de Besançon, l'acquisition réalisée en 2009 varie entre 8,1 et 11 points par m². D'autre part, le traitement des données obtenues permet d'effacer virtuellement la couverture végétale pour produire des modèles numériques de la surface du terrain nu (figure 5).

Ainsi, il est possible de détecter sous le couvert forestier des variations microtopographiques qui révèlent des structures archéologiques de dimension métrique parfois difficilement perceptibles sur le terrain et souvent méconnues, car les techniques classiques de prospection archéologique sont peu adaptées au milieu forestier (Nuninger *et al.* 2010, Fruchart 2011, Laplaige *et al.* 2012). Quand, dans de rares cas, ces prospections ont été systématisées, comme en forêt de Haye (Lorraine) par exemple, le lever LiDAR a permis de détecter 50 % de parcelles anciens supplémentaires par rapport aux méthodes classiques de prospection au sol et jusqu'à près de 400 % d'information en plus pour les vestiges les moins perceptibles. En outre, il a donné la possibilité d'enregistrer de nouvelles découvertes dans des zones inaccessibles sur le terrain et au-delà de l'apport quantitatif, il a permis d'améliorer la qualité des données, en corrigeant en particulier les erreurs de positionnement. Ce correctif, associé à la détection de nouveaux vestiges, révèle ainsi un parcellaire beaucoup plus dense et cohérent qu'il n'y paraissait (Georges-Leroy *et al.* 2012).

Principes de fonctionnement et traitement de la donnée altimétrique : le filtrage, une étape essentielle

Le principe de la technologie LiDAR est de répéter des mesures de distance à un objet à l'aide d'un télémètre laser dont le faisceau lumineux est balayé à la surface de la terre par un miroir oscillant (figure 6). Le système envoie un signal lumineux et enregistre ensuite le temps de réponse du signal réfléchi par les surfaces impactées. La vitesse de la lumière est une valeur constante connue, ce qui permet de calculer à partir des durées enregistrées la distance entre le point d'émission, c'est-à-dire l'avion, et le point de réception du signal, c'est-à-dire le sol ou les arbres qui ont intercepté le faisceau. Le fait de pouvoir répéter les mesures avec une fréquence très élevée permet d'obtenir une description précise du sol ou des objets en sursol (végétation, bâtiments) sous la forme d'un nuage de points où les points sont renseignés par des coordonnées spatiales x , y et z , obtenues grâce au couplage d'un système de géolocalisation par satellite *Global Positioning System* (GPS) et d'une unité de mesure inertielle (IMU) qui enregistre les mouvements de l'avion.

Le nuage de points ainsi obtenu décrit l'ensemble des objets interceptés par le faisceau laser et la surface terrestre. Outre la surface terrestre, le bâti et la végétation, on peut observer des véhicules, des oiseaux en vol, ou encore des fils électriques, par exemple. Le nuage de points brut fait l'objet d'une classification qui permet de séparer les points ayant atteint le sol de ceux ayant touché la végétation ou d'autres objets (figure 7). Il devient alors possible de générer des modèles de surface au format raster en associant les points appartenant à une ou plusieurs classes et en donnant à chaque pixel de l'image une valeur d'altitude moyenne obtenue à partir des valeurs altimétriques des points. On peut ainsi créer des modèles numériques de surface (MNS), avec toutes les classes de points du sol et du sursol (bâti, végétation) ; ou être sélectif et créer un modèle numérique de terrain (MNT) qui conserve uniquement les points du sol.

Pour détecter les vestiges qui nous intéressent dans le cadre de ce programme, la technique employée pour le filtrage des points est essentielle. En effet, si un filtrage peu sélectif limite les possibilités de détecter des structures de quelques mètres de diamètre ou de longueur car le modèle obtenu contient trop d'éléments du sursol qui perturbent le MNT, un filtrage très sélectif peut à l'inverse supprimer des éléments au sol correspondant à des vestiges, qui deviennent ainsi indétectables sur le modèle. Le recours à des algorithmes standards de classification des nuages de points trouve donc rapidement une limite, en particulier dans les contextes de couvert forestier dense et ras et dans les scènes mixtes qui associent des vestiges bâtis (ruines) à de la végétation. Dans un cas, les points décrivant les ruines sont classés comme des bâtiments, et dans l'autre, comme de la végétation, et finalement, ces points sont supprimés dans les deux cas et ne sont pas représentés sur le MNT.

Une partie des travaux de l'équipe s'est focalisée sur le développement d'une expertise spécifique pour classer manuellement des nuages de points (*cf.* partie 4 de ce rapport) et sur la mise au point d'un protocole original de traitement des nuages de points pour séparer automatiquement les points des vestiges bâtis de la végétation. La classification des vestiges en élévation repose sur une méthode de calculs itératifs multicritères (rugosité, densité et orientations normales) et multiscalaire (Opitz, Nuninger 2013 et 2014). Ce protocole a ensuite été testé et optimisé sur un corpus de sites-tests (Crozet *et al.* 2014). Les résultats ont montré qu'il est possible de segmenter les nuages de points pour séparer la végétation des vestiges en élévation, mais que les valeurs de calcul doivent varier en fonction du type de restes et de végétation. En l'occurrence, la végétation à feuilles persistantes, ou bien une très forte densité de végétation peuvent entraver le repérage des structures dans le nuage de points. Ces travaux ont permis d'élaborer une série d'analyses présentant des variations de calcul à appliquer de façon séquentielle à un site donné. Les résultats de chaque test ont ensuite été comparés afin de déterminer la présence ou non de vestiges dans la végétation. Le protocole reste encore expérimental et doit toujours s'accompagner d'une bonne connaissance du type de végétation, néanmoins les premiers résultats obtenus sont encourageants et la procédure pourra être automatisée afin de faciliter son application dans d'autres contextes.

Méthodes de visualisation des MNT et détection des vestiges archéologiques

Après le filtrage des points, une seconde série de traitements est appliquée sur le MNT pour visualiser les données en 2D ou 3D afin de détecter, d'interpréter, de cartographier puis d'analyser les

vestiges archéologiques (Georges-Leroy *et al.* 2014). Les méthodes de visualisation sont très nombreuses et dans le cadre des ateliers comparatifs, l'équipe s'est attelée à tester plusieurs méthodes pour évaluer leurs performances notamment en fonction du type de terrain (Štular *et al.* 2012). Les résultats obtenus sur la région de Kobarid en Slovénie ont montré comme dans d'autres études qu'une seule technique de visualisation ne permet pas de révéler tous les détails d'un paysage (Challis *et al.*, 2011). Néanmoins, une estimation quantitative de l'efficacité des techniques de visualisation en termes de contraste et d'altération des reliefs a permis de mettre en évidence la relative performance du gradient de pente et de la méthode Sky View Factor – SVF – (Zaksek *et al.* 2011) qui tous deux présentent un haut niveau de contraste soulignant une différence d'altimétrie significative, tout en conservant un faible niveau de bruit (Štular *et al.* 2012). Si ces méthodes sont plutôt à privilégier dans une première évaluation et à destination d'un public non expert, la seconde conclusion tend à montrer qu'une expertise approfondie nécessite une sélection des méthodes les mieux appropriées en fonction du type de terrain : plat, pentu ou mixte (Štular *et al.* 2012).

Si la méthode de visualisation doit être adaptée au terrain, elle doit également prendre en considération le type de vestige recherché en fonction de sa taille, de sa forme, de sa texture et de son orientation (Nuninger *et al.* 2010, Laplaige 2012, Fruchart 2014, Goguy *et al.* 2014). On se contentera ici de donner un rapide aperçu de quatre techniques à partir d'un exemple en forêt de Chailluz (figure 8) pour illustrer leurs différents intérêts et leurs complémentarités.

Encadré : L'analyse la plus classique consiste à créer un éclairage artificiel de la surface étudiée pour mettre en évidence les reliefs (figure 8, a). On simule l'éclairage par une source lumineuse dont on définit la position (azimut et élévation) pour créer une lumière plus ou moins rasante. Bien que ce soit la technique la plus communément utilisée, ce n'est pas nécessairement la plus pertinente car elle est fortement dépendante de la position de la source lumineuse. Aussi, selon leur forme et leur orientation, les structures seront plus ou moins visibles et parfois impossibles à percevoir dans leur ensemble. Le calcul de la pente permet de bien percevoir des microreliefs très légers (figure 8 b). Avec ce traitement, les zones planes se détachent nettement des zones pentues et il n'y a pas de problème lié à l'orientation des vestiges. Ce type de visualisation est performant pour identifier des plateformes de charbonnier dans une pente, qui apparaissent dans notre exemple (figure 8, n° 7) sous la forme d'un disque noir, c'est-à-dire avec des valeurs de pentes nulles. Néanmoins, ce mode de visualisation seul a des limites et ne permet par exemple pas de déterminer si l'anomalie observée est saillante ou en creux, ce que l'on peut constater sur notre exemple qui présente une grande doline (figure 8, n° 3). Afin de résoudre ce type de problème, une méthode de visualisation plus complexe appelée indice de position topographique (TPI d'après l'appellation anglophone) permet de discriminer les zones de dépressions (vert) par rapport aux zones en élévation (rouge) (figure 8, c). Le TPI consiste à soustraire à la valeur d'élévation de chaque pixel celle de son environnement immédiat (valeur moyenne des pixels voisins) et ainsi de mettre en évidence les petites variations locales d'altitude tout en minimisant les variations à plus large échelle. Ce traitement induit artificiellement une sorte de nivellement du modelé global du terrain et en même temps accentue les microvariations du relief. On détecte ainsi très nettement une limite forestière ancienne (figure 8, n° 6) matérialisée par un fossé (dépression en vert) dont la largeur est trop faible pour être bien visible sur le MNT éclairé artificiellement (A) et difficile à interpréter sur l'image de pente (B) puisqu'on ne peut pas déterminer sur ce dernier modèle s'il s'agit d'une dépression ou d'une élévation. Ce type de visualisation est également très intéressant pour détecter des microstructures de production telles que les fours à chaux (figure 8, n° 2). En effet, ce type de vestiges est bien mis en valeur par le TPI, perçu sous la forme d'une dépression circulaire relativement importante en vert associée à une forme circulaire dessinant un bourrelet en élévation (rouge) autour d'une dépression plus petite (vert). Ces deux formes correspondent respectivement à la carrière d'extraction du calcaire et au four à chaux proprement dit. Le dernier mode de visualisation est appelé Sky View Factor (SVF) (figure 8, d). Son principe consiste à estimer la portion de ciel visible en un lieu donné en fonction de l'angle formé par toutes les lignes, projetées dans 16 directions, joignant le point calculé et l'horizon (interrompues par le relief environnant). La valeur d'intensité lumineuse qui en est ensuite dérivée est proportionnelle à la portion de ciel visible (Zaksek *et al.* 2011). Ainsi, par exemple, un point situé sur une crête aura une valeur d'intensité lumineuse forte (proche du blanc) tandis qu'un point situé dans une tranchée aura une valeur faible (proche du noir). Cette méthode présente les mêmes avantages que le TPI puisqu'il permet de distinguer nettement les zones en dépression (noir) des zones en élévation (blanc) mais il est plus adapté à une visualisation d'ensemble des vestiges qui organisent l'espace. Il convient particulièrement bien pour la détection de structures linéaires. On perçoit ainsi très nettement, sur la figure 8 d, les limites parcellaires (n° 4) et les enclos d'habitats gallo-romains (n° 1).

Les quelques exemples évoqués dans l'encadré, montrent que le travail de détection repose sur un ensemble de traitements qu'il convient de combiner afin d'extraire le maximum d'informations. Toutefois, il est important de noter que ces méthodes de visualisation déforment en partie la structure pour mieux la mettre en exergue. Aussi, les rapports de taille varient d'une visualisation à l'autre et certaines anomalies peuvent également se confondre avec d'autres. Enfin, il est important de garder à l'esprit que ce travail repose sur une modélisation à partir de données altimétriques qui ont subi plusieurs traitements mathématiques. Cela signifie, d'une part, qu'on peut uniquement repérer des structures

présentes dans la microtopographie de surface et qu'il est exclu de percevoir des vestiges complètement enfouis sous la surface du sol. D'autre part, parce que l'image qu'on observe est un modèle numérique construit à partir d'algorithmes de calcul, cela peut générer des artefacts de calcul dont le rendu visuel ne correspond pas à des structures réelles. Enfin, certains filtrages des points (étape de la classification du nuage de points) peuvent poser localement problème en supprimant des points correspondant à des vestiges archéologiques mais confondus avec de la végétation ou assimilés à du bâti contemporain (cf. ci-dessus et Opitz, Nuninger 2014). Par ailleurs, pour que le repérage et la photo-interprétation des structures soient efficaces, il faut une expertise impliquant une bonne connaissance des vestiges archéologiques en forêt et de la zone étudiée.

Dans ces conditions, la démarche adoptée au sein du chantier CHEF a impliqué un investissement important sur le terrain et en termes d'exploitation d'archives, notamment planimétriques, pour vérifier la réalité des structures observées, pour mieux les décrire et les interpréter et également pour les dater. Bien que de nombreuses équipes en Europe développent des projets de détection archéologique à l'aide de données lidar, en particulier dans des zones sous couvert forestier, le retour systématique sur le terrain est très rare et il existe une relative dichotomie entre les travaux de détection réalisés par des experts géomaticiens ou photo-interprètes et les travaux de terrain réalisés par les archéologues. L'intégration de ces deux approches dans le protocole de reconnaissance et d'interprétation des vestiges constitue donc un apport original de l'équipe et l'étude sur la zone pilote de Chailluz en constitue un bon exemple (cf. partie 2 et Fruchart 2011 et 2014, Opitz *et al.* 2014).

L'approche géohistorique

Les sources textuelles

Les recherches documentaires se sont concentrées sur les bois environnant Besançon. Les sources les plus anciennes remontent au XI^e siècle, sont relativement rares jusqu'au XIV^e siècle et plus nombreuses ensuite. La cité médiévale bisontine est, au cœur du comté de Bourgogne, une enclave détenue par un archevêque qui la possédait en fief de l'empereur du Saint-Empire romain germanique. Le territoire de la cité comprenait des bois dont le plus important était la forêt de Chailluz, aux portes de la ville. Des recherches ont été effectuées pour éclaircir les prérogatives de tous les acteurs, car au Moyen Âge, propriété, possession et exploitation des biens sont des données complexes. Pour la période moderne, le travail a porté sur l'exploitation et la gestion des bois, grâce à la multiplication des sources. La principale difficulté repose sur la dispersion des sources localisées à Besançon et à Paris.

Concernant le territoire de la cité, l'archevêque, seigneur de la ville, détenait directement ou indirectement un vaste territoire : de nombreux biens étaient aliénés en fiefs et d'autres, assurant la subsistance du chapitre métropolitain, étaient tenus plus directement. Les titres de l'archevêché étaient destinés à assurer par écrit la pérennité des droits de l'archevêque sur les biens aliénés. Majoritairement recopiés aux XIX^e-XX^e siècles, on les trouve à la BNF, en particulier sous la cote « collection Moreau » (2 tomes, cotes 862-864-866-968-972). Ils compilent en latin et en moyen français des hommages de seigneurs aux fiefs qu'ils tiennent de l'archevêque ou, des dénombremens, plus précis. De nombreux documents portent sur les vignes mises en location (BNF Moreau 863, t.2, fol.25, 45, 73, etc.).

Concernant le patrimoine du chapitre, les biens détenus par l'Église pour son rôle spirituel sont compilés dans les pouillés. Ils sont très nombreux car ils étaient fréquemment recopiés. Ils décrivent les paroisses et les biens qui leur sont rattachés pour permettre la subsistance des desservants et l'entretien des bâtiments. Certains biens fonciers étaient réunis en prébendes possédées par des chanoines. Le plus ancien pouillé du temporel du chapitre métropolitain de Besançon date du XII^e siècle (Archives départementales du Doubs, G161), et le plus intéressant, recopié au fil du temps, date de 1710 (ADD, G5). Un nombre important de pouillés de l'époque contemporaine est inventorié et conservé aux Archives historiques du Diocèse de Besançon. En outre, de multiples documents existent sur les prébendes (ADD, G532), mais cette documentation jugée inutile au lendemain de la Révolution nous est parvenue très partiellement, victime de destructions. L'ensemble documentaire met en évidence un enchevêtrement

extrême des possessions. Presque toutes relèvent de l'archevêque, mais nombre d'entre elles ne sont plus dans ses mains car possédées désormais par des laïcs, tandis que d'autres permettaient la tenue du culte en assurant des revenus dédiés. Il faudrait y ajouter les droits obtenus par la Commune créée en 1290 par octroi impérial.

Pour le cas spécifique de la forêt de Chailluz, les documents élaborant les réglementations d'usage dans la forêt de Chailluz ont été dépouillés (Fruchart 2014). Les sources sont nombreuses, dévoilant les conflits et les droits sur la forêt obtenus par la commune de Besançon. Cela conduit à la mise en place de bornes délimitant les droits de chacun, les amendes puis les procès se succédant. Les sources se trouvent principalement à la Bibliothèque municipale de Besançon sous la cote DD (de DD43 à DD 148) et BB, et courent du XIII^e au XVIII^e siècle. Pour appliquer la réglementation et superviser l'exploitation des bois, une administration est mise en place et un gruyer est nommé à Chailluz, mentionné pour la première fois au XVI^e siècle (BMB, Ms.1046, fol.16). Ce sont surtout les séries CC de la Bibliothèque municipale qui compilent les sources sur l'exploitation, les forestiers, les fours à chaux, la paisson, les carrières, les réserves de bois, etc. Au XVIII^e siècle, les coupes d'exploitation du quart de réserve fournissent beaucoup de documents (DD 114-115, etc.). Enfin, les comptes de la ville sont réunis dans des registres riches en renseignements sur les dépenses et recettes issues du bois de Chailluz (BMB, cote CC).

D'autre part, la série G des Archives départementales comprend les registres de délibérations capitulaires où apparaît l'exploitation des biens détenus par le chapitre. Ils mentionnent notamment les dénombremens et amodiation des prés de Tallenay aux XVI^e et XVII^e siècles (ADD, G421). La masse d'informations qui se trouve uniquement dans l'inventaire établi par Jules Gauthier mériterait un réel dépouillement.

Au final, un grand nombre de ressources a été recensé et exploité en partie seulement, dans le cadre de l'étude sur la chapelle Saint-Gengoul. La richesse documentaire globale invite assurément à une exploitation ultérieure.

Les sources planimétriques

L'histoire moderne des forêts françaises est marquée par l'*Édit portant règlement général pour les eaux et forêts*, une ordonnance initiée par Louis XIV pour redéfinir à l'échelle nationale la gestion des forêts publiques françaises et publiée par Colbert en 1669. Son application, dès la fin du XVII^e siècle et durant le XVIII^e siècle, a laissé une empreinte forte encore lisible aujourd'hui dans de nombreuses forêts. L'ordonnance de 1669 avait été conçue dans un souci de normalisation et de préservation du patrimoine forestier. Il s'agissait notamment d'assurer au pays l'autonomie de son approvisionnement en bois d'œuvre, en particulier pour la construction navale. Cette ordonnance est entre autres à l'origine d'une division en deux espaces distincts des bois soumis au régime : trois quarts de la surface sont mis en « coupes ordinaires » où celles-ci sont planifiées annuellement (« assiettes ») sur une durée (« rotation ») de vingt-cinq à trente ans. Le quart restant est « mis en réserve » (les coupes y sont dites « extraordinaires »). À Besançon, l'ordonnance de 1669 est appliquée au début du XVIII^e siècle. Il a fallu plus de vingt ans pour que son application à la forêt de Chailluz aboutisse à un partage du massif satisfaisant toutes les communes limitrophes. Entre 1699 et 1738, quatre états successifs de délimitation et de parcellisation du massif ont été consignés sur des plans forestiers en 1699 (BMB cote Yc M1 44), 1704 (BMB cote Yc G2 47), 1720-21 (BMB plan non coté) et 1738 (BMB, cote Yc M1 45).

Les plans de 1699 et 1704 indiquent les contours de la forêt de Chailluz. Le premier figure quelques chemins et mentionne, le long de la limite sud de la forêt, une large route appelée « Grand chemin tirant a Marchaux », tandis que le suivant figure plusieurs chemins, précise l'occupation du sol (« planches », « bois ») et ébauche des découpages parcellaires (« cantons »). Le plan suivant, réalisé en 1720 et repris en 1721 pour donner l'emplacement du « quart de réserve » et de l'« assiette ordinaire » est richement annoté et fournit une représentation étendue du massif, bien au-delà du territoire bisontin. Il indique de nombreux éléments du paysage dont on connaît encore l'emplacement actuellement. Certains peuvent être mis en perspective avec des faits relatés par des archives textuelles, offrant ainsi la possibilité de préciser la fonction ou le devenir de structures détectées sur le relevé LiDAR et prospectées

sur le terrain. On retrouve le « Grand chemin tirant de Besançon à Marchaux », le long duquel est également dessinée la « combe de lagasse », une dépression karstique citée dans plusieurs archives textuelles, car elle a été l'objet au début du XVI^e siècle d'un conflit territorial entre Besançon et Thise. La route menant à Marchaux définit la limite entre Thise et Besançon. Enfin, le plan de 1738 scelle les contours et le découpage parcellaire de la forêt de Chailluz. Ces contours sont inchangés aujourd'hui et se superposent parfaitement au plan cadastral actuel après géoréférencement, aisé à réaliser grâce à l'excellente géométrie du document. Le nord de la forêt est occupé par le quart de réserve et l'assiette ordinaire a été divisée en trente parcelles rectangulaires de surfaces égales. Ce découpage se retrouve presque totalement dans le plan parcellaire actuel, plus morcelé et irrégulier que celui de 1738. Quelques chemins sont indiqués, et l'emplacement des bornes forestières et de quelques éléments remarquables du paysage sont dessinés.

Les plans du cadastre du XIX^e siècle dit « napoléonien » sont régulièrement mis à contribution pour des recherches sur les paysages passés. Ces documents historiques planimétriques de référence édités à l'échelle nationale offrent en effet, en général, une excellente restitution géométrique et adoptent une représentation normalisée dont on connaît les règles. Mais ce cadastre ancien visant à décrire et cartographier les propriétés foncières servant de base à l'assiette fiscale de l'impôt foncier informe peu sur les surfaces forestières, exclues de cette assiette. Ainsi, sur le plan cadastral ancien de Besançon (1834), la forêt de Chailluz est représentée par ses seuls contours. En revanche, une carte datant de 1862 donne une représentation très détaillée de la forêt de Chailluz : découpage parcellaire et sa numérotation, indication du quart en réserve, de nombreux chemins et d'entités particulières (points d'eau, arbres remarquables, etc.), nombreux toponymes.

Géoréférencement des plans anciens

Afin de pouvoir superposer sur SIG les éléments de voirie détectés et digitalisés à partir du LiDAR avec les plans anciens, ces derniers doivent être géoréférencés. Certains plans ont une excellente géométrie (plan de 1738 et du XIX^e siècle) qui assure une bonne précision de la localisation après recalage. Le géoréférencement est plus difficile pour les plans antérieurs dont la géométrie est moins exacte. Grâce à la bonne conservation du parcellaire ancien dans le découpage cadastral actuel, le plan de 1738 a pu être géoréférencé avec soixante points d'amer (*cf.* vignette sur la figure 9) positionnés sur les bornes indiquées par le plan ancien, aux intersections et angles de parcelles. L'erreur quadratique moyenne finale vaut environ dix mètres. Parallèlement, le plan de 1738 a servi de référence pour le recalage des plans antérieurs. Considérés individuellement, ceux-ci posent problème pour leur géoréférencement, car la localisation des entités ou des limites parcellaires qu'ils figurent sont difficilement identifiables avec certitude sur les documents actuels, essentiellement à cause d'une géométrie peu sûre. Pour cette raison, on les a d'abord simplement digitalisés sous forme schématique, et superposés au plan de 1738 par homothétie, translation et rotation, indépendamment des données cartographiques actuelles. On a recherché en premier lieu la coïncidence des échelles indiquées et des contours de la forêt sans viser *a priori* une superposition parfaite. Ensuite, pour affiner, on s'est appuyé sur des entités particulières, dont la figuration sur les plans correspond sans aucun doute à des emplacements géographiques qui n'ont pas varié dans la réalité d'un document à l'autre. Au final, la superposition des différents schémas reste imparfaite, mais le regroupement des données sur un seul document schématique digitalisé apporte un point de vue global et la possibilité d'analyse comparative des données (figures 10 et 11). Cette superposition met notamment en évidence des formes paysagères qui ont vraisemblablement subi des modifications. Cette étape préparatoire a aussi amené à exclure du géoréférencement le plan de 1699, qui s'est avéré d'une géométrie trop incertaine pour pouvoir le superposer de manière satisfaisante aux autres plans anciens.

Dans un deuxième temps, le schéma regroupant les informations des plans de 1704, 1720-21 et 1738 a été géoréférencé en plaçant simplement trois points d'amer (transformation de premier degré) sur les contours de la forêt de Chailluz du plan de 1738 préalablement recalé avec soixante points d'amer. Ceci a permis *in fine* un recalage de diverses données (chemins et carrefours, indications toponymiques, etc.), certes approximatif, mais reposant malgré tout sur des éléments dont la localisation est relativement fiable, et d'une précision suffisante pour distinguer les tracés successifs du réseau routier longeant le sud de la forêt de Chailluz. En illustration, la figure 12 montre la

superposition, après géoréférencement, du schéma des chemins dérivé de la superposition des plans anciens avec un modèle numérique de terrain ombré issu du LiDAR et avec la localisation des vestiges de segments viaires détectés par l'analyse de ces données LiDAR.

Ainsi par exemple, l'analyse du relevé LiDAR a permis de détecter une série de tronçons viaires au sud de la forêt de Chailluz qui correspondent à des segments routiers fossiles que des prospections au sol ont datés de la période romaine, du Moyen Âge et de l'époque moderne. La mise en perspective de ces données avec les informations apportées par les cartes anciennes géoréférencées a permis de retracer précisément l'évolution du réseau viaire au sud de la forêt de Chailluz sur deux millénaires.

L'approche archéologique

La prospection au sol

Qu'elles soient détectées sur le MNT lidar ou dans les sources anciennes, les structures archéologiques doivent faire l'objet d'une vérification systématique sur le terrain pour être validées, correctement interprétées mais également pour les dater.

Les prospections au sol ont été menées en priorité dans les zones de forte concentration d'entités détectées à partir des données LiDAR et ont surtout concerné le massif de Chailluz. Elles ont été presque toutes effectuées en milieu forestier ; les zones prospectées entre 2010 et 2014 dépassent 500 hectares. Parce qu'elles ont été menées en milieu forestier, où la visibilité au sol est en permanence nulle ou presque, les prospections ont été réalisées en faisant usage de détecteurs à métaux, sans lesquels il aurait été impossible, en particulier en l'absence de chablis, de recueillir du mobilier datant ou des indices sur la fonction des structures observées. Les investigations sont effectuées en petites équipes composées de prospecteurs confirmés dans l'utilisation de détecteurs à métaux et d'au moins une personne uniquement chargée de noter toutes les observations faites sur le terrain, de recueillir le mobilier découvert avec ses coordonnées et d'assurer en permanence la géolocalisation au cours de l'investigation.

Les zones à prospecter sont préalablement choisies et circonscrites à partir du relevé LiDAR. Pour assurer des conditions d'investigation les plus constantes possibles, les surfaces à parcourir par opération sont adaptées au nombre de prospecteurs présents et dépendent de la quantité et de la complexité des entités préalablement détectées sur le modèle LiDAR. On tient également compte des éventuelles difficultés topographiques repérées : terrain présentant des difficultés particulières – par exemple, un éboulis dans une pente ou une zone abondamment couverte de buis, etc. On peut estimer que la surface couverte par le passage des détecteurs et par l'examen de taupinières occupe environ 10 à 15 %, répartis de façon aussi homogène que possible, de la surface effectivement considérée comme prospectée et représentée comme telle sur SIG (à titre d'exemple, la figure 13 indique les zones prospectées sur le secteur de Chailluz sous la forme de polygones de couleur bleue). Contrairement aux prospections en milieu ouvert (*cf.* Dabas *et al.*, 2006 ; Racinet, Schwerdroffer, 2004), on ne cherche pas à décrire un parcours fait de lignes régulièrement espacées. On évalue la couverture effectivement réalisée au fur et à mesure de la prospection en situant le parcours effectué sur le modèle numérique de terrain reproduit sur SIG. On utilise pour se repérer au cours des déplacements un GPS simple qui donne des coordonnées indicatives de la position (mais avec une précision toute relative due au type d'appareil utilisé et à la couverture arborée). Il est couplé à un ordinateur ultraportable qui fournit simultanément une visualisation sur SIG du modèle numérique de terrain sur lequel la géolocalisation est définie à une quinzaine de centimètres près. Ce dernier outil apporte ainsi la garantie d'une bonne précision des coordonnées saisies pour l'emplacement du mobilier trouvé et des structures repérées.

L'enregistrement des observations et du mobilier est fait sur papier sur le terrain, puis transposé sur une base de données sur SIG ultérieurement. Les structures vues préalablement au LiDAR sont décrites et mises en contexte (par exemple, pour un pierrier on note sa morphologie, la taille et l'aspect

des pierres, son état de conservation, la nature du sol, la végétation environnante etc.). Le mobilier est ensuite nettoyé et identifié par des spécialistes. Les artefacts présentant un intérêt archéologique sont photographiés, inventoriés et décrits sous forme de planches dans les rapports annuels de prospection-inventaire (Daval, Fruchart, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 et 2015 en cours), puis remis aux services adéquats en vue de leur conservation. Les objets sans intérêt archéologique sont simplement répertoriés pour conserver une trace de l'emplacement où ils ont été découverts : leur localisation informe par exemple qu'une zone prospectée contient effectivement du mobilier métallique, ce qui permet de la différencier d'un endroit où aucun objet n'a été mis en évidence, malgré la prospection. Cela permet d'estimer la « pollution » des zones parcourues (boîtes à sardines, balles de chasseurs, etc.) et de déterminer une sorte de « bruit de fond » éventuellement datable (par exemple, présence d'une décharge sauvage des années 1950 ou d'une zone de pique-nique des années 1980, etc.).

Indépendamment de la digitalisation sur SIG des entités préalablement détectées à partir du LiDAR (digitalisation sous forme de polygones), les résultats des prospections sont enregistrés sous la forme de simples points géolocalisés répartis sur deux bases de données : la première base contient les données brutes de prospection et la deuxième les points mentionnés dans les rapports de prospection. Ceci permet de discriminer deux niveaux d'information ; la base « brute » donne une information moins précise, plus hypothétique pour l'identification et la datation des objets, mais d'un autre côté, elle n'est pas filtrée par une sélection résultant du post-traitement des données et est donc plus complète, ce qui peut éventuellement se révéler utile si on est amené *a posteriori* à réinterpréter l'usage d'une zone donnée parce qu'on a progressé dans la compréhension de son fonctionnement. Les champs attributaires associés aux points sont volontairement peu nombreux et génériques de façon à contraindre le moins possible l'information saisie. La base « brute » (cf. figure 14) reprend les indications prises en note sur le terrain : coordonnées X et Y, description sommaire de la structure ou de l'artefact concerné, datation envisagée ainsi que date de l'observation ou de la découverte. On a enregistré sur deux champs séparés les descriptions selon qu'elles se rapportent à la découverte d'un objet ou à l'observation d'une structure. Les points correspondant à cette première base sont reproduits sur la figure 14 par des ronds violets. 300 points environ sont visibles sur la figure (la base contient approximativement 800 points en tout) ; ils se rapportent aux données non transposées dans la deuxième base de données « traitées ». Les points de la seconde base offrent une fiabilité optimale lorsqu'ils correspondent à des artefacts identifiés et datés par des spécialistes. Lorsqu'ils se rapportent à des structures, ils renvoient à l'information consignée dans les rapports écrits (description détaillée des structures reconnues, analyse précise de leur implantation, vues du dessus, en coupe et en 3D réalisées spécifiquement pour une visualisation optimale, etc.). Les points de cette seconde base sont représentés en vert sur la figure 13 (un peu plus de 500 points pour le secteur du massif de Chailluz, dont la moitié se rapporte à des localisations de mobilier découvert en prospection). Cette base de données « traitées » a été scindée en deux sous-bases, l'une pour le mobilier et l'autre pour les structures. Les champs attributaires sont les coordonnées X et Y, les informations essentielles contenues dans le rapport de prospection correspondant, le renvoi aux pages du rapport concerné et la datation envisagée. Pour ce dernier champ, on a indiqué deux niveaux de datation : la période générale d'une part (antique, médiévale, etc.) et lorsque cela est possible, une fourchette plus précise (II^e siècle, par exemple). D'une manière générale, on a pris soin pour toutes les bases d'employer un vocabulaire constant pour faciliter la sélection par filtrage des attributs (par exemple, on identifie toujours un élément de voirie par le mot « chemin »).

Des prospections ciblées ont également été réalisées sur les collines qui environnent Besançon. Elles concernent des thématiques particulières : la reconnaissance des vestiges d'origine militaire, l'identification des structures liées au vignoble et aujourd'hui abandonnées, la recherche systématique et la caractérisation des bornes anciennes (bornes royales à fleurs de lys, bornes du manuscrit Chifflet) (figures 15 et 16). Ces prospections ont permis de confirmer l'enregistrement des vestiges sur SIG et de préciser la caractérisation des structures à l'aide de documents d'archive.

Expertise du matériel archéologique pour la datation

Lors des prospections au sol, du mobilier céramique et métallique a été collecté. L'étude de ce mobilier a permis de proposer des datations, si ce n'est de la construction, au moins de l'exploitation des structures archéologiques détectées. Parmi les éléments datant on mentionnera les fibules (broches

métalliques) dont la typologie de référence permet une datation relativement précise. C'est notamment grâce à ce type d'indicateurs que l'on a pu identifier des habitats antiques de la forêt de Chailluz. L'essentiel des vestiges correspondent à de modestes habitats, structures d'exploitation agropastorale ou de production économique, c'est surtout l'identification de mobilier métallique en fer qui a permis de proposer des datations dans une fourchette allant de l'Antiquité à la période subcontemporaine (figure 17). En ce qui concerne les infrastructures de communication (voie, chemins), ce sont les fers à cheval ou leur équivalent antique, l'hipposandale, qui fournissent des éléments de datation permettant de préciser la période d'usage des voies. Le travail réalisé sur les bornes anciennes a également permis de préciser la datation de limites forestières.

Reprise de fouilles de la Chapelle Saint-Gengoul

Comme cela est présenté dans la partie 2 de ce rapport, l'ensemble des investigations a été conduit de façon intensive autour de la chapelle médiévale Saint-Gengoul. Elle est mentionnée dès 1049, et c'est le seul édifice médiéval attesté en forêt de Chailluz. Bien que située sur le territoire de Besançon, elle dessert la paroisse de Tallenay jusqu'au XVII^e siècle. En plus des prospections archéologiques au sol et géophysiques, des relevés floristiques, des analyses physicochimiques du sol, des études anthracologiques de charbonnières et des recherches historiques, pour compléter les connaissances sur cette chapelle, des fouilles archéologiques ont été réalisées au printemps 2015 dans le cadre du programme ODIT et avec le soutien du Service municipal d'Archéologie préventive (SMAP, Besançon).

Les recherches historiques et archéologiques (fouilles, prospections) indiquent que ce site a certainement été occupé pendant plus de six siècles. L'analyse des données LiDAR a révélé des aménagements sur environ un hectare autour de la chapelle formant un arc de cercle adossé à la crête et composé d'une succession de terrasses à l'intérieur desquelles des cloisonnements sont matérialisés par des talus en pierres sèches ou des épaulements, suivant la configuration du relief naturel. Les fouilles menées en avril 2015 ont notamment permis de découvrir la dernière entrée de la chapelle sur son côté nord, implantée face au village de Tallenay. Cette entrée, qui était inconnue jusqu'à présent, figure bien sur un plan du début du XVIII^e siècle conservé aux Archives municipales de Besançon et représentant une vue (non géométrique) en élévation du paysage et de l'occupation du sol au nord du massif de Chailluz. Un texte indique la destruction partielle de la chapelle en 1722, mais les murs ont été conservés en élévation sur plusieurs assises de pierres (figure 18).

Des travaux de stabilisation des assises de murs ont été réalisés en août. Les deux premiers rangs de moellons du sommet des murs ont été retirés puis remontés avec un mortier de ciment-chaux. Les sommets des murs ont enfin été bétonnés afin de les rendre étanches. Cette restauration assure la préservation et la mise en valeur de ce site, localisé sur le sentier des crêtes de la forêt de Chailluz et unique vestige construit de l'occupation médiévale de cet espace forestier.

L'approche géophysique

La finalité des prospections géophysiques est d'obtenir rapidement des informations sur la nature et la structure des matériaux présents dans le sous-sol à partir des contrastes dans leurs propriétés physiques. Ces contrastes peuvent être suffisamment importants pour être mesurés à la surface et ainsi être cartographiés. L'étude des cartes ainsi générées et l'analyse des anomalies dans les propriétés physiques à la surface ou dans le sol nous autorisent à proposer la présence de vestiges de l'activité humaine dans le sous-sol et à décrire leur nature et leur forme. Dans le cadre de ce programme, deux méthodes de prospection ont été mises en œuvre. En effet, malgré le large panel de propriétés physiques mesurables par les acquisitions géophysiques, seules les propriétés magnétiques des matériaux ne sont peu ou prou perturbées par l'environnement forestier.

Géophysique extensive

Grâce à la technologie LiDAR, de nombreux linéaments parcellaires, des murges ainsi que des tas d'épierrement ont pu être reconnus dans l'ouest de la forêt de Chailluz. Cependant, si les traces des activités agropastorales humaines sont encore visibles à la surface du sol par des anomalies microtopographiques, il n'en est pas de même pour des vestiges moins pérennes tels que les habitats, les fosses ou, par exemple, les silos.

À cet effet, des prospections géomagnétiques ont été mises en place sur des enclos afin de confirmer la présence de structures pouvant être reliées à de l'habitat ou des systèmes de stockage. Les tests menés sur ces sites ont toujours révélé des vestiges n'ayant aucune signature microtopographique et ont ainsi augmenté significativement nos connaissances de ces enclos.

On peut observer sur les données LiDAR un enclos de forme quadrangulaire, d'environ 35 m de côté et fermé sur 3 côtés (sud, est et ouest) par un muret en pierres sèches. Le matériel retrouvé était composé d'une fibule, de deux monnaies des I^{er} et II^e siècles, d'une charnière de coffre, de quelques débris de céramique sigillée, ainsi que de nombreux clous à têtes rondes et plates. L'ensemble laissait supposer la présence d'un habitat antique.

Sur les résultats de la prospection géomagnétique, qui a consisté en l'exploration d'un bloc de 40 x 40 mètres approximativement centré sur l'emprise de l'enclos, nous avons représenté en densité de gris la carte du gradient magnétique avec une dynamique de signal comprise entre les valeurs -15 nT/m (en blanc) et +15 nT/m (en noir). Sur cette carte, très bruitée, on ne distingue pas le talus, par contre, au niveau de l'angle est de l'enclos apparaît une série de 16 anomalies positives du gradient magnétique, probablement des fosses, espacées de 2,5 à 3 m, qui dessinent deux quadrilatères. Aucune autre organisation remarquable n'est identifiable à l'intérieur de l'enclos et il est loisible d'interpréter ces anomalies comme des structures fossoyées matérialisant les vestiges de bâtiments sur poteaux. Une autre anomalie positive du gradient est visible au centre de l'enclos, sans qu'il soit possible pour le moment de la relier à une structure particulière (fosse ?, silo ?).

Géophysique sur site

La susceptibilité magnétique est la capacité d'un matériau à s'aimanter sous l'effet d'un champ inducteur. Depuis les travaux d'Eugène Le Borgne, dans les années 1950, l'étude des propriétés magnétiques des sols a montré qu'elles pouvaient rendre compte de la structure du sous-sol mais aussi identifier certains processus pédologiques ou anthropiques affectant le comportement du sol.

En effet, la susceptibilité magnétique du sol est souvent modifiée, notamment si ce dernier a été brûlé ou comporte des matériaux ayant été chauffés. Les processus d'oxydo-réduction et biochimiques liés à l'activité microbienne influent également sur la susceptibilité magnétique. En résumé, l'occupation humaine a tendance à augmenter la susceptibilité des sols sur lesquels elle se déroule suite à, par exemple, l'épandage de fertilisant, la mise en pâture, le dépôt de terres cuites ou la chauffe en surface.

Ce mode de prospection a été mis en œuvre sur plusieurs enclos de la forêt de Chailluz. Les résultats les plus significatifs ont été obtenus aux alentours de la chapelle Saint-Gengoul ainsi que sur des charbonnières (figure 19).

L'approche paléoenvironnementale

La multitude des structures archéologiques détectées à partir du relevé lidar se répartit et se superpose dans un espace dont les propriétés environnementales ont pu être modifiées par la construction et les modalités de fonctionnement de ces structures. La modification de ces propriétés environnementales est étudiée via l'étude des charbons prélevés dans quelques charbonnières, des relevés botaniques et l'analyse physicochimique des sols.

Sur le plan thématique, on peut distinguer deux grandes approches. La première concerne les effets de l'exploitation domestique et agropastorale passée sur le milieu forestier actuel. La seconde porte sur la structure forestière et la diversité des espèces exploitées pour le combustible via notamment l'étude

des charbonnières. L'objectif est de confronter les observations archéologiques et archéométriques aux données historiques afin d'identifier les pratiques tant du point de vue des usages que du mode de gestion de la ressource forestière.

Effets de l'exploitation domestique et agropastorale passée sur le milieu forestier actuel

Plusieurs campagnes de relevés floristiques ont été menées aux printemps de chaque année du programme autour de la Chapelle médiévale de Saint-Gengoul. Ces relevés ont été effectués sur les strates arborescente, arbustive et herbacée. Des placettes de 25 m² ont été mises en place à intervalles réguliers de 20 m. Une série de placettes se trouvent dans la zone enclose autour de la chapelle, une seconde série est située dans des zones supposées correspondre à une utilisation agricole d'après les vestiges archéologiques tandis qu'une troisième série se situe dans les espaces intermédiaires à ces deux zonages où aucune trace particulière d'occupation n'a été décelée par la télédétection lidar. L'objectif visait à vérifier des hypothèses sur l'hétérogénéité spatiale des sols en lien avec une volonté d'amélioration (amendement). La végétation est considérée comme un indicateur intégré et son étude est complétée par une analyse pédologique et physicochimique.

Dans chaque placette de relevé, un inventaire exhaustif des espèces de la strate herbacée a été réalisé. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce a été déterminé. La végétation est indicatrice des conditions environnementales d'un milieu et peut permettre de mettre en évidence des conséquences de l'occupation passée sur le site. En Europe, l'écologie des plantes est étudiée depuis longtemps et des travaux majeurs ont été menés en Europe centrale par Ellenberg et al. (1992) qui ont permis de définir un catalogue de valeurs indicatrices empiriques pour des gradients édaphiques et climatiques, en ordonnant les espèces selon leurs préférences écologiques. Les valeurs indicatrices d'Ellenberg sont réparties sur une échelle semi-quantitative (de 1 à 9), caractérisant sept facteurs écologiques (T : température, F : humidité, L : lumière, N : richesse minérale du sol, R : réaction du sol (pH), K : continentalité et S : salinité). Pour l'analyse des résultats, il a été choisi de travailler d'une part, avec les espèces indicatrices des sols ayant une teneur importante en azote (indice N) et des sols riches en bases (indice R). Les espèces les plus informatives ont été déterminées grâce aux valeurs indicatrices : les espèces ayant un indice N égal ou supérieur à 7 pour le facteur azote ont été définies comme nitrophiles et les espèces avec un indice supérieur ou égal à 7 pour le facteur de réaction R ont été définies comme indicatrices d'un sol riche en bases (Hill, et al., 1999).

La répartition spatiale de ces espèces végétales en fonction de leur pourcentage de recouvrement a été déterminée. D'autre part, les indices écologiques de la richesse minérale du sol et de la richesse en bases ont été calculés pour chaque relevé. Ces indices correspondent à la moyenne des indices de chaque espèce du relevé pondérée par leur pourcentage de recouvrement respectif.

