



HAL
open science

Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) de l'Antiquité à nos jours

Catherine Fruchart

► To cite this version:

Catherine Fruchart. Analyse spatiale et temporelle des paysages de la forêt de Chailluz (Besançon, Doubs) de l'Antiquité à nos jours. Archéologie et Préhistoire. Université de Franche-Comté, 2014. Français. NNT : 2014BESA1022 . tel-01099184v2

HAL Id: tel-01099184

<https://hal.science/tel-01099184v2>

Submitted on 23 Mar 2016

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.

UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

ECOLE DOCTORALE « LANGAGE, ESPACE, TEMPS, SOCIETES »

Thèse en vue d'obtenir le grade de docteur en

Archéologie

**ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DES PAYSAGES
DE LA FORET DE CHAILLUZ (BESANCON, DOUBS) DE
L'ANTIQUITE A NOS JOURS**

Volume 1 - TEXTE

Présentée et soutenue publiquement le 8 décembre 2014 par

Catherine FRUCHART

Sous la direction de M. le Professeur émérite François FAVORY

Membres du jury :

Gérard CHOUQUER, expert, Directeur de recherche honoraire, Universités de Paris I Panthéon-Sorbonne et X Nanterre

François FAVORY, directeur de thèse, Professeur émérite d'Histoire ancienne et Archéologie, HDR, Université de Franche-Comté

Marc GALOCHET, rapporteur, Maître de conférences en Géographie, HDR, Université d'Artois

Murielle GEORGES-LEROY, experte, Conservatrice régionale de l'Archéologie de Lorraine, Direction régionale des Affaires Culturelles - Service régional de l'Archéologie

Henri MAÎTRE, rapporteur, Professeur émérite à Télécom ParisTech, HDR, Institut Mines-Telecom - Telecom ParisTech

Benoît SITTLER, expert, Diplom-Geograph, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (Allemagne)

Remerciements

Cette thèse, inscrite dans le cadre de plusieurs programmes de recherche interdisciplinaires, n'aurait pu être réalisée sans aides financières et sans la participation, à divers titres, de nombreuses personnes.

Mes remerciements vont d'abord à François Favory, sans qui je n'aurais pas fait d'études en Archéologie. Il m'a accordé sa confiance pour cette thèse, et grâce à lui, j'ai pu mener à bien cette belle aventure exploratoire autour de la forêt de Chailluz. Merci d'avoir toujours guidé mes recherches, et d'avoir consacré beaucoup de votre temps à me lire et à m'écouter.

Je remercie les institutions qui ont financé ma thèse et les opérations nécessaires à son bon déroulement : la Ville de Besançon a subventionné mon contrat doctoral et la Région Franche-Comté a financé le programme LIEPPEC dans le cadre duquel ont été acquises les données LiDAR indispensables à cette étude. La Région Franche-Comté a également financé, avec l'Etat (CNRS et DRAC-Service Régional de l'Archéologie) et l'Union européenne (programme FEDER), des datations radiocarbones effectuées spécifiquement pour cette thèse ; l'Etat (SRA) a aussi contribué à payer les frais des opérations de terrain (prospection-inventaire). Enfin, grâce au programme FEDER ODIT, j'ai pu prolonger mes recherches au-delà du contrat doctoral, et notamment mener d'indispensables investigations sur le terrain qui n'auraient pu être achevées dans le délai des trois ans du contrat doctoral.

J'ai eu la chance d'être encadrée par Laure Nuninger, avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler. Laure a toujours été là au bon moment, pour un conseil ou de l'aide, pour monter les dossiers de financement, pour relire ma thèse, etc., disponible, même surchargée de travail, en vacances, ou en congé de maternité ! Laure, vraiment, merci pour tout.

J'ai aussi eu la chance de travailler avec Daniel Daval, grâce à qui les investigations sur le terrain ont acquis une place fondamentale dans mes recherches. Daniel, merci d'avoir partagé ta longue expérience du terrain, tes connaissances du mobilier, de Besançon, de la forêt, etc. Merci pour ces belles journées de prospections, pour le temps consacré aux rapports d'opérations, et d'une manière générale, merci pour ta disponibilité et pour tous les bons moments passés au cours de ces cinq années de recherches sur Chailluz.

J'ai encore eu la chance d'avoir Rachel Opitz comme collègue de travail : elle m'a appris les bases du traitement des données LiDAR et m'a formé sur Arcgis et LP 360. Cette collègue de travail épatante a généreusement partagé ses connaissances, sans rien attendre en retour.

Merci aussi, Rachel, pour toutes les discussions (archéologiques et autres) qu'on a eues, au bureau ou sur le terrain, et qui ont rendu mon travail plus agréable et plus intéressant.

Cette thèse a été l'occasion d'apprendre beaucoup sur le milieu forestier, un domaine riche et passionnant de diversité, qui m'était totalement inconnu et que j'ai découvert en grande partie grâce aux agents de l'ONF qui ont partagé leur expérience et leurs connaissances, et qui m'ont réservé un excellent accueil à l'Unité Territoriale de Besançon. J'adresse un merci tout particulier à Jean-Paul Grosbois, Jean-Pierre Josseron et Roberto Llorca ; merci pour les connaissances historiques et sylvicoles que vous m'avez apportées, et merci de m'avoir fait découvrir l'ONF en m'invitant à partager votre travail quotidien. Merci aussi à Laurent Besançon, Eric Dubois, Joël Faivre, Marie-Pierre Grégoire, Laurent Guilbaud, Frédéric Kowalski, Véronique Lecomte et Gilles Werlin.

Les prospections au sol ont été fructueuses, notamment grâce à l'investissement sur le terrain de prospecteurs bénévoles compétents et expérimentés : Marc Petit et Patrick Mosca, avec qui j'ai passé, avec Daniel Daval et Jean-Pierre Josseron, de nombreuses et sympathiques heures à parcourir les forêts autour de Besançon. Merci aussi pour tous les moments partagés, sur le terrain et au bureau, à Olivier Girardclos, ainsi qu'à Gilles Bossuet et Clément Laplaige, sans qui il n'y aurait pas eu de prospections géophysiques en forêt de Chailluz. Merci Gilles pour tes nombreux conseils et ta relecture de ma thèse et Clément, merci d'avoir enjambé avec bonne humeur les troncs d'arbres au milieu des ronces pour sonder les sous-sols autour de tas de cailloux informes en forêt de Chailluz...

Merci aussi aux chercheurs et enseignants de l'Université de Franche-Comté (laboratoire Chrono-environnement, laboratoire des Sciences historiques) qui ont consacré du temps autour de ces recherches, ont écouté mes exposés et mes questions, et ont parfois pu apporter des réponses : Philippe Barral, Carole Bégeot, Sylvie Bépoix, Paul Delsalle, Luc Jaccottey, Pierre Nouvel, Patrick Rosenthal, Pascale Ruffaldi, Matthieu Thivet, François Vion-Delphin.

Merci à mes collègues post-doctorants avec qui j'ai eu le plaisir de partager des moments de travail : Paolo Forlin, Elise Fovet, Nicolas Poirier, Benjamin Stular.

Merci à Ziga Kokalj, Ales Marsetic, Kristof Ostir, Peter Pehani et Tatjana Veljanovski pour leur accueil chaleureux au laboratoire IASS –ZRC SAZU à Ljubljana (Slovénie). Merci tout particulièrement à Ziga et Ales qui ont passé du temps à m'apprendre les rudiments des logiciels Terrascan et ENVI et des fonctions avancés sur Arcgis.

Merci à celles et ceux à la Ville de Besançon qui ont contribué à ce travail, par des démarches administratives ou la communication d'informations et de documents : Fabienne Bénard, Brice Deloge, Johnny Magnenet, Michèle Mouneyrac (Espaces Verts) ; Gwénaëlle Marchet, Emilie Thivet (service d'Archéologie Préventive), Michel Hitter (Archives municipales), Sylvette Anselin (Bibliothèque municipale), Maguy Scheid (Musée du Temps).

Merci à Eric Froissart et Franck Meynet des Archives départementales du Doubs, qui ont fait le nécessaire pour que je puisse numériser les plans du cadastre napoléonien des trente-deux communes concernées par le relevé LiDAR autour de Besançon.

Merci à Bruno Bréart, Marie-Agnès Gaidon-Bunuel, Marie-Hélène Chenevoix, Claire Jounin et Hervé Laurent du Service Régional de l'Archéologie de Franche-Comté pour leur aide aux opérations de prospection-inventaire et aux datations radiocarbone.

Merci à la MSHE C.N. Ledoux qui m'accueille depuis le début de cette thèse et aux personnes qui y travaillent et font tous les jours leur possible pour offrir aux chercheurs les meilleures conditions de travail : Aline Baverel, Marie Gillet, Marion Landré, Mattieu Latroy, Béatrice Marrec, Isabelle Mouret, Hélène Tisserand, Soizic Viaouet.

Merci aussi à Charles-Henri Falconnet et Jean-Daniel Tissot du laboratoire Chrono-environnement pour leur support aux problèmes informatiques.

Merci aux personnes qui ont contribué à cette thèse d'une manière ou d'une autre, en partageant leurs connaissances, en apportant diverses informations, écrites ou orales (j'espère n'oublier personne...) : Bernard et Bernadette Arnoult, Florian Basoge, Roland Bois, Paul Boussemart, Paul Broquet, Jean-Claude Charnoz, Christophe Cousin, François Lassus, Christophe Méloche, Jean Nuninger, Gilles Ory, Graziella Rassat, Laure Saligny, Valérie Viscusi, Olivier Weller.