Les résultats obtenus montrent qu'il existe une coïncidence entre la distribution de certaines espèces herbacées et les modifications du milieu liées aux valorisations anciennes. Les activités domestiques et agropastorales ont modifié des caractéristiques du milieu durablement et certaines espèces, pour lesquelles ces modifications sont favorables, dominent dans la flore actuelle. Ainsi par exemple, la mercuriale – *mercurialis perennis* – (R=7, figure 20, en vert) est plus abondante dans les zones de dépôt des pierres, bords de terrasses, espaces de délimitation parcellaire, zones de pierriers. De la même manière, on note une correspondance assez forte entre la petite pervenche – *vinca minor* – (N=7, figure 20, en bleu) et les concentrations de phosphores dans le sol les deux délimitant assez nettement les zones d'activités domestiques situées autour de la chapelle Saint-Gengoul.

Les relevés botaniques ont été couplés à une analyse physicochimique des sols. Il s'agissait pour chaque type de zonage, tels que définis ci-dessus, de déterminer le ratio C/N et les teneurs en phosphore. Des prélèvements de sol ont été effectués dans chaque zone avec un échantillonnage tous les 10 m selon des transects déterminés. Ces échantillons correspondent au prélèvement des dix premiers centimètres du sol. Chaque échantillon a été séché à l'étuve puis broyé et tamisé à l'aide d'un tamis possédant une maille de 2 mm. Le rapport C/N correspond au rapport des teneurs en carbone organique et azote totales présentes dans le sol. Cette valeur est un indicateur qui permet d'évaluer la fertilité des sols. Plus la valeur du rapport est faible, plus le sol sera considéré comme riche. La mesure du ratio C/N a été réalisée au

laboratoire Chrono-Environnement par un analyseur CNS. Une certaine quantité de chaque échantillon a été envoyée au Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras afin que les teneurs en phosphore assimilable soient déterminées. La technique d'analyse employée est la méthode Duchaufour. Chaque échantillon a été mesuré sur extrait acide, puis sur extrait basique. Réaliser une double extraction à des pH différents permet à la fois de mesurer le phosphore lié au calcium (sur les argiles et les particules de calcaire) et adsorbé aux hydroxydes d'aluminium et de fer (Bonneau *et al.*, 2003).

Une lecture préliminaire des résultats obtenus permet d'observer une bonne variabilité spatiale des taux de phosphore (P₂O₅) qui coïncide, dans certains cas, avec nos hypothèses. Ainsi, c'est principalement la zone enclose autour de la chapelle Saint-Gengoul, couverte de pervenche, qui est très riche en P₂O₅ par rapport à son environnement avec des valeurs de 1 à 3 g/kg. Par comparaison, les valeurs observées sur les terrasses immédiatement autour sont de l'ordre de 0,2 à 0,4 g/kg et sur les espaces plus éloignés de 0,1 à 0,2 g/kg. Pour les espaces les plus éloignés comprenant des vestiges archéologiques de type agraire (parcellaire, épierrement par exemple), il n'y a donc pas de correspondance évidente entre le taux de phosphore et la zone potentiellement cultivée à l'intérieur du parcellaire. Cette hypothèse rejetée nous pouvons en formuler deux autres. Le faible taux de phosphore peut s'expliquer soit par le fait que la culture elle-même a contribué à exporter tout l'apport de phosphate par l'amendement ou que l'apport de fumure n'a pas été suffisant, soit par le fait que les zones épierrées ne correspondent pas nécessairement à des espaces cultivés mais aménagés pour d'autres activités. Il apparaît finalement que les taux de phosphore élevés sont plutôt liés au temps de séjour et de parcours des animaux ainsi, qu'éventuellement, aux déjections humaines.

En cette fin de programme l'objectif qui consistait à identifier des indicateurs environnementaux pour cerner des zones d'activités domestiques et agropastorales dans des espaces où les vestiges archéologiques n'ont pas nécessairement été préservés, n'a pas été totalement atteint. En dehors des espaces domestiques (autour de la chapelle par exemple), ces indicateurs s'avèrent plus complexes à manipuler et à comprendre. De ce point de vue, une recherche plus approfondie est nécessaire et ce d'autant plus que ce type de résultats permet également à l'ONF de mieux comprendre le profil de certaines placettes de relevés pour établir ensuite la typologie des stations forestières qui sert de référence aux forestiers praticiens. En effet, les travaux du chantier CHEF à Chailluz comme ceux menés dans le massif forestier de Haye en Lorraine ont montré que les conditions environnementales seules ne suffisaient pas à expliquer les profils écologiques et qu'il était nécessaire de tenir compte des activités anciennes de valorisation du milieu (sylvicole, agropastorale, domestique...) pour nuancer et préciser la carte des stations forestières.

Modalité d'utilisation des plateformes et caractérisation de l'impact sur la végétation de l'activité de charbonnage

La découverte par centaines de plateformes de charbonnier en forêt de Chailluz a soulevé une série de questionnements. Les structures observées en forêt de Chailluz résultent-elles d'une production liée à l'usage domestique, pratiquée sur une très longue durée, peut-être plus d'un millénaire, ou au contraire, reflètent-elles des activités économiques ayant utilisé de grandes quantités de bois sur une courte durée ? Quels modes de gestion forestière sont associés à cette activité de charbonnage ? Selon le type d'exploitation, peut-on estimer l'impact de la production de charbon sur le milieu forestier à plus ou moins long terme et jusqu'à l'heure actuelle ? Et peut-on appréhender la dynamique du couvert forestier ancien à partir des vestiges de ces microstructures de production ?

Près de 35 datations radiocarbone effectuées à partir d'échantillons de charbon de bois prélevés sur des plateformes de charbonnier (figure 21) ont permis d'appréhender globalement la chronologie de ces structures sur l'ensemble de la côte du Bois de Chailluz. Les prélèvements ont été réalisés selon un transect sud-ouest/nord-est qui a permis d'avoir un échantillonnage de plateformes réparties sur l'ensemble de la côte de manière continue. Puis trois groupes d'entités ont été sélectionnés à chaque extrémité et au centre de la zone. Trois plateformes ont également été choisies au sud-ouest du village médiéval de Saint-Gengoul, dans la zone de parcellaire qui a fait l'objet d'autres investigations : relevés botaniques et pédologiques (*cf.* ci-dessus). On signalera que ces plateformes font partie du groupe de 13 plateformes localisées dans le quart de réserve défini comme tel en 1721, et situé en position centrale dans le bois en côte. Les 25 premiers échantillons ont tous été prélevés à la base de la couche

charbonneuse, ce qui garantit que le charbon de bois à dater provient bien de l'épisode de carbonisation le plus ancien dont témoigne la plateforme. Les datations radiocarbone ont été effectuées suivant le procédé AMS (Accelerator Mass Spectrometry)⁶, qui fait appel à la technique de la spectrométrie de masse, méthode de mesure des rapports « masse sur charge » de molécules individuelles ionisées et de leurs produits de fragmentation (Constantin *et al.*, 1996). Cette technique a été retenue pour la rapidité de sa réalisation et la précision des résultats qu'elle procure. À partir des datations BP non calibrées $T_i \pm \delta T_i$ délivrées, on a calculé les intervalles de dates calibrées à 1σ et à 2σ des 25 charbonnières analysées avec le logiciel OxCal v. 4.2.3 (service de l'Université d'Oxford accessible en ligne <http://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=oxcal.html> (lien valide au 25 novembre 2015). La courbe de calibration du ^{14}C atmosphérique utilisée est IntCal13, c'est-à-dire la version la plus récente disponible au moment du calcul (Reimer *et al.*, 2013).

Excepté pour une charbonnière, *a priori* plus ancienne, les résultats obtenus suggèrent une fourchette de datation entre le XVII^e et le XIX^e siècles, avec sans doute environ 1/3 des structures antérieures au XIX^e siècle. Les résultats et l'interprétation détaillée sont présentés ci-après dans la partie 2 de ce rapport.

Pour tenter de comprendre plus en détail les modes de production du charbon et l'usage des plateformes, un protocole d'analyse plus détaillée a été mis en œuvre sur deux charbonnières du corpus analysé ci-dessus (figure 22). Il s'agissait de mettre en évidence d'une part, la possible réutilisation des plateformes, d'autre part d'avoir une idée des bois carbonisés en termes d'espèces et si possible de nature (troncs, branchages...).

Ce qui est connu de la mise en valeur du secteur indique que la carbonisation de bois en plateformes ne peut débuter avant la fin XVII^e-début XVIII^e siècle. La fabrication de charbon de bois en forêt de Chailluz est interdite à partir de 1763, mais on ignore si cette interdiction est toujours en vigueur durant le XIX^e siècle. On sait, à partir des indications de livrets journaliers des Eaux et Forêts, que l'utilisation des plateformes cesse à la fin du XIX^e siècle, cédant la place à des fours métalliques mobiles. Par ailleurs, d'une manière générale en France, la fabrication de charbon de bois diminue très fortement à partir du milieu du XIX^e siècle, car ce combustible est massivement remplacé par le charbon minier, nettement moins coûteux à produire (Fruchart 2014). La période d'utilisation ne peut alors guère excéder deux siècles. Pour cette période relativement courte, le contexte est favorable, sans l'impliquer automatiquement, à une réutilisation des plateformes ce qui supposerait plusieurs épisodes de carbonisation. Dans ces conditions, le terrassement avec muret représente un investissement et on peut faire l'hypothèse qu'il a « protégé » l'épaisseur stratigraphique. Par ailleurs, l'approche spatiale montre que la densité par hectare des plateformes est compatible avec les réalisations de plusieurs carbonisations tous les 20-30 ans d'environ 100 stères de bois, sur une période d'un à deux siècles, avec une densité du peuplement forestier comparable à celle observable aujourd'hui.

La méthodologie mise en œuvre a consisté à réaliser des relevés microtopographiques permettant de décrire la géométrie de surface des structures puis de réaliser un relevé de mesures de susceptibilité magnétique afin de détecter les zones où le sédiment argileux a subi des modifications thermiques (figure 19). Grâce à ces deux types d'observations de surface, il est possible d'identifier des zones de colluvionnement, soit masquant le signal (apport de terre non chauffée de l'amont), soit amplifiant le signal (débordement en aval de la terre chauffée). En dehors de ces zones de colluvionnement, deux carrés de 30 cm de côté par charbonnière ont été sélectionnés pour observer la stratigraphie, lorsque la susceptibilité magnétique en surface est particulièrement élevée ou au contraire, particulièrement faible. Ces microsondages ont permis l'extraction de mottes de 20 cm de côté, prélevée pour l'étude en laboratoire. Les dimensions ont été choisies de façon à endommager le moins possible les structures et disposer du matériel nécessaire à l'étude anthracologique de plusieurs niveaux dans la

⁶ Pour une description détaillée du type d'équipements et de la méthodologie utilisés, on peut consulter le site internet du laboratoire de radiodatation de Poznan <http://radiocarbon.pl/> (lien valide au 1^{er} juin 2014). Pour une majorité d'échantillons, les radiodatations ont été réalisées à Poznan au moyen d'un spectromètre de masse par accélération utilisé pour le comptage des isotopes du carbone. Il s'agit d'un modèle 1.5 SDH-Pelletron « Compact Carbon AMS » ser. no. 003, fabriqué en 2001 par National Electrostatics Corporation, Middleton, USA (information Poznan Radiocarbon Laboratory). Pour déterminer les proportions isotopiques $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$, le spectromètre mesure simultanément les atomes de ^{12}C , ^{13}C et ^{14}C produits par l'échantillon analysé.

stratigraphie (environ 100 charbons par niveau). Sur la coupe d'un carré sondé, un prélèvement de 5 cm de côté et de 15 cm de hauteur a été réalisé pour une étude micromorphologique du sol. Sur chaque coupe, un profil vertical de la susceptibilité magnétique a été enregistré *in situ* de façon à détecter d'éventuelles alternances d'expositions thermiques du sédiment et détecter en stratigraphie plusieurs événements de chauffe, soit d'usage potentiel de la plateforme. Pour une validation, l'opération a été répétée 3 fois sur la motte extraite dans des conditions de mesure plus standard en laboratoire. Après analyse des profils, des niveaux ont été positionnés en stratigraphie. Les charbons et macrorestes ont été recueillis par flottation et dans le refus tamisé à 2,3 mm d'un volume de sédiment connu. Le dénombrement des fragments et leur pesée portent sur la totalité ou 3 x 1 litre minimum de sédiment par niveau de façon à appréhender la concentration des restes. Les plus gros exemplaires par niveau – les moins susceptibles de subir un déplacement stratigraphique – ont été isolés, identifiés. Certains ont été préparés pour une datation par radiocarbone. Enfin, l'identification de l'essence a été réalisée sur un tirage aléatoire des fragments. Le nombre de fragments analysés est déterminé en cours d'analyse par l'étude d'une courbe d'effort-rendement d'une part, qui estime le nombre de fragments qu'il faudrait analyser de façon à obtenir un nouveau taxon, et par la stabilisation des proportions des différents taxons d'autre part.

L'identification taxonomique porte sur des fragments de charbon des deux niveaux identifiés dans chaque charbonnière. Elle est conduite de façon classique sous microscopie à réflexion, sur la base d'atlas d'anatomie du bois. Les proportions de chaque taxon, c'est-à-dire des espèces (par exemple le charme, *Carpinus betulus*) et groupes d'espèces différentes (par exemple les fruitiers à pépins) constituent le spectre floristique.

Les résultats préliminaires de ces travaux tendent à montrer qu'une augmentation de la susceptibilité magnétique à partir de 25 cm et 30 cm de profondeur pour CH30 et CH29 respectivement (figure 22), laissent présager le début d'utilisation des plateformes. En revanche, les signaux magnétiques en « dent de scie » sur le reste des profils, ne permettent pas d'identifier formellement d'autres niveaux d'utilisation des places. Toutefois, les concentrations de charbon de bois sur le prélèvement de la charbonnière CH29 semblent indiquer deux niveaux potentiels d'utilisation (de 7,5 cm à 11,5 cm et de 17 cm à 20,5 cm de profondeur), dont le plus profond concorde assez bien avec la première utilisation de la plateforme identifiée par susceptibilité magnétique. Afin d'affiner ces observations, l'horizon le plus profond de CH29 (correspondant potentiellement à une première utilisation de la plateforme) et celui le plus proche de la surface (témoin de la dernière utilisation) ont été datés au radiocarbone pour cibler la période d'utilisation de la falaise et la replacer au sein de la chronologie des autres fonds de plateformes déjà datés. Néanmoins, en raison de la forme de la courbe de calibration du radiocarbone, présentant un long plateau, les deux datations fournissent des résultats très incertains. En effet, les dates calibrées s'étendent du milieu du XVII^e siècle jusqu'à l'actuel. Pour tenter de préciser ces résultats, la date d'interdiction de charbonner au sein de la forêt de Chailluz a été replacée dans la chronologie des dates calibrées. En effet, si l'interdiction a été respectée les dates des charbonnières s'étendraient alors potentiellement du milieu du XVII^e siècle à 1763, soit sur un peu plus de 120 ans. Après une approche exploratoire infructueuse fondée sur la typologie des courbes de datations calibrées, une modélisation à l'aide de l'application ChronoModel (Lanos *et al.* 2015) est en cours.

Enfin, l'image du peuplement forestier exploité lors du charbonnage, obtenu par l'analyse anthracologique (conduisant à l'identification des taxons) a été réalisée sur le fond et la surface de CH29 (figure 22). Dans les deux cas, les spectres sont dominés par le charme (près de 75 % des fragments analysés), permettant de constater que la réalisation de la meule repose principalement sur la présence de cette essence dans l'environnement des charbonnières. De plus, la présence d'érable, de sorbier et de tilleul correspond bien aux conditions de station forestière dans laquelle se trouve la plateforme, à savoir, un sol mince sur dalle calcaire de versant bien exposé, où le chêne participe peu, voire pas, au peuplement. En revanche, la présence d'espèces héliophiles dans les spectres (le cytise, l'amélanchier, les fruitiers à pépins et plus particulièrement les sorbiers et alisiers) semble révéler un milieu plus ouvert qu'aujourd'hui, puisqu'elles sont moins présentes dans la végétation actuelle. La différence entre les deux niveaux ne semble pas significative puisque les proportions des essences principales sont similaires. De manière générale, l'identification de 9 taxons dans les spectres anthracologiques concorde avec les résultats d'autres études, où dans la majorité des cas, une demi-douzaine de taxons sont identifiés (Rouaud, 2013 notamment). Ces résultats semblent donc nous indiquer les essences principales exploitées

et nous donner accès à une certaine part de la diversité du site. Toutefois, la faible proportion, voire l'absence d'orme et de frêne dans les spectres, alors que ces taxons sont bien représentés actuellement dans la strate arborescente dominante en forêt de Chailluz, pose des questions. Une hypothèse envisagée est de prendre en considération la présence de produits forestiers concurrentiels au charbon de bois à l'époque des charbonnières, même si l'ensemble de ces résultats sont à pondérer compte tenu du nombre de fragments de charbon de bois analysés (50 en surface et 62 dans le niveau du fond). L'analyse d'autres charbonnières selon ce protocole est encore en cours dans le cadre d'une thèse (A. Dupin).

Partie 2 – L’espace forestier de Chailluz

Besançon dispose aujourd’hui de la surface d’espaces verts par habitant la plus élevée de France métropolitaine, parmi les villes de plus de 100 000 habitants (200 m² par habitant). La forêt de Chailluz (16,7 km²), qui en représente les trois-quarts, occupe le quart du territoire communal actuel (figure 2). Cette grande forêt périurbaine établie sur un terrain calcaire karstique criblé de dolines est peuplée de feuillus où dominant le hêtre et le chêne. Elle remplit aujourd’hui trois fonctions : c’est une forêt de production, une forêt de protection et une forêt de loisirs fréquentée par la population locale pour des activités sportives et de détente. C’est une forêt très ancienne, qui existe déjà au XIII^e siècle et qui appartient sans discontinuer à Besançon depuis la fin de ce même siècle.

On ignorait presque tout de l’occupation ancienne du massif de Chailluz jusqu’à la réalisation d’un relevé LiDAR en 2009 qui a permis d’entreprendre l’évaluation de son patrimoine archéologique. Ce relevé documente en détail l’occupation du sol et du sursol et, à l’aide de filtrages informatiques appropriés, peut dévoiler la topographie détaillée des sols nus, débarrassés des entités qui le recouvrent, même sous couvert forestier (*cf.* partie 1).

L’exploitation du relevé LiDAR réalisé sur le massif de Chailluz a été pour l’essentiel menée dans le cadre du chantier CHEF. Grâce au financement d’une thèse et du programme ODIT par des fonds FEDER, le processus de détection a pu être couplé quasiment systématiquement à des observations sur le terrain et à une synthèse des archives et des documents planimétriques collectés, ce relevé a révélé l’ampleur du patrimoine archéologique de cette forêt (figure 23) : vestiges agraires, petits établissements, anciens chemins et routes, aménagements militaires et nombreux témoins de l’exploitation des ressources naturelles disponibles (environ deux cents fours à chaux, plus de mille plateformes de charbonnage et une douzaine de carrières de laves).

Cadre historique des recherches sur le massif forestier de Chailluz

Historiquement, la forêt Chailluz est documentée à partir du XIII^e siècle (Fiétier, 1973 ; Dianin, 1995 ; Muller, 1999 ; Bépoix, 2010, Fruchart 2014) ; on ne sait rien sur les périodes antérieures. Les plus anciennes mentions textuelles sont une archive de 1232 relative à un droit de défricher sur le territoire de « Chaillou » (BMB, cote Ms 716 fol.10) et une citation de la « forêt de Chalor » en 1258 (« *nemore de Chalor* », cité par : Castan, 1858, p. 60). Mais la localisation précise du ou des lieux que nomment ces toponymes est impossible, et leur attribution à l’actuel massif de Chailluz est donc hypothétique. En 1309, un texte qui cite le chemin de Vieilley, qui traverse encore aujourd’hui la forêt, se rapporte assurément à la forêt de Chailluz (BMB, cote BB1, fol. 180). Des limites géographiques précises du « bois de Chailluz » (pour sa partie ouest) sont ensuite données en 1390-1391 par un manuscrit relatant un conflit territorial entre Châtillon-le-Duc et Besançon (BMB, cote DD105, *cf.* Bépoix, 2010). Cette limite est matérialisée en 1442 par des bornes en pierre (BMB, cote DD106), dont certaines existent encore et ont été relevées sur terrain. Elles sont à présent enregistrées à la Carte archéologique nationale (Daval, Fruchart *et al.* 2014, p. 65 *et sq.*). En 1518, un texte (BMB, cote DD106) complète la description géographique des limites de la forêt de Chailluz, et durant le XVI^e siècle, un premier plan non géométrique du territoire de Besançon est réalisé (BMB, cotes Yc Bes A1 et Gec Bes 1.1, *cf.* figure 24). Il permet d’apprécier l’emprise du massif forestier, plus étendu vers l’ouest qu’aujourd’hui. Sur la crête qui dessine la partie nord/nord-est du massif, la chapelle Saint-Gengoul, seul établissement médiéval connu en forêt de Chailluz, est mentionnée dès le milieu du XI^e siècle. Elle sert dès la fin du Moyen Âge à borner le territoire bisontin. Toujours pour la période médiévale, à l’ouest du massif, un village et une grange sont connus à Valentin. Le village a été détruit à la fin du Moyen Âge, mais la grange a continué son activité jusqu’à la période moderne. À Braillans à l’est du massif, une grange rattachée à l’abbaye de Bellevaux est citée dès le XI^e siècle. Au nord/nord-est, les villages de Mérey et Vieilley produisaient des vins réputés pour le compte de l’archevêché de Besançon (attesté dès le XIII^e siècle : Courtieu 1987). Au nord, également au pied de la crête délimitant le massif de Chailluz, les habitants des villages de Bonnay et Tallenay bénéficiaient de droits d’usage sur cette forêt (Muller 1999). À l’extrême nord-ouest,

Châtillon-le-Duc, qui abritait depuis le XIII^e siècle le siège d'une châtellenie relevant du Comte de Bourgogne, a entretenu des relations conflictuelles avec Besançon jusqu'à la période moderne. Et au sud du massif, la limite territoriale entre Besançon et Thise a fait l'objet d'un conflit au début du XVI^e siècle, lors de l'aménagement d'une nouvelle voie de circulation (BMB, cote DD68).

L'aperçu général fourni par les textes médiévaux, suggère donc l'existence dès cette époque d'un massif boisé important, probablement plus étendu qu'aujourd'hui vers l'ouest, au voisinage immédiat de Besançon (Fiétier, 1973 ; Fruchart, 2014), et dont l'extension maximale dans les secteurs les plus éloignés du centre urbain (au nord, vers Valentin et Tallenay ; à l'est, vers Braillans ; au sud, vers Thise) reste floue tout en évoquant un état assez proche de l'état actuel.

À partir du XVI^e siècle, Besançon semble vouloir limiter les droits d'usage en forêt de Chailluz, notamment en restreignant le nombre d'ayants droit (Muller 1999). La mise en place de ces restrictions entraîne probablement une recrudescence des contestations de la part des communautés qui s'estiment lésées. La forêt procure en effet de nombreuses ressources : bois de chauffage, bois à façonner, nourriture et litière pour les animaux d'élevage, etc. Elle fournit des matières premières aux artisans du bois et de la pierre (charpentiers, charretiers, maçons, couvreurs, etc.), ainsi qu'aux « grangiers » et aux vigneron (Besançon avait un vignoble étendu dès le Moyen Âge et ce jusqu'au début du XIX^e siècle, cf. partie 3 de ce rapport). Ces derniers semblent être les principaux usagers de cette forêt aux XVI^e et XVII^e siècles (Muller 1999).

Après la publication de l'Ordonnance des Eaux et Forêts en 1669 et le rattachement de Besançon à la France en 1674, la détermination de la propriété de Chailluz et la mise en place du régime forestier sont conflictuelles. Un premier procès sur sa propriété a lieu entre 1699 et 1705, et le conflit dure jusqu'en 1720. Du fait de cette situation juridique floue, l'exploitation forestière est sans contrôle entre 1705 et 1721, entraînant abus et dégradations consignés dans des archives (Dianin 1995). En 1721-1722, la forêt est finalement découpée en 30 parcelles de taille égale (« assiettes ») auxquelles s'ajoute un « quart de réserve » d'une surface équivalente à un quart de la superficie totale de la forêt. Les assiettes (« coupes ordinaires ») sont exploitées tous les 30 ans et le quart de réserve est réservé à des « coupes extraordinaires », décidées par la Maîtrise des Eaux et Forêts pour financer des dépenses imprévues et fournir du bois d'œuvre. La première assiette est exploitée en 1724. Jusqu'en 1730, le petit bois des coupes ordinaires peut être transformé en charbon à condition d'être vendu aux Bisontins. À partir de 1738, la fabrication de charbon est fortement contrainte, puis interdite à partir de 1763. Les assiettes sont adjugées à des exploitants privés jusqu'en 1763, puis une régie municipale est mise en place. Un nouveau règlement est établi en 1776, à la suite de problèmes de gestion (vols de bois, notamment) et des registres sont mis en place pour consigner les exploitations et travaux. La première exploitation du quart de réserve débute en 1738-1739 et dure huit ans. Cette coupe extraordinaire finance la construction d'une nouvelle caserne dans le quartier d'Arènes à Besançon. Dès 1770, une deuxième coupe est entreprise pour financer la construction de nouveaux bâtiments militaires (pavillon d'officiers dans le secteur de Bregille). Cette deuxième exploitation s'achève en 1784, l'année où débute la construction de deux logements de gardes à l'emplacement actuel des Grandes Baraques. Enfin, des livrets journaliers inédits des Eaux et Forêts nous apprennent que le quart de réserve a été découpé en parcelles en 1893.

Les derniers aménagements réalisés en forêt de Chailluz à la fin du XIX^e siècle sont des ouvrages militaires appartenant au système défensif du général Séré de Rivières Vers 1875, le « chemin stratégique » menant au fort de Chailluz, ou « fort de la Dame Blanche », est aménagé. Construit entre 1875 et 1878, il est prévu pour accueillir 600 hommes. Vers 1880, une batterie à canons et un magasin à poudre (batterie et magasin de « la charrière de Chailluz ») sont édifiés à proximité. En 1888, un deuxième magasin à poudre creusé dans le roc est réalisé à 2 km au sud-ouest du fort (magasin de « la Fourche de Chailluz »). En 1892, un dernier magasin sous roc, communiquant avec le premier magasin érigé vers 1880, complète le dispositif.

Ce rapide panorama historique montre à la fois une certaine permanence du massif forestier de Chailluz et un dynamisme très important de l'espace boisé qu'il recouvre. La diversité des usages conférés à cette forêt périurbaine, sans parler de l'exploitation des produits non ligneux, en font un espace dont le fonctionnement apparaît complexe et conflictuel. On voit en effet comment l'impact de l'exploitation produit en retour des actes juridiques d'appropriation et de gestion de l'espace forestier. Néanmoins, il

convient de rester critique devant ce tableau dans la mesure où les contemporains ont pu surestimer certains impacts ou conflits pour tirer profit de la situation et instaurer des règlements qui leur soient favorables.

Aussi pour bien comprendre ces enjeux, il est important de localiser précisément les phénomènes d'emprises et de déprises forestières, ainsi que la dynamique des limites administratives.

Exploitation des cartes et plans anciens

Parallèlement à la recherche d'archives textuelles, la collecte documentaire a porté sur la numérisation et l'exploitation de cartes et plans anciens (plusieurs centaines de documents graphiques sur l'ensemble de la zone couverte par le relevé LiDAR de 2009 autour de Besançon : Fruchart 2014). Ces documents forment un échantillon de sources historiques graphiques représentées à différentes échelles planimétriques (de 1 / 1 250 à 1 / 86 400), rendant compte d'une variété de contextes de réalisation (cartes régionales dont l'exécution a couvert toute la France, plans cadastraux divers ou encore représentations schématiques non géométriques) et de différentes périodes d'exécution (du XVI^e au XX^e siècle).

Le corpus cartographique spécifique au massif de Chailluz est constitué de plusieurs dizaines de documents compris entre le XVI^e et le XX^e siècle. Les plans du XVI^e siècle, qui ne peuvent être géoréférencés car ils ne sont pas géométriques, indiquent néanmoins l'étendue approximative de la couverture forestière il y a près d'un demi-millénaire, figurent les tracés d'anciens chemins dont ils précisent les noms et situent les bornages ainsi que certains éléments remarquables du paysage et leurs appellations. Les plans forestiers de la première moitié du XVIII^e siècle, assez nombreux (1699, 1704, 1720-21, 1738, 1739), reflètent la difficile mise en place du partage territorial du massif à cette époque. Ils permettent de constater que l'actuelle parcellisation de la forêt de Chailluz est largement héritée des limites en place en 1738 (BMB, cote Yc M1 45). Les contours actuels de la forêt sont les mêmes qu'en 1738, et le découpage parcellaire de 1738 est presque totalement intégré dans les limites des parcelles actuelles (figure 25). Mais, alors que le parcellaire de 1738 était très régulier, fait de 30 parcelles sensiblement rectangulaires de 40 ha environ chacune, auxquelles s'ajoute le quart de réserve (400 ha), le parcellaire actuel est morcelé et irrégulier, composé de 176 parcelles de formes diverses et de tailles inégales (6 ares à 20 ha environ). Pour le XIX^e siècle, on dispose des plans du cadastre napoléonien (Archives départementales du Doubs), des cartes « d'état-major » (1834-35 et 1875) et de plans forestiers réalisés sur initiative locale (plans datés de 1862 et 1882). La grande qualité documentaire de la carte d'état-major de 1834-35 sur l'occupation du sol, dont l'exactitude a été recoupée avec les informations du cadastre ancien qui lui est presque contemporain, a permis de dresser sur la zone d'étude de Chailluz un état de l'occupation du sol au début du XIX^e siècle. L'évolution paysagère au cours du XX^e siècle est notamment renseignée par une version de la carte d'état-major réalisée juste avant la Première Guerre mondiale en 1912 et par plusieurs séries de clichés aériens orthorectifiés (données photographiques IGN, séries de 1929 et 1940, entre autres).

Globalement, d'un point de vue méthodologique, on a procédé autant que possible au géoréférencement des plans anciens et analysé tous les contenus, même ceux qui ne pouvaient être géoréférencés. Les informations obtenues ont été croisées avec celles extraites des données LiDAR et ont fait l'objet de vérifications sur le terrain. La figure 26 donne un exemple de la richesse documentaire de ces archives cartographiques. L'ensemble a permis de produire à l'échelle locale des interprétations synthétiques rendant compte de transformations paysagères opérées sur plusieurs siècles, relatives à des modifications de l'occupation du sol, du réseau de voirie et de l'habitat (*cf.* Fruchart 2014 et résumé à la fin de cette partie II).

Détection et enregistrement des données archéologiques

Une phase longue et importante des recherches sur ce massif forestier a été consacrée à l'analyse et à l'interprétation de données LiDAR (Fruchart 2014). Les modèles numériques de surface réalisés à partir des nuages de points LiDAR (cf. partie 1) ont été analysés manuellement (observation de l'image à l'œil nu sur SIG), car les outils de détection automatique d'entités archéologiques sont à l'heure actuelle, limités (Riley 2009 ; Trier, Pilo 2012). Toutes les microvariations du relief d'origine anthropique ont été relevées, et parmi celles-ci, les entités susceptibles d'avoir un intérêt archéologique ont été détectées et dessinées sur SIG. Leur mise en perspective avec d'autres couches d'information géoréférencées (données IGN, orthophotographies, cartes anciennes, etc.) ont permis d'identifier la nature et la fonction des entités, et de mettre en évidence les possibles coïncidences avec des données connues et localisées (limites parcellaires, routes, constructions, etc.). Les entités archéologiques ont été cartographiées sur SIG en les répartissant en différentes catégories : marques agricoles fossiles (talus, terrasses, pierriers, etc.), indices d'exploitation des ressources naturelles (fours à chaux, plateformes de charbonniers, carrières), éléments de voirie, vestiges de bâtiments, ouvrages militaires (figure 27). Au final, plusieurs milliers d'entités archéologiques sont à présent connues sur le massif de Chailluz ; seules quelques dizaines étaient recensées à la Carte archéologique nationale auparavant (ronds noirs sur la fig. 27).

Opérations sur le terrain : prospections archéologiques.

Parallèlement à l'analyse des modèles LiDAR, les structures détectées ont été reconnues sur le terrain. On a ainsi effectué de nombreux allers-retours comparatifs entre l'image numérique sur SIG et l'observation des structures dans leur environnement réel. Sur site, on a comparé le modèle sur SIG, consulté à l'aide d'un ordinateur portable embarqué, avec les entités observées dans leur environnement réel, en prenant par ailleurs soin de géolocaliser les entités à l'aide d'un GPS, pour s'assurer que les structures observées sur le modèle LiDAR et celles vues sur le terrain sont bien les mêmes. Cette étape a permis de compléter et d'améliorer sensiblement la description des micro- et macroreliefs. Grâce à la reconnaissance et à la vérification sur le terrain, on a acquis une bonne expertise de la photo-interprétation des modèles numériques de surface et une meilleure capacité d'interprétation a priori de la nature des structures vues sur SIG, ainsi qu'une bonne évaluation par anticipation de leur échelle réelle et donc de leur impact paysager. Les prospections inventaire ont été menées, conformément à la réglementation en vigueur, sur autorisation préfectorale et des communes concernées, dès 2009-2010 dans le cadre des projets « Anthropisation d'un milieu forestier : la forêt de Chailluz » et LIEPPEC, puis dans celui du programme ODIT, en collaboration avec le SRA, l'ONF, la Ville de Besançon et les associations ARESAC (Association de Recherche et d'Etudes des Sites Archéologiques Comtois) et AVALFORT (Association de valorisation des fortifications du Grand Besançon). Les résultats ont été consignés dans des rapports annuels d'activité (Daval, Fruchart et al. 2010, 2011, 2012, 2013, 2014). Les prospections ont totalisé entre 2010 et 2014, pour le secteur du massif de Chailluz, une surface d'environ 400 hectares sous forêt. Les interprétations et fonctions des entités détectées sur les relevés LiDAR (marques agricoles fossiles, indices d'exploitation des ressources naturelles, éléments de voirie, vestiges de bâtiments, etc.) ont pu être confirmées et certaines entités ont été datées grâce aux investigations sur le terrain. Finalement, l'association des prospections et de l'analyse du relevé LiDAR a permis de mettre en évidence plus de 800 ha de surfaces à vocation agropastorale médiévales et antiques (au moins 200 ha pour la période romaine) sous la forêt actuelle, une dizaine d'établissements (petits habitats antiques, 2 occupations non datées probablement pré- ou protohistoriques, site médiéval de Saint-Gengoul), des centaines de tronçons viaires, environ 1500 charbonnières, 200 fours à chaux, une douzaine de carrières de laves, des vestiges militaires du XIX^e – XX^e siècles, dont certains étaient encore inédits.

En complément de ces prospections au sol, des prospections magnétiques ponctuelles ont été réalisées sur des zones d'habitat antique dans la partie ouest de la forêt de Chailluz et sur le site de la chapelle Saint-Gengoul. Elles ont nécessité la mise au point d'une méthodologie de relevé magnétique spécifique adaptée au milieu forestier (Laplaige 2012, p. 89 et sq.). Leurs résultats ont confirmé nos interprétations et complété les données archéologiques, en mettant notamment en évidence des indices de

murs enfouis et en détectant des structures excavées indétectables à partir du relevé LiDAR, car ces dernières ne forment aucun relief à la surface du sol.

En outre, une expérimentation de mesurage de susceptibilités magnétiques a été effectuée sur deux plateformes de charbonnier, avec pour objectif d'aider à mettre en évidence d'éventuelles unités stratigraphiques occasionnées par des carbonisations successives sur une même plateforme (thèse d'Aurore Dupin en cours, et Daval, Fruchart et al. 2014, p. 105 et sq.). Cette prospection a permis de caractériser le signal magnétique à la surface des deux charbonnières, qui présente une forme sensiblement annulaire avec une susceptibilité magnétique au centre plus faible que sur le pourtour de la structure (figure 28 a). Deux hypothèses sont envisagées pour expliquer ces variations du signal. Les valeurs moindres du signal au centre de la plateforme pourraient être consécutives à la technique de défournement de la meule de charbon après cuisson : les matières carbonisées sont ramenées de l'intérieur de la plateforme vers l'extérieur (figure 28 b), ce qui favorise le dépôt périphérique de l'argile cuite et son retrait du centre de la plateforme, induisant ainsi une susceptibilité magnétique plus faible au centre de la structure. Autre explication possible : la variabilité du signal magnétique correspond à des différences de température de cuisson de l'argile au sol. En effet, le signal magnétique de l'argile décroît à haute température (le seuil dépend du type d'argile : Marmet E. 2000). Dans ces circonstances, la température atteinte lors de la cuisson serait plus forte dans la cheminée, au centre de la plateforme, que sur l'extérieur. Cette variabilité des températures sur une meule en cours de carbonisation a d'ailleurs été vérifiée expérimentalement (Paradis-Grenouillet 2012). Parallèlement aux mesures surfaciques de susceptibilité magnétique, des mesurages ont été effectués sur la profondeur des charbonnières pour tenter une mise en évidence d'éventuelles unités stratigraphiques. Mais les résultats obtenus le long des profils ne permettent pas la détection d'éventuels niveaux distincts d'utilisation des plateformes. Le premier état des plateformes, néanmoins, se détache nettement sur les courbes et correspond sans ambiguïté à un changement de couleur du sol. Cette approche technique demanderait des développements ultérieurs pour être améliorée.

Datations radiocarbones et analyses anthracologiques de plateformes de charbonniers

La forêt de Chailluz contient plus de mille plateformes de charbonnier, espaces plans circulaires de quelques mètres de diamètre aisément détectables sur des relevés LiDAR. La fabrication de charbon de bois sur de telles plateformes est attestée dès le premier Moyen Âge, et reste répandue jusqu'au XIX^e siècle (Allée et al., 2010, par exemple). Il faut attendre la fin du XIX^e siècle pour son remplacement par le four à carboniser, sorte de grosse cuve métallique mobile et fermée. Les usages du charbon de bois étaient divers, et pour cette raison, les manuels techniques des XVIII^e et XIX^e siècles préconisent l'emploi d'essences différentes en fonction de la destination du charbon : bois durs pour la métallurgie, bois légers pour la poudre à canon, essences spécifiques pour la fabrication d'ustensiles de dessin, par exemple. Son usage principal a sans aucun doute été la métallurgie du fer. Pendant plus de deux millénaires en effet, et jusqu'au cours du XIX^e siècle, le charbon de bois était l'unique combustible capable de fondre le minerai de fer. Il a été utilisé en quantités industrielles dans les hauts-fourneaux à l'époque moderne. Finalement, son usage a été quasiment abandonné au cours du XIX^e siècle pour des raisons économiques au profit du charbon minier, moins coûteux (cf. Nef, 1964, par exemple).

D'un point de vue général, de nombreuses forêts en Europe conservent encore les traces de cette production passée de charbon de bois et, grâce au LiDAR, des milliers de plateformes de charbonniers, témoins de l'ampleur de cette utilisation ancienne du bois-énergie, ont déjà pu être détectées (Allemagne, Belgique, France, Norvège, Pologne, Royaume-Uni, notamment). Grâce à des outils d'analyse spatiale, on peut évaluer la fréquence et la distribution spatiale de ces entités dans les forêts actuelles, et des datations radiocarbones permettent de cerner leurs périodes d'utilisation. Dans le cadre de notre étude, les nombreuses plateformes de la forêt de Chailluz, résultent-elles d'une pratique de longue durée dépassant peut-être le millénaire, ou s'agit-il d'une exploitation intensive et ponctuelle de la ressource en bois ?

Témoignent-elles ainsi de l'essor de l'industrie métallurgique à partir du XVIII^e siècle, ou sont-elles plutôt les vestiges d'activités pluriséculaires ?

Grâce à divers financements (Europe, Région, DRAC, CNRS) dans le cadre des projets « Anthropisation d'un milieu forestier : la forêt de Chailluz », LIEPPEC et ODIT (thèses de Catherine Fruchart et Aurore Dupin) une quarantaine de plateformes de charbonniers ont été datées par radiocarbone (isotope radioactif ¹⁴C du carbone – figure 29). Les datations ont été réalisées suivant le procédé AMS, technique retenue pour la rapidité de sa réalisation et la précision des résultats qu'elle procure. La datation radiocarbone mesure la radioactivité résiduelle présente dans un échantillon de matière organique, qui décroît au cours du temps en suivant les règles de désintégration des éléments radioactifs. À cause de la variabilité au cours du temps du taux naturel de radiocarbone atmosphérique qu'absorbent les organismes vivants, les ratios de ¹⁴C mesurés aujourd'hui sont susceptibles de se rapporter à plusieurs fourchettes de dates, plus ou moins larges et nombreuses suivant leur position sur la courbe de variation du taux de radiocarbone atmosphérique au cours du temps (figure 29 a). Après cette calibration des dates, les fourchettes de probabilités d'activité des charbonnières de Chailluz ont été représentées sous forme de probabilités de période d'utilisation, par tranches de 5 ans (figure 29 b, voir Fruchart 2014 pour des explications détaillées).

À l'exception d'une date située au XV-XVI^e siècle, les datations radiocarbones placent toutes les charbonnières analysées dans une fourchette entre la deuxième moitié du XVII^e siècle et le XIX^e siècle, avec une diminution notable de la probabilité d'activité durant le dernier quart du XVIII^e siècle, qui pourrait faire écho à un fait historique : l'interdiction de fabriquer du charbon en forêt de Chailluz prononcée en 1763 (Dianin 1995). Ces datations indiquent que les plateformes détectables aujourd'hui en forêt de Chailluz renvoient très probablement à une production de charbon de bois ayant concerné une grande partie du massif sur une courte durée. Bien qu'on ne puisse attribuer à l'échantillon daté une valeur représentative (effectif insuffisant pour être statistiquement représentatif), la modernité systématique, à une exception près, des entités datées peut difficilement être mise sur le compte du hasard, et indique logiquement une production attribuable à la deuxième moitié de la période moderne, voire même au XIX^e siècle. Le cas de la forêt de Chailluz se rapproche ainsi, par exemple, de forêts charbonnières récemment étudiées dans le Limousin (Rouaud 2013), mais se distingue d'autres zones d'études où une activité cumulée médiévale et moderne de production de charbon de bois a été mise en évidence, par exemple dans les Pyrénées (Davasse 2000).

Des analyses pédologiques, anthracologiques, dendrologiques et physico-chimiques sont encore en cours en forêt de Chailluz (thèse d'Aurore Dupin : Impacts de la production en bois de feu et en bois d'œuvre sur la forêt franc-comtoise du XV^e au XX^e siècle) pour préciser l'exploitation locale du bois de feu et du bois d'œuvre aux époques moderne et contemporaine. Cette approche paléoenvironnementale vise à caractériser la structure et la diversité de la forêt passée. Pour constituer un aperçu du peuplement forestier exploité en charbonnage, une analyse anthracologique identifiant les taxons et groupes d'espèces a été entreprise, à partir d'échantillons de sols prélevés sur les charbonnières en volumes suffisants pour en extraire des résultats statistiquement exploitables (figure 30 a). Les charbons extraits ont été dénombrés et étudiés.

L'observation des spectres anthracologiques déjà obtenus (l'étude est encore en cours) montre une variabilité notable des espèces majoritairement représentées dans les charbonnières (charme, chêne et hêtre), ainsi qu'une diversité des taxons représentés (14 essences identifiées) qui ne pouvait être envisagée a priori ; cette diversité taxinomique des spectres est aussi un aperçu de la diversité sylvicole passée de cette forêt. D'un point de vue comparatif, ces premiers résultats offrent des similitudes avec les forêts du Limousin, où des charbonnières ont été datées et sont contemporaines de celles de Chailluz ; les spectres anthracologiques établis en Limousin présentent des caractéristiques similaires à ceux de Chailluz (dominance du chêne, du hêtre et du charme, et diversité des taxons : Rouaud 2013, p. 223 et sq.). Ceci ouvre à terme des perspectives intéressantes de comparaisons environnementales et historico-économiques entre zones d'études.