Merci à ma famille, à mes proches. Merci à mon compagnon et à mes enfants d'avoir supporté mon humeur maussade pendant la (très) longue rédaction de cette thèse. Merci à mes parents pour leur soutien permanent, notamment pour leur relecture attentive de ma thèse, leur aide à la transcription des textes médiévaux et la vérification de mes versions latines.

Enfin, merci à Gérard Chouquer, Marc Galochet, Murielle Georges-Leroy, Henri Maître et Benoît Sittler d'avoir accepté d'être membres de mon jury de thèse.

Sommaire

Remerciements	1
Sommaire	5
Introduction	13
1 - Sources et état des connaissances	25
1.1 - Etat des sources historiques : apport des textes	26
1.1.1- Connaissances historiques sur la forêt en général et sur l'exploitation de ses ressources au cours des siècles passés.	27
1.1.1.1 - Qu'est-ce qu'une forêt ?.....	27
1.1.1.2 - Quelques mots sur l'histoire des forêts	32
1.1.1.3 - Que faisait-on des différentes essences d'arbres au cours des siècles passés ? ...	42
1.1.2 - Connaissances historiques relatives à la forêt de Chailluz	49
1.1.2.1 - Textes relatifs à la forêt de Chailluz des Archives municipales de Besançon.....	49
1.1.2.1.1 - Généralités.....	49
1.1.2.1.3 - Manuscrit DD 105 : le procès des « fourches patibulaires »	53
1.1.2.1.4 - Manuscrits DD 106 : procès et pose de bornes en 1442, limites du territoire bisontin en 1518.....	56
1.1.2.1.5 - Informations apportées par d'autres manuscrits	59
1.1.2.2 Autres sources anciennes relatives à la forêt de Chailluz et à ses alentours	62
Bonnay (Courtieu, 1982, p. 435-438).....	63
Braillans (Courtieu, 1983, p. 507-508).....	64
Chalezeule (Courtieu, 1983, p. 622-626).....	64
Châtillon-le-Duc (Courtieu, 1983, p. 719-723)	64
Mérey-Vieille (Courtieu, 1985, p. 2011-2012).....	64
Tallenay (Courtieu, 1987, p.3106-3109)	65
Thisse (Courtieu, 1987, p. 3120-3127).....	66
Valentin (Courtieu, 1987, p. 3231-3234)	66
Vieille (Courtieu, 1987, p. 3394-3400).....	67
1.1.2.2.3 – Autres informations publiées	67
1.1.2.2.3.1 - La forêt de Chailluz au cours du second Moyen Âge.....	70
1.1.2.2.3.2 - La forêt de Chailluz entre la fin du 15 ^{ème} et la fin du 17 ^{ème} siècle.	73

1.1.2.3.3 - La forêt au 18 ^{ème} siècle, depuis l'application de l'ordonnance de Colbert	75
1.1.2.3.4 - Au 19 ^{ème} siècle : construction d'ouvrages militaires	76
1.2 - Etat des sources historiques : apport des documents graphiques (cartes et plans)	78
1.2.1 - Plans du 16^{ème} siècle. Documents non géométriques	84
1.2.1.1 - Plans des Archives municipales de Besançon, cotes Yc Bes A1 et Gec Bes 1.1 (figures 3 à 6).....	84
1.2.1.2 - Plan des Archives municipales de Besançon, cote Ms Chiflet f7 (figures 7 et 8)	86
1.2.2 - Plans du 18^{ème} siècle	87
1.2.2.1 Plans du 18 ^{ème} siècle dont l'échelle est supérieure ou égale à 1 / 10 000	87
1.2.2.1.1 - Plans de 1699 des Archives municipales de Besançon, cotes Yc M1 43 et Yc M1 44 (figures 9 à 12)	87
1.2.2.1.2 - Plan de 1704 des Archives municipales de Besançon, cote Yc G2 47 (planche III)	89
1.2.2.1.3 - Plans de 1720-1721 (Archives municipales de Besançon, non coté et ONF, non coté) (planches IV et V et figure 12)	90
1.2.2.1.4 - Plans de 1738 et 1739 des Archives municipales de Besançon, cotes Yc M1 45, Yc M1 46 et Yc P2 40 (planches VI à IX et figures 13 à 15)	93
1.2.2.1.5 - Plans des bois de Bonnay (1740) et de Tallenay (1780) (figures 16 et 17).....	96
1.2.2.2 Plan du 18 ^{ème} siècle dont l'échelle est inférieure à 1 / 10 000 : la carte de Cassini (figures 18 et 19 et planches X et XI).....	97
1.2.3 - Plans du 19^{ème} siècle	98
1.2.3.1 Plans du 19 ^{ème} siècle dont l'échelle est supérieure ou égale à 1 / 10 000	98
1.2.3.1.1 - Cadastre ancien « napoléonien » (planches XII et XIII et figures 20 à 27).....	98
1.2.3.1.2 - Plan de Valentin intitulé « Le territoire de Besançon » daté de 1802 des Archives municipales de Besançon, cote Yc G2 55 (figure 28).....	99
1.2.3.1.3 - Carte de Besançon et de sa banlieue datée de 1824 des Archives municipales de Besançon, cote Yc M1 33 (planche XIV et figure 29).....	100
1.2.3.1.4 - Carte de Besançon et son territoire datée de 1862 des Archives municipales de Besançon, cote Gec Bes 317-1 (planche XV et figure 30)	101
1.2.3.2 Plans du 19 ^{ème} siècle dont l'échelle est inférieure ou égale à 1 / 10 000	101
1.2.3.2.1 - Carte d'état-major (source IGN®) (figures 31 et 32).....	101
1.2.3.2.2 - Carte des Environs de Besançon datée de 1882 (fonds numérisé BnF http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530210848) (planche XVI).	102
1.2.3.2.3 - Cartes des Environs de Besançon datées de 1873 et de 1912 (http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530210848 et http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8445709v - fonds numérisé BnF) (planches XVII et XVIII et figures 33 à 36).	104

1.3 - Données archéologiques, données cartographiques actuelles et données LiDAR 108

1.3.1 - Données archéologiques	109
1.3.2 - Données cartographiques actuelles	113
1.3.2.1 - Cartes et plans cadastraux	113
1.3.2.2 - Cartes géologiques.....	114
1.3.2.3 - Carte pédologique.....	117
1.3.2.4 - Carte des stations forestières	119
1.3.1 – Données LiDAR	121
1.3.2.1 - Le LiDAR : généralités	121
1.3.2.2 - Présentation générale du relevé LiDAR réalisé autour de Besançon (données extraites du rapport de synthèse de la mission - Aerodata, 2009).....	126

2 - Aspects méthodologiques 130

2.1 - Des modèles numériques : analyse des données LiDAR réalisées en 2009 autour de Besançon..... 131

2.1.1 - De l'acquisition des données à la visualisation du résultat sur un modèle numérique : généralités.	132
2.1.1.1 - Acquisition des données	132
2.1.1.2 - Classification et filtrage des points.....	135
2.1.1.3 - Du nuage de points au modèle numérique de surface	139
2.1.1.4 - Utilisation d'outils de visualisation des données à partir d'un modèle numérique de surface.....	141
2.1.1.4.1 - Ombrage simple.....	142
2.1.1.4.2 - Visualisation des pentes	144
2.1.1.4.3 - Topographic Position Index (TPI).....	144
2.1.2 Détection, identification et cartographie d'entités à partir de l'analyse visuelle des données LiDAR en forêt de Chailluz.	145
2.1.2.1 - Un exemple d'analyse visuelle de l'information topographique fournie par un modèle numérique : description des variations du relief sur une zone échantillon de 15 ha en forêt de Chailluz.....	147
2.1.2.2 - Décrire, classer et identifier les entités en forêt de Chailluz et dans ses environs	151

2.2 - Analyse des conditions d'observation et caractérisation de la distribution spatiale des entités archéologiques détectées. 155

2.2.1 - Facteurs influant sur les conditions d'observation et sur la conservation des données topographiques	156
2.2.1.1 - Les limites du relevé de points-sol obtenus par l'acquisition LiDAR.....	156
2.2.1.2 - Influence de l'artificialisation des sols et des pratiques agricoles contemporaines sur l'érosion des microreliefs.....	162
2.2.1.3 - Influence de l'épaisseur des sols	164
2.2.2 - Quantification et caractérisation de la distribution spatiale des entités	166
2.2.2.1 - Quantification du potentiel d'information microtopographique observable en surface en fonction de la qualité du relevé LiDAR, de l'occupation du sol et de l'épaisseur des sols	166
2.2.2.2 - Caractérisation de la distribution spatiale des entités sur la zone d'étude.....	170
2.3 - Investigations sur le terrain : choix des zones et techniques de prospection.....	181
2.3.1 – Remarques générales	182
2.3.2 – Techniques de prospection et enregistrement des données	183
2.3.2.1 - Techniques de prospection	183
2.3.2.2 – Enregistrement des données.....	185
2.4 - Mise en perspective des données acquises en prospection avec les informations apportées par les sources anciennes.....	187
2.4.1 – Remarques générales	188
2.4.2 – Précisions sur le géoréférencement des cartes et plans anciens relatifs à la forêt de Chailluz	192
3 - Résultats des prospections et interprétation des données	196
3.1 - Aménagements à vocation agropastorale, établissements et éléments de voirie. 197	
Parties ouest et nord du massif.....	197
3.1.1 - Zone 1a.....	198
3.1.1.1 - Résultat des prospections dans les enclos d'habitat de la zone 1a	199
3.1.1.1.1 - Zone 1a, enclos n° 1	199
3.1.1.1.2 - Zone 1 a, enclos n° 2	201
3.1.1.1.3 - Zone 1 a, enclos n° 3	202
3.1.1.2 - Résultat des prospections dans la partie sud de la zone 1a.....	203
3.1.2 - Zone 1b.....	207
3.1.2.1 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 1 : enclos avec probable établissement (figures 126 et 127)	207

3.1.2.2 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 2 : groupe d'enclos avec probable établissement (figure 128).....	209
3.1.2.3 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 3 : aménagements parcellaires (figures 129 et 130).....	209
3.1.2.4 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 4 : parcellaire « géométrique » au sud de la chapelle Saint-Gengoul (figures 131 à 133)	210
3.1.2.5 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 5 : chapelle Saint-Gengoul (figures 134 à 137)	212
3.1.2.5.1 - Généralités.....	212
3.1.2.5.2 – Apport des fouilles des années 1970.....	214
3.1.2.5.3 – Apport des données LiDAR et des prospections récentes	216
3.1.2.6 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 6 : des occupations successives (figures 138 à 147 et planche XXXIII).....	217
3.1.2.6.1 - Occupation attribuable à la fin du 19 ^{ème} siècle : ouvrages militaires.....	218
3.1.2.6.2 - Occupation du site entre le 17 ^{ème} et le 19 ^{ème} siècle : un établissement à vocation agricole	219
3.1.2.6.3 - Occupation du site antérieure aux deux phases décrites précédemment	221
3.1.2.7 - Partie sud de la zone 1b (groupes d'entités n° 7 et 8 et voie n° 11) : aménagements agropastoraux et voirie médiévale (figures 148 à 154 et planches XXXIV à XXXVIII).....	222
3.1.2.7.1 - Zone 1 b, faisceau de voies n° 11 (figures 148 à 150 et planches XXXIV à XXXVI).....	222
3.1.2.7.2 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 7 (figure 2-94 et planche 2-R).....	224
3.1.2.7.3 - Zone 1 b, groupe de linéaments n° 8 (figure 154 et planche XXXVIII)	226
3.1.3 - Zone 2.....	229
3.1.3.1 - Zone 2, groupe d'entités n° 1 : enclos hémicirculaire non daté (figures 158 à 163)	230
3.1.3.2 - Zone 2, groupes d'entités n° 2 et 3 : aménagements à vocation agropastorale	233
3.1.3.3 - Remarque méthodologique relative à l'identification des aménagements agropastoraux à partir des données LiDAR (figures 162 et 163 et planches XXXIX et XL).....	234
3.1.3.4 - Zone 2, groupe d'entités n° 6 à 9 : aménagements agricoles encore exploités au 19 ^{ème} siècle, dans un espace sujet à des glissements de terrain (figures 164 à 166 et planches XLI à XLIII).....	238
3.1.3.5 - Zone 2, groupe d'entités n° 10 : aménagements militaires mis en place à la fin du 19 ^{ème} siècle (figures 167 à 173 et planche XLIV).....	241
3.2 - Aménagements à vocation agropastorale, établissements et éléments de voirie. 245	
Parties est et sud du massif.....	245
3.2.1 - Braillans (zone 3).....	246

3.2.2 - Eléments de voirie qui bordent la partie sud du massif de Chailluz : un axe routier bimillénaire.	250
3.2.2.1 – Evolution de la voirie restituable à partir des documents anciens (figures 177 à 179 et planche XLVII)	250
3.2.2.2 – La « Route de Besançon à Lure » selon le <i>Conducteur français</i> de Louis Denis (planche XLVIII et texte reproduit en <i>Annexe n° 6</i>)	253
3.2.2.3 – Voirie restituable à partir des données archéologiques (figures 179 à 186 et planches XLIX à LI)	254
3.2.2.3.1 – Partie sud-ouest du tracé : tronçons n° 1 et 2 (figure 179)	254
3.2.2.3.2 – Tronçon n° 3 (figure 179)	256
3.2.2.3.3 – Au sud-ouest de Braillans : tronçon n° 4 (figure 179)	257
3.2.2.3.4 – Au sud et au sud-est de Braillans et en forêt de Thise : tronçons n° 5 et n° 6 (figure 179)	259
3.2.2.3.5 – Remarques sur la topographie des tronçons n° 4, 5 et 6	262
3.2.2.5.6 – Synthèse des résultats relatifs au faisceau de voies dessinant l'axe de circulation Besançon – Marchaux (actuelle RD 486)	264

3.3 - Résultats des prospections et interprétation des données : exploitation des ressources naturelles (charbonnières, fours à chaux et carrières). 267

3.3.1 - Les plateformes de charbonnier : un témoignage de l'utilisation passée du bois – énergie.	268
3.3.1.1 – Remarques générales	268
3.3.1.2 – La plateforme de charbonnier : un microrelief facilement identifiable à partir de données LiDAR.	271
3.3.1.3 – Datations radiocarbone : choix de l'emplacement des structures à dater et indications sur la méthodologie mise en œuvre pour la datation.	272
3.3.1.1 – Datations des plateformes : résultats obtenus et interprétation	276
3.3.2 - Exploitation de la pierre calcaire : fours à chaux et carrières de laves.	282
3.3.2.1 - Les fours à chaux	282
3.3.2.1.1 – Remarques générales	282
3.3.2.1.2 – Fours à chaux datés en forêt de Chailluz	284
3.2.2.2 - Les carrières de laves	288

Conclusion.....290

Bibliographie301



M.C. Escher, Puddle – gravure sur bois, 1952 – d'après <http://www.mcescher.com/gallery/back-in-holland/puddle/>

Introduction

La France compte aujourd'hui 41 villes de plus de 100 000 habitants. Besançon, première ville de Franche-Comté avec 115 879 habitants en 2011 (données INSEE*¹), est la 31^{ème} ville la plus peuplée de métropole. Son territoire communal assez étendu (65 km²) la positionne, en superficie, au 11^{ème} rang des villes de plus de 100 000 habitants². Plus du tiers de cette surface est actuellement sous couvert forestier, ce qui situe la capitale comtoise – parmi les villes de plus de 100 000 habitants en France métropolitaine - à la quatrième place pour sa couverture forestière (23 km²) et à la troisième place pour son taux de boisement (plus de 35 %)³. Besançon est ainsi la ville de plus de 100 000 habitants où la surface d'espaces verts par habitant est la plus élevée en France métropolitaine (200 m² par habitant). La forêt de Chailluz (16,7 km²), qui occupe toute la partie nord-est du territoire communal (figure 1), représente à elle seule près des trois-quarts de la surface forestière de Besançon.

Cette grande forêt périurbaine* communale existe depuis plus de six siècles ; les textes historiques attestent qu'elle appartient déjà à la commune de Besançon au 14^{ème} siècle, située alors dans sa « banlieue* » (Fiétier, 1973 ; Bépoix, 2010).

Aujourd'hui, cette forêt peuplée de feuillus où dominant le hêtre et le chêne, remplit trois fonctions : c'est une forêt de production*, une forêt de protection* et une forêt de loisirs. Dans le cadre du régime forestier* auquel elle est soumise, la Ville de Besançon y exploite chaque année plus de 5 000 m³ de bois (bois d'œuvre*, bois d'industrie* et bois de chauffage*), qui rapportent environ 150 000 euros par an à la commune (Hauser, 2012). La forêt de Chailluz et, plus généralement, le massif forestier plus vaste auquel elle appartient⁴, est aussi une réserve de biodiversité : une partie du massif est classée en ZNIEFF* de type I (ZNIEFF 430007781 – Forêt de Chailluz et falaise de la Dame Blanche : <http://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/430007781>, lien valide au 1^{er} juin 2014), et une zone située au nord de la forêt de Chailluz est même classée en RBI* depuis fin 2013 (réserve biologique intégrale de la Dame Blanche). Enfin, c'est une forêt de loisirs, fréquentée par la population locale pour des activités sportives et de détente. Elle possède

¹ Les mots et acronymes siglés * figurent dans le glossaire du volume *Annexes*.

² A titre comparatif, Dijon (environ 150 000 habitants), capitale bourguignonne voisine, a une superficie de 40 km².

³ Marseille est la ville de plus de 100 000 habitants qui possède la plus grande surface boisée (104 km² sous forêt, soit 43,5 % de son territoire), suivie par Nîmes (61 km², 38 %) et Saint-Etienne (25 km², 31 %). Les valeurs des surfaces boisées indiquées ici se réfèrent aux données Corine Land Cover 2006 (base de données relative aux communes françaises (niveau 1) - Source : Union européenne – SOeS, Corine Land Cover, 2006).

⁴ La forêt de Chailluz est située dans la partie ouest d'un massif forestier qui s'étend sur plus de 80 km² au nord et à l'est de Besançon.

un parc animalier, est équipée d'un parcours sportif et dispose d'un réseau de sentiers pédestres balisés ; la Ville de Besançon y organise régulièrement des animations culturelles et pédagogiques, parfois en collaboration avec l'ONF*.