D'un point de vue spatial, en forêt de Chailluz (figure 30 b), les proportions de charmes comptabilisées par l'approche anthracologique (en rose sur les diagrammes circulaires) diffèrent sensiblement suivant la localisation des plateformes. Il en va de même pour le chêne (en vert). Une

présence massive de charme évoque un peuplement en taillis, auquel cette espèce est ordinairement associée ; alors que celle du chêne est plutôt à associer à la futaie. Ces différences de distribution semblent coïncider assez bien avec les contextes stationnels actuels (nuances de gris sur la carte) dans lesquels les charbonnières se situent. Ainsi, sur les sols profonds de limons à chailles, on remarque une forte proportion de chêne et/ou hêtre (bleu foncé), alors que sur les sols superficiels ou peu profonds, le charme domine et le chêne est presque absent. Ainsi, le groupe de charbonnières CH29/30, au nord-ouest de la forêt, contient une forte proportion de charme et une bonne quantité d'héliophiles (en jaune), ce qui correspond bien aux conditions de station forestière actuelle : un versant bien exposé sur sol mince, où le chêne participe peu au peuplement. La présence d'espèces héliophiles, comme l'amélanchier, aujourd'hui disparu du massif de Chailluz, ou le laburnum, et concomitamment, l'absence d'espèces sciaphiles comme le houx, pourtant assez répandu maintenant dans cette forêt, indiquent un milieu forestier sensiblement plus ouvert qu'aujourd'hui. *A contrario*, le groupe CH31/32/34/41 au cœur du massif comporte une forte proportion de chêne, pas d'héliophiles et une bonne représentation des pionniers (bleu clair). Là encore, cela correspond aux conditions de station forestière : un sol profond et acide sur chailles où le chêne domine. Au nord-est, le groupe CH36/38/42/43 montre une forte proportion de charme et de hêtre. Les post-pionniers (en orange) sont bien présents et les héliophiles quasi absents. Ceci correspond encore aux conditions de station forestière : un plateau sur sol moyennement profond, peu ouvert, où le chêne peine à s'installer.

Globalement, la variabilité spatiale des spectres tend à indiquer que le bois utilisé en forêt de Chailluz pour élever les meules a été prélevé au voisinage des plateformes, et la diversité des espèces représentées peut refléter un certain opportunisme : on a employé les essences disponibles, même si ce ne sont pas celles préconisées *a priori* pour la fabrication de charbon de bois. Enfin, l'absence totale dans les charbonnières étudiées de frêne et d'orme, pourtant très présents dans le couvert forestier actuel et/ou du passé récent, indique probablement l'existence de pratiques concurrentielles à la fabrication du charbon de bois. On songe ici, par exemple, au charronnage ou à la fabrication de manches d'outil. Les spectres anthracologiques en cours de réalisation permettront probablement d'affiner ces observations.

Enfin, toujours dans une approche environnementale, des relevés floristiques ont été effectués sur la strate herbacée actuelle (cf. partie 1) en collaboration avec des enseignants et chercheurs du laboratoire Chrono-Environnement (P. Ruffaldi, O. Girardclos, E. Lucot – cadre du cursus de Licence 3 Ecologie), et quelques relevés floristiques complémentaires approfondis (J.-P. Grosbois et O. Girardclos) sont encore en cours de réalisation sur des placettes aux caractéristiques forestières stationnelles particulières (taillis sous futaie en reconversion, zone de régénération sur une coupe à blanc). L'objectif, à un terme qui dépasse l'échéance du programme ODIT, est de produire une analyse de l'impact de l'activité sylvicole et/ou agricole ancienne sur le potentiel floristique et sylvicole actuel. Cette action est à envisager sur un temps assez long, car il faut réaliser, préalablement à toute synthèse, des relevés floristiques ponctuels dans différents contextes (notamment saisonniers) et pendant plusieurs années. Par ailleurs, un stage de fin d'étude de Master 1 Sciences, Technologie, Santé (UFC) a porté sur une étude plus approfondie associant relevés floristiques, analyses physicochimiques des sols (ratio C/N, taux de phosphore) et analyse pédologique (Bas 2013).

Le voisinage du site médiéval de la chapelle Saint-Gengoul (emplacement sur la fig. 27) a fait l'objet d'une étude floristique particulière, afin d'analyser les conséquences des modifications environnementales occasionnées par une anthropisation ancienne sur le développement de la végétation actuelle (figure 20). Le couvert végétal herbacé et les sols autour de ce site ont été caractérisés, et des modifications du milieu engendrées par l'anthropisation ancienne ont été mises en évidence. L'anthropisation, qui *a priori* a eu peu d'impact sur la structure du peuplement arboricole actuel, a en revanche modifié la strate herbacée. D'un point de vue environnemental, on sait, à partir d'études réalisées notamment en Lorraine (Dupouey et al. 2007), qu'il existe une coïncidence entre la distribution de certaines espèces herbacées et les modifications du milieu liées à des valorisations anciennes du sol. Dans des zones à présent forestières, des activités domestiques et agropastorales anciennes (habitat, chemins, cultures, etc.) ont ainsi modifié durablement les caractéristiques physicochimiques des sols. Ces modifications, qui sont encore mesurables après plusieurs siècles et même millénaires, ont favorisé le développement local de certaines espèces herbacées, au point qu'elles peuvent aujourd'hui se trouver en position dominante dans un contexte environnemental défavorable originellement.

Ainsi, au voisinage du site de Saint-Gengoul, on note la présence massive de petite pervenche, espèce nitrophile (figure 20, en bleu). Elle s'est développée ici grâce à de fortes concentrations de phosphores dans le sol, sur une surface qui se confond assez nettement avec des aménagements hémicirculaires relevés par LiDAR autour de la chapelle Saint-Gengoul (figure 31), et qui correspondent très probablement à une zone d'habitat et d'activités domestiques occupée durant le Moyen Âge autour de l'édifice religieux. Cet apport phosphoré indiscutablement anthropique et ancien a durablement modifié la composition physicochimique du sol naturel, un terrain calcaire superficiel et relativement pauvre, dont on identifie bien la flore herbacée caractéristique dès qu'on quitte cette zone anthropisée. La pervenche se raréfie alors, au profit d'espèces calcicoles moins nitrophiles (mercuriale, aspérule odorante : en vert et en blanc sur la fig. 20).

L'objectif de tels relevés est de développer un (ou des) cas d'étude référentiel(s) fournissant des indicateurs qui permettent de cerner des zones d'activités domestiques et agropastorales anciennes dans des contextes et des espaces où les vestiges archéologiques n'ont pas nécessairement été préservés. Ce type de résultats permet aussi de mieux comprendre le profil floristique complexe ou atypique de certaines placettes et in fine d'améliorer la définition de certaines stations forestières, données qui intéressent notamment l'ONF. Les travaux du chantier CHEF à Chailluz, comme ceux menés dans le massif forestier de Haye en Lorraine, ont montré que l'observation des caractéristiques environnementales actuelles ne suffit pas toujours à expliquer les profils écologiques, et qu'il faut parfois tenir compte des activités anciennes de valorisation du milieu (sylvicole, agropastorale, domestique) pour identifier certaines clés écosystémiques.

Autres recherches spécifiques autour de la chapelle Saint-Gengoul

Située sur la crête de la forêt de Chailluz en surplomb du village actuel de Tallenay, la chapelle Saint-Gengoul (figures 27 et 31) est une prébende des chanoines de la cathédrale de Besançon. Le pouillé le plus ancien où l'édifice est mentionné (ADD, G5) remonte à 1710, une confirmation qui reporte la date de première sanctification de l'édifice cultuel, en 1049. Bien qu'ayant été l'établissement religieux de la paroisse de Tallenay, cette chapelle est aujourd'hui située sur le territoire de Besançon. Elle fait office de borne dès le XIV^e siècle. L'édifice a été détruit en 1722 (BMB, cote DD110) sur requête des habitants de Tallenay, après son abandon définitif comme lieu de culte, consécutif à la construction d'une nouvelle église dans le village en contrebas au cours du XVII^e siècle.

Cette destruction a néanmoins laissé des éléments en élévation : les bases des murs de l'édifice ont été conservées et ont continué tout au long du XVIII^e siècle à servir de borne territoriale, usage hérité du Moyen Âge tardif. L'intérieur de la chapelle avait partiellement été fouillé au début des années 1970, mais cette excavation n'avait fait l'objet d'aucune publication. Seuls quelques plans d'ensemble se rapportant à cette opération sont conservés au SRA de Besançon. Ils figurent une construction subrectangulaire de 13 à 14 m de longueur sur 8 à 9 m de largeur et mentionnent l'emplacement de deux sondages antérieurs, dans la partie intérieure sud/sud-ouest de l'édifice. Un carnet de notes inédit se rapportant à cette fouille nous a été remis par son auteur (Christophe Cousin). Une synthèse de son contenu a été publiée en 2013 (Daval, Fruchart, 2013, p. 88-101). Ces notes évoquent plusieurs états d'occupation du bâtiment, indatables faute d'une étude à l'époque du mobilier découvert. Afin de valider aujourd'hui l'hypothèse d'occupations et/ou d'états successifs de cet édifice qui est ébauchée par ces notes de fouille, et aussi pour tenter d'obtenir des éléments de datation fiables, une reprise de fouille a été effectuée en avril 2015, en collaboration avec la Ville de Besançon et le SRA de Franche-Comté (figure 32).

L'hypothèse d'occupations successives et donc de la présence d'une construction antérieure au XI^e siècle est *a priori* envisageable pour plusieurs raisons : le plan du bâtiment consigné par la fouille est atypique pour un établissement du XI^e siècle, mais pourrait correspondre à une construction sensiblement antérieure (carolingienne), ou alors renvoyer à une période nettement postérieure (fin du Moyen Âge). D'autre part, des travaux entrepris vers 1875 à quelques centaines de mètres à l'est de la chapelle Saint-Gengoul, lors de la mise en place du chemin militaire stratégique, ont dégagé plusieurs sépultures alors attribuées, à partir du mobilier découvert, au début du Moyen Âge (*cf.* Mémoires de la société

d'émulation du Doubs, vol. 10, 1875, paru en 1876, note p. VIII, et Boiteux, 1930, La prébende et les prébendiers de Tallenay. *Bulletin de l'Académie de Besançon*, p. 145-172). Cependant, aucune publication scientifique actuelle n'a été réalisée pour valider ou infirmer cette datation. Enfin, le relevé LiDAR de 2009 montre autour de la chapelle une zone aménagée hémicirculaire longue d'environ 160 m et large au plus d'une soixantaine de mètres, appuyée contre la crête et formant une succession de terrasses en arc de cercle, à l'intérieur desquelles sont aménagés des cloisonnements matérialisés par des talus en pierres sèches ou des épaulements, suivant la configuration du relief naturel (figure 31). La chapelle se situe sensiblement en position centrale, surplombant les deux étages de terrasses inférieurs. L'abondance de mobilier médiéval découvert au cours des prospections dans cet espace hémicirculaire (céramique, objets en fer divers, monnaies ; cf. Daval, Fruchart et al. 2013) indique certainement la présence passée d'habitats autour de l'établissement religieux.

La chapelle Saint-Gengoul a fait l'objet d'une opération archéologique en avril 2015, menée en collaboration avec la Ville de Besançon. La reprise du sondage des années 1970 suivant les méthodes archéologiques actuelles a permis une relecture des résultats de l'archéologue Christophe Cousin. De plus, une étude des élévations préservées par le biais de l'archéologie du bâti a livré des données inédites sur la construction.

Aujourd'hui, la chapelle est conservée sur quelques assises de pierre, qui suffisent à restituer son plan-masse rectangulaire. De prime abord, le plan dessinait une structure simple sans division architecturale au sol. L'église s'est en fait révélée plus complexe à l'analyse des élévations existantes. Deux, voire trois ouvertures qui desservaient l'église ont été identifiées.

La première a été découverte lors du nettoyage du parement extérieur du mur gouttereau sud de la chapelle, à deux mètres du mur de chevet. Un coup de sabre, bien visible dans les maçonneries témoigne d'une porte large de 80 cm. Suivant son emplacement, elle donnait accès au chevet de l'église. Elle permettait soit de sortir de l'église depuis le chevet, ou autorisait un passage vers une pièce annexe greffée à l'extrémité orientale du mur gouttereau sud. Toutefois, aucune trace archéologique ou microtopographique ne permet de valider cette hypothèse.

La deuxième baie, complètement inédite, a été détectée à l'occasion du nettoyage des arases du mur occidental de la chapelle. Le parement intérieur du mur de façade montre dans sa partie centrale des anomalies constructives. Un coup de sabre – à environ deux mètres de l'angle nord-ouest de la chapelle – associé à une variation du module des pierres du blocage et du parement retrouvés en démolition tend à identifier ces désordres comme le bouchage d'une porte axiale. Il conviendrait de préciser cette proposition et la datation par l'ouverture du sous-sol au pied des vestiges conservés en élévation.

Enfin, un troisième accès perçait le mur gouttereau nord de la chapelle. Deux murs parallèles, visibles grâce à un simple nettoyage, venaient se greffer à l'extrémité ouest du flanc nord de la chapelle. Ces deux maçonneries devaient être couvertes d'un appentis destiné à abriter l'un des accès principaux de l'édifice. Ce type de structure, que l'on peut qualifier de porche est d'ailleurs attesté à Saint-Gengoul sur un plan aquarellé du XVIII^e siècle (BMB, DD132). La situation de ce porche, implanté au nord de l'édifice, permettait un accès direct au chemin de crête longeant la falaise dominant la vallée de l'Ognon.

Sans élément caractéristique datant conservé dans les élévations et une fouille exhaustive de la chapelle, il est aujourd'hui impossible de préciser la date de construction de ces ouvertures. Le porche établi au nord a-t-il succédé, précédé ou est-il contemporain de l'entrée axiale repérée dans la façade occidentale ? Le lien stratigraphique et chronologique avec la baie du chevet reste également flou. Quoi qu'il en soit, l'existence d'au moins trois accès laisse entrevoir une complexité architecturale et liturgique plus complexe que ce que laisse penser le plan général de l'édifice et très probablement une évolution architecturale au cours du temps.

L'analyse du bâti des maçonneries visibles n'a pas montré de traces de reconstruction ou de remaniement importants concernant le plan même de l'édifice. Une seule phase de construction a pu être reconnue, relevant de l'époque médiévale ou moderne. Il n'est, pour l'heure, pas possible de préciser la datation exacte de cette phase principale, mais plusieurs interrogations subsistent quant à la fondation de cette chapelle. L'étude du bâti a démontré que les élévations étaient directement fondées sur le rocher.

Notre fenêtre de fouille n'étant pas assez large, il n'a pas été possible de vérifier si les fondations étaient toutes contemporaines des élévations. La possibilité que certaines maçonneries en fondations soient antérieures n'est pas à exclure.

Parallèlement, le sondage archéologique de Christophe Cousin a été de nouveau ouvert avec pour objectif principal de déborder légèrement de l'emprise initiale afin de pouvoir observer une stratigraphie non perturbée par les différentes interventions anciennes. Cette action devait permettre de confronter la réalité du terrain avec les résultats à notre disposition et surtout d'établir une chronologie relative et des datations absolues fiables. Malgré une surface ouverte supérieure à celle des années 1970, aucun niveau en place n'a pu être observé. Le sous-sol a été bouleversé bien au-delà de ce qui était connu. Deux solutions peuvent être envisagées pour expliquer cet état de fait : soit Christophe Cousin a fouillé bien au-delà de ce qu'il a pu représenter sur sa documentation de fouille, soit les excavations clandestines antérieures ont été bien plus intenses et destructives que ce l'on pouvait imaginer ; enfin, la troisième possibilité expliquant cette absence de stratigraphie est peut-être un abaissement du niveau de sol lors d'aménagement interne de la chapelle (XVIII-XIX^e siècle ?).

Malgré ces carences, de nouvelles informations ont apporté un éclairage nouveau sur les vestiges. Il s'agit dans un premier temps de la redécouverte d'un autel, mobilier liturgique déjà décrit par Christophe Cousin, mais dont l'étude a démontré qu'il résultait d'un seul état constructif. Trois couches d'enduits successives sur ce dernier, à ses abords et sur le mur gouttereau nord attestent du décor intérieur de la chapelle.

Par ailleurs, les rares éléments mobiliers trouvés contre la couche de décalcification elle-même positionnée contre le substrat rocheux permettent d'appréhender de façon sporadique l'occupation antérieure à la chapelle. Une fibule, caractéristique de la période antique, datant probablement du II^e siècle de notre ère a pu être retrouvée. Quelques tessons de céramique et la présence de monnaies permettent également d'affirmer une occupation médiévale, sans pouvoir évidemment la caractériser en l'absence de contexte stratigraphique.

Bien que modeste, cette opération archéologique a permis d'enrichir les connaissances du site de la chapelle Saint-Gengoul. Un plan-masse, une analyse du bâti sont les principaux apports. La découverte de plusieurs accès inédits permet de mieux appréhender la topographie, le plan et les liens circulatoires de la chapelle avec son environnement proche.

Des résultats corrélés à l'étude microtopographique révèlent une puissance stratigraphique maximale potentiellement inédite dans la partie ouest du site. Il semble que cette partie n'ait jamais été fouillée dans les années 70. Il faut donc envisager la découverte, à l'occasion de futures opérations, de données de qualité équivalente à celles des années 70, c'est-à-dire des couches résiduelles, parfois charbonneuses, et pourquoi pas quelques sépultures. Par ailleurs, le potentiel archéologique est également important aux abords de la chapelle. On observe en effet dans la zone périphérique de l'édifice une quantité de microreliefs, dont certains sont dans la continuité des murs gouttereaux de la chapelle.

Aperçu synthétique global de l'évolution de l'occupation du sol en forêt de Chailluz

Globalement, la synthèse des données étudiées permet à l'heure actuelle de restituer une première hypothèse d'évolution de l'occupation du sol, fondée sur des critères scientifiques interdisciplinaires et historiques solides, avec un recul jusqu'à deux millénaires, jusqu'à la période romaine (figure 33). Toutes périodes confondues, les indices d'aménagements à vocation agropastorale fossilisés sous la couverture forestière actuelle occupent un peu plus de 30 % (environ 860 ha) des surfaces à présent boisées de la zone d'étude (environ 2730 ha).

Les vestiges antiques (Fruchart 2014) se situent à l'ouest du massif forestier et se rapportent à une zone à usage agropastoral d'environ 200 hectares (zone en beige sur la figure 33 a), qui contenait quelques petits bâtiments dispersés et interprétables comme de modestes fermes (figure 33 a), étoiles

rouges). Les vestiges antiques se rapportent également, au sud / sud-est de la zone d'étude (en mauve sur la figure 33 a), à deux voies inconnues avant nos recherches et empruntées dès le début de la période romaine, provenant probablement de Besançon et se rejoignant à un carrefour au niveau de l'actuel village de Braillans.

Pour le Moyen Âge (Fruchart 2014 ; figure 33 b) les entités identifiées composent dans la partie centre-ouest du massif, une zone d'environ 200 ha (zone en brun sur la fig. 33 b), distincte des vestiges agropastoraux antiques précédents. Cet espace sensiblement triangulaire est circonscrit à l'ouest et à l'est par deux faisceaux de chemins dont l'usage médiéval est attesté par les prospections et les textes historiques. Au nord, il touche le site de la chapelle Saint-Gengoul (étoile rouge sur la crête de la forêt de Chailluz) qui comportait probablement à cette période, outre l'établissement religieux et le cimetière de la paroisse de Tallenay, quelques habitats dans sa périphérie immédiate et des surfaces à vocation agropastorale.

Sur une centaine d'hectares dans la partie nord-est de la zone d'étude, d'étroites terrasses étagées sur le haut des pentes ont été également attribuées à la période médiévale. Assurément antérieures à la période moderne (*cf.* textes et plans forestiers anciens), l'absence totale de mobilier antique au voisinage de ces terrasses incite à exclure leur utilisation à la période romaine. On suppose plutôt une exploitation par des communes au nord du massif, justifiable par un possible besoin d'étendre les territoires agricoles au-delà de la crête de Chailluz, une bonne partie des terres proches des villages ayant pu être occupée par des vignes.

L'un des deux axes de voirie antiques au sud / sud-est du massif est toujours fréquenté au second Moyen Âge ; la voie a cependant été en partie remaniée depuis l'Antiquité. Cet axe est toujours emprunté aujourd'hui (route départementale RD486), mais le tracé de la route actuelle (en bleu sur la figure 33 d) diffère sensiblement de ceux des voies antique et médiévale.

Pour la période moderne, l'étude paléoenvironnementale encore en cours permet d'approcher l'utilisation du bois et les peuplements forestiers. La forêt de Chailluz a notamment été exploitée pour la fabrication de charbon de bois, et l'analyse anthracologique des charbonnières met en évidence des espèces qui ont disparu aujourd'hui et évoque ponctuellement des types de peuplements forestiers sensiblement différents de ceux observés aujourd'hui.

Pour les siècles les plus proches de nous (XIX^e – XX^e siècles, figure 33 c et d), l'évolution de l'occupation du sol se caractérise par un reboisement conséquent des zones situées au nord-est de la zone d'étude, par une diminution significative des surfaces cultivées ou cultivables sur l'ensemble de la zone, et, parallèlement, par une poussée de l'artificialisation des sols dans la partie ouest et sud-ouest, que ce soit par la construction d'habitations ou par la mise en place de zones industrielles et commerciales (Fruchart 2014). Pour l'ensemble de la zone d'étude (3590 ha), l'actuelle occupation du sol (Corine Land Cover 2006) comprend 2750 ha de surfaces boisées (76,6 % de la zone d'étude), 525 ha de surfaces cultivées ou cultivables (14,6 %) et 315 ha de surfaces artificialisées (8,8 %). Par rapport à 1834-35, le boisement a gagné 257 ha (+ 10 % par rapport au boisement de 1834-35) et les surfaces cultivables perdu 559 ha (-52 % par rapport à 1834-35). Les surfaces construites / artificialisées se sont beaucoup étendues, pour passer de 13 ha environ en 1834-35 à 315 ha aujourd'hui.

D'un point de vue global, notre approche intégrant des données historiques, archéologiques, géographiques et environnementales a apporté de solides indices pour identifier des dynamiques paysagères inscrites dans la longue durée, favorisant par exemple la détection de phénomènes de résilience ou, au contraire, d'instabilité. Le recul temporel peut ainsi aider à évaluer des conséquences à long terme de choix d'aménagements passés, présents ou à venir.

Partie 3 - Vers une approche comparative

Les résultats de l'approche exploratoire pluridisciplinaire (archéologie, histoire, géographie, sciences environnementales), mise en place dans l'étude de l'évolution de la forêt de Chailluz (25), ont pu être comparés avec ceux obtenus dans d'autres programmes de recherches. Dans cette partie nous ne présenterons que les cas d'études qui ont fait l'objet de recherches significatives et nous renverrons le lecteur à la liste des publications et travaux universitaires pour les autres.

Au niveau national, trois programmes ont été particulièrement liés à l'ODIT (figure 1) :

- Le programme débuté dans les années 2000 et portant sur la forêt de Haye (54). Il est précurseur dans le domaine de l'archéologie sous couvert boisé avec la mise en place d'une acquisition LiDAR dès 2007 et le recours à des analyses environnementales.
- Le programme d'étude de l'occupation des territoires entre Morvan et Arroux (71) de la Préhistoire au Moyen Âge a bénéficié d'une seconde couverture LiDAR en 2012 (après celle sur Bibracte et ses alentours en 2007). Il a ainsi vu une augmentation significative de ses connaissances des milieux boisés concernés.
- Le programme SOLiDAR - diachronie de l'occupation du sol : télédétection LiDAR en forêt de Chambord, Boulogne, Russy et Blois (41), dont la MSHE est partenaire est une retombée directe du programme ODIT au sein duquel ce nouveau projet a été préparé suite aux rencontres TRAIL 2014, via des réunions, des séminaires communs et des visites de terrains. Ce programme a débuté à la fin de l'année 2014 et s'appuie notamment sur les résultats de l'ODIT pour mettre en place ses processus analytiques.

La démarche comparative a permis, dans un premier temps, de mettre en place un transfert de compétences méthodologiques. De plus, il a été possible de tester des hypothèses de recherche sur différents territoires n'ayant pas les mêmes conditions géomorphologiques et sylvicoles et, surtout, n'ayant pas les mêmes trajectoires historiques. Enfin, la variété et le volume important de données générées nous ont permis d'engager des réflexions à large échelle, portant par exemple sur les effets de l'anthropisation sur les sols ou la mise en place de référentiels communs pour la description des structures et des activités anthropiques.

Dans le cadre de ce bilan, il apparaît nécessaire de présenter ces zones d'études et les programmes de recherches qui leur sont consacrés. Ces courts textes sont ainsi l'occasion de présenter différentes approches et problématiques de recherches et ainsi mettre en lumière les principaux résultats obtenus dans les différents programmes.

Par ailleurs, pour clore ce chapitre, un texte sur une analyse des parcelles viticoles de la colline de Bregille à Besançon a été intégré. Ce secteur ne faisait pas partie des zones comparatives à proprement parler, mais a bénéficié du soutien de l'ODIT dans le cadre d'un mémoire de Master.

La forêt de Haye (54)

Le massif forestier de Haye en Lorraine, grand massif de 12 000 ha, est exploré depuis une quinzaine d'années par une équipe d'archéologues, de forestiers et d'écologues et a bénéficié d'un levé lidar en 2007 (Georges-Leroy *et al.* 2012a et b, 2014) (figure 34). Surplombant l'agglomération de Nancy, il se déploie sur le territoire d'une vingtaine de communes et se répartit entre 7000 ha de forêt domaniale, 3500 ha de forêts communales et quelques bois privés. Il est implanté sur un plateau en bordure de la *cuesta* des Côtes de Moselle, qui est entaillé par de profonds vallons et est limité au nord, à l'est et au sud par de fortes côtes. La majeure partie des terrains se localise sur les calcaires oolithiques du Bajocien, recouverts de placages limoneux-argileux à sableux d'épaisseur et d'étendue variable.

Le massif forestier recèle de nombreux vestiges archéologiques dont la connaissance a été grandement renouvelée par la télédétection lidar : structures agraires et parcellaires, voies et chemins, établissements ruraux antiques, sites de hauteur fortifiés protohistoriques, zones d'extraction du minerai de fer ou du calcaire, etc. Les terrains peu épais de ce plateau ont dû être épierrés lors de leur mise en culture durant l'Antiquité, ce qui a permis la conservation d'un parcellaire fossile sous la forme de murées (longs pierriers) et talus. Ce parcellaire, irrigué par un réseau hiérarchisé de voies, est parsemé de nombreuses fermes et hameaux et se développe sur une surface d'environ 6000 ha (figure 35).

À la fin de l'Antiquité la forêt se réinstalle, comme en atteste l'état de conservation des vestiges. Les textes mentionnent cette forêt au moins à partir du XII^e siècle, les références plus anciennes étant sujettes à caution. Ils donnent l'image d'un très grand massif au Moyen Âge, sans qu'il soit possible d'en préciser l'emprise exacte. On peut estimer qu'au début du XVII^e siècle sa superficie est sensiblement la même que nos jours, à l'exception de ses marges. Des traces de culture datables du Moyen Âge et de l'époque moderne ont toutefois été mises en évidence sur environ 2000-2500 ha et témoignent d'importants défrichements par les communautés villageoises implantées sur le pourtour de l'actuel massif forestier.

Les travaux de l'équipe explorent plusieurs axes :

- les traces agraires et parcellaires : description des formes de base présentes dans le massif, étude de la formation de ces structures et identification, morphologie des organisations parcellaires avec une approche chronologique, la datation de ces structures étant un point extrêmement délicat ;
- l'habitat antique : typologie de l'habitat, répartition spatiale, intégration au sein des espaces agraires et connexion avec le réseau viaire ;
- l'apport de ces vestiges à l'histoire de l'occupation du sol, en étudiant notamment les ruptures profondes qu'apporte le retour de la forêt sur des espaces qui étaient ouverts durant l'Antiquité : évolution du rapport habitat/espaces cultivés, transformation du réseau viaire, etc.
- l'impact de ces occupations anciennes sur la biodiversité actuelle : modifications chimiques et de texture des sols dues à la mise en culture ancienne et à la présence des fermes, impacts sur la flore et les insectes, etc.

Les territoires entre Morvan et Arroux (71)

Débuté en 2008, ce programme de recherche a pour objectif de documenter, par le moyen de prospections archéologiques, le territoire environnant les villes antiques de Bibracte et d'Autun (Nouvel dir. 2013). Il s'agit d'une région rurale, parcourue par la vallée de l'Arroux et dominée à l'ouest par les massifs montagneux et forestier du Morvan, à l'est par le plateau dit d'Antully couvert par la forêt de Planoise. C'est là que se sont succédé les deux capitales de la cité des Eduens, Bibracte à la fin de l'époque gauloise, Autun à partir du changement d'ère. Ce programme associe des prospections terrestres à large échelle et des opérations d'acquisitions géophysiques plus ponctuelles. Depuis deux ans, elle collabore aussi à d'autres programmes d'étude (comme celui concernant les carrières de meules des Eduens ou encore l'étude des sites castraux morvandiaux) afin de disposer de données fines sur un territoire suffisamment vastes et une période longue pour permettre des confrontations à large échelle (Nouvel et Thivet à paraître). Elle s'appuie pour cela sur des travaux universitaires multiples, concernant l'acquisition des données et leur exploitation en particulier pour les périodes antiques, médiévales et modernes.

Ces trois années d'acquisition ont été marquées par le développement et l'intensification des prospections en sous-bois, exploitant ou non des acquisitions LiDAR antérieures (Nouvel et *al.* 2015a). Jusque-là, une bonne part des activités se concentraient sur les espaces ouverts, labours et pâtures. Cependant, les particularités de la région, en particulier la présence d'un couvert forestier de l'ordre de 70 % dans le haut Morvan, 30 % seulement dans la plaine d'Arroux, nécessitaient une approche complémentaire et spécifique. Grâce aux financements du programme FEDER ODIT, les prospections ont été très largement développées dans ces derniers terrains. Elles se sont plus particulièrement

concentrées sur deux types de couverts très distincts (figure 36). À l'ouest, dans le massif montagneux, environ mille hectares ont été parcourus dans les forêts régénérées du Faulin et du Prénéley. Si les découvertes y sont rares (pour partie à cause des travaux d'énrésinement qui ont largement arasé les sites), plusieurs nouveaux établissements antiques ont pu être reconnus, confirmant l'occupation de ces zones d'altitude à cette période. Tout cela complète les découvertes faites sous ce même couvert aux alentours des sources de l'Yonne, où une agglomération de l'époque de Bibracte avait été découverte puis étudiée dans le cadre du programme Bibracte entre 2003 et 2008 (Moore et al. 2013 ; Nouvel et al. 2015b).

Par ailleurs, dans le cadre des stages annuels du master ACTE (cohabilité Dijon/Besançon) les prospections ont été consacrées à l'étude de quelques bois de plaine (plus particulièrement ceux des communes de La Grande-Verrière, Monthelon, Autun et Tavernay) et à l'exploitation des couvertures LiDAR des forêts de Planoise dominant, au sud, la ville antique d'Autun. Les méthodes traditionnelles de prospection à vue et de positionnement GPS réalisés ont permis de confirmer que dans certaines coupes de bois, même réduites en superficie, conservaient, à l'image de certaines forêts des plateaux calcaires de Bourgogne ou de Franche-Comté, quelques vestiges antiques intacts. Si la plupart d'entre eux ont fait l'objet d'un arasement pour mise en culture à une époque probablement assez récente, le *Bois des Crots* (commune de Monthelon) a livré des structures très bien conservées, qui forment un ensemble archéologique majeur (figures 37 et 38, deux sites ruraux romains, voie Autun-Bourges). Parallèlement, en s'appuyant ici sur le PCR « matériel de Mouture » piloté par O. Buchsenschutz et L. Jaccottey, il a été mené l'étude complète du bois de « Vautheau » (commune de la Grande-Verrière), permettant la localisation de carrières de Vauugnérîte et celle des multiples cavées permettant le passage de la voie antique et médiévale Autun – Val de Loire (figure 39).

Le stage 2015 a quant à lui été entièrement consacré à l'exploitation des fonds LiDAR disponibles sur le nord de la *Forêt de Planoise*, au sud d'Autun (figure 39). L'analyse systématique des anomalies visibles a permis de parcourir au total près de 500 ha, permettant la découverte d'ensembles remarquables autant que méconnus (figure 40).

L'exemple de la zone dite de *Montmain* montre la densité des observations réalisées et des découvertes que l'on peut attendre, pour toutes les périodes, de ce genre de travaux aux alentours d'Autun. Au-delà de l'étude d'un réseau d'établissements ruraux protohistoriques, antiques et médiévaux jusque-là presque insoupçonné, les informations acquises sur les réseaux de circulations, l'approvisionnement en eau de la ville antique (aqueduc de Montjeu) et l'approvisionnement en pierres et en charbon de bois promettent des développements très intéressants et dont la diffusion scientifique a largement débuté (Labaune et al. 2014).

Enfin, en ce qui concerne les sites médiévaux conservés en sous-bois, un travail d'étudiant de master a permis de faire l'état des connaissances sur la période médiévale et le début de la période moderne, en confrontant les données archéologiques aux données archivistiques et architecturales (Chevassu dir. 2015). L'étude particulière de deux châteaux du Moyen Âge central, sous couvert forestier (Vautheau, commune de La Grande-Verrière, Saône-et-Loire ; Touleur, commune de Larochemillay, Nièvre) a été menée par le biais de relevés microtopographiques, de prospections de chablis et d'études de bâtis encore en élévation sous bois. Tout cela a débouché sur une publication de synthèse de grande valeur (Chevassu dir. 2015).

Les massifs forestiers de Blois, Boulogne, Russy et le domaine de Chambord (41)

Les forêts domaniales de Chambord, Boulogne, Russy et Blois forment un massif de près de 25 000 ha au sein duquel le domaine de Chambord a été créé entre 1522 et 1650. Des prospections archéologiques de surface, menées par Louis Magiorani en lien avec le SRA région Centre pendant 10 ans, ont livré des traces d'occupation depuis le Néolithique (<http://www.archeoforet.org/>). Il a ainsi été recensé plus de 700 sites archéologiques et environ 300 km de parcellaire.

Le programme SOLiDAR engagé fin 2014, porte sur l'étude de la dynamique de l'occupation humaine de ce territoire des origines à nos jours, à partir d'une campagne de télédétection LiDAR de 270 km² (fig. 41).

Les protocoles de validation de l'acquisition LiDAR et le traitement des données sont directement issus des avancées méthodologiques développées dans le cadre du projet ODIT.

Le programme n'en est qu'à son début, cependant, un certain nombre d'objectifs a déjà été clairement affiché :

- Elaborer les protocoles de traitements et d'analyses des données afin de révéler les anomalies microtopographiques permettant de détecter des paléoreliefs naturels et anthropiques constitutifs de l'histoire des paysages : paléochenaux, anciens aménagements, traces d'anciennes occupations du sol sous couvert forestier.
- Constituer une base de données spatiale dans un système d'information géographique en croisant l'ensemble des sources à disposition avec les données LiDAR.
- Conduire des analyses fines pour comprendre les modalités de transformation des paysages par l'étude de la géomorphologie, des occupations et des relations sociétés-milieux.
- Définir un prototype de médiation des résultats pour le public.

Les sites, d'ores et déjà reconnus par la prospection pédestre, représentent une grande diversité d'occupations et d'activités : des structures défensives (mottes castrales, enceintes, camps militaires ?), des édifices cultuels (fanums, prieurés, chapelles), des attestations funéraires (qui semblent très nombreuses : nécropoles tumulaires, tumulus isolés et petites tombelles ?), des habitats groupés ou isolés (hameaux, anciennes métairies, loges de charbonniers ou de bûcherons, etc.), des installations artisanales (sites d'extraction et ateliers métallurgiques, moulins, tuileries, briqueteries, etc.), des équipements hydrauliques (digues et étangs, puits, etc.), des voies de communication et des moyens de franchissement (ponts), des trames parcellaire (fossés, talus) (figure 42), des vestiges de pratiques agricoles (planches de labour (figure 43), auxquels s'ajoutent de nombreuses anomalies d'origine anthropique (amas de pierres de type cairn).

Les terrasses viticoles de Besançon

Ce secteur n'est pas à proprement parler intégré dans la liste des sites comparatifs inclus dans le chantier CHEF de l'ODIT. Toutefois, cette étude pluridisciplinaire, qui a été réalisée sur le quartier de Bregille à Besançon, révèle un certain nombre de vestiges nous permettant de nous interroger sur les dynamiques paysagères des espaces occupés plusieurs siècles par une monoculture prospère (la viticulture) jusqu'à son abandon total et une reconquête du milieu forestier.

En effet, la culture de la vigne est connue depuis le XII^e siècle à Besançon. Elle était une ressource importante au Moyen Âge et employait alors la majeure partie de la population (figure 44). Cependant, le XIX^e s. puis le XX^e s. ont vu l'abandon quasi-total de cette activité. Les anciens espaces consacrés à la viticulture sont aujourd'hui largement occupés par le bâti urbain et la forêt.

L'analyse du relevé LiDAR, acquis dans le cadre du programme LIEPPEC, a mis en évidence de nombreux vestiges de l'activité viticole, ces données complètent la documentation qui avait été fournie par les techniques de télédétection habituelles (photographies aériennes, images satellites). Grâce au LiDAR plus de 500 entités, majoritairement linéaires, ont été révélées sur l'ensemble du secteur de Bregille (figure 45).

Les prospections, réalisées à la suite de l'analyse du relevé LiDAR, ont confirmé l'emplacement de ces entités et en ont révélé leur fonctionnalité. Les formes linéaires correspondent sur le terrain à des murets en pierres sèches appartenant à un paysage de terrasses viticoles. Les formes rectangulaires ont été associées à des éboulis de roches calcaires, c'est-à-dire des zones d'épierrement. Les prospections ont révélé de nouveaux aménagements, non détectables sur le relevé LiDAR, tels que les cabordes (cabanes de vigneron), éléments typiques de la viticulture bisontine. De plus, un important réseau de connexion à l'intérieur des terrasses a été révélé, constitué par des escaliers entre les murets. Enfin, l'analyse de ces murets a permis d'entrevoir leur impact sur l'organisation parcellaire actuelle.

Le corpus mobilisé a permis de démontrer la diversité des ouvrages en pierres sèches et leur complexité. L'apport du LiDAR et des prospections a remis en avant la valeur du patrimoine viticole bisontin, autrefois enfoui en partie sous les forêts bisontines et oublié (figure 46).

Partie 4 – transfert et valorisation

Les recherches menées dans le cadre du chantier CHEF ont fait l'objet de valorisation et d'opérations de transfert sous différentes formes et à destination de publics variés.

Sur le plan académique

Outre les publications (voir annexe 1), la diffusion des connaissances et des méthodes originales développées dans le chantier a été assurée dans le cadre de rencontres nationales et internationales, soit sur invitation des membres de l'équipe, soit coorganisées par l'équipe. Parmi les contributions sur invitation, on soulignera l'attractivité du projet pour les collectivités (par exemple le CRAIG, Centre régional Auvergnat de l'Information géographique, à Clermont-Ferrand) et sur le plan académique, pour des disciplines hors SHS telles que l'écologie du paysage (formation de haut niveau sur le paysage à l'Observatoire des Sciences de l'Université de Rennes), les sciences de la terre et la physique (par exemple, formation de master à l'Institut de Physique du Globe de Paris, école d'été « Lidar en géophysique » organisée par trois laboratoires de l'INSU-CNRS, Polytechnique et MétéoFrance).

Au niveau international, outre l'organisation d'une session particulière *Archaeology in the Woods: New Technologies, New Perspectives* par notre équipe en collaboration avec des collègues étrangers⁷ dans le cadre de la conférence internationale CAA2014 qui a eu lieu à Paris du 22 au 25 avril 2014 (<http://caa2014.sciencesconf.org/>), nous mentionnerons le succès des deuxièmes rencontres internationales *TRAIL 2014 Training and Research in the Archaeological Interpretation of Lidar* qui ont eu lieu à Frasne (Doubs) du 26 au 28 mars 2014. Lors de ces rencontres, nous avons accueilli 57 chercheurs, acteurs de la gestion forestière et du patrimoine venant de 17 pays différents. Deux entreprises spécialisées dans la télédétection aéroportée y ont également participé en tant que partenaires : Helimap System (Epalinges, Suisse) et L'avion Jaune (Montpellier, France). Les spécialistes de télédétection LiDAR appliquée à l'archéologie et de l'archéologie sous couvert forestier ont pu présenter les dernières avancées méthodologiques et échanger sur les différentes manières d'appréhender et d'intégrer les résultats des prospections LiDAR. Ces échanges se sont déroulés sous la forme d'un mini-colloque, d'une série de 4 ateliers menés en parallèle, ainsi que d'une table-ronde visant à proposer des actions communes d'analyse et de valorisation du patrimoine forestier. Le programme détaillé et les présentations ont progressivement été mis en ligne, avec des liens depuis le site web de l'ODIT (<http://odit.hypotheses.org/>). Eu égard au succès rencontré par ces rencontres, nous avons été incités à organiser de nouveau ces journées dans le cadre du programme SOLiDAR (cf. ci-dessous). Elles se tiendront en mai 2016 au Château de Chambord⁸.

En termes de retombées, ces activités de valorisation scientifique se sont traduites par des invitations à collaborer de plusieurs partenaires (français, anglais, irlandais, allemands), avec une contribution au dépôt de 5 projets, dont 4 européens (Cost, Interreg, JPI Heritage plus, H2020⁹). Le projet obtenu *SOLiDAR « Diachronie de l'occupation du sol : télédétection LIDAR en forêt de*

⁷ Rachel Opitz (France-USA), Kasper Hanus (Pologne), Clement Laplaige (France), Benjamin Stular (Slovénie)

⁸ <https://www.intelligencedespatrimoines.fr/journees-de-travail-internationales-trail-2016-formation-et-recherche-pour-linterpretation-archeologique-des-donnees-lidar/>

⁹ ArcFOR « Recording and preserving archaeological heritage in forests » - COST, project leader Mr H. Kenzler University of Bamberg (Institute of Archaeology, Heritage Sciences and Art). Candidature 2013 sans succès.

Change D « Change Detection for protection – automating monitoring mechanism to inform strategic management and policy for cultural heritage landscapes » - JPI Heritage Plus and Global Change, project leader Mr D. Cowley Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Scotland (RCAHMS). Candidature 2014 sans succès.

RemainAlps « Sustainably valorise Alpine Space cultural and natural heritage » - Interreg, project leader Mr J.-M. Bourmignat, IRSTEA Grenoble regional centre, Mountain Ecosystem Research Unit (EMGR). Candidature 2015 sans succès.

Identity - H2020-REFLECTIVE-6-2015, project leader Mr M. Ó Siochru, College of the Holy and Undivided Trinity of Queen Elizabeth near Dublin. Candidature 2015 sans succès.

Chambord, Boulogne, Russy, Blois »¹⁰ a permis de faire employer un des jeunes docteurs de l'équipe en post-doc (C. Laplaige, 30 mois) et d'obtenir un financement de thèse pour une stagiaire de master (A. Crozet).

Collaborations interinstitutionnelles et valorisation patrimoniale

Les recherches autour de Chailluz ont aussi été l'occasion de développer des collaborations interdisciplinaires et intersectorielles qui prennent en compte le point de vue de chercheurs (archéologues et historiens, environnementalistes), de professionnels de la gestion forestière (Organisme National des Forêts – ONF, Services des Espaces verts de la Ville de Besançon), de professionnels de la gestion du patrimoine (Service régional de l'Archéologie du ministère de la Culture et Service municipal d'Archéologie préventive de la Ville de Besançon) et celui de la société civile, via des associations locorégionales de valorisation patrimoniale (ARESAC, AVALFORT).

Une part de temps conséquente de l'équipe a été consacrée à créer des liens entre ces différents intervenants et interlocuteurs. Par ailleurs, un effort important a été déployé pour mener des actions de sensibilisation et d'information à destination d'un public non spécialiste d'adultes et d'enfants. Ainsi, à la demande de nos partenaires, notamment l'ONF, de la Ville de Besançon et de communes du Grand Besançon, plusieurs conférences et visites sur site ont été organisées en soirée et en week-end. Enfin, la valorisation du site et la consolidation des vestiges de la chapelle Saint-Gengoul mis à jour ont été assurées par des travaux menés durant l'été (entreprise API25), dans le cadre d'un chantier d'insertion financé par la Ville de Besançon et supervisé par le Service des Espaces Verts (figure 47). La chapelle étant située sur un chemin de randonnée très fréquenté, un panneau d'information dont la réalisation est envisagée avec les services de la Ville de Besançon, rendra compte d'une partie des travaux de recherche effectués sur le massif de Chailluz dans le cadre de ce programme. La valorisation porte sur les deux dimensions patrimoniales : historique et environnementale (par exemple dans le cadre des rendez-vous Nature et Culture de la Ville de Besançon).

D'autres projets de valorisation à portée plus générale et associés à des recherches méthodologiques pour optimiser l'interprétation des données archéologiques et paysagères sont envisagés dans la préparation de deux projets post-doc et de projets exploratoires. Il s'agit notamment d'associer des techniques de visualisation 3D et acoustiques pour développer une approche multisensorielle qui puisse aider à mieux percevoir et interpréter la valeur des paysages étudiés. Les applications envisagées seraient donc à la fois scientifiques et transférables au grand public.

Transfert de connaissances et expertise au monde socioéconomique

Les travaux développés dans le cadre du chantier CHEF ont déjà fait l'objet d'opérations de transfert de connaissance et d'expertise en direction du monde socio-économique. On mentionnera trois opérations importantes.

Formations professionnelles CNRS Formation Entreprises

Depuis 2012, six sessions de formation « LiDAR : initiation au traitement des données et à l'interprétation archéologique¹¹ » organisées dans le cadre du réseau national ISA (Information Spatiale et Archéologie) par la MSHE et ses partenaires à Besançon, Montpellier et Tours (France).

Les formations se sont appuyées en grande partie sur les données produites et les expériences menées dans le cadre du chantier CHEF. Pour les trois formations qui ont eu lieu à Besançon, la pratique sur le terrain a été réalisée en forêt de Chailluz, zone pilote du programme (figure 48).

¹⁰ Financement région Centre, Domaine national de Chambord, DRAC Centre), porteur du projet X. Rodier, laboratoire Citeres UMR 7324, Université F. Rabelais Tours.

¹¹ http://cnrsformation.cnrs.fr/liste_stages.php?axe=66

Il s'adresse aux techniciens, ingénieurs, chercheurs et professionnels de l'archéologie qui débutent ou souhaitent développer un projet impliquant des données LiDAR ou qui sont chargés d'expertiser des projets incluant la technologie LiDAR. Les formations ont rassemblé plus de 43 stagiaires venant de tout le territoire national et de Belgique, issus de disciplines variées (archéologie, géographie, écologie) et de plusieurs institutions publiques et entreprises privées (figure 49).

Programme de la formation initiation au traitement des données et à l'interprétation archéologique (8h de cours et 16h de travaux pratiques)
- Introduction à la technologie LiDAR : apport du LiDAR à l'archéologie (présentation de cas d'étude liés à des projets de recherche ou de gestion du patrimoine), bases technologiques et méthodologiques, montage d'un projet d'acquisition, coût des prestations
- Visualisation des données LiDAR : format et gestion des données (types de fichiers), appropriation d'un logiciel de visualisation 3D, visualisation 3D des données brutes et filtrées, traitements basiques de visualisation du MNT LiDAR, détection de structures sur les données LiDAR
- Traitement des données brutes LiDAR : présentation des méthodes courantes de filtrage
- Modélisation topographique (MNT-MNS) : passage d'un nuage de point au format raster (création de MNE et MNT)
- Analyse des biais dus à l'enregistrement des données
- Analyse des biais dus au traitement des données brutes
- Pratique sur le terrain : repérage de structures topographique sur le terrain : identification et confrontation des perceptions sur le MNT LiDAR et sur le terrain
- Visualisation des données LiDAR, techniques complémentaires : présentations de plusieurs techniques avancées et d'outils pour la visualisation des MNT, mise en pratique et test des traitements présentés sur un même jeu de données
- Enregistrement et gestion des données détectées : stratégies d'enregistrement des anomalies détectées, digitalisation, élaboration d'une base de données détectées (métadonnées...), intégration avec d'autres types de données :

Expertise-conseil pour l'ONF

Une mission de doctorant conseil effectuée par C. Fruchart en 2012 à l'Office National des Forêts (ONF) a permis de reprendre et finaliser un travail de recensement, éventuellement de numérisation et de reversement partiel aux Archives Départementales du Doubs des cartes anciennes conservées par l'ONF. Il a également permis de fournir à l'Unité Territoriale de Besançon des données géoréférencées sur le patrimoine naturel et anthropique des forêts à partir des données LiDAR Lieppec (cartographie des entités archéologiques détectées, notamment des chemins anciens, cartographie précise des dolines, calcul de hauteurs d'arbres). Ceci répond à un objectif de l'ONF de préservation patrimoniale, notamment du patrimoine archéologique présent dans les forêts sous sa gestion. Enfin, il a permis de réaliser le transfert des données numériques générées en collaboration avec les services responsables du Système d'Information Géographique à l'agence de Besançon et au niveau régional pour permettre leur utilisation sur les outils informatiques à la disposition des personnels (logiciel Canopée développé par l'ONF, logiciels de SIG).

Le modèle de calcul de la hauteur des arbres (*cf.* encadré ci-dessous) et la méthodologie développée pour évaluer le patrimoine archéologique ont été réalisés dans le cadre du programme ODIT pour fournir à l'ONF un outil pratique de gestion pouvant les guider dans leur objectif de préservation du patrimoine des forêts (annexe B).

Modèle de calcul de la hauteur des arbres

1 - un modèle numérique de surface qu'on a appelé (MNS_{hmax}) d'une résolution 1 pixel = 50cm a été réalisé de manière à représenter pour chaque pixel la valeur maximale d'élévation enregistrée à partir du relevé LiDAR. Ce modèle permet donc de connaître la plus grande valeur d'élévation par maille de 50cm x 50cm



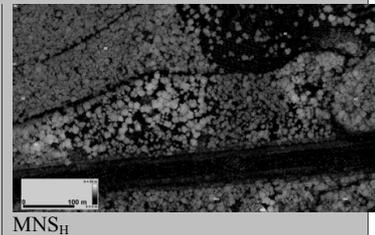
2 - Le modèle numérique de terrain (MNT) fourni par la société Aerodata à l'issue du relevé LiDAR réalisé en 2009 permet de connaître la valeur d'élévation au niveau du sol par maille de 50cm x 50cm. On considère que ce MNT restitue avec une fiabilité suffisante les variations altimétriques du sol nu. Cette fiabilité a été vérifiée en de nombreux endroits directement sur le terrain au cours de prospections archéologiques destinées à mettre en évidence des entités archéologiques résiduelles sous couvert forestier.



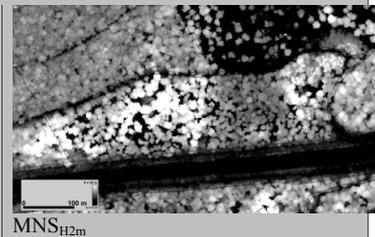
3 - Pour connaître la hauteur des éléments situés au-dessus de la surface du sol, on effectue la soustraction pixel par pixel des valeurs d'élévation entre les deux modèles précédemment cités : $H_n = Z_n (MNS_{hmax}) - Z_n (MNT)$

où H_n est la hauteur recherchée en un pixel (n) de l'élément au-dessus du sol, $Z_n(MNS_{hmax})$ est l'élévation du modèle numérique de hauteur maximale MNS_{hmax} à l'emplacement du pixel (n) et $Z_n (MNT)$ est la valeur d'élévation du MNT à l'emplacement du pixel (n).

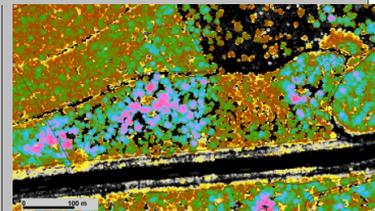
On obtient ainsi un modèle numérique de hauteur des éléments au-dessus du sol par maille de 50cm x 50cm qu'on a appelé MNS_H



4 - Pour faciliter la lecture des données et donner une approche plus synthétique des hauteurs tout en respectant une échelle de résolution adaptée aux dimensions d'un houppier, la résolution du modèle numérique a été modifiée pour passer d'une maille de 50cm x 50cm à une maille de 2m x 2m, en choisissant toujours la valeur d'élévation maximale parmi les 16 pixels pris en compte pour le calcul de chaque maille de 2m x 2m. Cette taille de maille de 2m de côté a été choisie à partir de l'observation des dimensions des sommets des houppiers de grands feuillus tels qu'on peut les voir par LiDAR. Le modèle numérique obtenu est appelé MNS_{H2m}



5 - Les hauteurs indiquées sur MNS_{H2m} sont ordonnées en 32 classes de hauteurs, permettant ainsi de mettre en évidence visuellement les variations des hauteurs de la végétation (cf. description donnée en page 1). Les hauteurs restituées sont exprimées en 32 classes symbolisées par des couleurs. Les nuances de gris/noir représentent les hauteurs les plus basses, de 0m à 8m ; les tons de jaune correspondent aux hauteurs comprises entre 8m et 13m ; les tons de bruns de 13m à 18-19m ; les nuances de verts 18-19m à 24m ; les bleus de 24m à 28-29m ; les tons de rose de 28-29m à 40m. Les hauteurs entre 40m et 45m sont représentées en rouge, et les hauteurs supérieures à 45m sont éliminées (points correspondant par exemple à un oiseau en vol).



Retour d'expertise sur projet innovant de la PME L'avion Jaune (Montpellier)

Grâce à nos travaux en termes de traitement des données lidar, appliqué à l'archéologie sous couvert forestier, l'équipe a été sollicitée par la Société l'Avion Jaune (Montpellier) pour contribuer à son projet d'innovation technologique YellowScan (soutenu par OSEO Région Languedoc) visant à miniaturiser un système lidar embarqué sur un drone. Notre participation a consisté à préparer avec l'Avion Jaune, un vol test d'acquisition Lidar sur les sites archéologiques de Nages et de Roque de Viou, situés sous couvert forestier méditerranéen, et d'assurer des acquisitions de terrain complémentaires (laser terrestre, GPS, photogrammétrie) en collaboration avec deux autres laboratoires de Nice et Montpellier.

La mission a eu lieu en novembre 2013 (figure 50) ; le traitement conjoint des données et notre retour d'expertise ont été réalisés sur le premier semestre 2014, avec une restitution des résultats le 15 mai 2014 en téléconférence Montpellier-Besançon (Annexe C).

Le système Lidar YellowScan est désormais un produit commercialisé partout dans le monde par l'Avion Jaune et les entreprises Autonomoustuff, Microgeo srl, Terrasurvey Pty (Ltd), Grupo Alava Ingenieros. Pour plus de détail voir le site dédié à YellowScan : <http://yellowscan.lavionjaune.com>

Valeur ajoutée entre chantiers et valorisation des données à références spatiales produites en conformité avec la loi INSPIRE

Carte d'occupation du sol : un axe transversal D2PE - CHEF

L'expertise développée dans le chantier CHEF par Catherine Fruchart a été mobilisée pour compléter l'approche développée par le chantier D2PE pour la production de carte d'occupation des sols (Figure 5). Après avoir précisé ce qu'était une zone arborée, un travail de photo-interprétation et la cartographie des zonages ont été réalisés dans un Système d'Information géographique, ce qui permet d'observer entre deux dates (1956 et 2008), une continuité du boisement en vert, la conquête forestière en jaune et les déboisements en rouge (figure 51).

Le protocole de cartographie des variations du boisement de référence (2008) identifiables sur les clichés de 1984 et 1956 a été défini en concertation avec le chantier D2PE. La définition de « zone arborée » retenue correspond aux bois de plus de 500 m² et aux forêts ouvertes, landes, vignes et vergers de plus de 5000 m². Les sélections ont été effectuées de façon à donner une vision représentative du paysage : structure principale d'un réseau dense de haies (largeur supérieure à 10 m) et exceptionnellement, sélection de bosquets en zone urbaine et en zone de végétation clairsemée (maquis, jardins ouvriers, etc.). Le principe de vectorisation sur SIG s'effectue sous la forme de polygones pour tout élément constitué principalement de ligneux qui répond aux critères suivants : zone d'une largeur minimum de 10 m, espacement minimal entre deux forêts de 10 m, échelle de vectorisation au 1 : 5000 et Unité minimale de Collecte (UMC) de 500m²

Au-delà de la cartographie des variations de du boisement, l'analyse fine de l'évolution et de la structuration de la couverture forestière en 1956, 1984 et 2008 a permis d'identifier des variations dans les formes de boisement aux différentes périodes : changements de densités ou de géométrie, par exemple. Elle a également permis d'observer des processus de déboisement / reboisement à l'échelle locale. Malheureusement une analyse de détail pour établir une typologie précise n'a pas pu être finalisée à ce jour.

Valorisation des données à références spatiale : contribution à l'Infrastructure de Données Géographiques (IDS)

L'équipe du chantier CHEF a largement contribué à la mise en place d'un outil commun de valorisation et d'échange de données à références spatiales – IDS – produites dans le cadre de l'ODIT, en initiant ce projet transversal, en contribuant au cahier des charges et en participant aux tests des solutions mises en place (voir rapport sur l'IDS).

Par ailleurs, un effort particulier d'inventaire et de mise en forme des métadonnées produites (acquisitions, numérisations, traitements et analyses) a été réalisé pour publier les informations dans le Géocatalogue Cargos, <http://cargos.huma-num.fr/> (voir rapport sur les actions transversales).

Les annexes sont mises en ligne sur le site : <http://odit.hypotheses.org/chef>

Catalogue des figures

Figure 1. Carte de localisation des zones d'études du chantier Construction Historique des Espaces Forestiers. MNT IGN ® MSHE C.N. Ledoux, SIG et CAO : C. Fruchart, ODIT-CHEF 2014.	308
Figure 2. Carte de localisation de la zone d'étude pilote : Forêt de Chailluz à Besançon. Limite communale en blanc, Modèle Numérique de Terrain et du Bâti. Visualisation des données par ombrage simple (azimut 315°, élévation 45°) LIEPPEC ® MSHE C.N. Ledoux, SIG et CAO : C. Fruchart, ODIT-CHEF 2014.	308
Figure 3. Démarche méthodologique générale. © ODIT MSHE Ledoux, clichés C. Fruchart, L. Nuninger, D. Daval , © CNRS Photothèque, cliché FRESILLON Cyril. Conception et DAO : L. Nuninger, ODIT-CHEF 2013.	309
Figure 4. Approche comparative multi-scalaire. Conception et DAO : L. Nuninger, ODIT-CHEF 2013.	309
Figure 5. Village médiéval de Saint-Gengoul (A), limite parcellaire (B) et ronds de charbonnier (C) en forêt de Chailluz, Besançon (Doubs). Le MNT est traité à l'aide de l'algorithme Sky View Factor ® K. Zaksek, K. Oštir et Ž. Kokalj (IAPS, ZRC SAZU, Slovénie). Orthophotographie et MNT LIEPPEC ® MSHE C.N. Ledoux, L. Nuninger, R. Opitz 2009.	309
Figure 6. Principe du système laser aéroporté <i>LIDAR</i> (<i>Light Détection and Ranging</i>), (d'après Ž. Kokalj et K. Oštir, trad. L. Nuninger, LEA ModelTER ZRC SAZU-MSHE C.N. Ledoux). .	310
Figure 7. Schéma de l'acquisition des données à l'analyse archéologique : les grandes étapes (E. Fovet, LEA ModelTER ZRC SAZU-MSHE C.N. Ledoux)	310
Figure 8. Différents types de visualisation à partir d'un MNT à 50 cm issu de données lidar (8 p/m ²) sur lequel on distingue des dolines, des fours à chaux, deux habitats antiques, des chemins, des terrasses de culture et une limite forestière : A) illumination et ombrage classique (az.315°/él.45°), B) calcul de pentes, C) TPI (Jenness Enterprise), D) SVF-ZRC SAZU. MNT LIEPPEC ® MSHE C.N. Ledoux, L. Nuninger 2013.	311
Figure 9. Comparaison du plan parcellaire actuel avec celui figuré sur le plan de la forêt de Chailluz de 1738. En vignette : localisation des points d'amer pour le géoréférencement du plan de 1738 (croix blanches). Carte Archive Municipale de Besançon, MNT LIEPPEC ® MSHE C.N. Ledoux, SIG : C. Fruchart 2014	312
Figure 10. Digitalisation et superposition des plans de 1704, 1720-21 et 1738 de la forêt de Chailluz : comparaison des échelles, de l'orientation du Nord et des limites de propriété et de parcelles indiquées.	312
Figure 11. Superposition des tracés de chemins figurant sur les plans de 1704, 1720-21 et 1738. Superposition de la localisation des entités et annotations diverses figurées sur les mêmes cartes.	313
Figure 12. Segments de voies fossiles détectés au voisinage de la forêt de Chailluz à partir du LiDAR. Réseau routier figuré sur les plans de 1704, 1720-21 et 1738 après digitalisation, superposition et géoréférencement.	314
Figure 13. Localisation des entités archéologiques répertoriées sur la zone du massif de Chailluz grâce aux prospections au sol réalisées à partir des données LiDAR depuis 2010. SIG et DAO C. Fruchart 2014 – ODIT-CHEF 2014	315
Figure 14. Exemple d'informations contenues dans les bases de données se rapportant aux prospections. SIG et DAO C. Fruchart 2014 – ODIT-CHEF 2014.	316
Figure 15. Localisation des bornes royales. SIG et DAO D. Daval, C. Fruchart – ODIT-CHEF 2014	317

Figure 16. Borne monolithique en pierre calcaire blanc, armoriée découverte à Châtillon le Duc. Cliché D. Daval – ODIT-CHEF 2014	318
Figure 17. Clous antiques découverts sur la voie du marais au lieu dit la Vaivre à Saône. Cliché et DAO D. Daval – ODIT-CHEF 2014	318
Figure 18. Vue des assises de pierres conservées et dégagées lors des fouilles en avril 2015. Cliché D. Daval – ODIT-CHEF 2015	319
Figure 19. Relevé des structures, coupes microtopographiques et cartographie de susceptibilité magnétique de surface. (A. Dupin, C. Laplaige, O. Girardclos – ODIT-CHEF 2014)	320
Figure 20. Diagrammes des répartitions d'espèces végétales obtenus à partir de relevés botaniques réalisés sur le site de la chapelle St-Gengoul et dans son voisinage. MNT MSHE/LIEPPEC, Sources botaniques : O. Girardclos, P. Ruffaldi - CAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015	321
Figure 21. Plateformes de charbonnier du massif de Chailluz : localisation des 25 premiers prélèvements réalisés pour une datation radiocarbone. SIG et DAO C. Fruchart 2013 - LIEPPEC / MSHE C.N. Ledoux.....	321
Figure 22. Localisation des charbonnières CH29 et CH30 situées au sud-est du village médiéval de Saint-Gengoul. SIG et DAO D. Daval, L. Nuninger 2014 - LIEPPEC / MSHE C.N. Ledoux.	322
Figure 23. Figure 23 : Aperçu des diverses entités archéologiques détectées sur le massif forestier de Chailluz à partir des données LiDAR. SIG et DAO C. Fruchart 2014 - MSHE C.N. Ledoux / LIEPPEC-ODIT 2014.....	322
Figure 24. Première vue planimétrique de la forêt de Chailluz sur un plan du XVI ^e siècle. Gec BES 1.1 © Bibliothèque municipale de Besançon - C.Fruchart, A.Crozet - MSHE C.N. Ledoux/ ODIT, 2015.....	323
Figure 25. Plan de la forêt de Chailluz en 1738 (a) et superposition avec le plan cadstral actuel (b). Plan YC M 46 © Bibliothèque de Besançon, ©IGN BDParcellaire 2009 - SIG et DAO : C. Fruchart, A.Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015	323
Figure 26. Emplacements d'éléments remarquables du paysage relevés sur les plans anciens et schématisés. DAO A. Crozet, d'après Fruchart 2014, vol. 4, pl. VII - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015	324
Figure 27. Localisation des entités archéologiques détectées à partir du relevé LiDAR et des entités archéologiques enregistrées a la Carte Archéologique Nationale avant l'acquisition des données LiDAR sur l'occupation du sol actuel. CLC2006 - SIG et DAO C. Fruchart, A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015	325
Figure 28. Valeurs de susceptibilité magnétique à la surface d'une charbonnière : a. Valeurs de susceptibilité magnétique à la surface de charbonnières, b. Défournement d'une charbonnière. DAO A. Crozet d'après A. Dupin, C. Laplaige, O. Girardclos, fig.3, in Daval, Fruchart et al. 2014 - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015	325
Figure 29. Résultats des analyses radiocarbone : a. Valeurs des datations radioarbone (traits noirs) sur la courbe de variation du taux de 14C atmosphérique (courbe bleue) ; b. Tableau de répartition des fourchettes de datation radiocarbone (cal. AD) attribuables aux charbonnières analysées. Probabilité à 2 σ (95,4 %), calibration avec OxCal v4.2.3, courbe atmosphérique IntCal13. Auteurs: A. Dupin, C. Fruchart - DAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015.	325
Figure 30. Tableau des spectres anthracologiques de charbonnières en forêt de Chailluz (a) et répartition des diagrammes des spectres anthracologiques par charbonnière sur une carte simplifiée des stations forestières (b). Auteurs : A. Dupin, ONF - DAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015	326
Figure 31. Vue LiDAR 3D du site de la chapelle St-Gengoul et des aménagements situés dans son voisinage. MNT MSHE/Lieppecc - SIG et DAO : C. Fruchart, A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015.....	326

Figure 32. Vue de la chapelle St-Gengoul en cours de fouille en avril 2015. Cliché : D. Daval - DAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015.....	327
Figure 33. Hypothèse d'évolution de l'occupation du sol entre la période romaine et aujourd'hui. SIG et DAO C. Fruchart, A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	327
Figure 34. Emprise de l'acquisition LiDAR du massif forestier de Haye. M. Georges-Leroy, DRAC Lorraine - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015.	328
Figure 35. Vestiges Antiques en forêt de Haye.M. Georges-Leroy, DRAC Lorraine - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	328
Figure 36. Les territoires entre Morvan et Arroux. Localisation des parcelles prospectées entre 2009 et 2014. En orange, les parcelles forestières. M. Thivet, P. Nouvel, - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	329
Figure 37. Monthelon, Bois des Crots (sites 71313-83 et 84), d'après les relevés de terrain, octobre 2014. P. Nouvel, - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	329
Figure 38. Monthelon, <i>Bois des Crots</i> (sites 71313-83 et 84), d'après les relevés de terrain, octobre 2014. P. Nouvel - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	330
Figure 39. Relevé des structures observées dans le bois de Vautheau (La Grande-Verrière, L. Jaccottey del.).....	330
Figure 40. Une petite fenêtre exemplaire des acquisitions Lidar en Autunois. Les alentours de la villa romaine dite de <i>Montmain</i> , sur la commune d'Autun (Saône-et-Loire). MNT Lidar MSH de Dijon, traitement et CAO C. Laplaige.	331
Figure 41. Extension de l'acquisition LiDAR dans le cadre du programme SOLiDAR. SIG et CAO C. Laplaige, SOLiDAR - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	331
Figure 42. Forêt de Russy, Loir-et-Cher, France, Cette scène LiDAR révèle 3 trames parcellaires superposées (du sommet à la base) : (1) la trame actuelle, composé d'un rond-point en étoile et de chemins forestiers linéaires disposés de manière régulière, (2) une trame formant de grands ensembles et composée de talus et de fossés, (3) une trame plus resserrée, formée par des talus. C. Laplaige, SOLiDAR.....	332
Figure 43. Chambord, France, Planches de labours vues sur une coupe du nuage de points LiDAR. C. Laplaige, SOLiDAR.....	332
Figure 44. Besançon, Doubs. Emprise viticole au XVIème s. SIG et CAO C. Zimmer - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	333
Figure 45. Types de structures identifiées sur la donnée LiDAR (SVF). MNT LIEPPEC ® MSHE C.N. Ledoux, DAO C. Zimmer - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	333
Figure 46. Exemple de terrasses et cabordes restaurées sous couvert forestier à Besançon. cliché L. Nuninger - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015	334
Figure 47. Le chemin des crêtes de la forêt de Chailluz menant à la chapelle Saint-Gengoul, lors des travaux de mise en valeur en août 2015. Cliché D.Daval – ODIR-CHEF 2015.....	334
Figure 48. Stage CNRS Formation Entreprises. Sur machine et en pratique sur le terrain : repérage de structures topographique sur le terrain : identification et confrontation des perceptions sur le MNT LiDAR et sur le terrain. Cliché D.Daval – ODIR-CHEF 2013	335
Figure 49. Provenance des stagiaires pour la formation Lidar - CNRS Formation Entreprises : bilan 2012-2014.	335
Figure 50. YellowScan, L'avion Jaune has developed the world's first en lightest lidar system. News 24 mars 2014 - http://yellowscan.lavionjaune.com	336
Figure 51. Changement d'occupation du sol entre deux dates 1956 et 2008 : continuité du boisement en vert, conquête forestière en jaune et déboisements en rouge. C. Fruchart, A. Philibert, D. Roy – MSHE Ledoux / ODIR 2015 (Ortho image IGN 1984, géoréférencement ODIR 2014 D2PE).	337

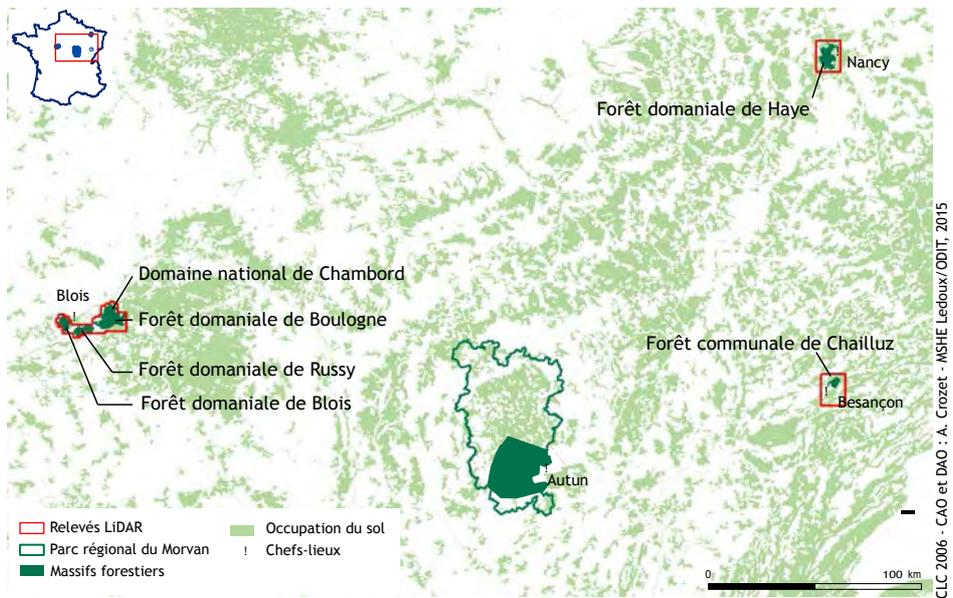


Figure 1. Carte de localisation des zones d'études du chantier Construction Historique des Espaces Forestiers. MNT IGN © MSHE C.N. Ledoux, SIG et CAO : C. Fruchart, ODT-CHEF 2014.

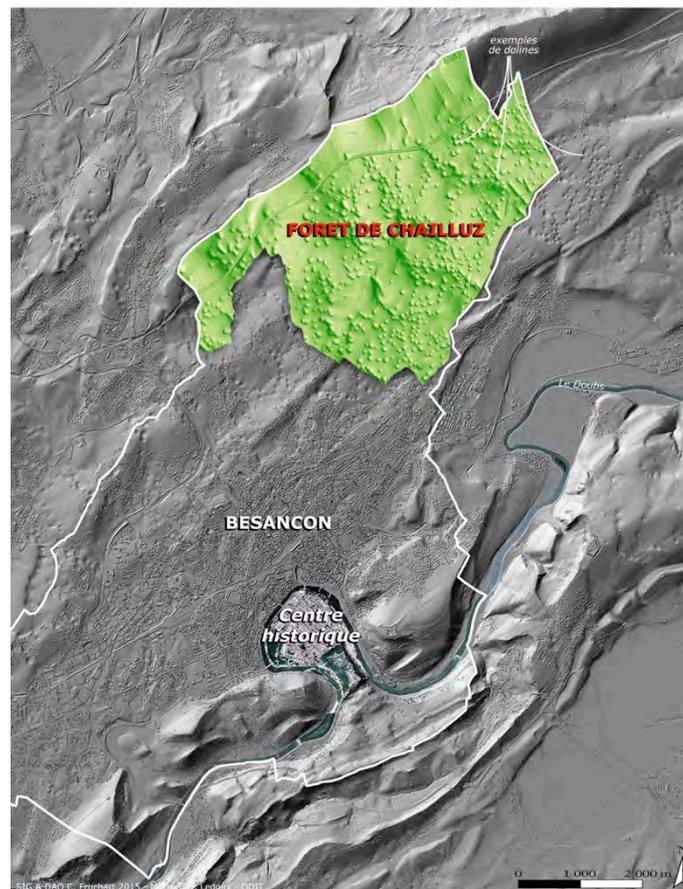


Figure 2. Carte de localisation de la zone d'étude pilote : Forêt de Chailluz à Besançon. Limite communale en blanc, Modèle Numérique de Terrain et du Bâti. Visualisation des données par ombrage simple (azimut 315°, élévation 45°) LIEPPEC © MSHE C.N. Ledoux, SIG et CAO : C. Fruchart, ODT-CHEF 2014.

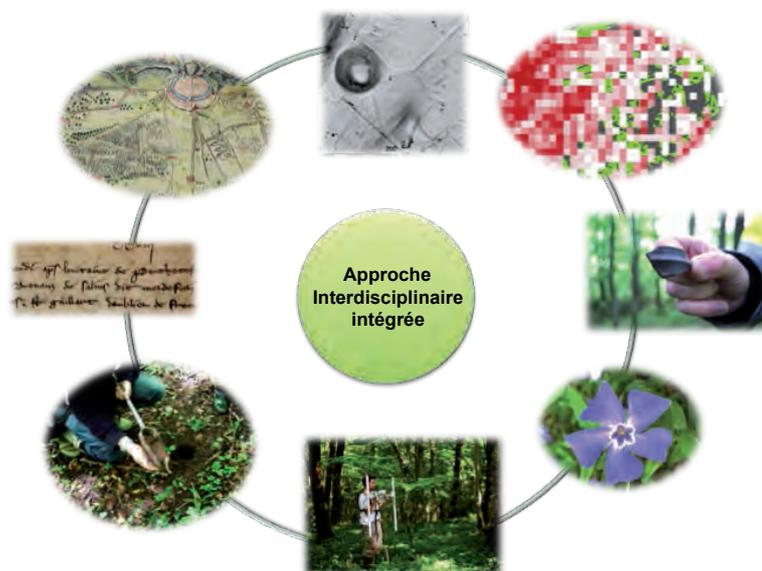


Figure 3. Démarche méthodologique générale. © ODIT MSHE Ledoux, clichés C. Fruchart, L. Nuninger, D. Daval, © CNRS Photothèque, cliché FRESILLON Cyril. Conception et DAO : L. Nuninger, ODIT-CHEF 2013.

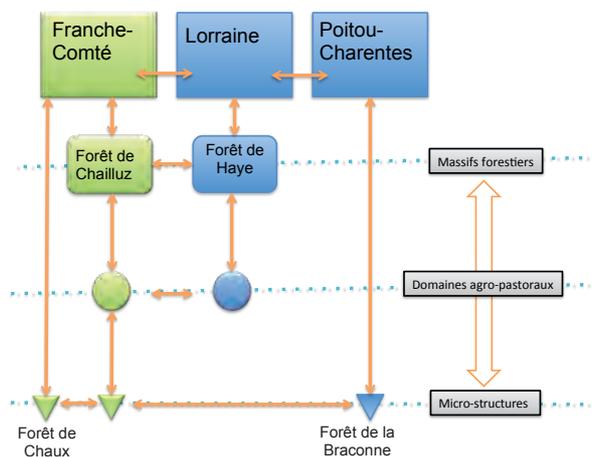


Figure 4. Approche comparative multi-échelle. Conception et DAO : L. Nuninger, ODIT-CHEF 2013.

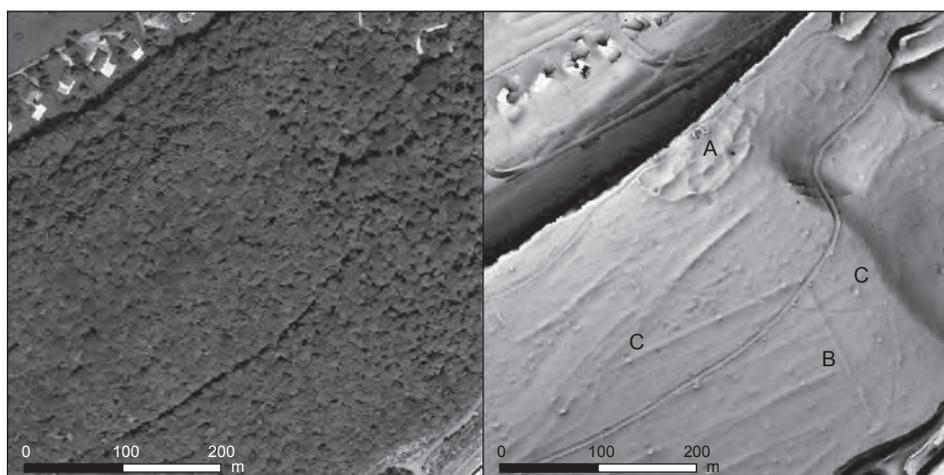


Figure 5. Village médiéval de Saint-Gengoul (A), limite parcellaire (B) et ronds de charbonnier (C) en forêt de Chailluz, Besançon (Doubs). Le MNT est traité à l'aide de l'algorithme Sky View Factor © K. Zaksek, K. Oštir et Ž. Kokalj (IAPS, ZRC SAZU, Slovénie). Orthophotographie et MNT LIEPPEC © MSHE C.N. Ledoux, L. Nuninger, R. Opitz 2009

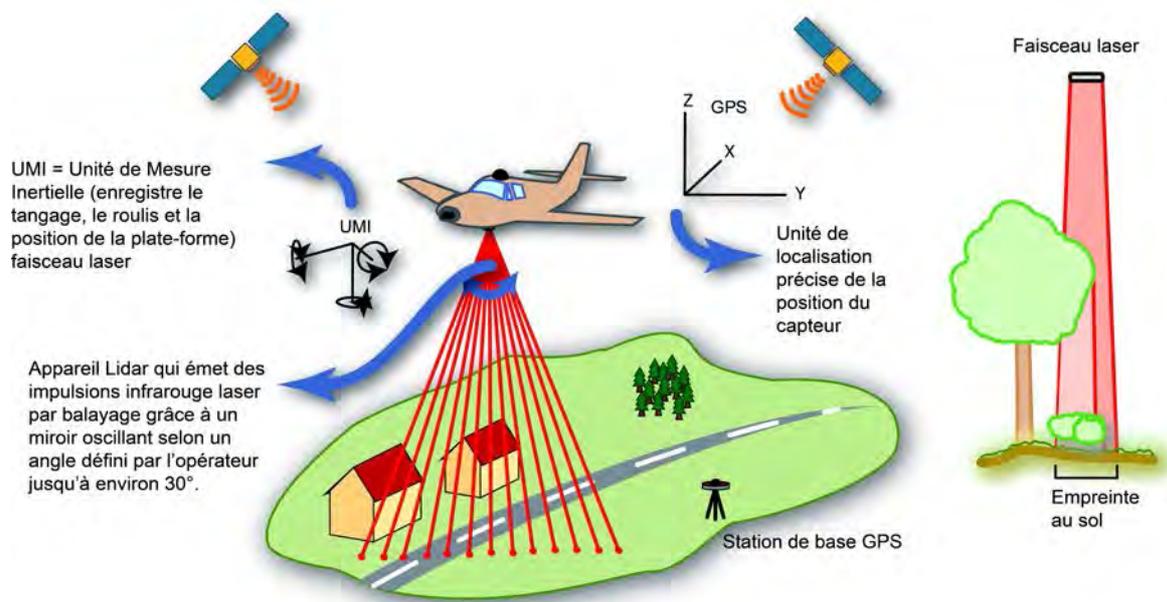


Figure 6. Principe du système laser aéroporté *LIDAR* (*Light Détection and Ranging*), (d'après Ž. Kokalj et K. Oštir, trad. L.Nuninger, LEA ModelTER ZRC SAZU-MSHE C.N. Ledoux).

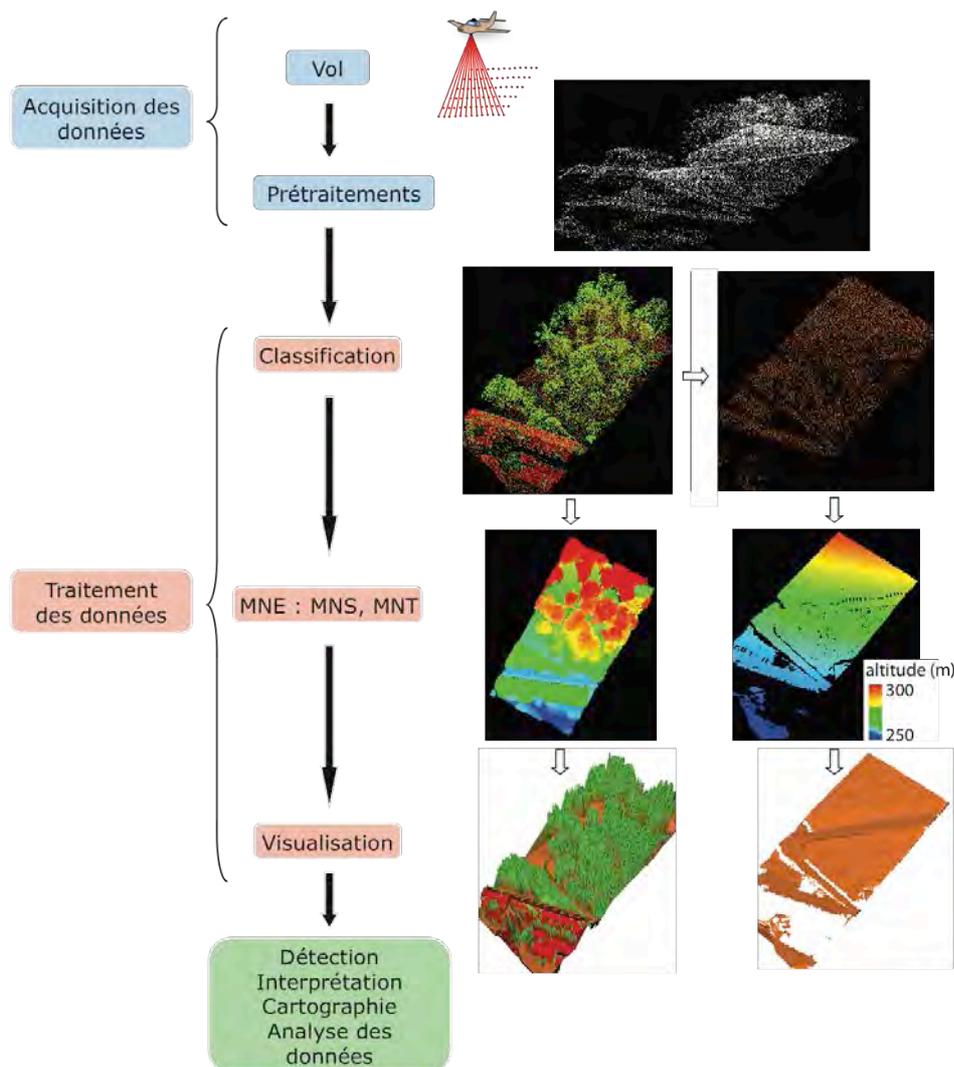


Figure 7. Schéma de l'acquisition des données à l'analyse archéologique : les grandes étapes (E. Fovet, LEA ModelTER ZRC SAZU-MSHE C.N. Ledoux)

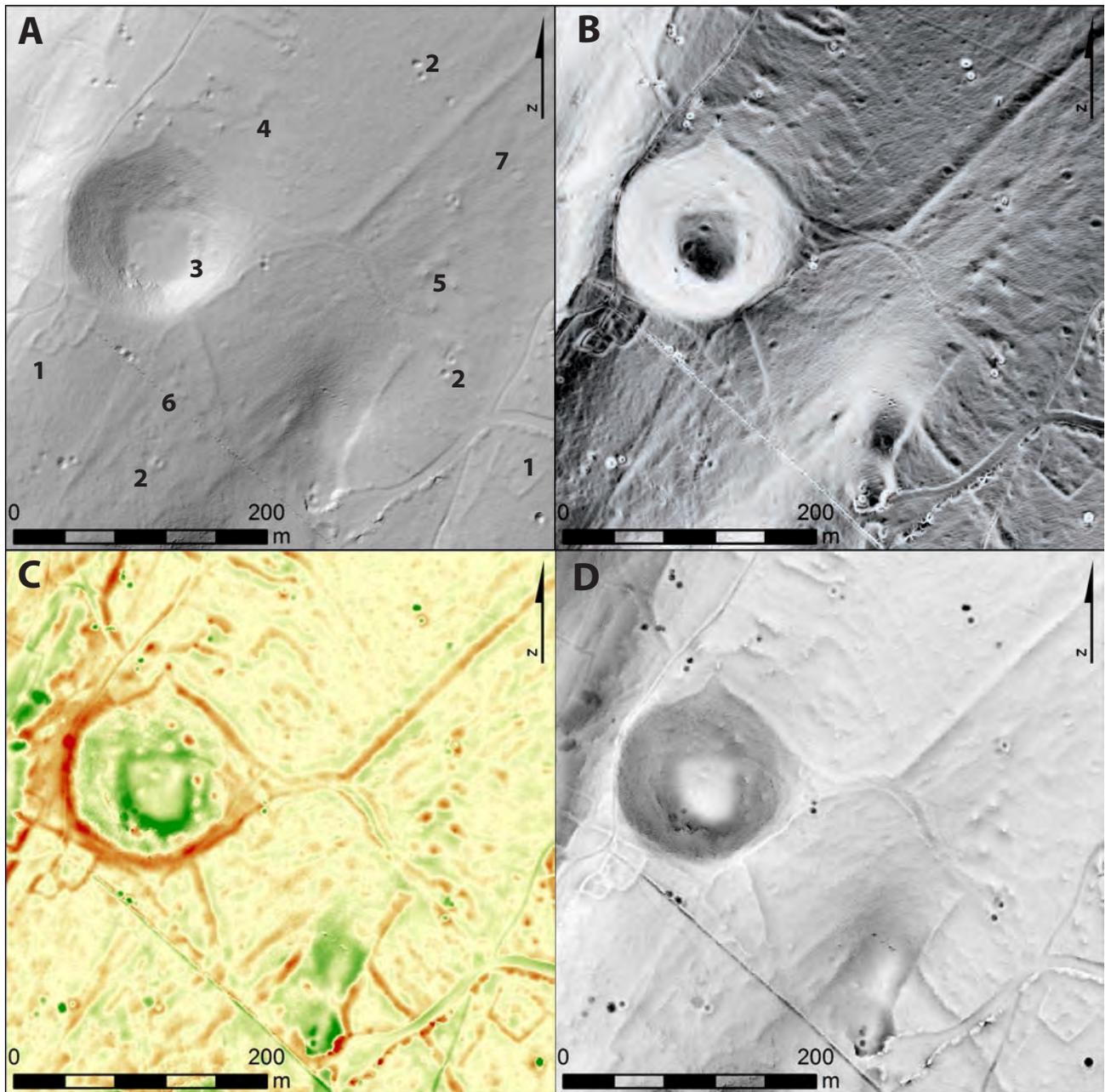


Figure 8. Différents types de visualisation à partir d'un MNT à 50 cm issu de données lidar (8 p/m²) sur lequel on distingue des dolines, des fours à chaux, deux habitats antiques, des chemins, des terrasses de culture et une limite forestière : A) illumination et ombrage classique (az.315°/él.45°), B) calcul de pentes, C) TPI (Jenness Enterprise), D) SVF-ZRC SAZU. MNT LIEPPEC © MSHE C.N. Ledoux, L. Nuninger 2013.