D'un point de vue géologique, la forêt de Chailluz occupe un terrain karstique* qui abrite une concentration de dolines* remarquable en Europe⁵. Nous sommes sur un plateau calcaire, globalement orienté sud-ouest / nord-est, dont l'altitude est comprise entre 300 et 350 m environ, et où la roche qui affleure est criblée de cavités circulaires de plusieurs dizaines de mètres de diamètre et profondes de quelques mètres (dolines). Ce plateau est bordé au nord par un pli montagneux dont l'altitude au sud-ouest (figure 1, vers le « Bois de la Lave ») est proche de 400 m et culmine au nord-est à environ 600 m (figure 1, vers le « fort de Chailluz »). Sur toute la longueur de sa face sud, ce pli a donné naissance à des pentes assez marquées ; sur sa face nord, ce sont pour l'essentiel des falaises. La ligne de crête marque une des limites du territoire communal de Besançon, et également de la forêt de Chailluz.

D'un point de vue patrimonial, quelques aménagements de différentes périodes étaient répertoriés en forêt de Chailluz avant que ne soit entreprise cette thèse (figure 1) : des ouvrages militaires édifiés au 19^{ème} siècle (fort dit « de Chailluz » ou de la « Dame Blanche », resté à usage militaire jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle), deux petits groupes de constructions mis en place à la fin du 18^{ème} siècle (zone des « Grandes Baraques », encore habitée actuellement, et zone des « Petites Baraques », aménagée en aire de détente pour les promeneurs), les ruines encore visibles d'une chapelle médiévale dédiée à Saint-Gengoul, deux sources aménagées (« Fontaine Sainte-Agathe » et « Fontaine des Acacias »), ainsi qu'une lavogne* non datée. Des recherches historiques ponctuelles, quelques prospections archéologiques pédestres et les observations d'agents forestiers signalent l'existence de plateformes de charbonniers, de fours à chaux et de carrières de laves*, sur lesquels les informations sont cependant très lacunaires : datations incertaines ou inconnues, absence de localisation précise et d'évaluation du nombre de structures, etc.

Jusqu'à présent, aucune recherche scientifique spécifique n'avait été menée pour déterminer la nature et la valeur du patrimoine archéologique de cette forêt, et aucune publication synthétique ne rendait compte des données historiques connues à son sujet. Le manque de données archéologiques sur la forêt de Chailluz s'explique par son éloignement

⁵ On compte par exemple plus de cinq cents dolines dans la seule forêt de Chailluz.

du centre historique de Besançon et, aussi, par son caractère forestier lui-même : les fouilles et les recherches archéologiques se sont concentrées sur les zones connues d'habitat ancien, situées à proximité de l'actuel centre-ville (Besançon est un centre urbain dès la Protohistoire*), et le boisement forme un obstacle aux investigations archéologiques. La présence des arbres complique les prospections sur le terrain, le manque de visibilité au sol compromet la détection de vestiges archéologiques et le boisement empêche la découverte de sites archéologiques à partir de clichés aériens. De plus, on construit rarement en forêt et, par conséquent, aucune fouille préventive ne peut mettre au jour les éventuels indices d'occupations anciennes. On ignore ainsi tout de l'occupation de ce massif forestier avant le milieu du Moyen Âge, période à partir de laquelle l'existence de la forêt de Chailluz est connue par des textes historiques.

En 2007, le service municipal des Espaces Verts de Besançon, projetant la mise en valeur de son patrimoine anthropique, constatait cette lacune de données archéologiques et l'absence d'une publication scientifique de synthèse. Ce projet de valorisation est, entre autres, à l'origine de cette thèse : un des objectifs du travail mené est de détecter, identifier et documenter le patrimoine historique et archéologique de la forêt de Chailluz pour permettre *in fine* sa valorisation auprès du grand public.

Cette étude se rattache d'autre part à plusieurs actions de recherches scientifiques : le programme LIEPPEC⁶, porté par la MSHE C.N. Ledoux et bénéficiaire d'une importante subvention de la Région Franche-Comté, le LEA franco-slovène ModelTER⁷, et le programme ODIT⁸, également porté par la MSHE C.N. Ledoux et financé par l'Europe (programme Feder). Les problématiques qu'elles intègrent sont développées dans ma thèse, qui contribue ainsi à la réflexion collective menée dans ces différentes actions. Globalement, il s'agit de mettre au point des méthodes de traitement de données altimétriques à haute résolution pour une analyse des paysages dans la longue durée (LIEPPEC), de conduire des recherches avancées en termes de concepts et de méthodes concernant les dynamiques socio-environnementales dans la longue durée (ModelTER), et d'étudier les dynamiques territoriales à l'échelle régionale pour ensuite

⁶ LiDAR pour l'étude des paysages passés et contemporains - <http://mshe.univ-fcomte.fr/poles-de-recherche/environnement-ressources-et-paysages/axe-1-ressources-environnementales/lieppecc> (lien valide au 1er juin 2014).

⁷ Modeling landscapes and territories over the long term - Laboratoire Européen Associé CNRS, UFC et Centre de Recherche Scientifique de l'Académie des Sciences et des Arts de Slovénie (ZRC SAZU) <http://modelter.zrc-sazu.si/> (lien valide au 1er juin 2014).

⁸ Observatoire des dynamiques industrielles et territoriales - <http://odit.hypotheses.org/> (lien valide le 1er juin 2014).

diffuser les connaissances élaborées auprès des acteurs locaux afin d'aider à la prise de décision, à l'innovation et à la mise en place de politiques de développement durable (ODIT). Dans ce cadre collectif, ma thèse contribue notamment à caractériser l'occupation et l'exploitation du massif forestier de Chailluz au cours des siècles passés pour mieux comprendre l'histoire et l'évolution de cet espace situé à la périphérie de Besançon. Il s'agissait ainsi d'enrichir le développement de méthodes et de connaissances pour une meilleure compréhension des interactions entre l'homme et son environnement dans la longue durée, et aussi d'élaborer un protocole de terrain rigoureux pour assurer un important travail de reconnaissance et d'inventaire de données archéologiques

Les recherches ont été abordées en ayant à l'esprit plusieurs questions :

La forêt de Chailluz a-t-elle toujours été une forêt ? A quelle occupation du sol correspondent les vestiges qu'on peut y reconnaître encore aujourd'hui ? Quelles étaient leurs fonctions, et sont-ils datables ? En quoi et comment les indices d'occupations du sol anciennes nous informent sur les usages de l'espace du massif de Chailluz au cours des siècles passés ?

Ces interrogations évoquent des problématiques qui, dans l'ensemble, sont de nature historique ; elles appellent - pour tenter d'y répondre - des questions qui sont à prendre en compte dans l'approche méthodologique :

Pourquoi cette forêt existe-t-elle, et pourquoi à cet endroit ? Quelles sont les ressources qu'on y a exploitées ? Quelles sont les activités liées à la forêt qui ont laissé des traces visibles dans le paysage ? Quelles sont les limites de l'étude ? Peut-on restituer les fluctuations des limites de la couverture boisée au fil du temps ?

Quelles sont, en archéologie, les singularités d'un territoire forestier et quelles sont les particularités (nature des entités archéologiques, réglementation applicable, outils à mettre en œuvre) d'une recherche archéologique menée en milieu forestier ou sur le milieu forestier par rapport à celle réalisée dans un espace ouvert, rural ou urbanisé ? Quel est l'apport de la technologie LiDAR dans l'étude de ce massif forestier ?

Les recherches ont été conduites selon une démarche volontairement transdisciplinaire, en associant principalement archéologie, histoire, géographie et foresterie. Elles reposent sur une collecte d'archives et de documents planimétriques et photographiques (textes et plans anciens, documents cartographiques actuels et orthophotographies), sur un bilan des

travaux universitaires (publications historiques, publications et rapports scientifiques divers), sur un recensement d'informations relatives, d'une façon générale, à la forêt (données techniques, historiques, floristiques, paysagères), sur des observations de terrain (prospections archéologiques au sol) et sur l'analyse de données LiDAR (acronyme pour « Light detection and ranging ») acquises au printemps 2009.

L'exploitation de ce relevé LiDAR, mis en perspective avec les données historiques collectées et les informations archéologiques nouvellement acquises sur le terrain, constitue le point central des recherches.

L'usage en archéologie du LiDAR, technologie capable de procurer un relevé topographique du sol de haute précision même sous couvert forestier, remonte à une quinzaine d'années ; les résultats obtenus par les études pionnières en Europe d'abord (Sittler, 2004 ; Bewley *et al.*, 2005 ; Devereux *et al.*, 2005 ; Challis, 2006 ; Doneus, Briese, 2006 ; Pranzini, 2007 ; Kokalj *et al.*, 2008, par exemple), puis en France (*cf.* Ostir, Nuninger, 2006 ; George-Leroy *et al.* 2009, notamment) ont été très prometteurs, avec la découverte de nombreux aménagements insoupçonnés jusqu'alors et fossilisés sous la couverture forestière actuelle (indices de zones anciennement cultivées, traces d'exploitation de ressources naturelles, vestiges d'établissements, structures fossoyées diverses, voies), suffisamment bien conservés pour permettre une étude extensive de leur organisation spatiale. Ces premières recherches ont permis de renouveler nos connaissances sur l'occupation ancienne de certaines forêts et ont montré qu'il n'est pas rare que des surfaces aujourd'hui boisées, et connues comme telles depuis plusieurs siècles, abritent des sites archéologiques parfois très étendus et bien conservés, préservés de l'érosion par la couverture forestière. Les forêts occupent aujourd'hui près de 30 % de notre territoire, et le potentiel documentaire sur les paysages passés, encore largement méconnus, qu'elles abritent, est maintenant accessible aux investigations archéologiques, grâce au LiDAR.

L'histoire de Besançon est longue, riche et complexe, comme celle du milieu forestier en général. Le travail exposé dans cette thèse prend en compte cette dimension historique, afin que les informations archéologiques nouvellement acquises, essentiellement à partir de l'analyse des données LiDAR, puissent d'une part être placées dans un cadre géographique (les données sont intégrées à un SIG*) et, d'autre part, être situées dans un contexte historique, et mises en perspective les unes par rapport aux autres. L'objectif est d'aller au-

delà d'un inventaire de résultats, et de tenter de retracer, si possible, quelques successions d'événements à partir des traces qu'ils ont laissées et qui sont encore visibles aujourd'hui, pour éventuellement percevoir des dynamiques paysagères inscrites dans une longue durée⁹.

Historiquement, Besançon occupe une place de premier plan à l'échelle régionale depuis l'Antiquité* : elle était déjà la première place forte des Séquanés* à la fin de l'âge du Fer* (*Vesontio*), qualifiée d'*oppidum* maximum Sequanorum*¹⁰ par César dans la *Guerre des Gaules*. Les vestiges archéologiques d'époque romaine découverts dans le centre historique (« la Boucle ») prouvent sa richesse durant les premiers siècles de notre ère (Stoullig, 2006). Sous Dioclétien (3^{ème} siècle de notre ère), elle devient la ville principale de la *provincia maxima Sequanorum*¹¹, qualifiée au cours de l'Antiquité tardive* dans la *Notitia Galliarum* de *civitas* Vesontiensium*¹² (cf. Walter, Barçon, 2004). L'histoire de Besançon au premier Moyen Âge* est mal connue, mais son titre de cité épiscopale, dont témoigne la documentation historique, indique une position religieuse de premier ordre dès cette période médiévale précoce (Fohlen, 1981). A l'époque carolingienne, il s'agit certainement d'une ville assez importante : elle est citée dans plusieurs documents de cette époque parmi les métropoles de l'Empire carolingien*, aux côtés de Lyon, Sens ou Vienne (Courtieu, 1982). Elle reste une ville de premier plan au second Moyen Âge*. En 1032, Besançon qui fait alors partie du Comté de Bourgogne, est intégrée au Saint-Empire romain germanique. Une dizaine d'années plus tard, l'empereur Henri III confirme à l'archevêque de Besançon (Hugues de Salins) la vassalité directe de la cité : Besançon et son territoire sont rattachés directement à l'Empire et échappent de ce fait à l'autorité du comte de Bourgogne (De Vregille, 1981). Du point de vue territorial et géographique, Besançon devient ainsi une enclave impériale dans le Comté de Bourgogne.

Cette situation, qui perdure jusqu'au rattachement de Besançon à la France en 1674 (Louis XIV), a été une source de tensions et de conflits territoriaux entre le Comté de Bourgogne

⁹ On propose de se référer, pour la notion de paysage, à la définition suivante : « *Le paysage [peut être vu] comme une construction sociale, le produit perceptible des interactions entre les processus sociaux et les processus biophysiques d'une part, et entre la dimension matérielle et la dimension immatérielle de la nature, d'autre part. (...) La majorité des géographes qui aujourd'hui travaillent sur le paysage semblent adhérer à cette conception.* » (Luginbühl, 2007, p. 34).

¹⁰ « plus grand *oppidum* des Séquanés » : César, *De Bello Gallico*, /I, 38/.

¹¹ La « très grande province des Séquanés », qui regroupe les anciens territoires des Séquanés, des Rauraques (populations situées au nord des Séquanés) et des Helvètes (à l'est).

¹² La *Notitia Galliarum* est un texte datant de la fin du 4^{ème} ou début du 5^{ème} siècle. Ce document administratif donne la liste des provinces, des peuples de Gaule, des grandes cités (*civitates*) et mentionne également des *castra* (habitats groupés fortifiés).

et la cité bisontine, dont témoignent en particulier plusieurs textes anciens concernant la forêt de Chailluz.

Durant le second Moyen Âge, l'activité économique la plus florissante à Besançon semble avoir été la viticulture (Fiétier, 1973, 1978). Besançon et ses alentours possédaient en effet un vignoble étendu qui produisait déjà au 13^{ème} siècle des vins renommés. Le vignoble bisontin existait toujours à la fin du 18^{ème} siècle¹³ ; la déprise viticole, relativement rapide et au moins en partie due à des raisons économiques (le vin local se vendait mal car il coûtait cher), s'est opérée durant le 19^{ème} siècle, sensiblement avant l'épisode bien connu du phylloxéra en France (Royer *et al.*, 1988).

Du point de vue du développement urbain, l'habitat était, jusqu'au début du 19^{ème} siècle, concentré dans la Boucle et ses abords immédiats (Fohlen, 1982). La campagne située entre le centre-ville et la forêt de Chailluz comprenait de rares zones d'habitat groupé peu étendues (figure 1 : quartiers actuels de Palente, Les Montarmots, village de Valentin), et quelques établissements isolés (granges*, surtout). On sait également que, durant l'époque moderne*, de nombreux bâtiments monumentaux ont été édifiés en pierre calcaire locale dans la Boucle (hôtels particuliers, casernes, bâtiments publics, ouvrages de Vauban, etc.). Cette importante période de construction à Besançon a certainement eu un impact paysager sur les campagnes et forêts voisines, en particulier par l'exploitation des ressources naturelles environnantes qui ont approvisionné les chantiers des divers bâtiments en matières premières (pierre à bâtir, chaux, bois). L'extension massive du bâti en rive droite du Doubs, à l'extérieur de la Boucle en direction du Nord, s'est opérée à partir de la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, provoquant notamment la conversion des anciennes parcelles de vignes en lots à bâtir (Chevalier, Scherrer, 1957). A cette période en effet, les besoins en logements ont été importants à Besançon, entre autres à cause du développement industriel de la capitale comtoise (horlogerie : Fohlen, 1982).

Parallèlement à la collecte d'informations historiques en lien avec la zone étudiée et à l'exploitation des données LIDAR dans une perspective archéologique, les investigations réalisées pour cette thèse ont inclus des prospections sur le terrain, destinées à vérifier la réalité des entités archéologiques préalablement détectées par l'analyse du LiDAR. Cette étape de la recherche a été l'occasion de mettre au point une méthode de prospection au sol

¹³ Un plan-relief de Besançon, réalisé en 1722 montre effectivement un paysage couvert de vignes autour de la ville du 18^{ème} siècle, qui est alors cantonnée à la Boucle du Doubs et ses abords immédiats. Ce plan-relief est actuellement conservé au musée des plans-reliefs à Paris.

originale, fonctionnelle et adaptée aux conditions d'observation (identification d'entités archéologiques en milieu forestier à partir de microvariations du relief au sol)¹⁴. Ce travail de terrain a été décisif pour confirmer ou, le cas échéant, remettre en question, les interprétations proposées *a priori* pour les entités détectées à partir du LiDAR, qui reposent uniquement sur des critères morphologiques ou typologiques examinés à distance des structures réelles. Les prospections apportent des éléments descriptifs complémentaires (matériaux mis en œuvre dans les structures, état de conservation, etc.), ajoutent un contexte (nature du sol, par exemple) et permettent parfois l'acquisition de mobilier* datant ; l'observation directe, sur le terrain, des structures permet aussi d'apprécier leur impact paysager ou topographique réel, à l'échelle 1 : 1, ce qui constitue une aide non négligeable à l'interprétation et à la contextualisation des données. Le travail de télédétection* / prospection a fonctionné en allers-retours : l'examen des données LiDAR a amené à prospecter des zones bien précises sur le terrain, et réciproquement, l'observation de terrain a conduit à de nouvelles analyses des données LiDAR pour améliorer et préciser les interprétations.

D'une manière générale, la démarche adoptée a été de documenter les entités détectées et observées en tant que structures individuelles, telles qu'elles sont perçues sur le terrain et sur les modèles numériques altimétriques LiDAR (localisation, description, datation, etc.) et, ensuite, de les examiner selon une perspective d'ensemble, qui intègre notamment l'aspect historique, afin de comprendre comment ces structures s'organisent les unes par rapport aux autres, dans l'espace et dans le temps, tout en essayant de maîtriser le passage d'une échelle à l'autre.

L'exposé de mémoire qui va suivre est divisé en trois parties qui rendent compte de ces trois aspects de la recherche développés en élaborant cette thèse : recherches documentaires, en particulier historiques, exploitation de données LiDAR et prospections sur le terrain.

La première partie donne d'abord une perspective historique sur le milieu forestier en général et sur les usages du bois et de ses dérivés, tels qu'ils sont attestés par des textes anciens ou par l'archéologie. Les descriptions tentent de rendre compte de la diversité des points de vue qui existent sur la forêt, que ce soit par rapport aux transformations des usages qui lui ont été associés au cours du temps ou par rapport à la pluralité des

¹⁴ Méthode mise au point par Daniel Daval et Catherine Fruchart avec la collaboration de Rachel Opitz.

appréciations et concepts que lui attribuent aujourd'hui différents corps de métiers ou groupes de populations. Cette partie est importante pour bien situer *in fine* l'analyse et les propositions d'interprétation replacées dans un contexte précis.

Ensuite, la première partie rend compte des données historiques textuelles publiées sur la forêt de Chailluz et ses alentours. Cette documentation est assez riche pour toute la période moderne et la fin du Moyen Âge (14-15^{ème} siècles). *A contrario*, le 19^{ème} siècle est très mal documenté : il n'y a aucune publication sur la forêt de Chailluz pour ce siècle. Pour les premiers siècles du second Moyen Âge, les données sont lacunaires, mais apportent quand même quelques renseignements sur cette forêt et sur les communes limitrophes utiles à l'étude, d'une façon très générale.