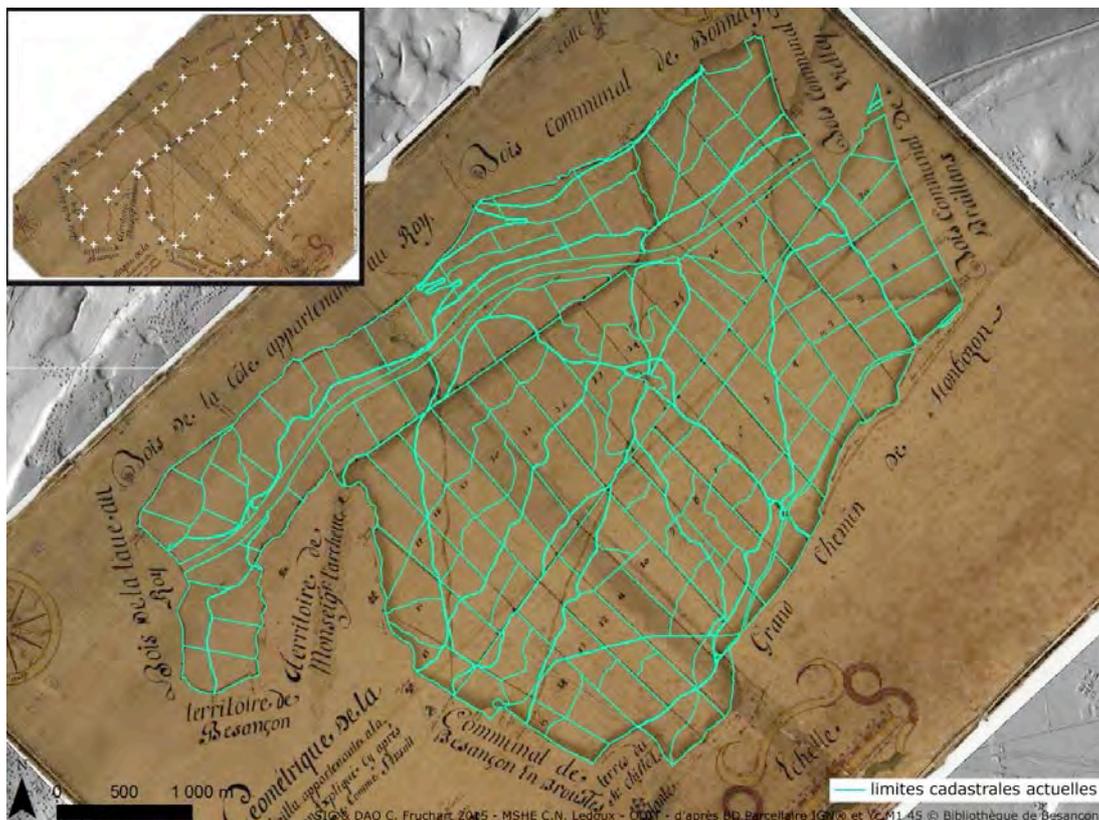


Figure 9. Comparaison du plan parcellaire actuel avec celui figuré sur le plan de la forêt de Chailluz de 1738. En vignette : localisation des points d'amer pour le géoréférencement du plan de 1738 (croix blanches). Carte Archive Municipale de Besançon, MNT LIEPEEC © MSHE C.N. Ledoux, SIG : C. Fruchart 2014

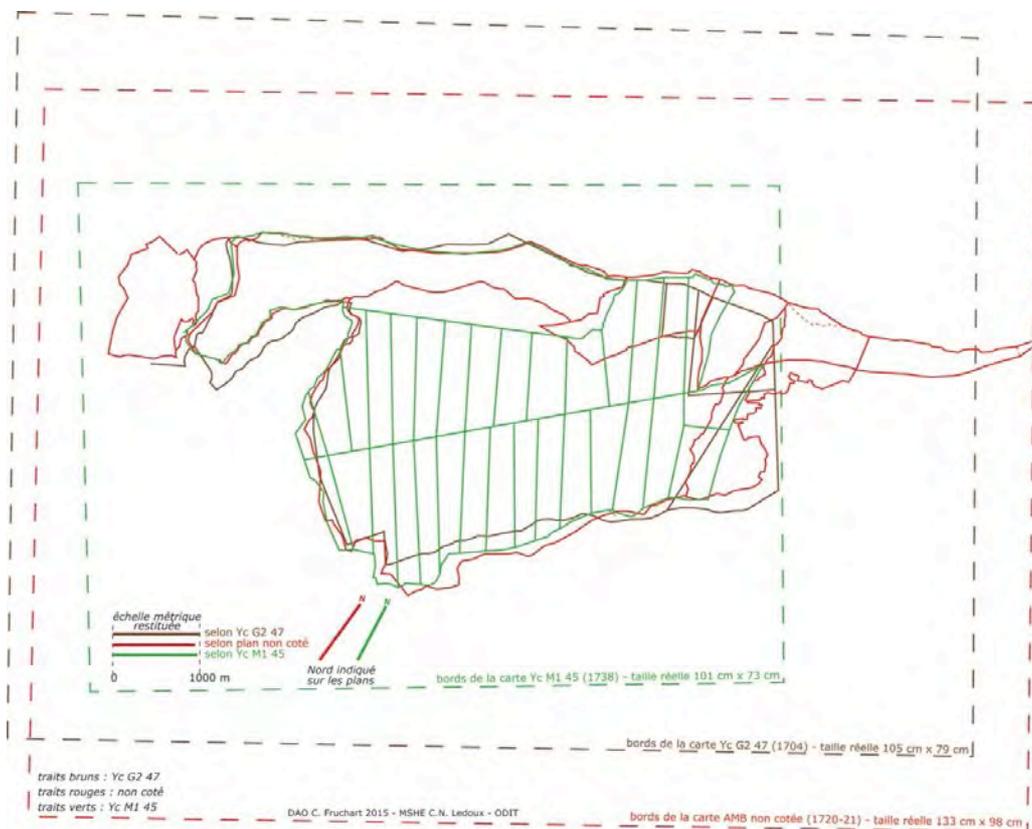


Figure 10. Digitalisation et superposition des plans de 1704, 1720-21 et 1738 de la forêt de Chailluz : comparaison des échelles, de l'orientation du Nord et des limites de propriété et de parcelles indiquées.

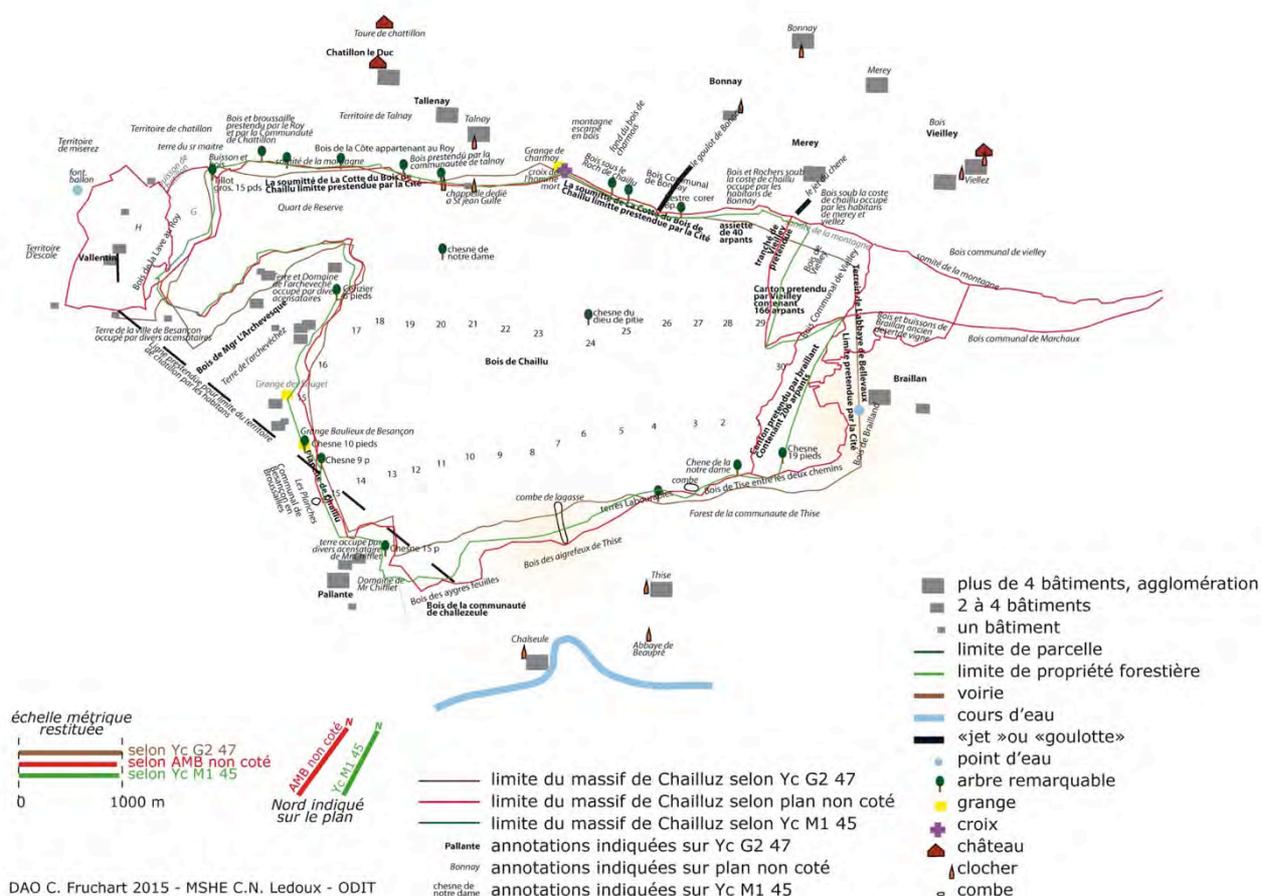
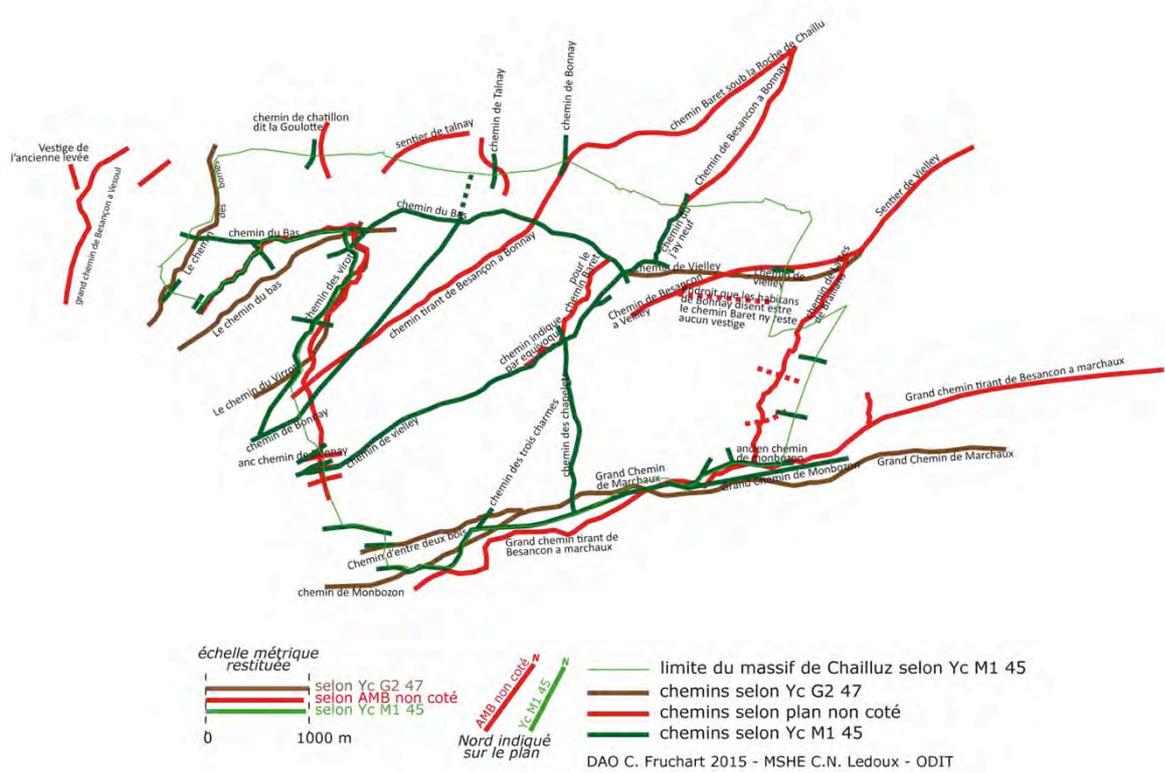


Figure 11. Superposition des tracés de chemins figurant sur les plans de 1704, 1720-21 et 1738. Superposition de la localisation des entités et annotations diverses figurées sur les mêmes cartes.

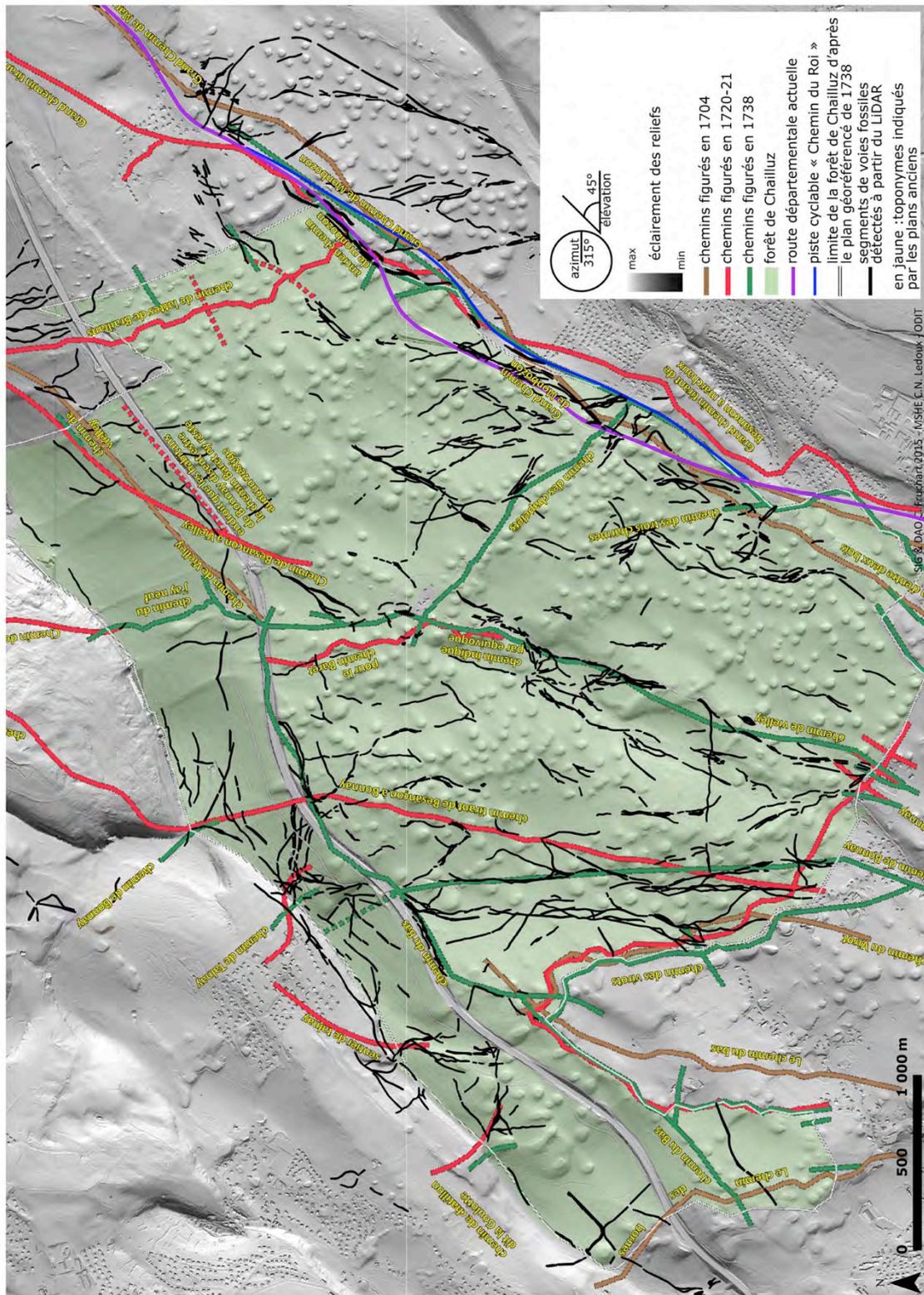


Figure 12. Segments de voies fossiles détectés au voisinage de la forêt de Chailluz à partir du LiDAR. Réseau routier figuré sur les plans de 1704, 1720-21 et 1738 après digitalisation, superposition et géoréférencement.

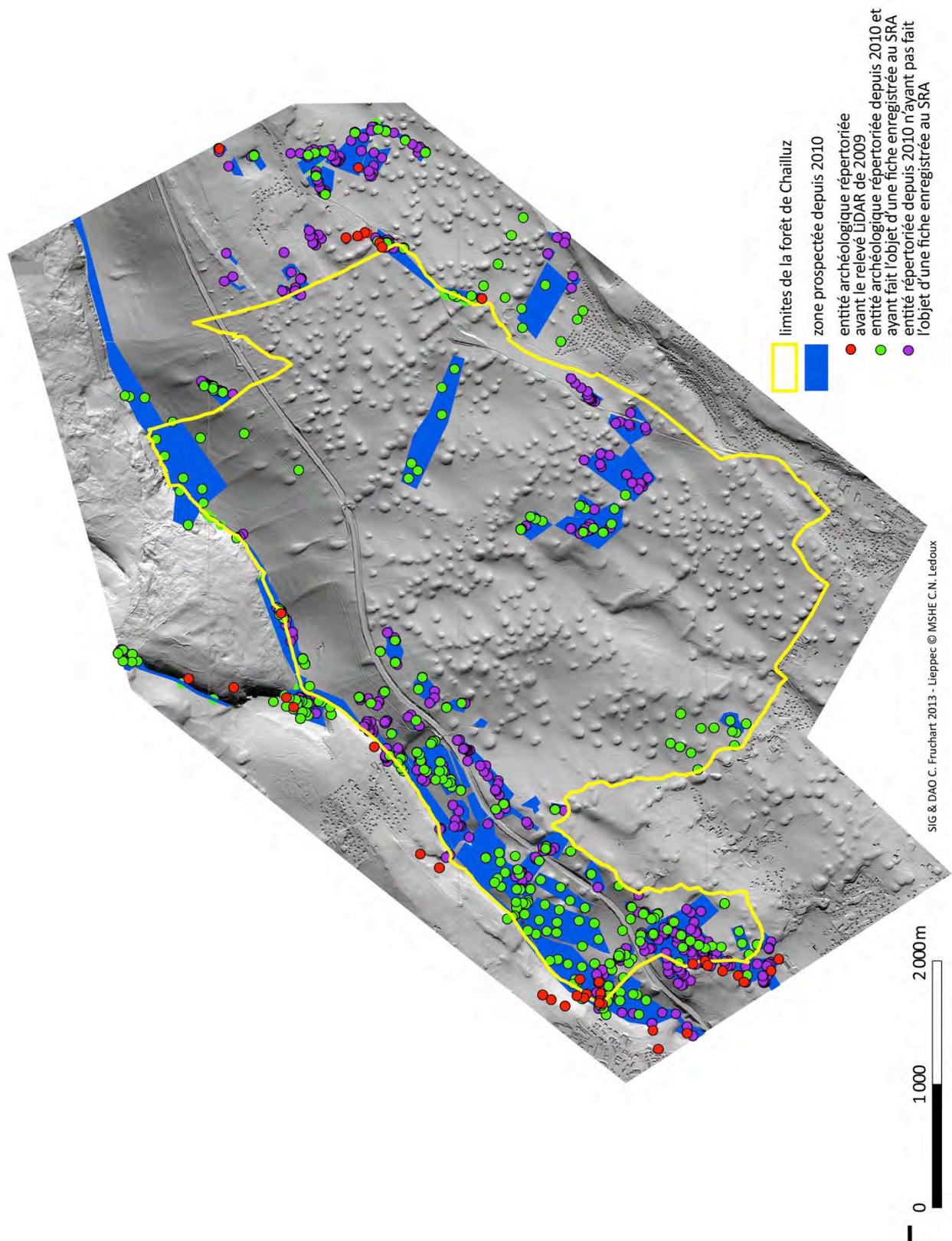
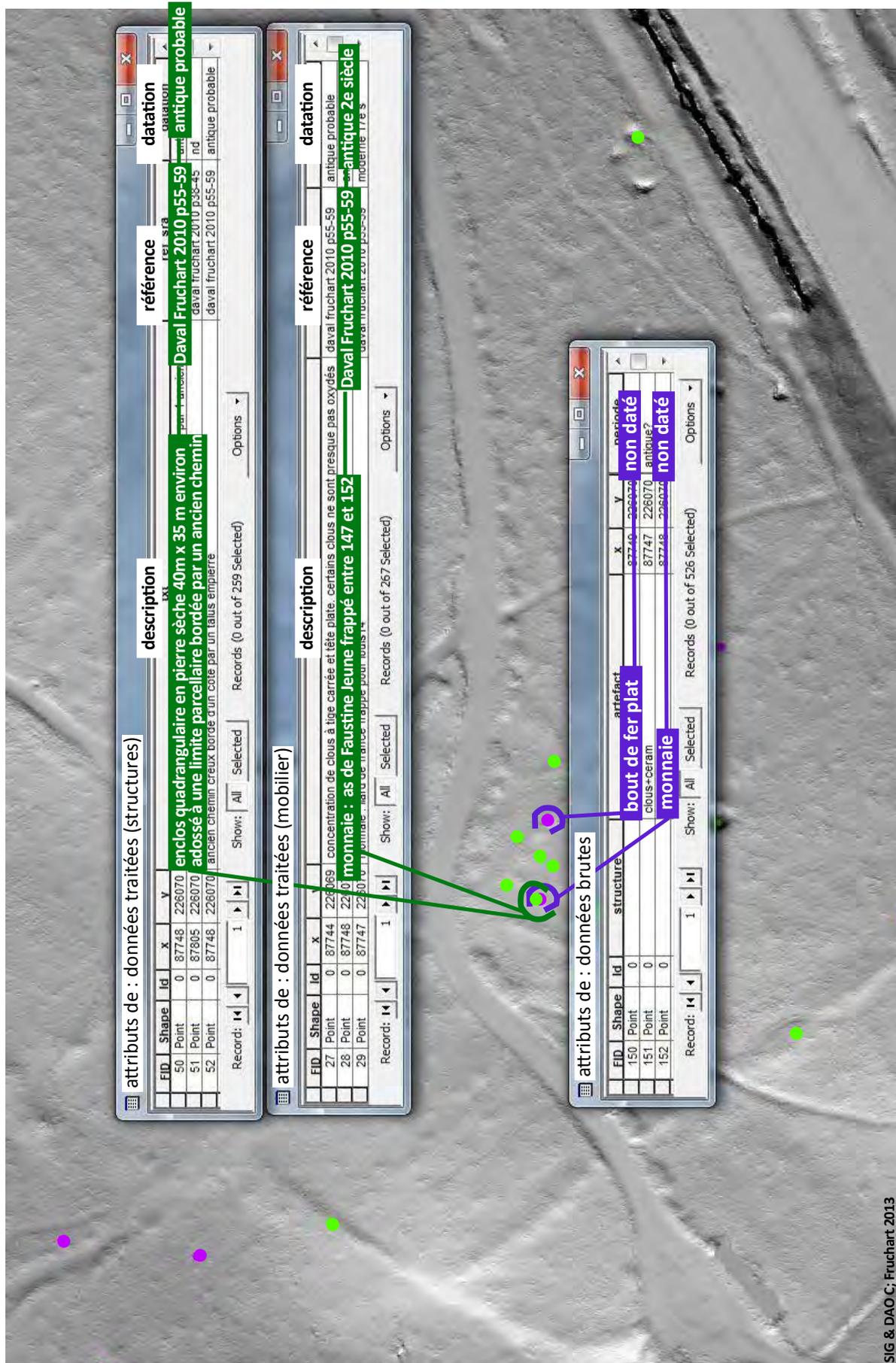


Figure 13. Localisation des entités archéologiques répertoriées sur la zone du massif de Chailluz grâce aux prospections au sol réalisées à partir des données LiDAR depuis 2010. SIG et DAO C. Fruchart 2014 – ODIT-CHEF 2014



SIG & DAO C; Fruchart 2013

Figure 14. Exemple d'informations contenues dans les bases de données se rapportant aux prospections. SIG et DAO C. Fruchart 2014 – ODIT-CHEF 2014



La limite parcellaire bornée en forme de dent de scie se distingue encore très bien depuis le chemin de la Goulotte, en direction du sud-ouest et au sud de l'autoroute A36 le long du bois de la Lave.

● Borne royale armoriée. - - - - - Limite royale. - - - - - Limite communale de Besançon.

Figure 15. Localisation des bornes royales. SIG et DAO D. Daval, C. Fruchart – ODIT-CHEF 2014



Figure 16. Borne monolithique en pierre calcaire blanc, armoriée découverte à Châtillon le Duc. Cliché D. Daval – ODIT-CHEF 2014

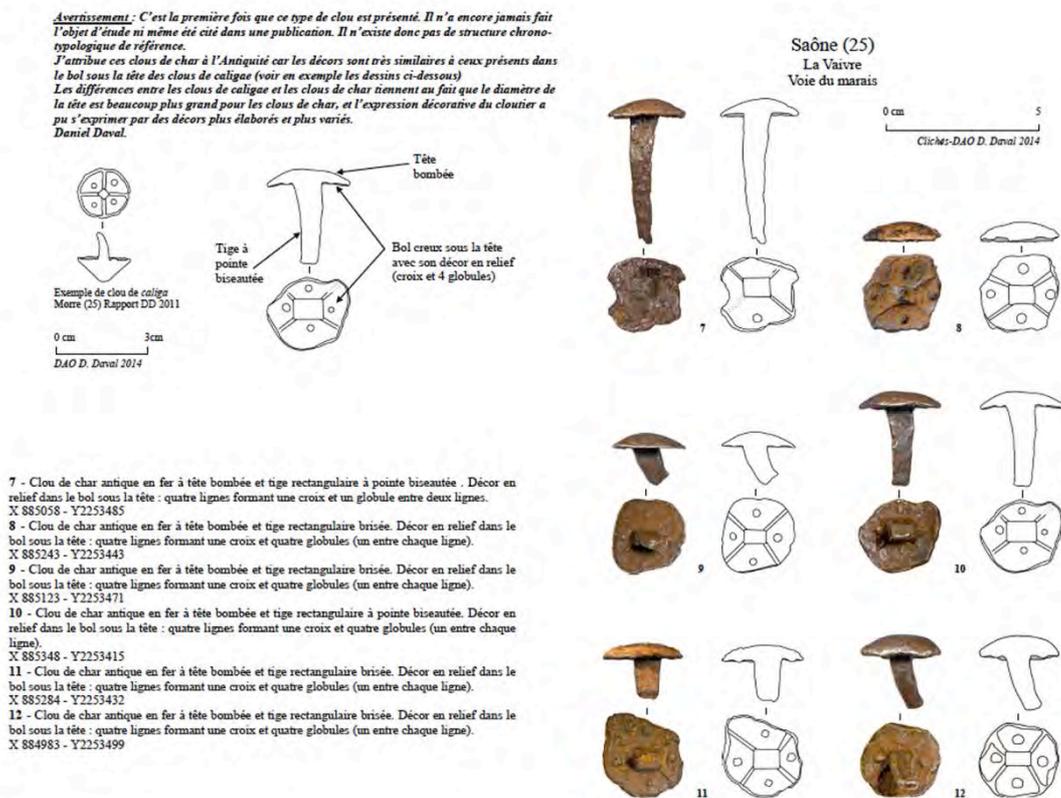


Figure 17. Clous antiques découverts sur la voie du marais au lieu dit la Vaire à Saône. Cliché et DAO D. Daval – ODIT-CHEF 2014



Figure 18. Vue des assises de pierres conservées et dégagées lors des fouilles en avril 2015. Cliché D. Daval – ODIT-CHEF 2015

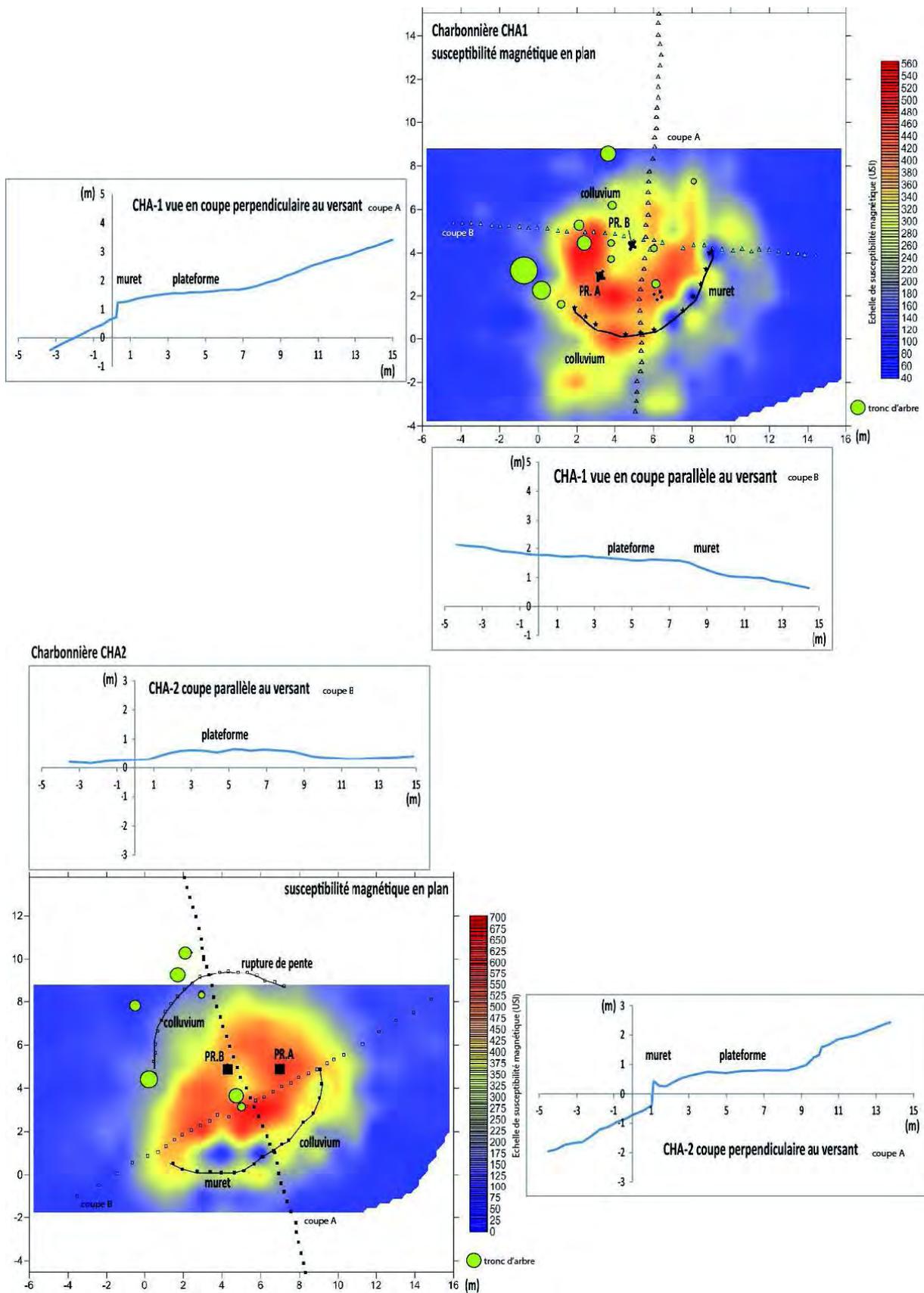


Figure 19. Relevé des structures, coupes microtopographiques et cartographie de susceptibilité magnétique de surface. (A. Dupin, C. Laplaige, O. Girardclos – ODIT-CHEF 2014)

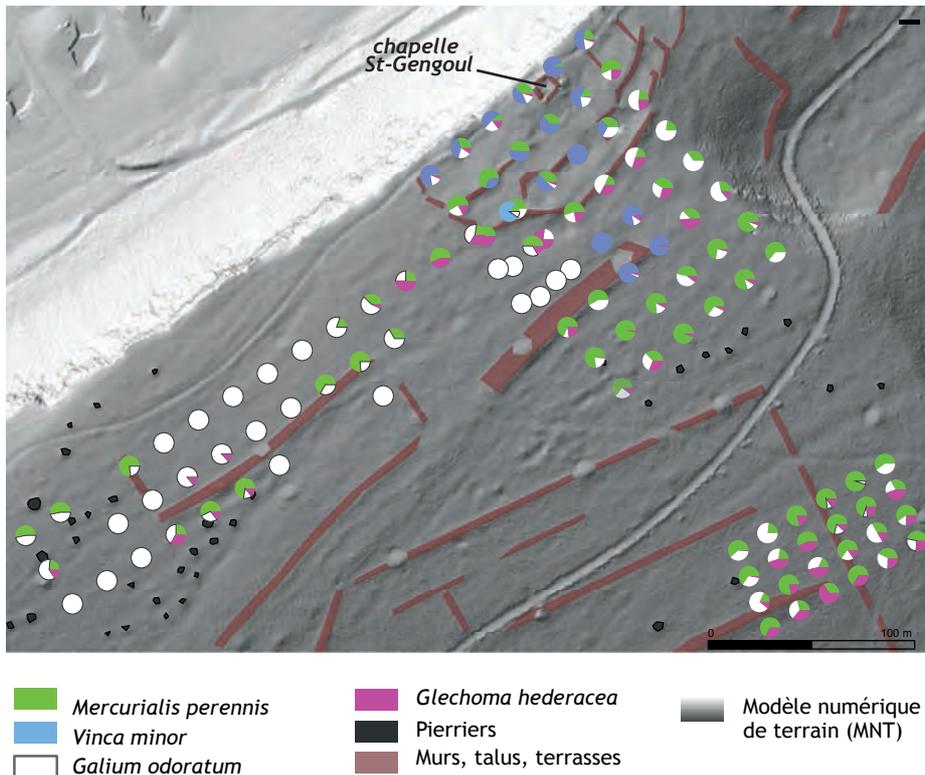


Figure 20. Diagrammes des répartitions d'espèces végétales obtenus à partir de relevés botaniques réalisés sur le site de la chapelle St-Gengoul et dans son voisinage. MNT MSHE/LIEPPEC, Sources botaniques : O. Girardclos, P. Ruffaldi - CAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

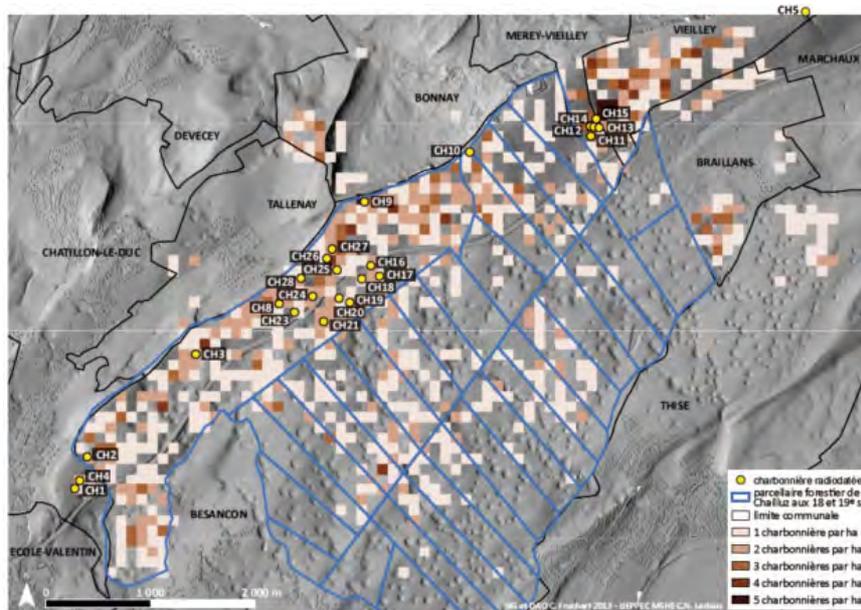


Figure 21. Plateformes de charbonnier du massif de Chailluz : localisation des 25 premiers prélèvements réalisés pour une datation radiocarbone. SIG et DAO C. Fruchart 2013 - LIEPPEC / MSHE C.N. Ledoux.

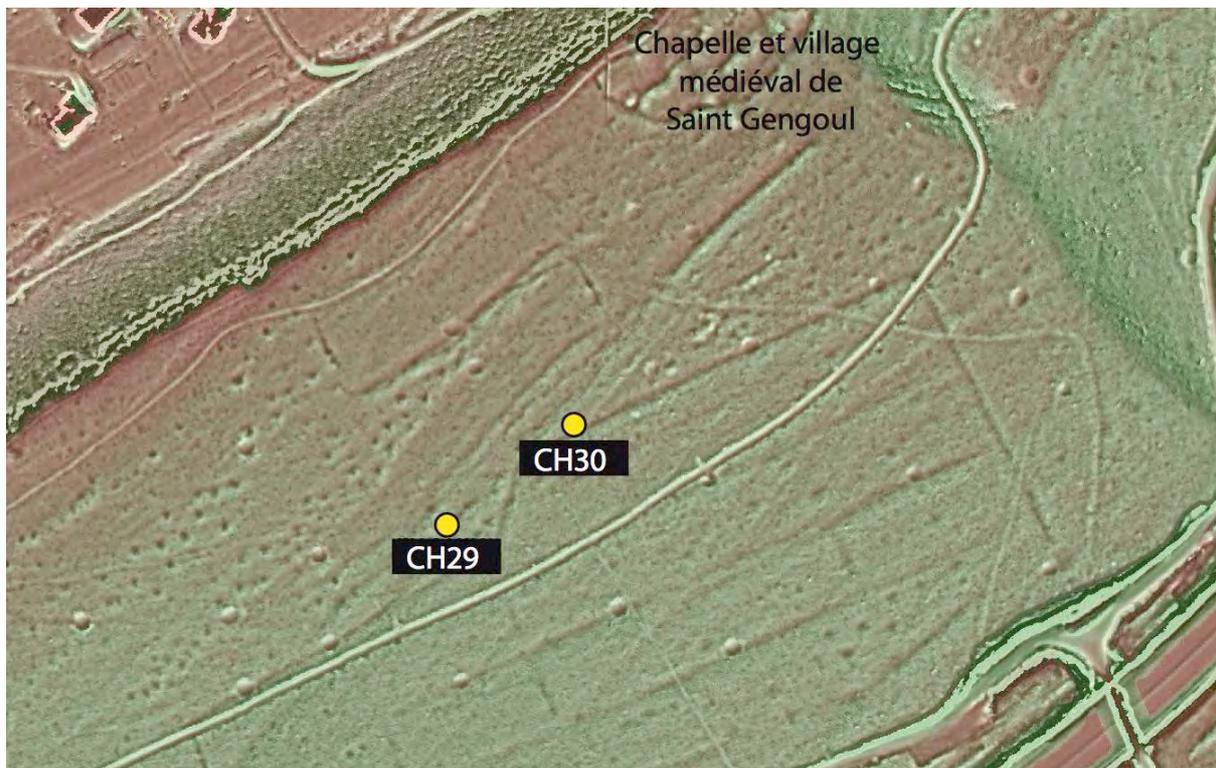


Figure 22. Localisation des charbonnières CH29 et CH30 situées au sud-est du village médiéval de Saint-Gengoul. SIG et DAO D. Daval, L. Nuninger 2014 - LIEPPEC / MSHE C.N. Ledoux.

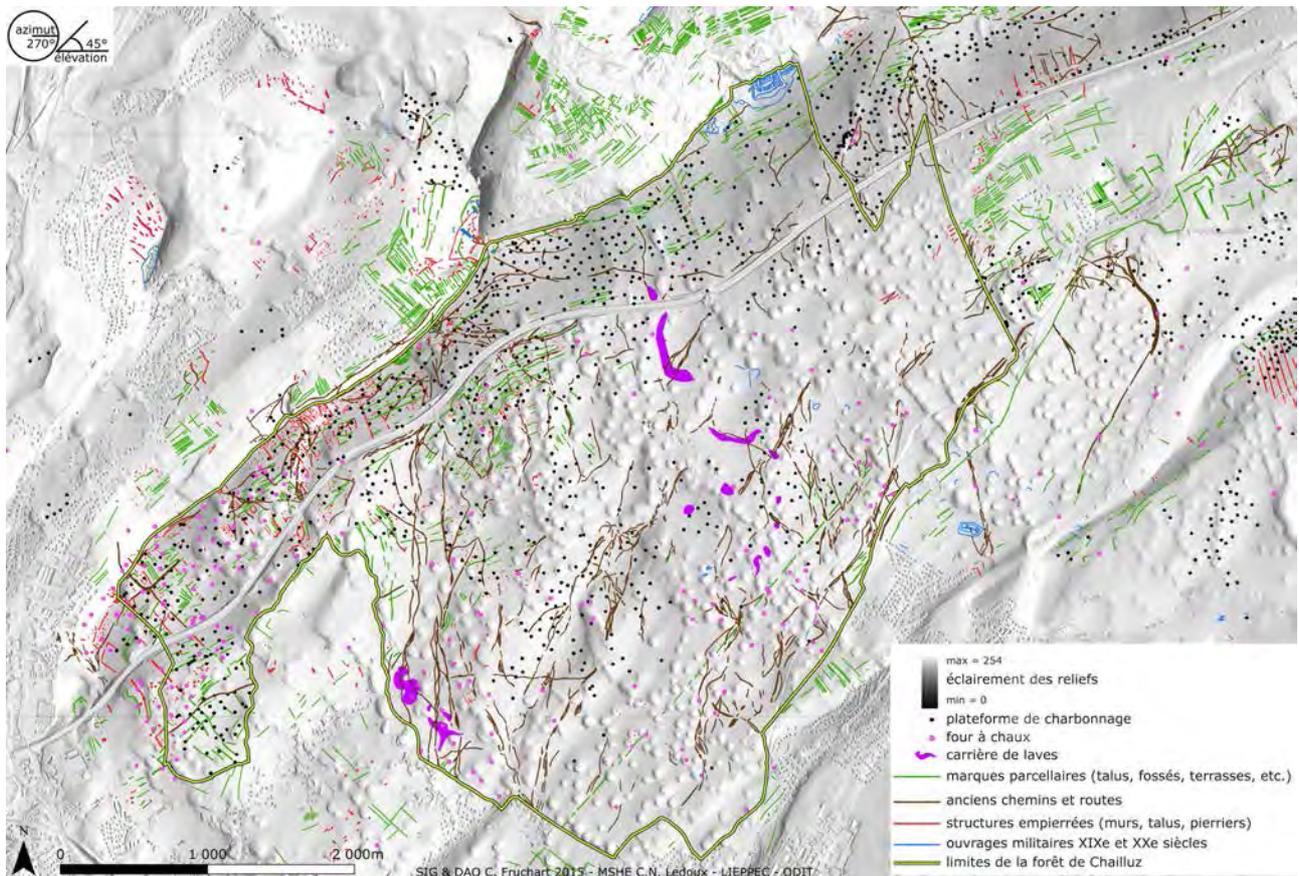


Figure 23. Figure 23 : Aperçu des diverses entités archéologiques détectées sur le massif forestier de Chailluz à partir des données LiDAR. SIG et DAO C. Fruchart 2014 - MSHE C.N. Ledoux / LIEPPEC-ODIT 2014.