Notre approche étant avant tout spatiale, la suite de la première partie présente les données historiques graphiques, cartes et plans anciens relatifs à la forêt de Chailluz. Ils sont nombreux et sont pour la plupart conservés aux Archives municipales de Besançon (plans forestiers) et aux Archives départementales du Doubs (feuilles du cadastre ancien). Les plans les plus anciens connus et utilisés pour cette étude datent du début du 16^{ème} siècle ; la documentation planimétrique est abondante et riche d'informations à partir du 18^{ème} siècle. Ces sources documentaires graphiques ont beaucoup été mises à contribution pour cette thèse.

La fin de la première partie fait le point sur la documentation actuelle concernant cette forêt : données archéologiques connues préalablement à cette thèse, informations géographiques et environnementales (données IGN, cartes géologiques, pédologiques, etc.). Enfin, on y énonce également des généralités sur la technologie LiDAR, en particulier sur son utilisation en archéologie, dans la mesure où il s'agit, dans ce dernier domaine, d'une méthode de télédétection relativement récente, qui se diffuse rapidement mais qui n'a pas encore fait l'objet d'une appropriation totale par l'ensemble du monde académique.

La deuxième partie est consacrée aux aspects méthodologiques de la recherche. On y évoque d'abord les principales étapes de traitement des données LiDAR, de l'acquisition des données à leur visualisation sur des modèles altimétriques numériques, en se concentrant sur les points techniques mis en œuvre pour le relevé de Besançon. On expose ensuite la méthodologie employée pour la détection, l'identification et la cartographie des entités que contiennent les modèles altimétriques numériques élaborés à partir du relevé LiDAR.

On s'intéresse ensuite aux facteurs influençant les conditions d'observation et de conservation des divers microreliefs observables à la surface du sol, afin de pouvoir mettre en relation une carte de fiabilité des données avec une analyse de la distribution spatiale des entités effectivement détectées. Et, après avoir classé les entités archéologiques en différentes catégories fonctionnelles (aménagements agropastoraux et établissement divers, éléments de voirie, plateformes de charbonniers témoignant de l'exploitation du bois, fours à chaux et carrières témoignant de l'exploitation de la pierre calcaire), on détaille les résultats des analyses croisées des distributions spatiales des différents types de structures, ce qui permet de formuler des hypothèses sur les facteurs ayant pu contraindre ou favoriser certains schémas d'organisation spatiale.

La deuxième partie décrit ensuite la technique mise au point pour les prospections de terrain et les choix opérés pour l'enregistrement des données acquises. Elle se conclut par un exposé de la méthodologie employée pour le géoréférencement des documents graphiques anciens (essentiellement des plans et cartes et occasionnellement des clichés aériens anciens) et une évocation de la façon dont ces documents ont pu être mis en lien avec les données LiDAR et des données historiques textuelles.

La troisième partie s'attache à définir les résultats obtenus à partir des recherches sur le terrain et propose, au cours de l'exposé, des synthèses interprétatives expliquant la présence, l'organisation et la fonction des différentes structures relevées en prospection. Les résultats obtenus sur le terrain sont décrits par type d'entités et par zones géographiques, en commençant par les vestiges à vocation agropastorale, établissements et éléments de voirie appartenant à la partie ouest / nord-ouest du massif forestier (figure 1 : zone du massif forestier située vers Châtillon-le-Duc, Valentin et Tallenay). On détaille ensuite les structures de même nature reconnues dans la partie nord / nord-est de la zone d'étude (vers Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley), puis dans la partie est (vers Braillans). Le descriptif continue par la partie sud de la zone d'étude (vers Thise). Pour terminer, la troisième partie fait le point sur les entités associées à l'exploitation des ressources naturelles : plateformes de charbonniers, qui ont fait l'objet de datations radiocarbone, fours à chaux et extractions de pierre calcaire.

Une synthèse interprétative globale de l'occupation du sol par périodes (époque romaine, Moyen Âge, époques moderne et actuelle) est proposée sous la forme d'une conclusion.

Remarque préliminaire :

Il est souvent fait mention, dans les descriptions qui suivent, d'aménagements ou de toponymes bien localisés (éléments de voirie, constructions, noms de communes, de routes, de lieudits, etc.). Certaines zones ne portent aucun nom précis mais peuvent être circonscrites dans un espace géographique donné (crête de la forêt de Chailluz, partie est de la forêt de Chailluz, par exemple). Les figures 1 et 2 synthétisent les emplacements évoqués dans la thèse au fil du texte, en les situant sur une vue centrée sur la forêt de Chailluz. La figure 1 montre les limites de cette forêt sur le plan cadastral actuel, indique les grandes voies de circulation qui la traversent aujourd'hui (autoroute A 36, route départementale RD 487) et les routes forestières actuellement ouvertes aux automobiles. Elle localise aussi une piste cyclable au sud du massif forestier, qui reprend le tracé d'une ancienne voie principale connue sous le nom de « Chemin du Roy » ; elle donne la position des communes qui entourent la forêt Chailluz, ainsi que quelques noms de lieudits proches. On y situe également quelques aménagements ponctuels et éléments paysagers particuliers (« vieux tilleul », passerelles autoroutières, par exemple). La figure 2 situe divers éléments topographiques (crête de Chailluz etc.) et indique les dénominations qui ont été attribuées aux différentes parties de la forêt, telles qu'on pourra les trouver tout au long des descriptions faites dans la thèse (partie nord, partie sud de la forêt de Chailluz, etc.). L'orientation géographique des zones a été simplifiée pour alléger les descriptions. Par exemple, la zone située réellement à l'est / nord-est de la forêt de Chailluz, vers Braillans, a été simplifiée en « partie est » de la forêt de Chailluz.*

Enfin, les contours de la zone d'étude sont représentés par des traits pointillés jaunes sur la figure 2. Ces contours ont été définis de manière à garantir sur l'ensemble de la zone étudiée une analyse du relevé LiDAR réalisée de façon homogène et très attentive, en visant une détection exhaustive des structures qui ont été intégralement cartographiées sur SIG.

1

Sources et état des connaissances

1.1

Etat des sources historiques : apport des textes

1.1.1 - Connaissances historiques sur la forêt en général et sur l'exploitation de ses ressources au cours des siècles passés.

Aujourd'hui, environ 30 % du territoire français est couvert de forêts¹⁵. Les trois-quarts de ces surfaces boisées appartiennent à des propriétaires privés ; les 25 % restants sont des biens publics. 10 % environ sont des propriétés domaniales* et dépendent directement de l'Etat ; 15 % sont des forêts appartenant à d'autres collectivités, essentiellement à des communes. Le boisement de la Franche-Comté est sensiblement supérieur à la moyenne nationale : environ 44 % de la surface régionale. 53 % des forêts comtoises sont publiques et sont en grande majorité communales¹⁶ (10% des forêts comtoises sont domaniales).

1.1.1.1 - Qu'est-ce qu'une forêt ?

L'Inventaire Forestier National* définit la forêt comme « un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des arbres* capables d'atteindre une hauteur supérieure à cinq mètres à maturité *in situ*, un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres. Les sites momentanément déboisés ou en régénération* sont classés comme forêt même si leur couvert est inférieur à 10 % au moment de l'inventaire. La forêt n'inclut pas les terrains dont l'utilisation du sol prédominante est agricole ou urbaine. »

On peut aussi définir une forêt en se référant aux dictionnaires et encyclopédies. Sans surprise, le sens du mot a évolué au cours des siècles.

Une définition, moins technique et moins précise que celle de l'IFN, est donnée par le Larousse (édition 2003) :

« Grande étendue de terrain couverte d'arbres ; ensemble de grands arbres qui la couvrent. »

¹⁵ Cela représente une surface boisée d'environ 165 000 km² (16,5 millions d'hectares). Cette surface est plus de deux fois supérieure au boisement du milieu du 19^{ème} siècle (75 000 km²), qui est considéré comme le « minimum forestier » en France depuis le Moyen Âge (source <http://www.onf.fr/>).

¹⁶ Sources des chiffres <http://www.onf.fr/> et <http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/> liens valides au 1^{er} juin 2014.

Le substantif « bois » désigne aussi une étendue couverte d'arbres :

« Lieu, terrain couvert ou planté d'arbres. »

Au 18^{ème} siècle, l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert donne une définition de la forêt assez semblable à celle d'aujourd'hui :

« On entend en général par ce mot, un bois qui embrasse une fort grande étendue de terrain : cependant cette dénomination n'est pas toujours déterminée par la plus grande étendue. On appelle forêt dans un lieu, un bois moins considérable que celui qui ne porteroit ailleurs que le nom de buisson. Une grande forêt est presque toujours composée de bois de toute espee et de tout âge. On les nomme taillis depuis la premiere pousse jusqu'à vingt-cinq ans ; et gaulis*, depuis vingt-cinq jusqu'à cinquante ou soixante : alors ils prennent le nom de jeune-futaye ou de demi-futaye, et vers quatre-vingts-dix ans celui de haute-futaye. Ce dernier terme est celui par lequel on désigne tous les vieux bois.» (Diderot, d'Alembert, 1757).

Quant au bois, il est défini comme :

« Un grand canton* de terre planté d'arbres propres à la construction des édifices, au charronnage, au sciage, au chauffage, etc. (...) Le nom de bois, pris généralement, comprend les forêts, les bois, les haies, et les buissons ou bocages. L'on entend vulgairement sous le nom de forêts, un bois qui embrasse une fort grande étendue de pays. Sous le nom de bois, l'on comprend un bois de moyenne étendue. Le parc est un bois enfermé de murs. Les noms de haie et de buisson ou bocage, sont usités en quelques endroits pour signifier un bois de peu d'arpents*. Néanmoins l'usage fait souvent employer indifféremment les noms de forêt et de bois ; il y a même des bois de très grande étendue, des forêts qui occupent peu d'espace, et des bois qui ne sont appelés que haies ou buissons, et chaumes. (...) Toutes ces sortes de bois sont plantées d'arbres, qui sont ou en futaie ou en taillis. » (Diderot, d'Alembert, 1751).

A la fin du 16^{ème} siècle, Jean Nicot propose dans son *Thresor de la langue francoyse* (vers 1600) une définition inspirée d'un de ses contemporains, Jean du Tillet¹⁷. La définition du mot forêt désigne un espace où s'appliquent des interdictions, qui touchent à la fois les

¹⁷ Jean Du Tillet était un historien, auteur au 16^{ème} siècle d'un *Recueil des Rois de France*.

arbres et les points d'eau¹⁸. En complément à cette définition, l'auteur cite plusieurs locutions latines utilisées au 16^{ème} siècle pour nommer des forêts aux caractéristiques particulières ; ces expressions sont reprises d'un dictionnaire antérieur bien connu, celui de Robert Estienne (Estienne, 1549).

« Forest : Du Tillet en son recueil des Rois de France explique ainsi ce mot : le mot Forest, vieux bas Allemand, convenoit aussi bien aux eauës qu'aux bois, signifiant Deffens (...). Par [l'] interpretation dudit du Tillet, forest seroit droit de prohiber autruy de pescher ou buschoier, és pescheries et bois. (...) Forest : *Sylua*. Petite forest : *Syluula*. Une forest de chesnes : *Quercetum*. Une forest espesse où les bestes paissent et se retirent en temps d'esté pour la chaleur du soleil : *Saltus*. Forests fortes de bois, espesses et tresempeschantes : *Impeditissimae syluae*. Une forest où il croist du gland : *Glandaria sylua*. Forest obscure et espesse : *Atrum nemus*. Forests qui rendent force fruits : *Munifica syluarum genera*. Forest reservée pour paistre les bestes : *Sylua pascua*. Forests tremblantes et brandillantes : *Coruscae syluae*. Forest où il y a arbres de diverses sortes et sans ordre : *Barbarica sylua*. »

On lit par ailleurs chez Estienne, également repris par Nicot, divers sens pour le mot bois :

« Bois de plaisance : *nemus*. Tout petit bois espez, que les payens consacroyent et dedioyent a leurs dieux, lequel on n'osoit couper : *lucus*. Bois de haulte fustaye et fructieres : *materia syluestris et culta*. »

On peut rapprocher ces dernières définitions de celles données en bas-latin par le grammairien Servius, à la fin du 4^{ème} siècle de n.è. (Servius, *Commentaire sur l'Enéide de Virgile*, I, 310) : « Un *lucus* est un ensemble d'arbres doté d'un caractère sacré, le *nemus* est un ensemble d'arbres bien ordonné, et la *silva* est une forêt épaisse et sans entretien.¹⁹ » (traduction : Rio, 2001, p. 49).

¹⁸ Cette idée d'espace soumis à des interdictions au-delà du simple domaine boisé (prise en compte des points d'eau) se retrouve dans le sens du mot « forest » en anglais médiéval (ainsi qu'en allemand), où « forest » désigne un territoire réservé à l'usage du roi, essentiellement pour la chasse, mais pas nécessairement un espace boisé. Ainsi, au 13^{ème} siècle, entre un quart et un tiers du territoire anglais était considéré comme « forest », mais un cinquième seulement de cet espace appartenant à la « forest » était boisé (cf. Wickham, 1990, p.485).

¹⁹ « *Lucus enim est arborum multitudo cum religione, nemus vero composita multitudo arborum, silva diffusa et inculta.* »

Bien que le sens de ces mots *nemus*, *lucus* et *silva* diffère entre la fin de l'Antiquité (en Italie) et le début de l'époque moderne (en France), ils désignent aux deux périodes des formes de boisement et d'usages de la forêt bien distincts²⁰.

Au-delà de ces définitions suggérant des espaces boisés qui ont pu revêtir différents aspects, que représente la forêt aujourd'hui ? Ce mot désigne encore maintenant des espaces aux fonctionnalités différentes, et sur lesquels plusieurs points de vue peuvent être portés. Parmi les publications sur cette question, voici ce qu'en dit Jean-Pierre Léonard, agronome et géographe, ancien ingénieur des Eaux et Forêts et auteur d'une thèse en Géographie sur la typologie des systèmes forestiers (Léonard, 1999, 2003).

Selon lui, la forêt peut être considérée et décrite selon quatre points de vue différents²¹ :

Premièrement, il y a la « forêt des naturalistes », celle que décrivent les sciences de la nature, avec pour finalité la production d'une analyse phytosociologique et écologique de l'espace étudié.

Deuxièmement, la « forêt des économistes, des sociologues et des géographes » est celle des descriptions statistiques de l'espace boisé. L'économiste les utilise essentiellement pour apprécier un potentiel marchand ; le sociologue s'intéresse surtout à des aspects patrimoniaux et analyse le couple forêt-homme ; le géographe considère d'abord la forêt comme un élément du paysage* et l'étudie pour ses caractéristiques physiques (géographie physique) ou en fonction de sa gestion par les sociétés humaines (géographie humaine).

En troisième lieu, il y a la « forêt des gestionnaires et des transformateurs », celle que voient le sylviculteur*, l'aménagiste* ou les acteurs de la foresterie en général. Globalement, leur point de vue prend en compte des aspects techniques de la forêt : régimes* sylvicoles à privilégier, essences* à favoriser, fréquence et étendue des coupes, accessibilité de la forêt pour les travaux, etc.

Enfin, « la forêt des citoyens occidentaux » est essentiellement une représentation héritée de l'imaginaire des contes populaires. Elle véhicule beaucoup de lieux-communs, tels que « la forêt est un monde naturel opposé au monde artificiel des hommes », ou bien, « la forêt est en place depuis des temps immémoriaux ». Beaucoup de citoyens qui la

²⁰ La forêt de Chailluz étudiée ici porte, dans tous les textes d'archives qui la citent en latin médiéval, le nom de *nemus*.

²¹ La « forêt des naturalistes », la « forêt des économistes, des sociologues et des géographes », la « forêt des gestionnaires et des transformateurs » et la « forêt des citoyens occidentaux » (Léonard, 2003, p. 24-39).

fréquentent la considèrent comme un espace de liberté, de loisirs, comme un moyen de lutte contre la pollution ; c'est un conservatoire de la biodiversité, et accessoirement seulement une ressource économique potentielle²².

Par ailleurs, Jean-Pierre Léonard définit quatre grands types d'espaces forestiers : la « forêt de subsistance », la « forêt industrielle », la « futaie* en coupe réglée* » et la « forêt friche* » ou une variante, la « forêt sanctuaire » (Léonard, 2003, p. 45-82).

Les « forêts de subsistance » sont celles qui servent de ressource alimentaire fondamentale, pour l'homme mais aussi pour le bétail, bien avant d'avoir une fonction de réserve de bois d'œuvre*²³. Il en existe deux sortes : la « forêt de l'agriculture itinérante », celle des cultures sur brûlis et de l'élevage nomade, et la « forêt paysanne », celle du pacage* en sous-bois, qui fournit litière et fourrage au bétail et qui est un prolongement des surfaces agricoles. La « forêt de l'agriculture itinérante » est, selon l'auteur, typiquement celle des sociétés pré-médiévales : « Les formes antiques des formations forestières, ce ne sont pas les sombres halliers des romantiques allemands et de leurs émules, mais une forêt nourricière clairière, parsemée de lots de cultures » (Léonard, 2003, p. 52). La « forêt paysanne » est celle du Moyen Âge ; c'est une forêt où s'appliquent des règles et usages favorables au paysan, particulièrement pour l'entretien et le nourrissage des animaux d'élevage²⁴.

Les « forêts industrielles européennes » ont fourni, essentiellement entre le 16^{ème} siècle et le 19^{ème} siècle, du combustible aux industries ou proto-industries utilisatrices de bois, sous forme de charbon ou de bois à brûler²⁵ : industries métallurgiques, surtout, et aussi salines, tuileries, etc. Aujourd'hui, les forêts industrielles existent encore, en particulier au Brésil, qui produit du charbon et de la pâte à papier en grandes quantités.

Les « futaies en coupe réglée » procurent du bois d'œuvre. Leur développement est principalement dû à l'urbanisation et à l'industrie moderne, grosses consommatrices de bois d'œuvre. Cette demande a profondément transformé au 20^{ème} siècle le type de forêt

²² Schmithüsen, Kazemi, 1995, p. 247-264, cité par Léonard, 2003, p. 35.

²³ L'auteur écrit : « Regardant les forêts du Moyen Âge avec nos priorités d'aujourd'hui, nous avons tendance à donner plus de poids au recrutement de poutres pour les cathédrales qu'à la païsson du bétail. Or, le prélèvement exceptionnel de bois d'œuvre a un impact bien modeste sur la physiologie des forêts par rapport à l'alimentation journalière de la masse du cheptel. » (Léonard, 2003, p. 45-46).

²⁴ J.-P. Léonard s'appuie en particulier ici sur les travaux de Michel Devèze (Devèze, 1965).