Figure 24. Première vue planimétrique de la forêt de Chailluz sur un plan du XVIe siècle. Gec BES 1.1 © Bibliothèque municipale de Besançon - C.Fruchart, A.Crozet - MSHE C.N. Ledoux/ ODIT, 2015

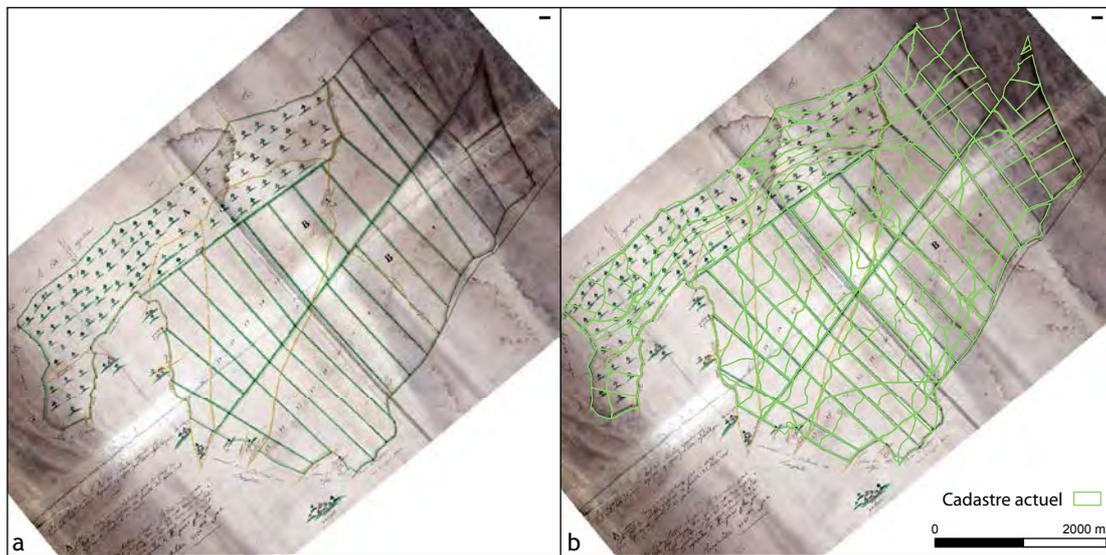


Figure 25. Plan de la forêt de Chailluz en 1738 (a) et superposition avec le plan cadastral actuel (b). Plan YC M 46 © Bibliothèque de Besançon, ©IGN BDParcellaire 2009 - SIG et DAO : C. Fruchart, A.Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

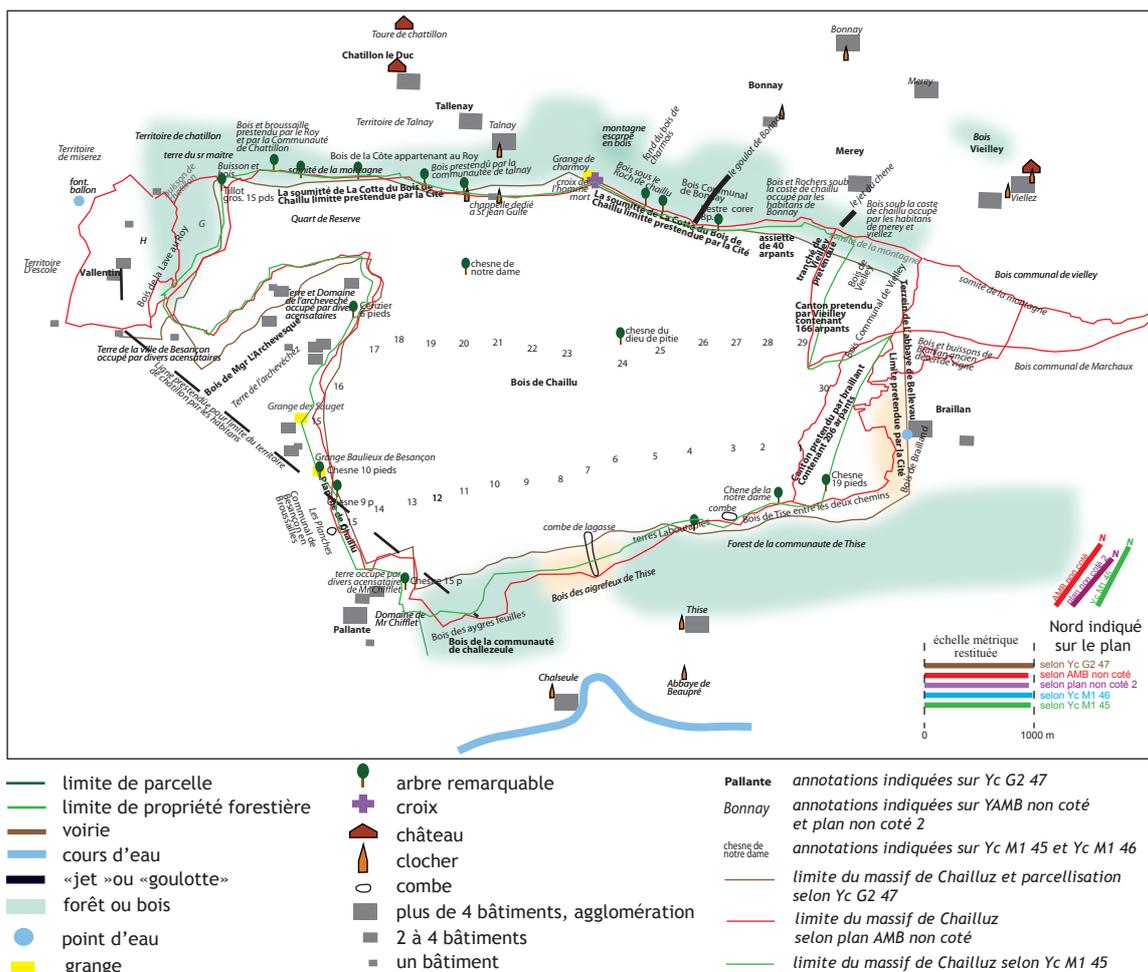
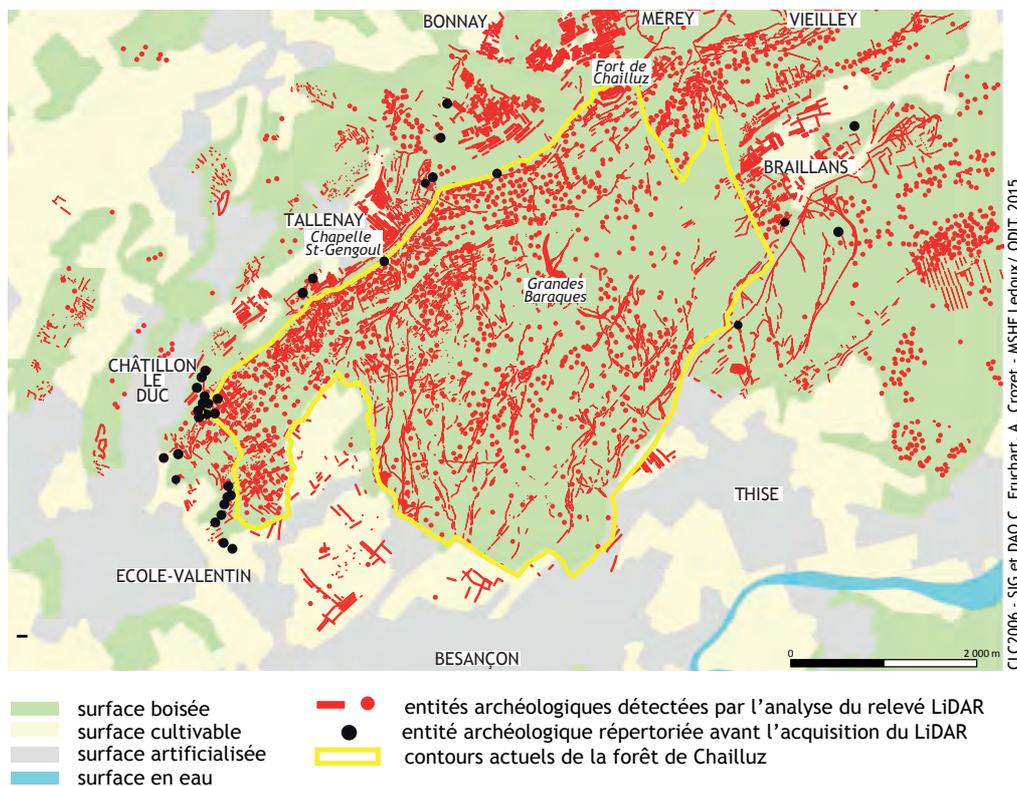


Figure 26. Emplacements d'éléments remarquables du paysage relevés sur les plans anciens et schématisés. DAO A. Crozet, d'après Fruchart 2014, vol. 4, pl. VII - MSHE Ledoux/ ODT, 2015



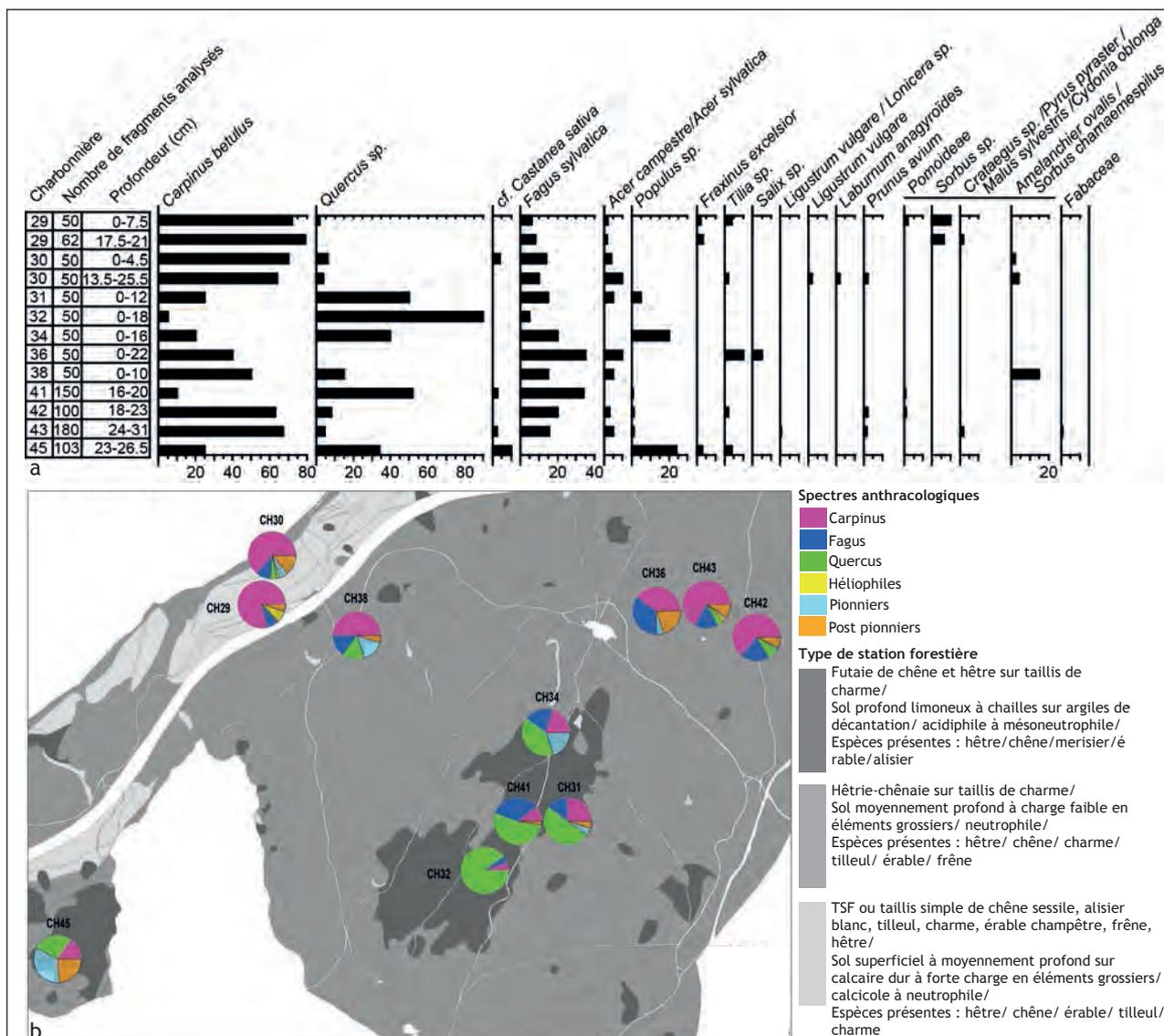


Figure 30. Tableau des spectres anthracologiques de charbonnières en forêt de Chailluz (a) et répartition des diagrammes des spectres anthracologiques par charbonnière sur une carte simplifiée des stations forestières (b). Auteurs : A. Dupin, ONF - DAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

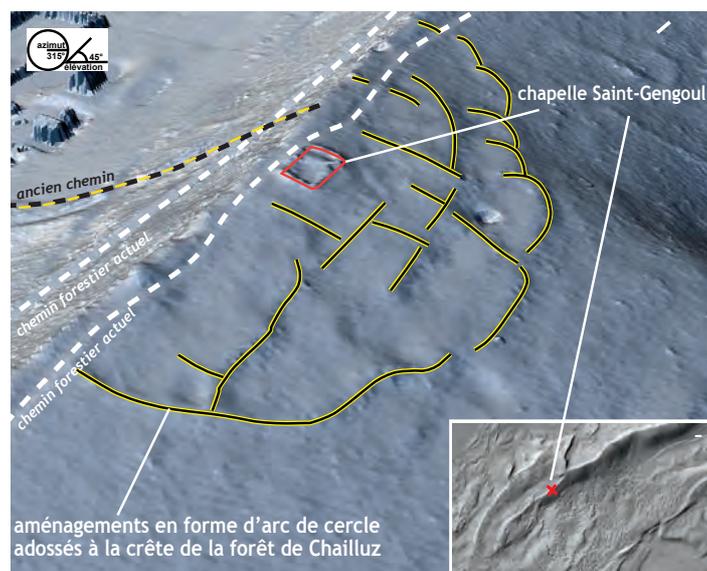
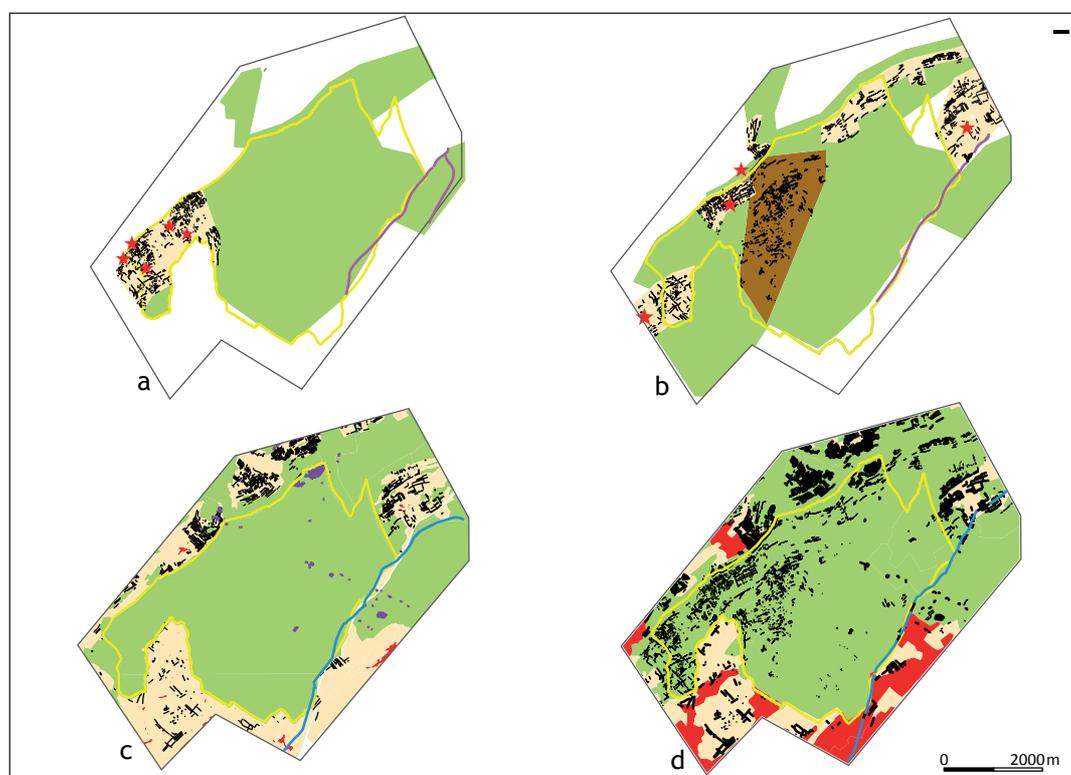


Figure 31. Vue LiDAR 3D du site de la chapelle St-Gengoul et des aménagements situés dans son voisinage. MNT MSHE/Lieppec - SIG et DAO : C. Fruchart, A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015



Figure 32. Vue de la chapelle St-Gengoul en cours de fouille en avril 2015. Cliché : D. Daval - DAO : A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015



- entité archéologique (entités agropastorales, parcellaire)
- ★ bâtiment(s) - époques romaine et médiévale
- surface boisée
- surface à vocation agropastorale
- possible alternance de bois et d'usage agricole (essartage)
- surface artificialisée (XIX^e à XXI^e s.)
- ouvrage ou aménagement militaire (fin XIX^e à milieu XX^e s.)
- contours actuels de la forêt de Chailluz
- tronçon de voirie antique ou médiéval
- route XIX^e à XXI^e s.
- limites de la zone d'étude
- surfaces à l'intérieur de la zone d'étude pour lesquelles l'occupation du sol n'est pas restituable à partir des données étudiées

- a - Occupation du sol envisagée pour la période romaine
- b - Occupation du sol envisagée pour la période médiévale (second Moyen Âge)
- c - Occupation du sol restituable au cours du XIX^e siècle
- d - Occupation du sol actuelle (d'après Corine Land Cover 2006)

Figure 33. Hypothèse d'évolution de l'occupation du sol entre la période romaine et aujourd'hui. SIG et DAO C. Fruchart, A. Crozet - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015

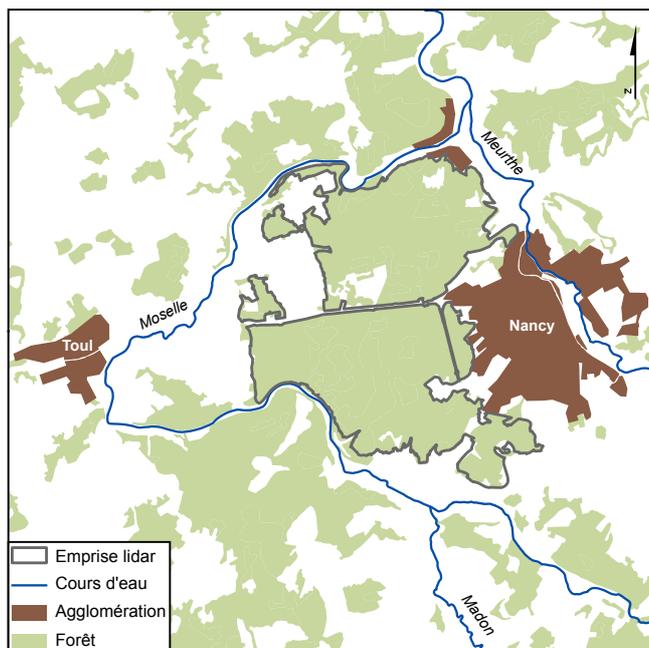


Figure 34. Emprise de l'acquisition LiDAR du massif forestier de Haye. M. Georges-Leroy, DRAC Lorraine - MSHE Ledoux/ODIT, 2015.

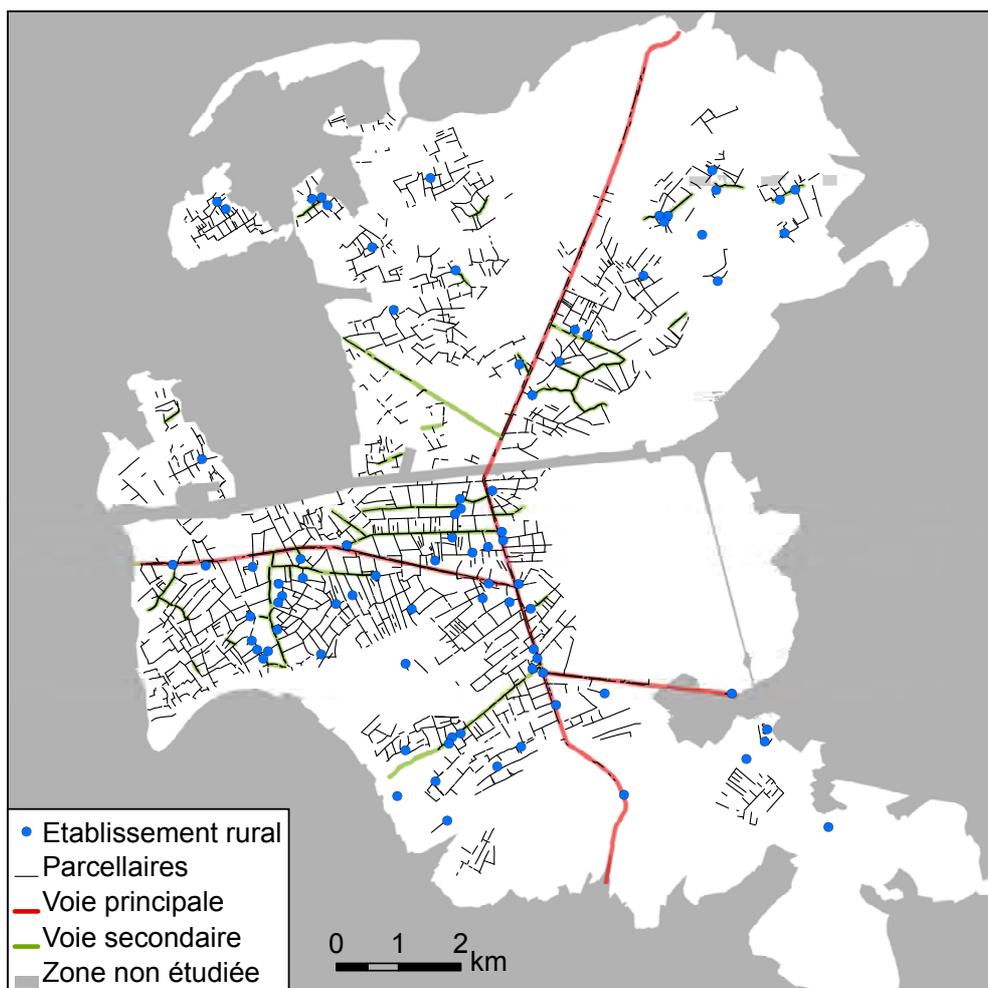


Figure 35. Vestiges Antiques en forêt de Haye. M. Georges-Leroy, DRAC Lorraine - MSHE Ledoux/ODIT, 2015

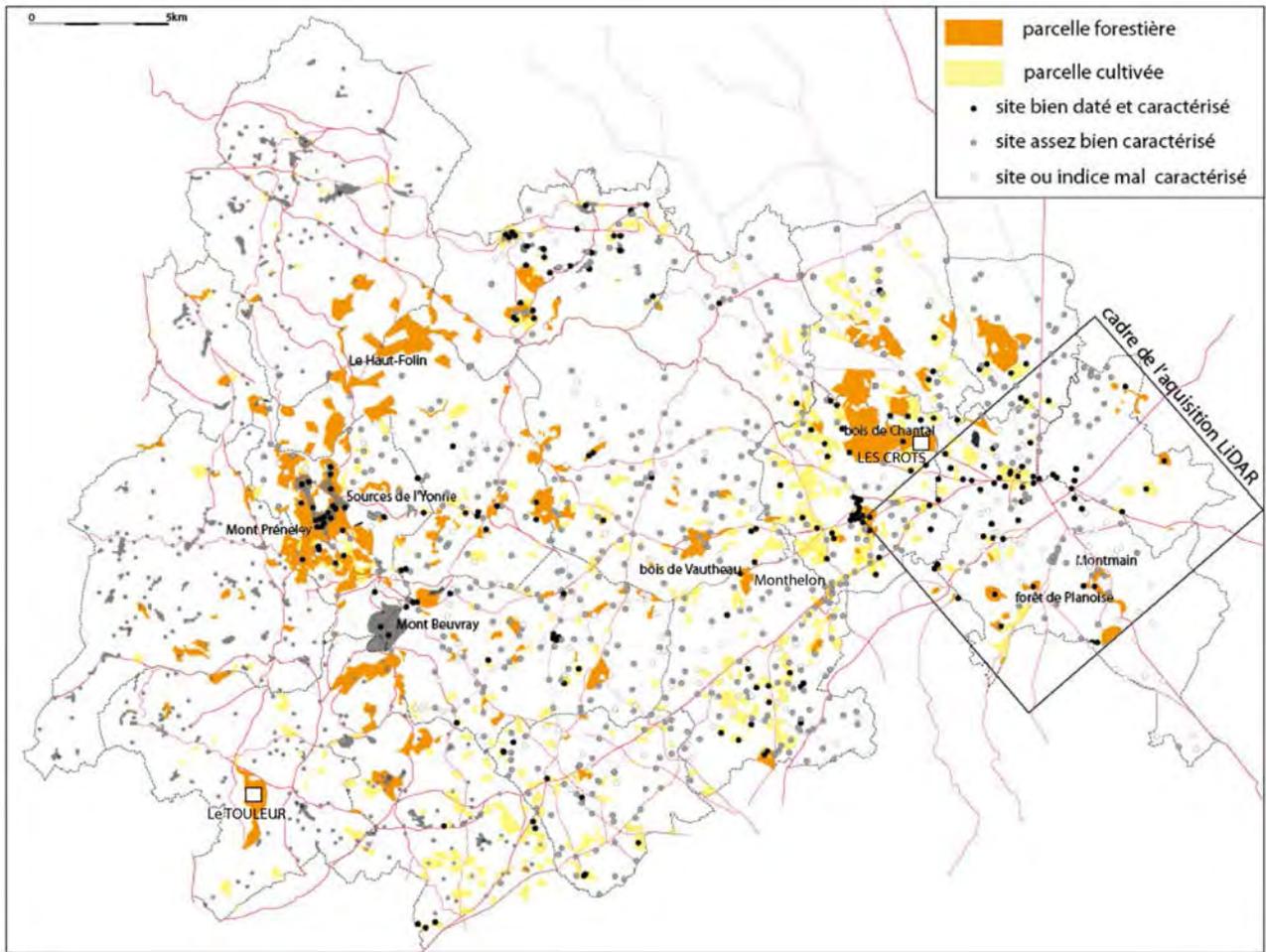


Figure 36. Les territoires entre Morvan et Arroux. Localisation des parcelles prospectées entre 2009 et 2014. En orange, les parcelles forestières. M. Thivet, P. Nouvel, - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

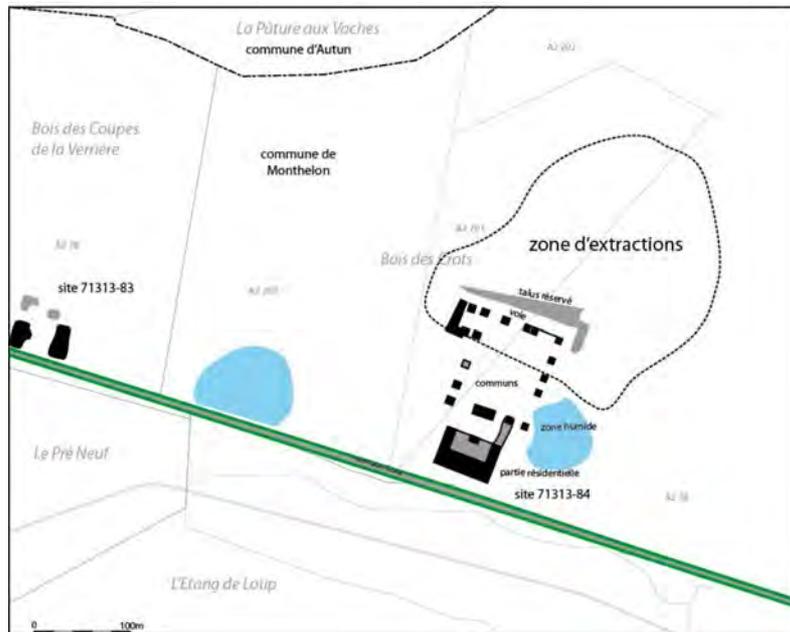


Figure 37. Monthelon, Bois des Crots (sites 71313-83 et 84), d'après les relevés de terrain, octobre 2014. P. Nouvel, - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015



Figure 38. Monthelon, *Bois des Crots* (sites 71313-83 et 84), d'après les relevés de terrain, octobre 2014. P. Nouvel - MSHE Ledoux/ ODIR, 2015

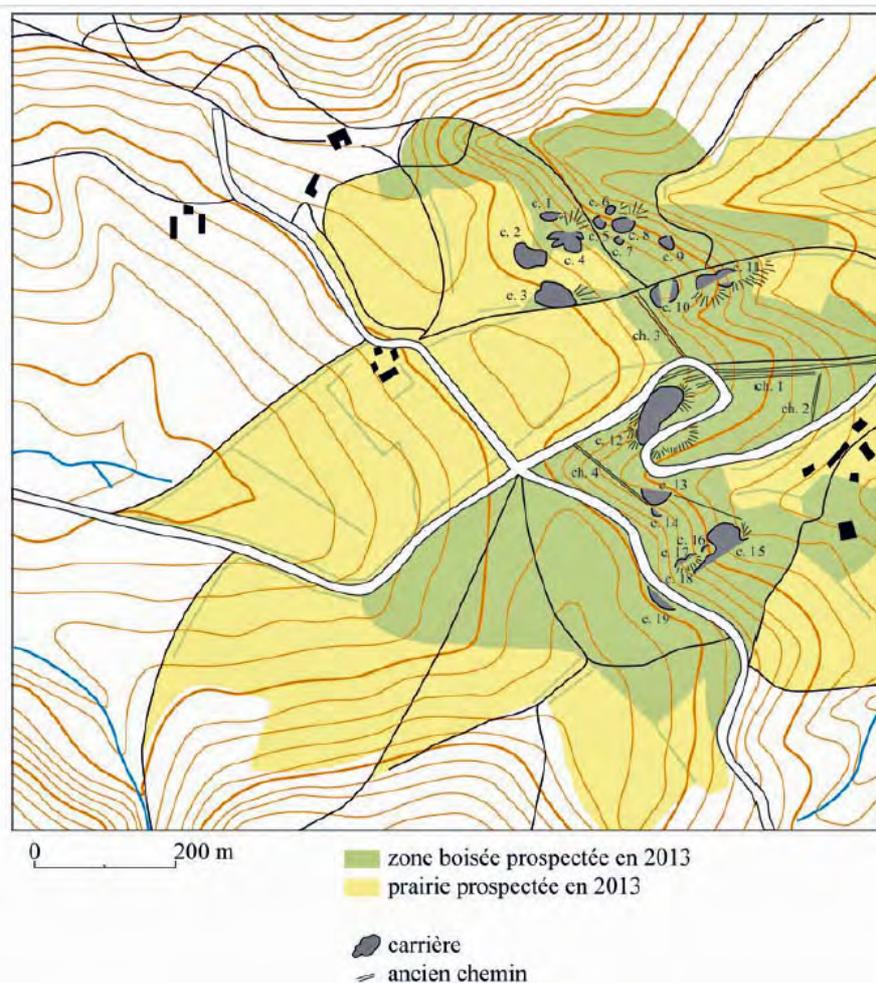


Figure 39. Relevé des structures observées dans le bois de Vautheau (La Grande-Verrière, L. Jaccotey del.).

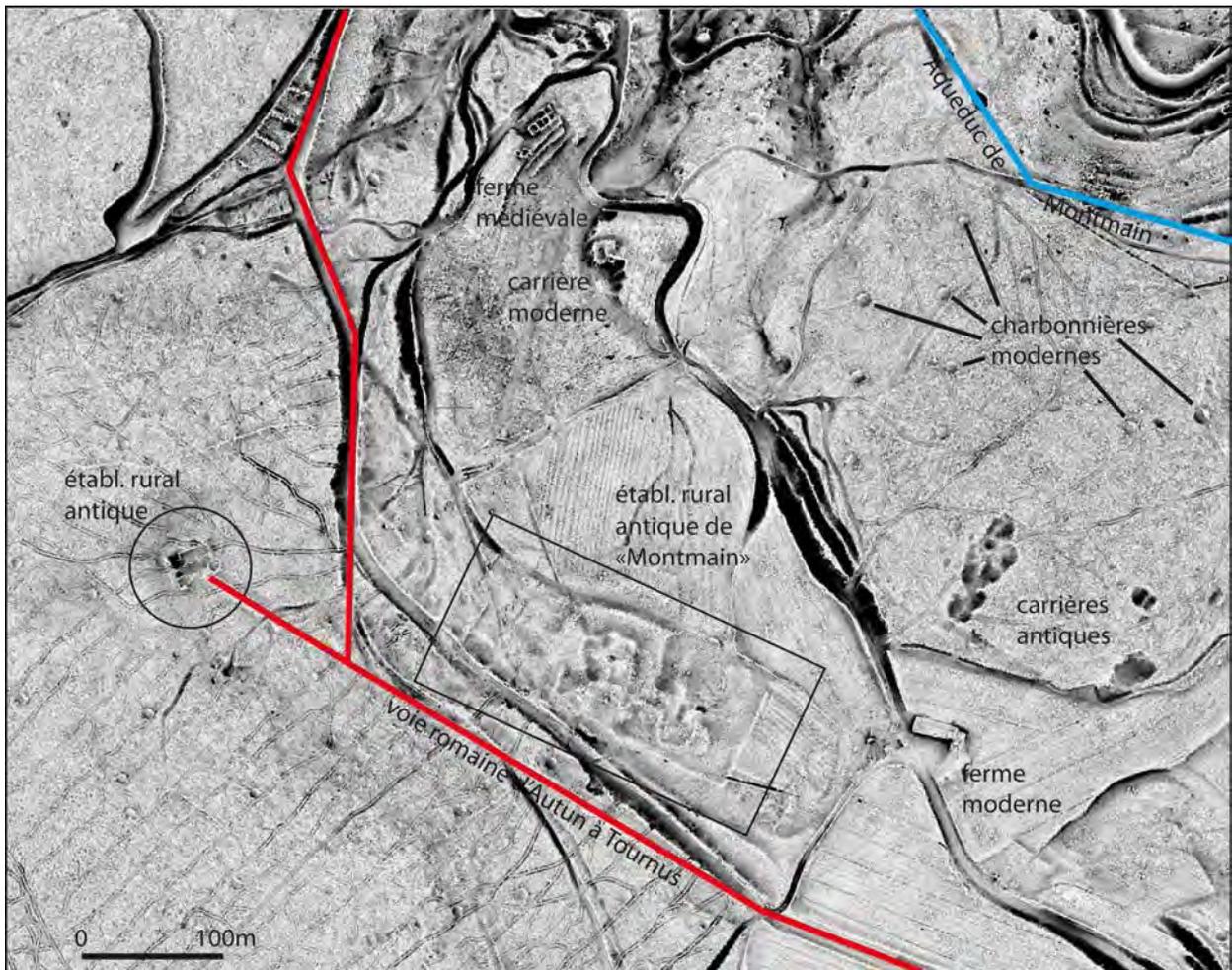


Figure 40. Une petite fenêtre exemplaire des acquisitions Lidar en Autunois. Les alentours de la villa romaine dite de *Montmain*, sur la commune d'Autun (Saône-et-Loire). MNT Lidar MSH de Dijon, traitement et CAO C. Laplaige.

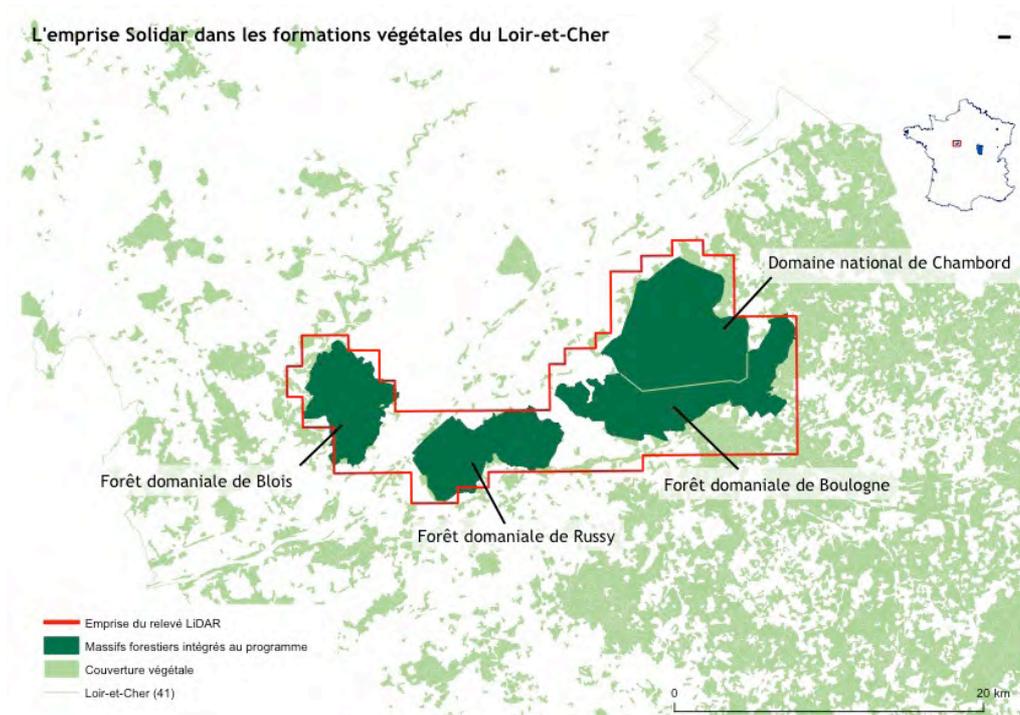


Figure 41. Extension de l'acquisition LiDAR dans le cadre du programme SOLiDAR. SIG et CAO C. Laplaige, SOLiDAR - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

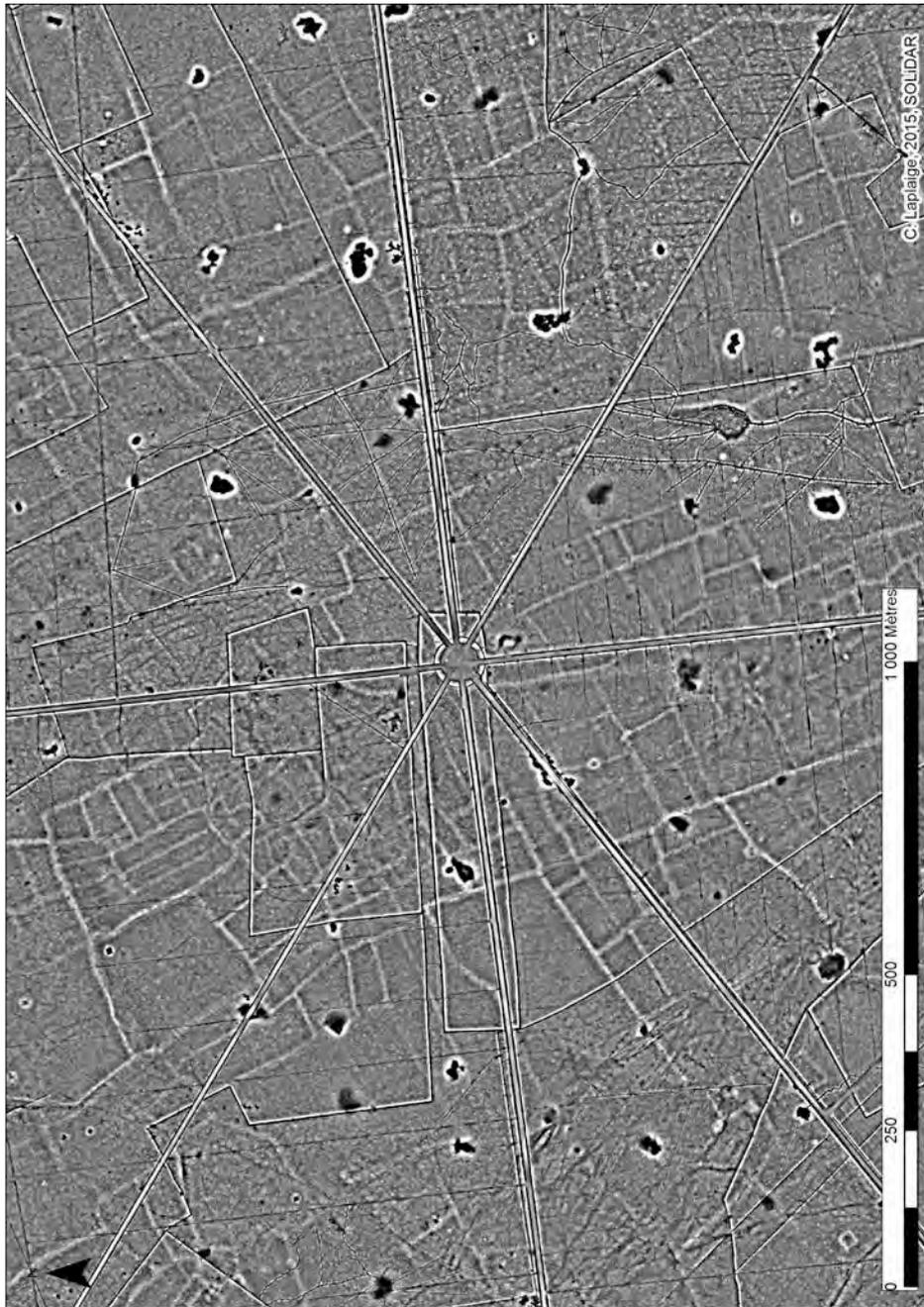


Figure 42. Forêt de Russy, Loir-et-Cher, France, Cette scène LiDAR révèle 3 trames parcelaires superposées (du sommet à la base) : (1) la trame actuelle, composé d'un rond-point en étoile et de chemins forestiers linéaires disposés de manière régulière, (2) une trame formant de grands ensembles et composée de talus et de fossés, (3) une trame plus resserrée, formée par des talus. C. Laplaige, SOLiDAR

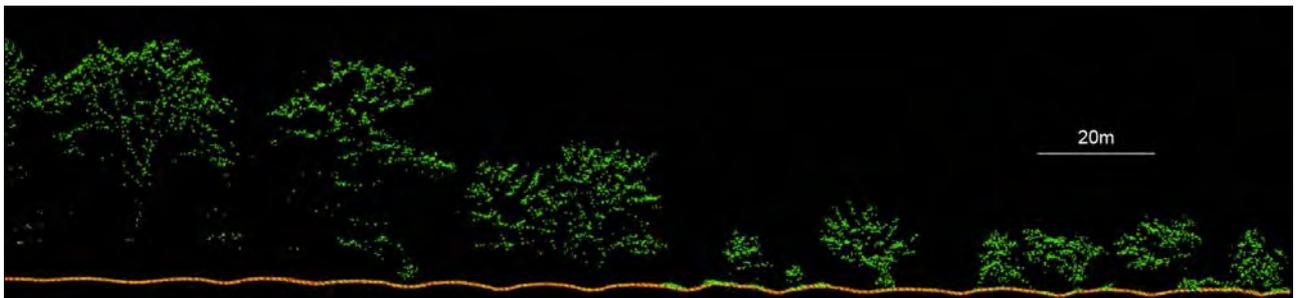


Figure 43. Chambord, France, Planches de labours vues sur une coupe du nuage de points LiDAR. C. Laplaige, SOLiDAR

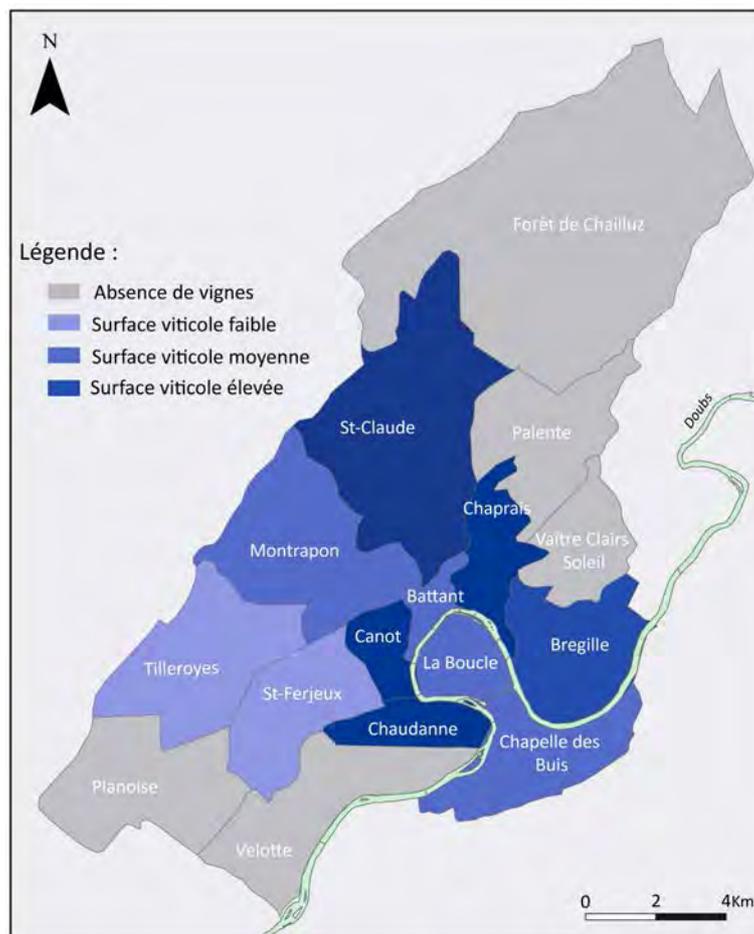


Figure 44. Besançon, Doubs. Emprise viticole au XVIème s. SIG et CAO C. Zimmer - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

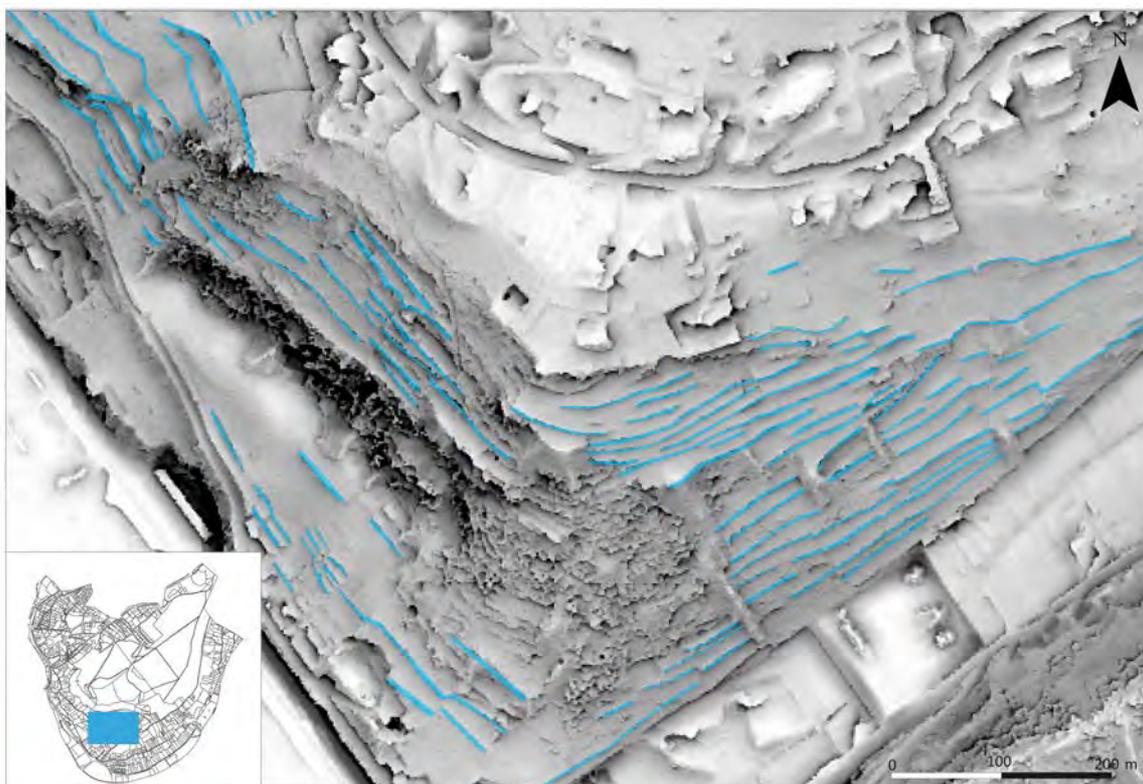


Figure 45. Types de structures identifiées sur la donnée LiDAR (SVF). MNT LIEPPEC © MSHE C.N. Ledoux, DAO C. Zimmer - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015



Figure 46. Exemple de terrasses et cabordes restaurées sous couvert forestier à Besançon. cliché L. Nuninger - MSHE Ledoux/ ODIT, 2015

Figure 47. Le chemin des crêtes de la forêt de Chailluz menant à la chapelle Saint-Gengoul, lors des travaux de mise en valeur en août 2015. Cliché D.Daval – ODIT-CHEF 2015



Figure 48. Stage CNRS Formation Entreprises. Sur machine et en pratique sur le terrain : repérage de structures topographique sur le terrain : identification et confrontation des perceptions sur le MNT LiDAR et sur le terrain. Cliché D.Daval – ODIT-CHEF 2013

**Provenance et nombre de stagiaires
LiDAR : initiation au traitement des données et à l'interprétation archéologique
Réseau inter-msh Information Spatiale et Archéologie
pour CNRS Formation entreprises**

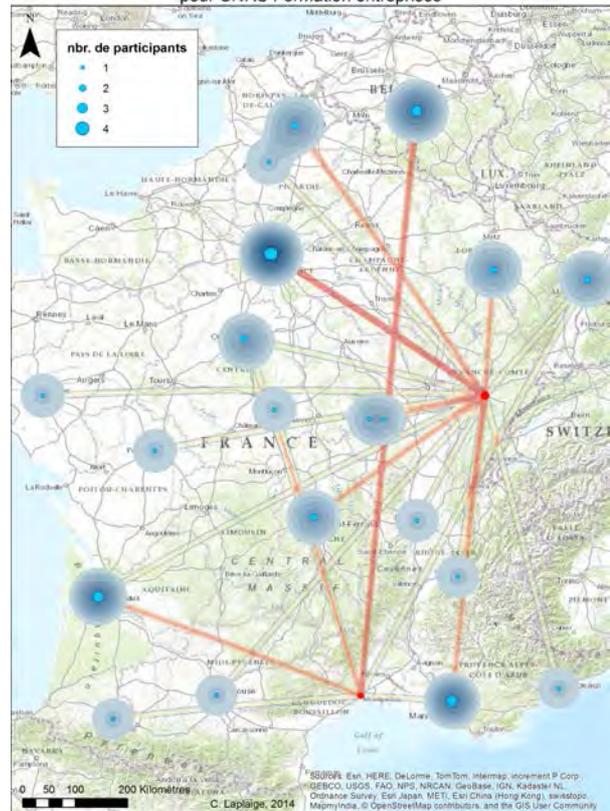


Figure 49. Provenance des stagiaires pour la formation Lidar - CNRS Formation Entreprises : bilan 2012-2014.



Ultra-light, standalone lidar system for UAVs (laser scanner, GNSS, INS, processing unit)

10/09/2015

Technical specification

- Class 1 laser
- Wavelength: 905 nm
- Maximum range: 100 m typ. 150 m abs.
- Range resolution: 4 cm
- Absolute accuracy (XY): 0.10 m + 1% x altitude ¹
- Absolute accuracy (Z): 0.10 m + 0.5% x altitude ¹
- Scanner field of view: 100 °
- 40,000 shots per second
- Multi-echo technology: up to 3 echoes per shot
- L1/L2 GPS, GLONASS (option), RTK-ready

Included accessories

- 2 batteries + charger
- WiFi remote control
- Software to produce geo-referenced point cloud

¹ expected under normal condition of use

Power and Dimensions

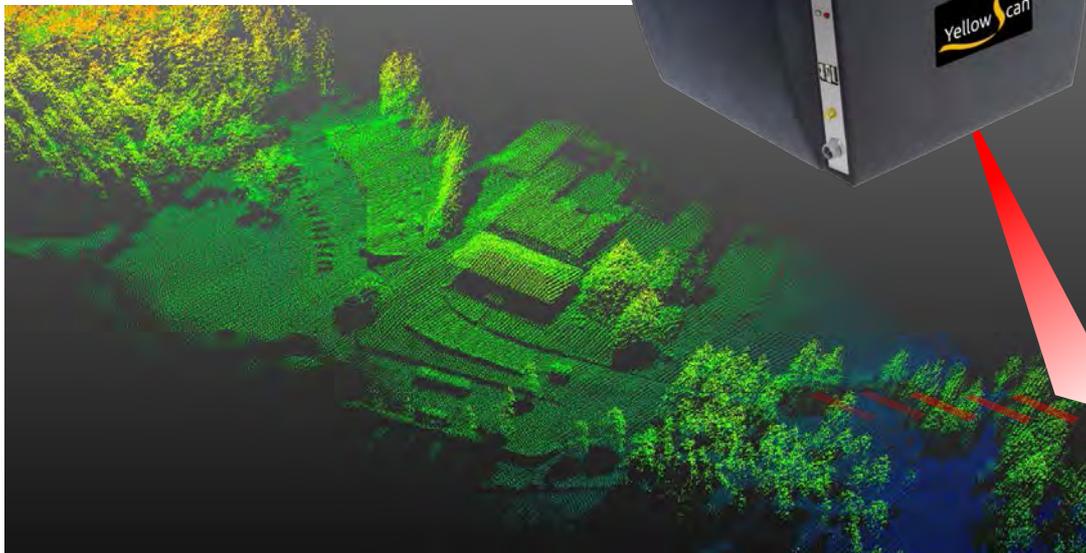
- Weight: 2.1 kg battery included
- Autonomy: 3 hours typ.
- Size: L 172mm x W 206mm x H 147mm

Environmental

- Operating temperature: -20 °C to +50 °C

Case studies

	Multicopter	Fixed wing
• Flight altitude AGL (m)	25	75
• Flight speed (km/h)	10	55
• Point density (echos/m ²)	250	12
• Swath (m)	60	180

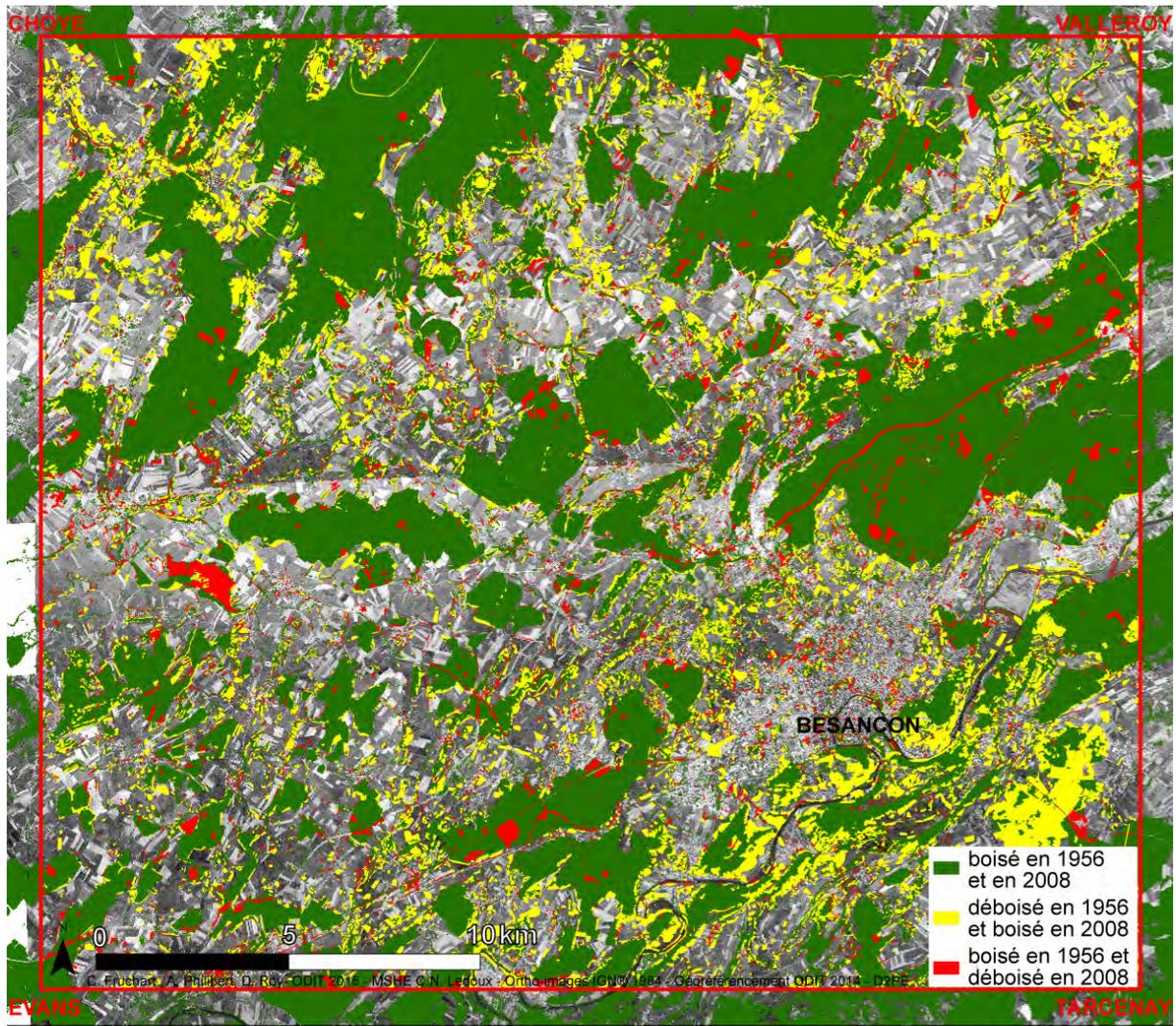


For more information on YellowScan@:

YellowScan Tel: +33 9 77 72 08 77
 1, chemin du Fescau Email: contact@yellowscan.fr
 34980 Montferrier sur Lez, France Web: http://www.yellowscan.fr

Information contained is believed to be accurate. However, no responsibility is assumed for its use.
 Technical information is subject to change without notice.

Figure 50. YellowScan, L'avion Jaune has developed the world's first en lightest lidar system. News 24 mars 2014 - <http://yellowscan.lavionjaune.com>



Variations de la couverture forestière sur la zone d'étude (environ 700 km²) entre 1956 et 2008

Figure 51. Changement d'occupation du sol entre deux dates 1956 et 2008 : continuité du boisement en vert, conquête forestière en jaune et déboisements en rouge. C. Fruchart, A. Philibert, D. Roy – MSHE Ledoux / ODI 2015 (Ortho image IGN 1984, géoréférencement ODI 2014 D2PE).

Construction Historique des Espaces Forestiers

Références bibliographiques

- ALLÉE Philippe, PARADIS Sandrine, BOUMÉDIÈNE Farid et ROUAUD Romain, « L'exploitation médiévale du plomb argentifère sur le mont Lozère », *ArcheoSciences*, n° 34, avril 2010, p. 177-186.
- BAS Clémence, *Impact de l'anthropisation ancienne sur la végétation et les sols de la forêt de Chailluz (25)*, Mémoire de Master, Université de Franche-Comté, Besançon, 2013, 24 p.
- BÉPOIX Sylvie, *Une cité et son territoire: Besançon 1391, l'affaire des fourches patibulaires*, Besançon : Presses Universitaires de Franche-Comté, 2010.
- BOITEUX, « La prébende et les prébendiers de Tallenay », *Bulletin de l'Académie de Besançon*, 1930, p. 145-172.
- BONNEAU Maurice, LEVY Gérard et MONTPIED Pierre, « Evaluation de la pertinence des deux méthodes d'analyse du phosphore dans les sols forestiers », *Revue forestière française*, vol. 55, n° 1, 2003, p. 57-64.
- CASTAN Auguste, *Origines de la commune de Besançon...*, Besançon : Bulle, 1858.
- CHALLIS Keith, FORLIN Paolo et KINCEY Mark, « A generic toolkit for the visualization of archaeological features on airborne lidar elevation data », *Archaeological Prospection*, vol. 18, n° 4, 2011, p. 279-289.
- CHALVET Martine, *Une histoire de la forêt*, Paris : Seuil, 2011.
- CHEVASSU Valentin et DESVIGNES M., *Le château et la seigneurie de Vautheau, en Autunois. Histoire, architecture et archéologie*, Dijon : Centre de Castellologie de Bourgogne, 2015, 157 p.
- CONSTANTIN E. et SCHNELL A., *Spectrométrie de masse. Principes et applications*, Paris : Lavoisier, 1996 (TEC et DOC).
- CORVOL Andrée, DEREIX Charles, GALOCHET Marc, GRESSER Pierre, LORMANT François et ROCHEL Xavier, *Regards sur la forêt*, Paris : L'Harmattan, 2014.
- COURTIEU Jean, *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Saint-Vit - Vyt-les-Belvoir*, Besançon : Cêtre, 1987 (tome 6).
- CROZET Aude, OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, *An improved approach to the recognition of standing remains*, présenté à Aerial Archeological Research Group, AARG 2014, 24-26 septembre 2014, Dublin, Irlande, 2014. URL : <http://www.aarg2014.org/index.php/programme/abstracts/14-crozet-opitz-nuninger>. Consulté le 11 septembre 2015.

- DABAS Michel, DELETANG H. et FERDIÈRE Alain, *La prospection*, Paris : Errance, 2006, 248 p.
- DAVAL Daniel, FRUCHART Catherine, BARRAL Philippe, BOIS Roland, FAVORY François, JOSSERON Jean Pierre, MOSCA Patrick, NUNINGER Laure et PETIT Marc, *Prospection et validation des données LiDAR. Rapport 2012*, Besançon : SRA Franche-Comté, 2012, p. 208.
- DAVAL Daniel, FRUCHART Catherine, BARRAL Philippe, BOSSUET Gilles, DUPIN Aurore, FAVORY François, GIRARDCLOS Olivier, GROSBOIS Jean-Paul, JOSSERON Jean Pierre, LAPLAIGE Clément, MOSCA Patrick, NUNINGER Laure, PETIT Marc et SORDOILLET Dominique, *Besançon et ses environs (25), Prospection et validation de données LiDAR, rapport 2014*, Besançon : SRA Franche-Comté, 2014, p. 199.
- DAVAL Daniel, FRUCHART Catherine, BARRAL Philippe, FAVORY François, JOSSERON Jean Pierre, MOSCA Patrick, NUNINGER Laure, NUNINGER Laure et PETIT Marc, *Besançon et ses environs (25), Prospection et validation de données LiDAR, rapport 2013*, Besançon : SRA Franche-Comté, 2013, p. 252.
- DAVAL Daniel, FRUCHART Catherine, FAVORY François, NUNINGER Laure et BARRAL Philippe, *Besançon et environs (25). Prospection et validation de données LiDAR. Rapport 2010*, Besançon : SRA Franche-Comté, 2010, p. 69.
- DAVAL Daniel, FRUCHART Catherine, FAVORY François, NUNINGER Laure, BARRAL Philippe, BOSSUET Gilles et LAPLAIGE Clément, *Besançon et environs (25), Prospection et validation de données LiDAR, rapport 2011.*, Besançon : SRA Franche-Comté, 2011, p. 183. URL : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00772116>.
- DAVASSE Bernard, *Forêts, charbonniers et paysans dans les Pyrénées de l'est du Moyen Age à nos jours: une approche géographique de l'histoire de l'environnement*, Toulouse : Geode, 2000.
- DIANIN Séverine, *Les forêts de Besançon au XVIIIème siècle*, Mémoire de Maîtrise, Université de Franche-Comté, Besançon, 1995.
- DUPOUEY J.-L., DAMBRINE Etienne, DARDIGNAC Cécile et GEORGES-LEROY Murielle, « La mémoire des forêts. Actes du colloque "Forêt, archéologie et environnement" 14-16 décembre 2004. », 2007.
- ELLENBERG Heinz, WEBER Heinrich E., DÜLL Ruprecht, WIRTH Volkmar, WERNER Willy et PAULIBEN Dirk, « Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa », *Scripta Geobotanica*, n° 18, 1992, p. 1-248.
- FIÉTIER Roland, *Recherches sur la banlieue de Besançon au Moyen Âge*, Besançon : Presses Univ. Franche-Comté, 1973 (vol. 153).
- FOHLEN Claude, *Histoire de Besançon*, Paris : Nouvelle Librairie de France, 1964 (vol. 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, Université de Franche-Comté, Besançon, 2014, 722 p. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01099184/>. Consulté le 3 décembre 2015.
- FRUCHART Catherine, « Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz

- (Besançon, Doubs) de la préhistoire à nos jours. », in *Prix A'Doc de la jeune recherche en Franche-Comté 2011*, Besançon : PUFC, 2011, p. 49-64. URL : <http://www.theses.fr/s35059>. Consulté le 29 octobre 2013.
- GALOCHET Marc, « Le massif forestier du dehors et du dedans: limites, marges et discontinuités de l'espace forestier », *Revue Géographique de l'Est*, vol. 49, n° 2-3, 2009. URL : <http://rge.revues.org/1917>. Consulté le 2 décembre 2015.
- GEORGES-LEROY Murielle, BOCK Jérôme et DAMBRINE Étienne, « Apport du lidar à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye », *ArchéoSciences*, vol. 35-2011, 2012, p. 117-129.
- GEORGES-LEROY Murielle, BOCK Jérôme, DAMBRINE Etienne, DUPOUEY Jean-Luc, GEBHARDT Anne et LAFFITE Jean-Denis, « Les vestiges gallo-romains conservés dans le massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle). Leur apport à l'étude de l'espace agraire. », in *Des hommes aux champs. Pour une archéologie des espaces ruraux du néolithique au Moyen Age.*, Presses universitaires de Rennes, 2012, p. 157-180.
- GEORGES-LEROY Murielle, BOCK Jérôme, DAMBRINE Etienne, DUPOUEY Jean-Luc et LAFFITE Jean-Denis, « Parcelles et habitat antiques des forêts du plateau de Haye en Lorraine: bilan et perspectives », in *Dossiers du programme européen Rurland*, présenté à Workshop 2, Les parcelles conservés sous forêt, Paris, INHA, 2014. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01067845>.
- GEORGES-LEROY Murielle, NUNINGER Laure et OPITZ Rachel, « Lidar : technique de détection au service de l'archéologie », *Techniques de l'ingénieur La science au service de l'art et du patrimoine*, base documentaire : TIB579DUO., ref. article : in215, 2014, titre du fascicule : *Editions T.I.* URL : <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/la-science-au-service-de-l-art-et-du-patrimoine-42579210/lidar-technique-de-detection-au-service-de-l-archeologie-in215/>. Consulté le 26 juin 2014.
- GOGUEY Dominique, CORDIER Alexandra et CHEVIGNY Emmanuel, « Typologie des enclos dans les forêts du Châtillonnais : enclos d'habitats et enclos culturels », in *Dossiers du programme européen Rurland*, présenté à Workshop 2, Les parcelles conservés sous forêt, Paris, INHA, 2014. URL : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01053247>. Consulté le 25 juin 2015.
- HILL Mark O., MOUNTFORD J. O., ROY D. B. et BUNCE Robert Gerald Henry, *Ellenberg's indicator values for British plants. ECOFACT Volume 2 Technical Annex*, Huntingdon : Institute of Terrestrial Ecology, 1999 (vol. 2). URL : <http://nora.nerc.ac.uk/6411/1/ECOFACT2a.pdf>. Consulté le 3 décembre 2015.
- LABAUNE Yannick, ALIX Stéphane, BALCON-BERRY S., BARRIÈRE V., BORAU P., CAUET B., HOSTEIN A., KASPRZYK Michel, LOUIS A., MAURICE-CHABARD B., NOUVEL Pierre et VENAULT Stéphane, *Autun antique*, Paris : Edition du Patrimoine / Centre des monuments nationaux, 2014, 144 p.
- LANOS Philippe, PHILIPPE A., LANOS H. et DUFRESNE Ph., , Nantes-Rennes, France : CNRS, 2015. URL : <http://www.chronomodel.fr>.
- LAPLAIGE Clément, *Comparaison de signaux (géophysique, LiDAR) utilisés dans l'étude des*

dynamiques anthropiques et naturelles, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon, 2012, 492 p. URL : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00732379>. Consulté le 29 octobre 2013.

MARMET Eric, *Les propriétés magnétiques des sols : origine, caractéristiques et perspectives pour l'étude de l'évolution des paysages.*, Thèse de doctorat, Université de Paris VI, Paris, 2000, 236 p.

MOORE Tom, BRAUN Arno, CREIGHTON John, CRIPPS Laura, HAUPT Peter, KLENNER Ines, NOUVEL Pierre, PONROY Côme et SCHÖNFELDER Martin, « Oppida, Agglomerations, and Suburbia: the Bibracte Environs and New Perspectives on Late Iron Age Urbanism in Central-Eastern France », *European Journal of Archaeology*, vol. 16, n° 3, 2013, p. 491-517.

MULLER Céline, *La forêt de Chailluz. 1500-1674*, Mémoire de Maîtrise, Université de Franche-Comté, Besançon, 1999.

NEF John U., *Les fondements culturels de la civilisation industrielle. Trad. de l'anglais par Robert Saille*, Paris : Payot, 1964.

NOUVEL Pierre, BARRAL Philippe, CHEVASSU Valentin, GAETAN, IZRI Stéphane, LAPLAIGE Clément, LOIRE M. et THIVET Matthieu, *L'occupation des territoires entre Morvan et Arroux de la Préhistoire au Moyen-âge, résumé des résultats de la campagne 2014*, in Guichard (V.) dir., *Bibracte, rapport quadriennal de recherche 2013-2016 sur le Mont Beuvray, rapport intermédiaire 2014, synthèse*, Glux-en-Glenne : BIBRACTE, 2014, p. 309-314.

NOUVEL Pierre, BARRAL Philippe, CHEVASSU Valentin, GAETAN, IZRI Stéphane, LAPLAIGE Clément, LOIRE M. et THIVET Matthieu, *Prospections-inventaires. Les campagnes de Bibracte et d'Augustodunum. L'occupation des territoires entre Morvan et Arroux de la Préhistoire au Moyen-âge, rapport 2014*, UMR Chronoenvironnement, Besançon : SRA Bourgogne, 2014, p. 37.

NOUVEL Pierre, BARRAL Philippe, CHEVASSU Valentin, IZRI Stéphane, JACCOTTEY Luc, LAPLAIGE Clément et LUCASELLI M., *Les campagnes de Bibracte et d'Augustodunum. L'occupation des territoires entre Morvan et Arroux de la préhistoire au moyen-âge, Rapport 2013*, UMR Chronoenvironnement, Besançon : SRA Bourgogne, 2013, p. 126.

NOUVEL Pierre, BARRAL Philippe, CHEVASSU Valentin, IZRI Stéphane, LOIRE M., POITOUT Bernard, STOCK Agnès et THIVET Matthieu, « Les opérations prospections inventaires menés par l'UMR 6249 Chronoenvironnement en Bourgogne : résultats de la campagne 2013 », in *Actes de la journée régionale d'archéologie, 24 mai 2014*, Dijon, SRA Bourgogne, 2015 (Archéologie en Bourgogne), p. 5-11.

NOUVEL Pierre et THIVET Matthieu, « De la période laténienne à l'époque romaine en territoire éduen : permanence et ruptures dans les réseaux d'occupation rurale », in *L'évolution des sociétés gauloises du second âge du Fer, entre mutations internes et influences externes*, présenté à Actes du 38ème colloque de l'AFEAF, Amiens, 28 mai – 1er juin, Malrain (Fr.), Blanquaert (G.), 2014 (Revue Archéologique de Picardie, Numéro Spécial).

NOUVEL Pierre, VENAULT Stéphane, BOSSUET Gilles, GAETAN Loïc et IZRI Stéphane, « Les agglomérations antiques du centre-est de la Gaule : premiers résultats d'un programme

- collectif de recherche en cours », *Bulletin de la Société Française d'Archéologie Classique*, XLV, n° 1, 2015, p. 163-172.
- NUNINGER Laure, FRUCHART Catherine et OPITZ Rachel, « LiDAR : quel apport pour l'analyse des paysages ? », *Bulletin AGER*, n° 20, 2010, p. 34-43.
- OPITZ Rachel et COWLEY Dave (dirs.), *Interpreting Archaeological Topography – 3D Data, Visualization and Observation*, Oxford : Oxbow Books, 2013, 288 p.
- OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, « Point Clouds Segmentation of Mixed Scenes with Archeological Standing Remains: A Multi-Criteria and Multi-Scale Iterative Approach », *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 3, n° 2, 2014, p. 287-304.
- OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, « Point Cloud Metrics for Separating Standing Archaeological Remains and Low Vegetation in ALS Data », *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 1, n° 2, 2013, p. 459-464.
- PARADIS-GRENOUILLET Sandrine, *Etudier les forêts métallurgiques: analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques. L'exemple des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin*, Thèse de doctorat, Université de Limoges, Limoges, 2012, 452 p. URL : <https://hal-clermont-univ.archives-ouvertes.fr/tel-01131807/>. Consulté le 3 décembre 2015.
- RACINET Philippe, SCHWERDROFFER Joël et BLAIZOT Frédérique, *Méthodes et initiations d'histoire et d'archéologie*, Nantes : Éditions du temps, 2004.
- REIMER Paula J., BARD Edouard, BAYLISS Alex, BECK J. Warren, BLACKWELL Paul G., BRONK RAMSEY Christopher, BUCK Caitlin E., CHENG Hai, EDWARDS R. Lawrence et FRIEDRICH Michael, « IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP », *Radiocarbon*, 2013.
- RILEY Melanie A., « Automated Detection of prehistoric conical burial mounds from LIDAR bare-earth digital elevation models », *A thesis presented to the Department of Geology and Geography in candidacy for the degree of Master of Science, North Missouri State University Maryville, Missouri, MO, USA*, 2009.
- ROUAUD Romain, *Les forêts de pente de la haute vallée de la Dordogne: enjeux écologiques et énergétiques d'une ancienne forêt charbonnée (Auvergne, Limousin, France)*, Thèse de doctorat, Université de Limoges, Limoges, 2013, 450 p. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00928478>. Consulté le 3 décembre 2015.
- ŠTULAR Benjamin, KOKALJ Žiga, OŠTIR Krištof et NUNINGER Laure, « Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features », *Journal of Archaeological Science*, n° 39, 2012, p. 3354-3360.
- TRIER Øivind Due et PILØ Lars Holger, « Automatic detection of pit structures in airborne laser scanning data », *Archaeological Prospection*, vol. 19, n° 2, 2012, p. 103-121.
- ZAKŠEK Klemen, OŠTIR Kristof et KOKALJ Žiga, « Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique », *Remote Sensing*, vol. 3, n° 2, février 2011, p. 398-415.

Construction Historique des Espaces Forestiers

Publications et autres productions

0. Posters, communications, etc

- CROZET Aude, OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, *An improved approach to the recognition of standing remains*, présenté à Aerial Archeological Research Group, AARG 2014, 24-26 septembre 2014, Dublin, Irlande, 2014. URL : <http://www.aarg2014.org/index.php/programme/abstracts/14-crozet-opitz-nuninger>. Consulté le 11 septembre 2015.
- FOVET Elise, *LiDAR in Macchia*, présenté à TRAIL 2014, 26-28 mars 2014, Frasne, France, 2014.
- FRUCHART Catherine, *LiDAR et traces agraires fossiles autour de Besançon : potentiel et limites de l'outil de télédétection*, présenté à Séminaire « LiDAR et traces agraires fossiles », programmes Feder-ODIT et ERC-RurLand, 19-20 mai 2015, Besançon : DRAC, 2015.
- FRUCHART Catherine, *Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) : quelle occupation du sol à la période romaine ?*, présenté à Atelier n°2, programme de recherche européen Rurland, 5 mai 2014, INHA, Paris, 2014.
- FRUCHART Catherine, *Utilisation de plans forestiers 18-19eme siècles pour une étude archéologique des paysages passés de la forêt de Chailluz (Besançon)*, présenté à Géolocalisation de sources anciennes, 13 novembre 2014, MSH, Dijon, 2014.
- FRUCHART Catherine, *Besançon, forêt de Chailluz. Exploitation de données LIDAR*, présenté à Collège de direction territoriale de l'ONF Franche-Comté, 10 avril 2013, Besançon, 2013.
- FRUCHART Catherine, *Besançon, forêt de Chailluz. Exploitation de données LIDAR*, présenté à Réseau forêt de l'ONF Franche-Comté, 24 janvier 2013, Besançon, 2013.
- FRUCHART Catherine, *Acquisition de données LIDAR et prospections en forêt de Chailluz*, présenté à ONF - Unité territoriale de Besançon, 27 juin 2012, Besançon : ONF, 2012.
- FRUCHART Catherine, *Acquisition de données LiDAR et prospections en forêt de Chailluz.*, présenté à Communication pour la Ville de Besançon : service des Espaces Verts, service municipal d'Archéologie préventive, Service du Plan., Besançon : MSHE C. N. Ledoux, 2011.
- FRUCHART Catherine, *Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) de la Préhistoire à nos jours.*, présenté à Première édition de la « journée des doctorants du environnement », Besançon : UFC, 2011.
- FRUCHART Catherine et DAVAL Daniel, *Utilisation de données LiDAR : prospections autour de Besançon. Résultats pour 2014 et perspectives pour 2015*, présenté à Journée de pré-programmation 2015 de l'archéologie en Franche-Comté, 28 août 2014, Besançon : DRAC - Service Régional de l'Archéologie de Franche-Comté, 2014.
- FRUCHART Catherine et DAVAL Daniel, *Utilisation de données LIDAR : prospections autour de Besançon. Résultats pour 2013 et perspectives pour 2014*, présenté à Journée de pré-programmation 2014 de l'archéologie en Franche Comté, 17 septembre 2013, Besançon : DRAC - Service Régional de l'Archéologie de Franche-Comté, 2013.
- FRUCHART Catherine et DAVAL Daniel, *Utilisation de la technologie LIDAR pour des recherches archéologiques en milieu forestier à Besançon et dans ses environs*, présenté à Utilisation de la technologie lidar pour des recherches archéologiques en milieu forestier à Besançon et dans ses environs, 14 mars 2013, Montfaucon, 2013.
- FRUCHART Catherine et DAVAL Daniel, *Utilisation de données LIDAR : prospections autour de Besançon. résultats pour 2012 et perspectives pour 2013*, présenté à Journée de pré-programmation 2013 de l'archéologie en Franche-Comté, 2 octobre 2012, Besançon : DRAC - Service Régional de l'Archéologie de Franche-Comté, 2012.
- FRUCHART Catherine, OPITZ Rachel et LAPLAIGE Clément, *LIDAR data for the study of past and present landscapes: some results and perspectives around Besancon (Franche-Comté, France)*, présenté à CAA 2014, 22-25 avril 2014, Paris, 2014.
- FRUCHART Catherine et ROSSI Albane, *Utilisation de documents planimétriques pour l'étude de dynamiques paysagères*, Communication présenté à Atelier doctoral « Les cartes anciennes, une source pour les SHS ? » MISHA, Strasbourg, 20GEORGES-LEROY Murielle et FRUCHART Catherine, *Deux massifs forestiers du nord-est de la France étudiés par*

LiDAR : les forêts de Haye (Meurthe-et-Moselle) et de Chailluz (Doubs), Communication présenté à Training and Research in the Archaeological Interpretation of LiDAR (TRAIL), Glux-en-Glenne (BIBRACTE), 2011.

GROSBOIS Jean-Paul et JOSSERON Jean Pierre, *La forêt de Chailluz. 800 ans d'histoire mouvementée*, Communication présenté à Colloque HisTraFor 2012 (ONF), Nancy, 2012.

LAPLAIGE Clément, *Formation LiDAR appliqué à l'archéologie à l'École thématique d'Aspet (CNRM)*, conférence invitée présenté à Ecole thématique « LiDAR et géophysique » organisé par Alain Dabas et Pierre Flamant (CNRM, Centre national de Recherche météorologiques), 6-12 septembre 2015, Aspet, 2015. URL : <http://odit.hypotheses.org/1455>. Consulté le 4 décembre 2015.

LAPLAIGE Clément, BOSSUET Gilles, CROZET A, DAVAL Daniel, DUPIN Aurore, FRUCHART Catherine, GIRARDCLOS Olivier, NUNINGER Laure, OPITZ Rachel et RUFFALDI Pascale, *Construction historiques des espaces forestiers : apports de la télédétection, de la prospection et de la caractérisation de la végétation et des propriétés physico-chimiques des sols à la compréhension de la mise en place des espaces boisés. Le cas de la forêt de Chailluz*, conférence invitée présentée à Table-ronde : journée technique du CRAIG : cartographie et archéologie, 7 octobre 2014, Clermont-Ferrand, France, 2014. URL : <http://www.craig.fr/actualite/1273-journee-technique-du-craig-cartographie-et-archeologie>.

NUNINGER Laure, *Quand un paysage en cache d'autres... Formations de haut niveau « Paysage » de l'OSUR, Rennes 22 septembre 2015*, conférence invitée présenté à Formations de haut niveau « Paysage » de l'OSUR, 22 septembre 2015, Rennes, 2015. URL : <http://odit.hypotheses.org/1402>. Consulté le 4 décembre 2015.

OPITZ Rachel, *Archaeological Interpretation and Airborne Laserscanning ; 25 mars 2013*, Workshop présenté à Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference, Perth, Australia, 2013.

OPITZ Rachel, LAPLAIGE Clément, BOSSUET Gilles, GIRARDCLOS Olivier, FRUCHART Catherine, DAVAL Daniel et NUNINGER Laure, *Saint-Gengoux de Tallenay : from an intra-site survey to a broader understanding of a woodland landscape ; 23 avril 2014*, Paris, 2014. URL : http://caa2014.sciencesconf.org/conference/caa2014/pages/BOACAA_2016.pdf.

OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, *Point Cloud Metrics for Separating Standing Archaeological Remains and Low Vegetation in ALS Data*, présenté à TRAIL 2014, 26-28 mars 2014, Frasne, France, 2014.

1. Article dans une revue à comité de lecture

DUPIN Aurore, « Impacts de la production de bois de feu et de bois d'oeuvre sur la forêt franc-comtoise du XVe au XXe siècle », in *Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens*, présenté à Journée d'étude franco-suisse sur l'Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens, 4 octobre 2014, Lons-le Saunier, [s.n.], à paraître.

FRUCHART Catherine, « Utilisation de plans forestiers XVIIIe-XIXe siècles pour une étude archéologique des paysages passés de la forêt de Chailluz (Besançon). », *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre*, Hors-série, à paraître.

FRUCHART Catherine, « Connaitre les paysages passés autour de Besançon : apport des nouvelles technologies au regard de l'archéologue. », in , présenté à «Les Mercredi Pasteur», Université de Franche-Comté ouverte, 21 janvier 2015, Besançon, France, [s.n.], à paraître. URL : <http://www.craig.fr/actualite/1273-journee-technique-du-craig-cartographie-et-archeologie>.

FRUCHART Catherine, « Compte-rendu de mémoire de thèse : Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, DOUBS) de l'Antiquité à nos jours », in *Sciences Humaines Combinées 15, actes du colloque 2015*, présenté à Sciences Humaines Combinées 15, Besançon, France, Université de Franche-Comté, à paraître. URL : <http://www.theses.fr/s35059>.

FRUCHART Catherine, LAPLAIGE Clément, OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, « The LIEPPEC Project: using lidar for the study of long term landscape change », *Antiquity*, vol. 085, n° 327, 2011. URL : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00617048>.

GIRARDCLOS Olivier, « La dendrochronologie : de la datation à la restitution de paysage forestier », in *Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens*, présenté à Journée d'étude franco-suisse sur l'Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens, 4 octobre 2014, Lons-le Saunier, [s.n.], à paraître.

GIRARDCLOS Olivier, BILLAMBOZ André et GASSMANN Patrick, « Abandoned Oak coppice on both sides of the Jura Mountains: dendroecological growth models highlighting woodland development and management in the past », in Holger GÄRTNER, Philippe ROZENBERG, Patricia MONTES, Olivier BERTEL, Ingo HEINRICH et Gerhard HELLE (dirs.), *TRACE Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology DENDROSYMPOSIUM 2011*, présenté à TRACE Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology DENDROSYMPOSIUM 2011, 11-14 mai 2011, Orléans,

Postdam, Allemagne, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2011, p. 71-78. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00738294>.

GROSBOIS Jean-Paul et JOSSERON Jean Pierre, « La forêt de Chailluz. 800 ans d'histoire mouvementée. », in Patrice HIRBEC (dir.), *Actes du colloque HisTraFor 2012*, présenté à Histoire et Traditions Forestières - HisTraFor 2012, Fontainebleau, Office national des forêts, 2013 (vol. 24), p. 89-100.

LAPLAIGE Clément, « Comparaison de signaux (LiDAR, géophysique) utilisés dans l'étude des dynamiques naturelles et anthropiques », *Sciences Humaines Combinées*, 10 - Actes du colloque interdoctoral 2012, 2012, [en ligne].

NUNINGER Laure, « Détection et analyse des structures archéologiques pour comprendre la forêt de Chailluz (à Besançon) hier et aujourd'hui », in , présenté à Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens, 4 octobre 2014, Lons-le Saunier, [s.n.], à paraître.

NUNINGER Laure, FORLIN Paolo, FRUCHART Catherine, LAPLAIGE Clément, OPITZ Rachel, FAVORY François et DAVAL Daniel, « Apport des données altimétriques lidar à la compréhension des zones humides : deux cas d'étude de mise en valeur antiques et médiévales », in *De la reconstitution des paysages à l'histoire des sociétés. 10 000 ans d'archives sédimentaires en zones humides*, Frasne, France, [s.n.], 2013. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01119849>.

NUNINGER Laure, FRUCHART Catherine, LAPLAIGE Clément, OPITZ Rachel, GEORGES-LEROY Murielle, FOVET Élise, DAVAL Daniel, GIRARCLOS Olivier, DUPIN Aurore, RUFFALDI Pascale, BOSSUET Gilles et BEPOIX Sylvie, « Détection et analyse des structures archéologiques pour comprendre la forêt de Chailluz (à Besançon) hier et aujourd'hui », in *Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens*, présenté à Journée d'étude franco-suisse sur l'Histoire des paysages forestiers comtois et jurassiens, 4 octobre 2014, Lons-le Saunier, [s.n.], à paraître.

OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, « Point Clouds Segmentation of Mixed Scenes with Archeological Standing Remains: A Multi-Criteria and Multi-Scale Iterative Approach », *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 3, n° 2, juin 2014, p. 287-304.

OPITZ Rachel et NUNINGER Laure, « Point Cloud Metrics for Separating Standing Archaeological Remains and Low Vegetation in ALS Data », in , présenté à 2013 XXIV CIPA Symposium, Strasbourg, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W2, 2013, p. 459-464.

OPITZ Rachel, NUNINGER Laure et FRUCHART Catherine, « Thinking topographically about the landscape around Besançon (Doubs, France) », in *Landscape Archaeology between Art and Science - From a multi- to an interdisciplinary approach*, présenté à Landscape Archaeology Conference, Amsterdam (Pays Bas), Amsterdam University Press, 2012 (Landscape & Heritage Series), p. 395-412.

OPITZ Rachel, NUNINGER Laure et FRUCHART Catherine, « Changing visual networks around Besançon: Combining intervisibility and vegetation modeling », in , présenté à Digital Heritage 2013 International, Marseille (France), 28 oct. - 1er novembre 2013, Marseille, [s.n.], à paraître.

ŠTULAR Benjamin, KOKALJ Ziga, OSTIR Krištof et NUNINGER Laure, « Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features », *Journal of Archaeological Science*, n° 39, 2012, p. 3354-3360.

2. Chapitre dans un ouvrage

DUPIN Aurore, GIRARCLOS Olivier, FRUCHART Catherine, LAPLAIGE Clément, SORDOILLET Dominique, DUFFRAISSE A., NUNINGER Laure et GAUTHIER E., « Anthracology of charcoal kilns in the forest of Chailluz (France) as a tool to understand Franche-Comté forestry from the 15th to the early 20th centuries », in T. LUDEMANN et O. NELLE (dirs.), *Anthraco2015 – 6th International Anthracology Meeting, Congress Guide, abstract volume*, ReproCenterUni Freiburg, Freiburg i.Br. : [s.n.], à paraître (vol. 51).

FRUCHART Catherine, « Analyse spatiale et temporelle de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) de la Préhistoire à nos jours », in *Prix A'Doc de la jeune recherche en Franche-Comté 2011*, PUFC, Besançon, France : [s.n.], 2011, p. 49-64.

3. Travaux universitaires et rapports de recherche

BAS Clémence, *Impact de l'anthropisation ancienne sur la végétation et les sols de la forêt de Chailluz (25)*, Besançon, France : Université de Franche-Comté, 2014, p. 24.

- FRUCHART Catherine, *Forêt de Chailluz. Assiette 2015. Evaluation du patrimoine archéologique. Hauteurs de canopée et histogrammes (d'après les données LiDAR de 2009).*, Besançon : MSHE C. N. Ledoux-ONF- Ville de Besançon, 2015, p. 67.
- FRUCHART Catherine, *Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, DOUBS) de l'Antiquité à nos jours*, Thèse de doctorat en archéologie sous la direction de François FAVORY, Université de Franche-Comté, Besançon, France, 8 décembre 2014. URL : <http://www.theses.fr/s35059>. Consulté le 4 décembre 2015.
- FRUCHART Catherine, *Calcul de hauteurs d'arbres à partir de données LiDAR. Application à la forêt de Chailluz*, Besançon : [s.n.], 2012ONF-UFC, .
- FRUCHART Catherine, *Potentiel archéologique des parcelles forestières listées sur l'état d'assiette 2013, estimé à partir de l'observation des données LiDAR et des prospections sur le terrain.*, Besançon : ONF-UFC, 2012, p. 13.
- FRUCHART Catherine, DAVAL Daniel, BARRAL Philippe, BOIS Roland, FAVORY François, JOSSERON Jean-Pierre, MOSCA Patrick, NUNINGER Laure et PETIT Marc, *Prospection et validation des données LiDAR*, Besançon : [s.n.], 2012rapport 2012, Besançon : SRA Franche-Comté, 2012, , p. 208.
- FRUCHART Catherine, DAVAL Daniel, BARRAL Philippe, FAVORY François, JOSSERON Jean Pierre, MOSCA Patrick, NUNINGER Jean, NUNINGER Laure et PETIT Marc, *Besançon et ses environs (25), Prospection et validation de données LiDAR, rapport 2013*, Besançon : [s.n.], 2013*Prospection et validation de données LiDAR, rapport 2013*, Besançon : SRA Franche Comté, 2013, , p. 252.
- FRUCHART Catherine, DAVAL Daniel, FAVORY François, NUNINGER Laure, BARRAL Philippe, BOSSUET Gilles et LAPLAIGE Clément, *Besançon et environs (25), Prospection et validation de données LiDAR, rapport 2011.*, Besançon : SRA Franche-Comté, 2011, p. 183. URL : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00772116>.
- LAPLAIGE Clément, *Comparaison de signaux (géophysique, LiDAR) utilisés dans l'étude des dynamiques anthropiques et naturelles. Dir. François FAVORY*, phdthesis, Université de Franche-Comté, [s.l.], 2012. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00732379/document>. Consulté le 9 septembre 2015.

4. Médiation auprès du grand public

- DAVAL Daniel, *Promenade archéologique en forêt de Chailluz*, Visite guidée présenté à Randonnée de découverte du patrimoine archéologique. Association Folklore Comtois, Besançon, 2015.
- DAVAL Daniel, *Promenade archéologique en forêt de Chailluz*, Visite guidée présenté à Les rendez-vous nature et culture de besançon / Sol et Nature, Besançon, 2015.
- DAVAL Daniel, *Promenade archéologique en forêt de Chailluz*, Visite guidée présenté à Les rendez-vous nature et culture de besançon / Nature et Jardin, Besançon, 2014.
- DAVAL Daniel, *Promenade archéologique en forêt de Chailluz*, Visite guidée présenté à Randonnée de découverte du patrimoine archéologique. Association ARESAC, Besançon, 2013.
- FRUCHART Catherine, *Projets LIEPPEC et « anthropisation d'un massif forestier »*, présenté à Les 10 ans de la MSHE C. N. Ledoux, 2 décembre 2011, Besançon, 2011. URL : <http://mshe.univ-fcomte.fr/manifestations-de-la-mshe/retour-en-images/10-ans-de-la-mshe?start=1>. Consulté le 20 novembre 2014.
- FRUCHART Catherine et DAVAL Daniel, *La pierre et le bois : promenade archéologique en forêt de Chailluz*, Visite guidée présenté à Les rendez-vous nature et culture de besançon / Nature et Pierre, Besançon, 2013.
- FRUCHART Catherine, *Anthropisation d'un milieu forestier : la forêt de Chailluz. Utilisation de la technologie LIDAR pour l'archéologie en milieu forestier*, présenté à Université ouverte, 21 novembre 2013, Besançon : UFC, 2013.
- FRUCHART Catherine, *Connaître les paysages passés autour de Besançon : apport des nouvelles technologies au regard de l'archéologie, 21 janvier 2015.*, présenté à « les mercredis Pasteur », université de Franche-Comté ouverte, Besançon, à paraître.
- JOSSERON Jean Pierre, GROSBOIS Jean-Paul et DAVAL Daniel, *Histoire de la forêt de Chailluz de l'Antiquité à nos jours*, Conférence grand public présenté à Association Folklore Comtois, Besançon, 2015.
- JOSSERON Jean Pierre, GROSBOIS Jean-Paul et DAVAL Daniel, *Histoire de la forêt de Chailluz de l'Antiquité à nos jours*, Conférence grand public présenté à Rendez-Vous « Nature et Culture » de la Ville de Besançon, Besançon, 2014.

- JOSSERON Jean Pierre, GROSBOIS Jean-Paul et DAVAL Daniel, *Histoire de la forêt de Chailluz de l'Antiquité à nos jours*, Châtillon-le-Duc, 2013.
- JOSSERON Jean Pierre, GROSBOIS Jean-Paul et DAVAL Daniel, *Histoire de la forêt de Chailluz de l'Antiquité à nos jours*, Conférence grand public présenté à Association généalogique franc-comtoise, Besançon, 2013.
- NUNINGER Laure, FRUCHART Catherine, LAPLAIGE Clément, DUPIN Aurore, OPITZ Rachel, DAVAL Daniel, BOSSUET Gilles, GIRACLOS Olivier, BEPOIX Sylvie, RUFFALDI Pascale, THIVET Matthieu, NOUVEL Pierre, ROSSI Albane, BARRAL Philippe, FAVORY François, TOURNEUX François Pierre, GAUTHIER Emilie et GEORGES-LEROY Murielle, *Construction historique des espaces forestiers*, présenté à Présentation des résultats du programme de recherche européen ODI, 23 juin 2015, Besançon, 2015.
- NUNINGER Laure, FRUCHART Catherine, LAPLAIGE Clément, DUPIN Aurore, OPITZ Rachel, DAVAL Daniel, BOSSUET Gilles, GIRACLOS Olivier, BEPOIX Sylvie, RUFFALDI Pascale, THIVET Matthieu, NOUVEL Pierre, ROSSI Albane, BARRAL Philippe, FAVORY François, TOURNEUX François Pierre, GAUTHIER Emilie et GEORGES-LEROY Murielle, *Construction historique des espaces forestiers*, présenté à Présentation des premiers résultats du programme de recherche européen ODI, 6 juin 2014, Besançon, 2014. URL : <http://odit.hypotheses.org/le-projet-odit/chantier-6-chef>.
- La forêt de Chailluz... vue du ciel*, France Bleu, MP3, Besançon, 2011. URL : <http://sciences-en-culture.univ-fcomte.fr/download/science-en-culture/document/eureka/saison-7/eureka-chailluz01.mp3>. Consulté le 4 décembre 2015.

odit

Infrastructure de données spatiales (IDS)

Rapport final d'activité

Coordination :
Ernest CHIARELLO et Laure NUNINGER



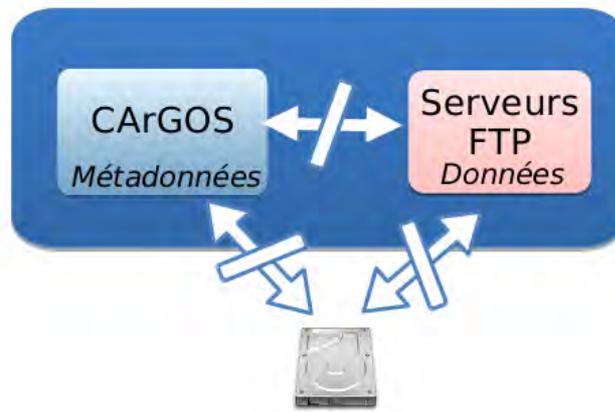
L'Infrastructure de Données Spatiales (IDS) ¹

Dans le cadre du projet d'ODIT au sein de la plate-forme technologique GéoGFC, la MSHE C. N. Ledoux, en partenariat avec la MSH de Dijon, a mis en œuvre une Infrastructure de Données Spatiales (IDS) basée sur une solution Owncloud-GeOrchestra. Il s'agissait de doter le programme d'un outil pérenne qui lui permette de mutualiser et de valoriser des données à références spatiales produites par les chantiers de l'ODIT. Ainsi, la directive Inspire est respectée.

Contexte :

Depuis les années 2000, nous pouvons observer une dynamique de production et de diffusion de données et notamment celles qui sont spatialisées, avec en particulier le mouvement Open data auquel se joignent de plus en plus de structures publiques. Initiée en 2007, la directive Inspire vise à favoriser le partage de l'information géographique dans le cadre de la politique communautaire environnementale.

De manière plus spécifique, la MSHE est une productrice et consommatrice importante de données spatialisées et ce fut en particulier le cas avec le programme ODIT. L'analyse des données géographiques est en effet présente dans de nombreux domaines de recherche, et ce de manière croissante. Néanmoins, les données produites manquent de visibilité et de synchronisation et sont donc sous-exploitées. Le schéma ci-dessous représente la gestion des données spatiales avant la mise en place de l'IDS : la multiplicité des lieux de stockage des données et le manque de synchronisation automatique.



La mise en place de l'IDS vise à pallier le manque de centralisation et de catalogage des données. A cette fin, la constitution d'une base de données spatiales interdisciplinaire permettra aux chercheurs d'avoir un inventaire des données existantes. L'IDS sera ainsi un outil intéressant pour le futur Observatoire des Territoires, des Entreprises et des Populations (ORTEP).

Choix technologiques :

Afin de créer une IDS simple pour les utilisateurs, la MSHE a choisi de déployer son projet en articulant deux solutions logicielles différentes mais complémentaires : GeOrchestra et Owncloud.

GeOrchestra constitue la composante principale de l'IDS. Il s'agit d'un système open-source développé

¹ E. Chiarello (dir.), L. Nuninger (dir.), S. Mollard, J. Micheland, M. Tovmassian, A. Maindron, G. Vuidel ; avec la contribution de C. Fruchart, C. Laplaige, D. Roy, E. Fovet, L. Grangon.

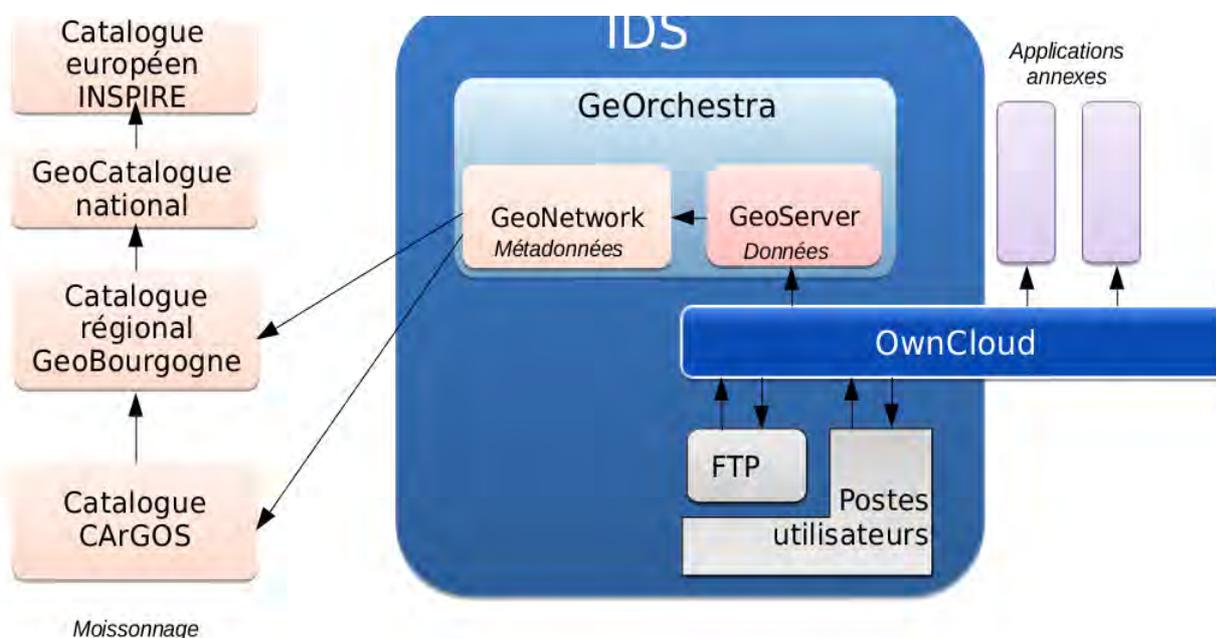
par la société Camptocamp depuis 2009 à la suite d'une commande publique de la région Bretagne. Le choix de GeOrchestra présente les trois avantages suivants :

- il s'agit d'un système intégré clé en main, regroupant directement les différentes briques logicielles nécessaires à une IDS (gestion des données par GeoServer, visualisation des données, gestion des métadonnées par GeoNetwork, etc) ;
- la communauté GeOrchestra est de taille importante et regroupe des acteurs variés (régions, collectivités locales et territoriales, unités de recherche) ce qui lui garantit une certaine pérennité ;
- la création de métadonnées prend en compte les conformités Inspire.

La principale faiblesse des catalogues de métadonnée, et des IDS de manière plus générale, est leur sous-utilisation en raison d'une charge de travail considérée comme trop lourde pour l'utilisateur qui souhaite publier ses données. Ainsi, les utilisateurs ayant déjà publié des données et les modifiant ne synchronisent pas systématiquement les données dès qu'elles sont modifiées. Afin de prévenir ce risque, il a été choisi de déployer l'IDS en combinant à GeOrchestra un serveur de stockage et de partage de fichiers en ligne, Owncloud.

Owncloud permet à chaque utilisateur d'avoir accès à ses données depuis n'importe quel ordinateur via une connexion internet. Cet outil permet un stockage et un partage de fichiers en ligne de manière sécurisée et simple. Par rapport à ses principales alternatives (Dropbox, Google Drive), Owncloud présente deux avantages essentiels :

- il s'agit d'un logiciel libre ;
- il est possible de choisir l'hébergement du serveur de données. Dans le cas de l'IDS, le serveur est installé au sein de la MSHE C. N. Ledoux, ce qui garantit la sécurité des données.



Le schéma ci-dessus présente l'IDS mise en place. Elle intègre la plateforme de catalogage de CARGOS (Catalogue de données Géographiques pour les Sciences humaines et sociales) créée par la MSH de

Dijon en collaboration avec la MSHE et disponible sur la TGIR HUMA-NUM (<http://cargos.huma-num.fr/>). Les données publiées dans l'IDS seront moissonnées par plusieurs catalogues de métadonnées pour que leur présence soit reconnue et valorisée.

Travail réalisé et à réaliser :

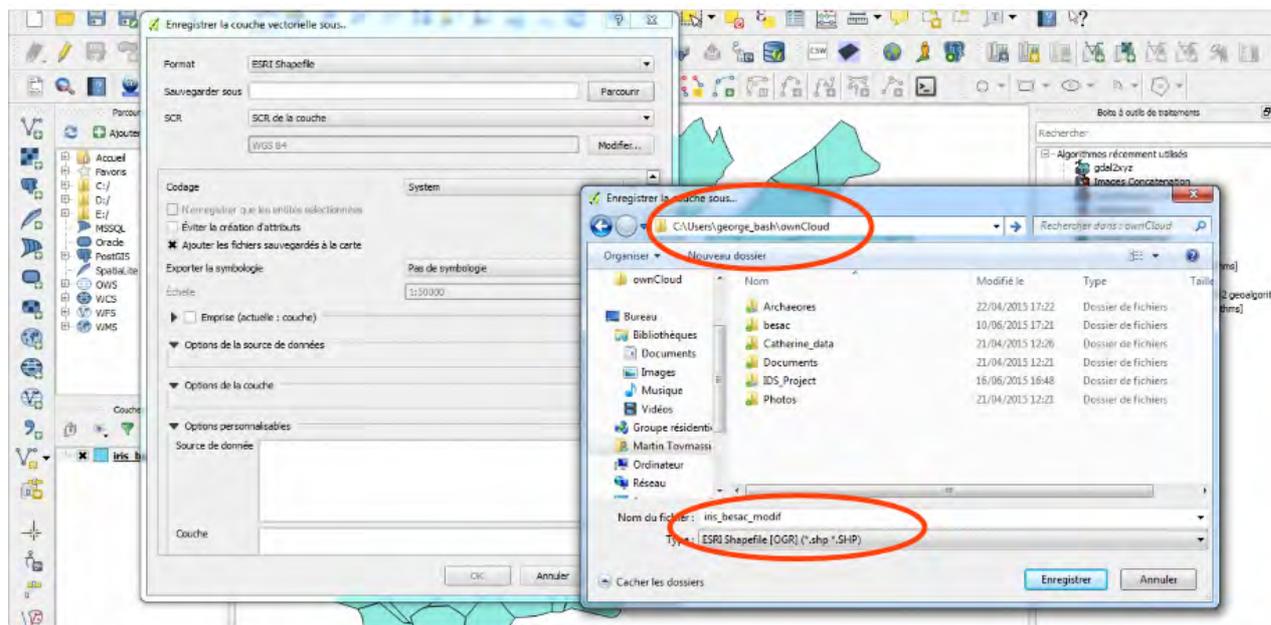
Afin d'articuler GeOrchestra avec Owncloud, un travail de création de scripts de synchronisation est effectué par l'équipe géomatique de la MSHE en collaboration avec le laboratoire THÉMA. Un temps conséquent est également consacré à des tests sur l'infrastructure mise en place et à la correction des problèmes relevés.

Initié en septembre 2014, le projet actuel répond déjà à plusieurs attentes : publication de données sur OwnCloud et accès à celles-ci pour tous les utilisateurs authentifiés sur GeOrchestra, création de fiches de métadonnées pour les données n'en comportant pas, synchronisation régulière des données, etc.. Conjointement, une automatisation de l'installation de GeOrchestra a été développée à partir de la solution Ansible, ce qui réduit le temps consacré à cette tâche.

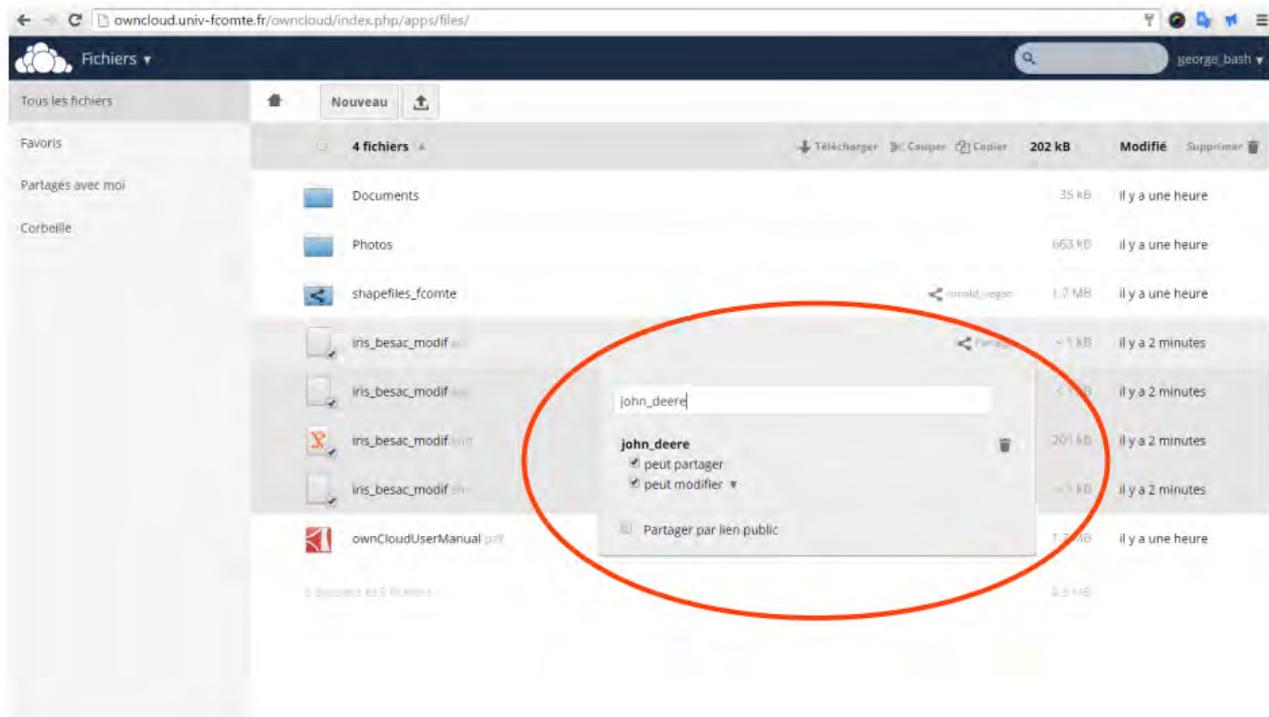
Il est néanmoins nécessaire de valider encore plusieurs étapes avant de proposer la première version de l'IDS. Il reste notamment à effectuer un travail sur la publication de données en prenant en compte plus de formats de données ainsi que leurs styles. Il n'est pas encore possible de publier directement les métadonnées associées à la couche publiée (sauf si celles-ci sont incluses à la couche, par exemple si elles ont été réalisées sous ArcCatalog), ni de répliquer finement les droits de partage Owncloud vers GeOrchestra.

Exemple d'utilisation de l'IDS :

- Etape 1 : Création de la couche de données spatiales avec un client SIG et enregistrement dans le répertoire Owncloud local qui est synchronisé avec le web :

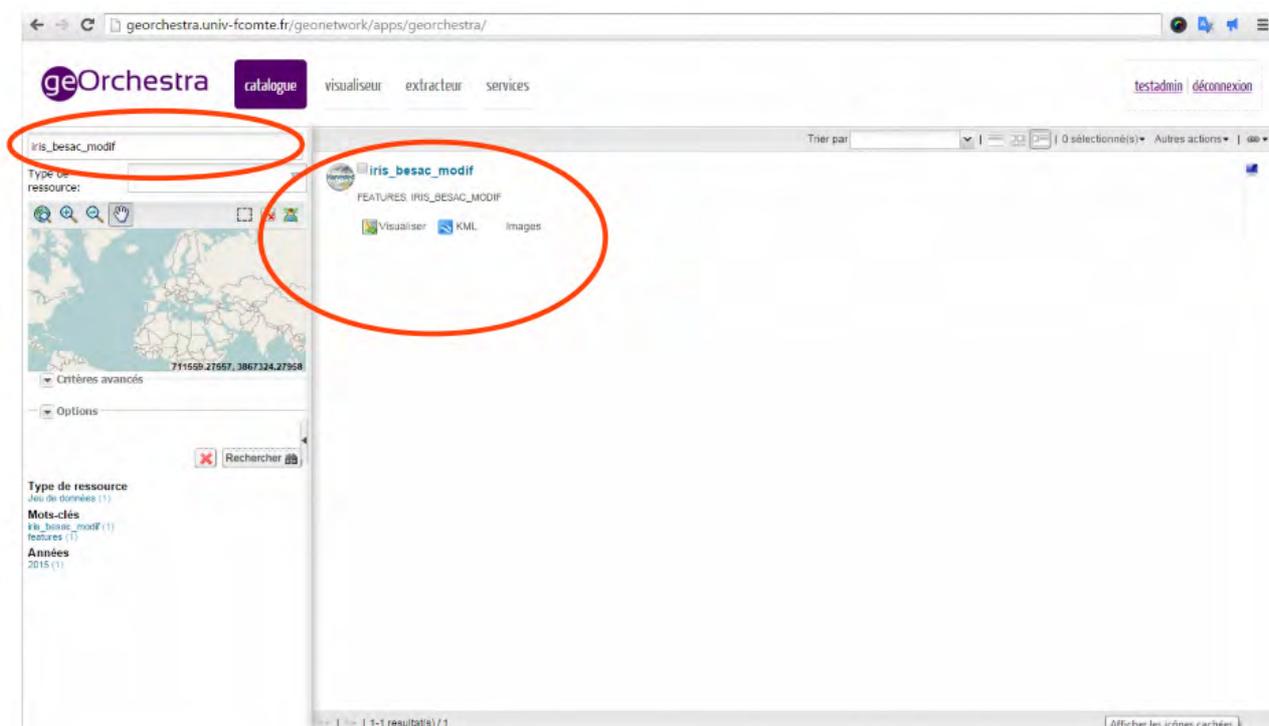


- Etape 2 : Connexion sur l'interface web d'Owncloud et partage de la couche aux utilisateurs souhaités :

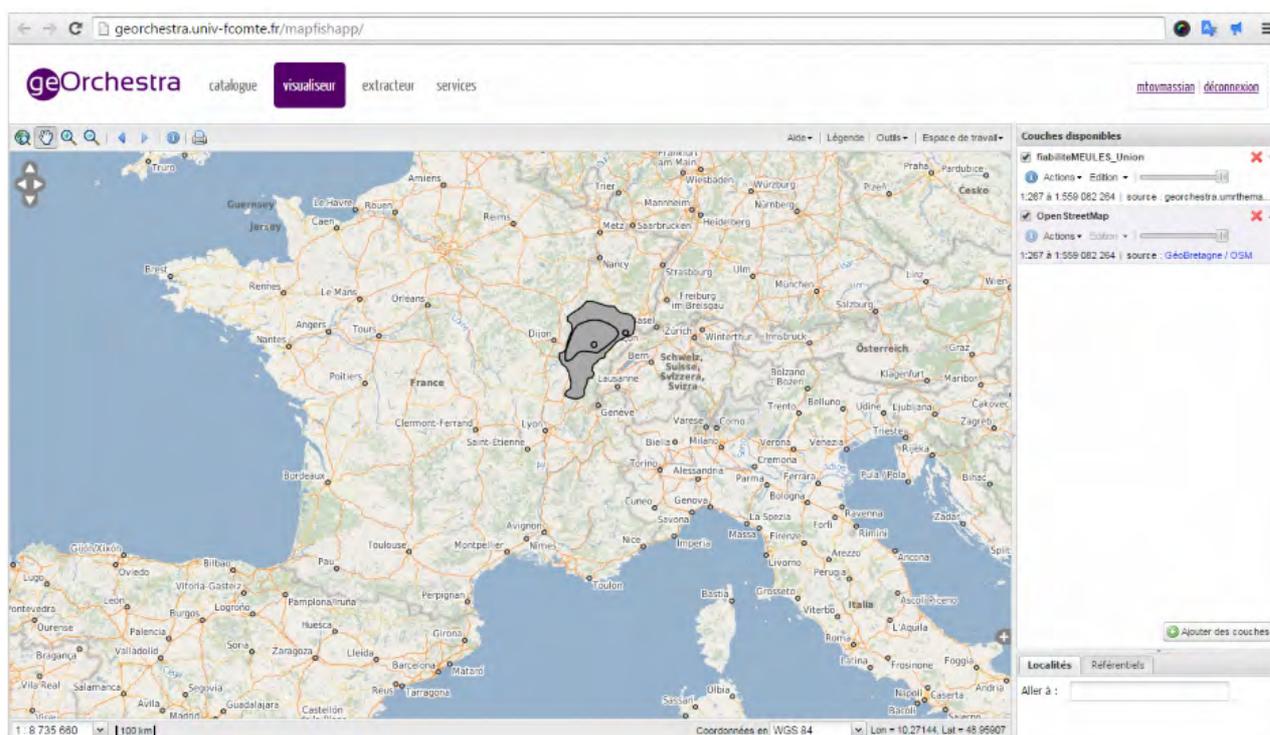


• Résultat :

La couche est partagée dans le répertoire Owncloud des destinataires. Elle est également bien publiée dans GeOrchestra et apparaît dans le catalogue de métadonnées



La couche peut-être visualisée directement en ligne ou bien dans un client SIG grâce à des flux OGC (WMS par exemple).



Valorisation des données par leur géocatalogage

Une métadonnée est l'identifiant de la donnée. Elle sert à décrire la couche. Le but d'une métadonnée est de faire connaître la donnée aux autres tout en valorisant le travail de l'équipe qui l'a réalisé. Pour cela plusieurs champs doivent être renseignés dans une base de données que l'on appelle géocatalogue.

La fiche de métadonnées suit les règles strictes de la directive Inspire en terme de conformité et d'interopérabilité au niveau des métadonnées. La Directive Inspire est la directive 2007/2/CE du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne. Elle vise à structurer la diffusion des données administratives au niveau européen.

Ci-dessous nous présentons une métadonnée type qu'il est nécessaire de remplir dans un outil de géocatalogage tel que CARCOS. La métadonnée se divise en plusieurs sections. Il y a 5 onglet a remplir pour que la métadonnée soit complète et aux normes de la Directive.



Après avoir donné un titre à la métadonnée, nous avons fait le choix dans CARCOS, de le précéder du nom du programme ODIT pour lui assurer la meilleure visibilité possible. En effet, le titre doit être explicite car c'est la première chose que voit un utilisateur lorsqu'il se rend sur la plateforme.

Ensuite, un aperçu est créé pour permettre à l'utilisateur de visualiser rapidement la donnée.

Le premier onglet «**Identification**» permet de donner des informations de façon générale sur la donnée. Il présente le titre, la date de réalisation de la métadonnée, le type de représentation spatiale (vecteur ou raster), le nom de l'organisation et surtout un résumé explicitant la nature et éventuellement le mode de

conception de la donnée. Cela permet de décrire la couche de façon plus détaillée afin que l'utilisateur s'informe sur les caractéristiques importantes de la donnée.

Le sous-onglet «**Valeur du mot-clé**» est essentiel. En effet les mots-clés ont un ordre hiérarchique et chacun a une importance particulière. Tout d'abord, il faut ajouter le thésaurus de la directive Inspire qui fait référence aux 34 thèmes (divisé en 3 annexe). Ce mot-clé est d'après le guide de saisie des métadonnées (que l'on peut trouver sur le site de la CNIG²) obligatoire. Tous les autres mots-clés seront facultatifs même s'ils sont importants pour la recherche avancée dans le menu principal.

IDENTIFICATION	
Intitulé de la ressource	ODIT - Parc Animalier du massif de Chailluz
Date de référence	2015-09-29
Type de date	Révision
Résumé de la ressource	Périmètre du parc animalier se situant dans la forêt de Chailluz. Format vectoriel de polygone .shp
Type de représentation spatiale	Vecteur
Nom de l'organisation	ODIT
Rôle de la partie responsable	Point de contact
Catégorie thématique	Biologie, faune et flore
Valeur du mot clé	
Valeur du mot clé	Archéologie et Préhistoire
Type de mot clé	Discipline
Valeur du mot clé	paléoenvironnement
Valeur du mot clé	sciences humaines
Type de mot clé	Thème
Valeur du mot clé	Paysages et sites
Type de mot clé	Thème
Valeur du mot clé	paysage
Type de mot clé	Thème
Valeur du mot clé	faune
Type de mot clé	Thème

Le deuxième onglet «**Qualité de la donnée**» renseigne sur l'échelle de la donnée, et sa généalogie. Ce champ décrit l'historique de la donnée : comment elle a été produite? Et par qui?

Le champ appeler conformité de la donnée renvoi au guide technique du mot-clé Inspire inscrit dans l'onglet précédent. Cela permet de renseigner la date et le type de date (dans le cas présent celui de la publication de la donnée). Enfin, le champ «explication» doit être rempli «non évalué». En effet si la création des métadonnées est obligatoire, il n'existe pas encore de commission européenne vérifiant si les métadonnées sont conformes. Ainsi, chaque administrateur de métadonnées doit se porter garant que sa métadonnée suit les règles européennes.

QUALITE DES DONNEES	
Echelle équivalente	5000
Généalogie	Fichier de polygone sous la projection lambert II étendue. Ensemble réalisé par C.Fruchart dans le cadre des projets ODIS.
Type de représentation spatiale	Vecteur
Intitulé de la ressource	INSPIRE Data Specification on Land Use - Technical Guidelines v3.0
Titre court	ODIT
Date de référence	2013-12-10
Type de date	Publication
Explication	non évalué
Degré de conformité	1

² Conseil National de l'Information Géographique, <http://cnig.gouv.fr/>

Le troisième onglet «**Contexte scientifique**» évoque des informations faisant référence à l'organisme, le nom des programmes et la personne en charge du programme dans le cadre duquel la métadonnée a été créée.

CONTEXTE SCIENTIFIQUE	
Intitulé de la ressource	MSHE Claude Nicolas Ledoux (USR 3124), ODIT (observatoire des dynamiques industrielles et territoriales), action CHEF (Construction historique des espaces forestiers)
Titre court	ODIT
Date de référence	2015-09-29
Type de date	Révision
Nom de l'organisateur	MSHE, ODIT, chantier CHEF
Adresse e-mail	
Rôle de la partie responsable	Auteur
Nom de l'organisateur	MSHE, ODIT, chantier CHEF
Adresse e-mail	
Rôle de la partie responsable	A l'origine de
Nom de la personne	Laure Nuninger
Nom de l'organisateur	MSHE C.N Ledoux
Adresse e-mail	
Rôle de la partie responsable	Point de recherche
Forme de la présentation	Document numérique
Code	http://URL/CODE

Le quatrième onglet «**Accès à la donnée**» décrit le système de projection utilisé, le type de format, le lien pour télécharger la donnée et enfin les contraintes légales pour la réutilisation. Les contraintes d'accès et d'utilisation varient selon la donnée mise en ligne.

ACCES AUX DONNEES	
Code	Lambert II étendu (EPSG:27572)
Nom de l'identifiant	EPSG
Nom	ESRI Shapefile
Versión	1.0
Lien	http://echanges.archaeroes.com
Protocole	WWW:DOWNLOAD-1.0-ftp--download
Profil d'application	
Description	
Fonction	Téléchargement
Sources hors connexion	
Conditions applicables à l'accès et à l'utilisation	nécessite une convention avec la MSHE
Contraintes d'accès	Restreint
Contraintes d'utilisation	Restreint
Restrictions d'accès public au sens INSPIRE	
Conditions applicables à l'accès et à l'utilisation	Contactez la MSHE pour l'utilisation des données

Le dernier onglet «**Métadonnée**» informe sur l'organisme qui est responsable de la donnée. Certains champs sont déjà pré-définis comme ceux du premier paragraphe. Dans cette rubrique sont mentionnés : l'identifiant unique de la métadonnée, la langue, le jeu de caractère et le nom des normes standards de la fiche.

Le deuxième paragraphe permet d'indiquer la structure responsable ainsi que ses coordonnées. Cela permet aux utilisateurs souhaitant une donnée, de prendre contact avec l'organisme.

METADONNEES

Identifiant du fichier	a2ac73fc-ebda-4f4a-b6ac-4e0c26c14e47
Langue des métadonnées	fre
Jeu de caractère	Utf8
Date des métadonnées	2015-11-04T10:07:24
Nom du standard de métadonnées	ISO 19115:2003/19139
Version du standard de métadonnées	1.0
Nom de l'organisation	MSHE C. N. Ledoux (USR 3124)
Numéro de téléphone	(+33) 3 81 66 51 51
Adresse	MSHE C.N ledoux
Adresse	32 rue Mégevand
Ville	BESANCON Cedex
Code postal	25030
Pays	France
Adresse e-mail	bdd@mshe.univ-fcomte.fr
Lien	http://mshe.univ-fcomte.fr
Protocole	WWW:LINK-1.0-http-link
Rôle de la partie responsable	Point de contact

Plus 500 fiches de métadonnées enregistrées pour ODIT et moissonnées par les géocatalogues régionaux et nationaux

Voici un petit récapitulatif des métadonnées présentes sous l'organisation «ODIT»

Raster	Produites	Numérisés	Vecteur	Total
456			60	516
	37	419		

← → ↻ georchestra.univ-fcomte.fr/mapfishapp/

geOrchestra catalogue visualiseur extracteur services

Aide | Légende | Outils | Espace de travail

1 : 545 979 10 km Coordonnées en WGS 84 Lon = 6.58184, Lat = 47.23356

← → ↻ cargos.huma-num.fr/geosource/apps/search/?hl=fr&extent=-550000,5000000,1200000,7000000

CATALOGUE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES EN SHS

CARGOS est un inventaire numérique en ligne et un moteur de recherche sur les métadonnées des données géographiques et cartographiques produites dans les laboratoires français en Sciences Humaines et Sociales. Pour plus d'informations (description de l'application, modalités d'utilisation, guides et conseils) : [Wiki](#).

Le projet a été initié dans le cadre de l'ANR [ArchaeDvn](#) puis soutenu par la [TIGIR Huma-Num](#), la [Région Bourgogne](#) et le [FEDER-Bourgogne](#).

CARGOS a été développé à partir de l'application libre [GéoSource](#) (version 2.9.1) par la [MSH de Dijon](#) en collaboration avec la [MSHE N. Ledoux Besançon](#).

0 sélectionné(s) | Trier par : Date de mise à jour | Autres actions

ODIT : Emprise viticole au XXe siècle à Besançon et dans ses environs cartographiée sur la BD parcellaire actuelle

Carte réalisée à partir de plusieurs documents cartographiques géoréférencés qui indiquent la présence de vignes au XXe siècle. Pour identifier les zones viticoles des polygones ont été créés. Ces derniers ont été superposés à la BD parcellaire actuelle en vue d'étudier la spatialisation de la vigne au XXe siècle.

OCCUPATION DES TERRES, USAGE DES SOLS, GÉOGRAPHIE ET ARCHÉOLOGIE, DOUBS, FRANCHE-COMTÉ, FRANCE, AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, HISTOIRE, GÉOGRAPHIE, GÉOGRAPHIE HUMAINE, MÉTHODOLOGIE, PAYSAGE, VITICULTURE, LOCATION

Liens

ODIT : Emprise viticole au XIXe siècle à Besançon et dans ses environs cartographiée sur la BD parcellaire actuelle

Carte réalisée à partir de plusieurs documents cartographiques géoréférencés qui indiquent la présence de vignes au XIXe siècle. Pour identifier les zones viticoles des polygones ont été créés. Ces derniers ont été superposés à la BD parcellaire actuelle en vue d'étudier la spatialisation de la vigne au XIXe siècle.

GÉOGRAPHIE ET ARCHÉOLOGIE, AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, DOUBS, FRANCHE-COMTÉ, FRANCE, HISTOIRE, GÉOGRAPHIE, GÉOGRAPHIE HUMAINE, MÉTHODOLOGIE, VITICULTURE, OCCUPATION DES TERRES, LOCATION

Liens

Connexion à CARGOS : Identifiant : ***** OK

Recherche rapide

Type de ressource:

Recherche par emprise spatiale

Recherche avancée

Rechercher

Age du fer Antiquité romaine Antiquité tardive

Archéologie et Préhistoire

BOURGOGNE FRANCE Haut Moyen Age (VIe siècle - ép. caro)

Occupation des terres elevation habitat méthodologie paléoenvironnement

paysage sciences humaines **society**

© 2014 Crédits Mentions légales Wiki Contact
CARGOS est hébergé par la TIGIR Huma-Num.

Moissonnage par GéoBourgogne, Géocatalogue.gouv et Inspire Geoportail

Accueil » Géoservices » Catalogue de données

Catalogue de données

Accueil Recherche Données Cartes Aide

ODIT - MNT de l'agglomération de Besançon

Adresse Internet (URL)

Fichier à télécharger

Fichier à télécharger

Comprendre la ressource

Date(s) de référence 1998-01-01 (Publication: Date à laquelle la ressource est publiée)
2007-05-11 (Révision: Date à laquelle la ressource est révisée)

Aperçus  

www.geocatalogue.fr/#

Nous contacter Aide FAQ Plan du site Accéder au Géoportail

géocatalogue Rechercher Cataloguer S'informer Services Partenaires

Accueil Géocatalogue » Rechercher » Résultats

QUOI: mnt OÙ: besançon

PRÉCISEZ VOTRE RECHERCHE Résultats 2 à 2 sur 2

Trier par pertinence 5 résultats / page

Type de ressource Données (2)

Type de représentation Vecteur (2)

Format HTM (2) XML (2) MapInfo (Tab), ESRI (Shape) (2)

Résolution spatiale 1/5000 (2)

★ **ODIT: MNT de l'agglomération de Besançon Franche-Comté, Rhône-Alpes**
d'une résolution de 2m et deux visualisations hillshade azimut315°-élévation45° et azimut270°-élévation45°
dérivé du modèle bes_mnt50cm réalisé par Aerodata en 2009. modèle réalisé par C. Fruchart avec ArcGis 9.3.1 avec les outils...

★ **ct69: IGN BD Topo® régions Auvergne, Bourgogne, Franche-Comté, Rhône-Alpes**
MNT au pas de 25 m

Précédent 1 Suivant

Votre carte

Saisir un lieu pour se positionner sur la carte...

Opacité carte IGN: Échelle: 1/13867001

Données visualisables : 0

Données non visualisables : 0



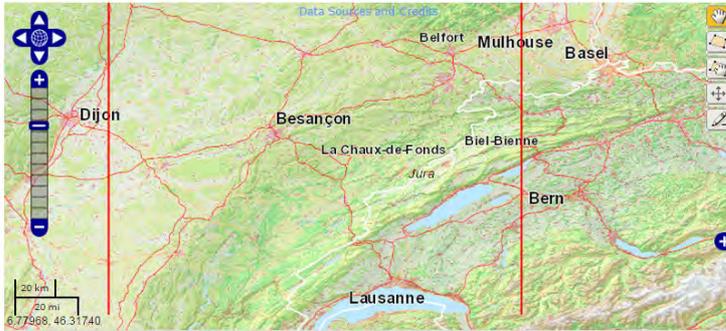
INSPIRE GEOPORTAL

Enhancing access to European spatial data

EUROPEAN COMMISSION > INSPIRE > INSPIRE GEOPORTAL > Discovery / Viewer

Find a place in: Europe

Powered by GeoNames



Active Layers: 0

INSPIRE Metadata CLOSE THIS WINDOW

Traduire cette page Anglais
Microsoft® Translator

(FR) - ODIT - MNT de l'agglomération de Besançon

Spatial data set

Metadata Language Resource Language

French French

Metadata Date

2015-04-02T11:22:18.09+02:00

Metadata Point Of Contact

MSHE Ledoux, E-mail:
mshe@mshe.univ-fcomte.fr

Resource Title

Traçages des eaux souterraines en Franche-Comté : points de restitution

Spatial Data Theme

Ortoimagery

Resource Abstract

Le dossier contient un modèle numérique de terrain d'une résolution de 2m et deux visualisations: azimut315°-élévation45° et azimut270°-élévation45°. modèle numérique de terrain: il est à l'échelle de 1:50000. modèle réalisé par Aerodata en 2009. modèle réalisé par C. Fruchart avec ArcGIS 9.3