²⁵ Au 18^{ème} siècle, l'Angleterre a changé ses usages et adopté le charbon minier. D'après E.J.T. Collins, le potentiel ligneux en Angleterre était alors suffisant et ce changement ne se justifie pas par une pénurie de charbon de bois, mais par un coût de fabrication élevé de ce dernier. Le charbon de bois était moins rentable que le charbon minier (Collins, 1992).

majoritaire jusqu'alors depuis plusieurs siècles, qui était une forêt destinée à produire du bois-combustible.

Quant à la « forêt sanctuaire », elle est vouée à la protection de la nature et aux loisirs²⁶. Ce sont des espaces où, par choix, les activités économiques et marchandes ont été exclues (Léonard, 2003, p. 73). La « forêt friche » apparaît lorsque se conjuguent une déprise agricole et une contraction économique de la filière marchande du bois : on récolte et on transforme moins de bois, et en même temps, des parcelles* ouvertes inexploitées se couvrent d'arbres et se ferment. Ces deux derniers types de forêts sont ceux où la ressource en bois n'est pas exploitée pour elle-même.

1.1.1.2 - Quelques mots sur l'histoire des forêts

Il ne s'agit pas de réécrire ici l'histoire des forêts : les publications et les travaux de recherches historiques sont nombreux sur ce sujet (Devèze, 1965 ; Higounet, 1966 ; Plaisance, 1979 ; Bechmann, 1984 ; Lagarde, 1984 ; Corvol : nombreuses références à partir de 1984 ; Wickham, 1990 ; Bonhôte, 1998 ; Garnier, 2000, 2004 ; Chalvet, 2011, etc. ; sans oublier les recherches du GHFF, *Groupe d'Histoire des Forêts Françaises*²⁷). Les lignes qui suivent ont pour but d'évoquer quelques aspects de l'histoire des forêts qui ont été estimés utiles dans les recherches sur la forêt de Chailluz, que ce soit pour une mise en perspective du travail en général par rapport à un contexte historique, ou plus particulièrement pour faciliter la détection et l'interprétation de vestiges archéologiques présents dans le massif de Chailluz. L'ensemble est présenté en commençant par la période la plus proche de nous : l'époque moderne.

La publication de l'ordonnance* de Colbert, en 1669, occasionne un changement important dans la gestion des forêts françaises. C'est à la demande de Louis XIV, au début des années 1660, qu'un nouveau règlement des Eaux et Forêts est mis en place. Il est élaboré par Colbert et publié en août 1669. Cet *Edit portant règlement général pour les eaux et forêts* est conçu dans un souci de normalisation et de préservation du patrimoine forestier (Corvol, 1984). Il s'agit notamment d'assurer au pays l'autonomie de l'approvisionnement

²⁶ La forme typique, selon J.-P. Léonard, de la forêt sanctuaire est le parc naturel américain.

²⁷ Lien vers le site internet du GHFF/publications (lien valide au 1^{er} juin 2014) : http://www.ghff.ens.fr/crbst_2.html

en bois d'œuvre, particulièrement demandé par la construction navale. Concrètement, la gestion des forêts incombe aux Maîtrises*²⁸, responsables de l'application du règlement. L'ordonnance de 1669 est à l'origine d'une division des forêts en deux espaces bien distincts : dans chaque forêt soumise au régime, trois-quarts de la surface sont mis « coupes ordinaires* » et sont essentiellement destinés à fournir du bois de chauffage*. Le dernier quart est « mis en réserve » (les coupes y sont dites « extraordinaires* ») pour laisser croître les arbres en haute futaie afin de fournir des bois de gros diamètres²⁹ (Corvol, 1984, p. 135 et 163). L'emplacement de cette réserve pouvait être déterminé « plus en fonction de sa faculté d'être défendu contre les usagers que de sa capacité à produire des arbres d'élite » (Corvol, 1984, p. 169). La situation de ce « quart de réserve* » était donc susceptible de répondre tout autant à une contrainte géographique qu'à un potentiel sylvicole particulier. Les trois-quarts mis en coupes ordinaires étaient divisés en parcelles de tailles égales, de manière à organiser les prélèvements en rotations* réglées, afin de laisser suffisamment de temps pour la régénération des bois entre deux coupes. Celles-ci, appelées « assiettes* », étaient espacées dans chaque parcelle de 20 à 30 ans. Le régime forestier privilégié dans les coupes ordinaires était plutôt le taillis sous futaie*.

Les publications relatives à la période médiévale³⁰ présentent en général la forêt comme un élément indispensable au fonctionnement des sociétés de cette époque, ressource alimentaire fondamentale de manière directe ou indirecte au bétail autant qu'aux hommes, productrice de combustible en quantité, et aussi, de bois d'œuvre. L'historien Roland Bechmann attribue deux fonctions à l'espace forestier jusqu'au 13^{ème} siècle : c'est à la fois un lieu qui produit du bois et une surface agricole, ou l'on fait pousser épisodiquement des céréales (seigle, blé) et des légumineuses³¹. Cet usage agricole temporaire de la forêt porte

²⁸ Les premières Maîtrises sont créées au 14^{ème} siècle.

²⁹ La mise en réserve est une mesure de préservation du bois qui existait déjà avant 1669 : « L'apposition obligatoire d'une réserve en 1669 n'est pas une mesure novatrice. Elle ne fait que ressusciter le texte des ordonnances de 1537 et 1550 applicables aux seules forêts ecclésiastiques » (Corvol, 1984, p. 164 en référence à Devèze, 1965, p. 83-87).

³⁰ Pour la période médiévale, on s'est particulièrement référé à l'ouvrage de Roland Bechmann, *Des arbres et des hommes. La forêt au Moyen Âge* (Bechmann, 1984). L'auteur y développe des considérations sur la forêt elle-même (écosystème forestier, ressources naturelles de la forêt, production, exploitation et aménagement, législation et administration) et ses différents usages (l'agriculteur dans la forêt, l'élevage et la forêt, le combustible, le bois d'œuvre, produits et usages divers).

³¹ On retrouve plus ou moins là la « forêt de l'agriculture itinérante » suggérée par Jean-Pierre Léonard. Il semble d'ailleurs que cet usage polyvalent du sol refait surface, avec l'essor récent de l'agroforesterie* (cf. notamment, en France, le projet SAFE de l'INRA* - voir : <http://www1.montpellier.inra.fr/safe/english/SAFE-technical-annexe.pdf> (lien valide le 1er juin 2014) ; voir aussi Dupraz, Liagre, 2008).

le nom d'essartage³², une pratique bien documentée par des textes anciens et par des recherches historiques (Mollin, 1960 ; Devèze, 1965 ; Higounet, 1966; Lefevre, 1977 ; Plaisance, 1979 ; Bechmann, 1984 ; Corvol, 1987 ; Wickham, 1990 ; Léonard, 2003). A partir du 13^{ème} siècle, l'usage des sols s'est spécialisé et s'est fixé, essentiellement en raison de progrès dans le rendement des productions agricoles. Il en est résulté une séparation fonctionnelle progressive mais totale entre les sols agricoles et les sols sylvicoles (Bechmann, 1984, p. 86 *et sq.*).

D'une manière générale, nos connaissances sur les forêts du premier Moyen Âge sont lacunaires ; les publications (en particulier : Higounet, 1966 ; Wickham, 1990 ; Williams, 2000 ; Verhulst, 2002 ; Chalvet, 2011) qui se sont intéressées à cette période envisagent qu'il y avait, entre la fin du 5^{ème} siècle et le 11^{ème} siècle (voire le 12^{ème} siècle), à l'échelle de la France, et plus globalement même, de l'Europe occidentale, une couverture forestière importante, probablement plus étendue que celle qu'on est amené à supposer pour l'époque romaine, à partir de recherches historiques fondées sur des textes antiques ou sur des données archéologiques (*cf.* Szabo, 2009, notamment ; Gauthier, Richard, 2008, pour la Franche-Comté), et une étendue nettement supérieure à la couverture actuelle. L'augmentation des surfaces forestières à la fin de l'Antiquité serait due à la conjonction de plusieurs facteurs : une déprise de l'économie rurale, une probable baisse démographique, et une modification des conditions climatiques caractérisée par une forte pluviométrie et des températures plus froides, qui favorisent la croissance des arbres au détriment des espèces qui prospèrent sur des sols agricoles ouverts. Pour autant, l'espace forestier du premier Moyen Âge n'est pas une étendue « livrée à la nature » : les populations alto-médiévales avaient développé un système agro-sylvo-pastoral historiquement attesté dès « le 6^{ème} siècle dans le Nord de la Gaule et le 7^{ème} dans le Sud » ; un système où « les étendues boisées de plus en plus nombreuses constituèrent un maillon essentiel de la production », étant « en quelque sorte une annexe des terres cultivées (...). [Les hommes] coupaient le bois et les broussailles qui encombraient le terrain qu'ils voulaient ensemer puis ils y mettaient le feu. Ils profitaient de l'enrichissement du sol produit par les cendres pour donner plusieurs cultures. Après quoi, ils laissaient la terre au repos se recouvrir de broussailles puis d'arbres pour ressemer de la même manière quinze

³² « Essarter » signifie « défricher, créer un essart aux dépens de la lande ou de la forêt en recourant au feu, en pratiquant un brûlis complet et parfois définitif. Dans son sens restrictif, c'est également éclaircir un bois en le nettoyant des buissons et des jeunes pousses inutiles pour favoriser la croissance des plus belles tiges. » (Bechmann, 1984).

ou vingt ans plus tard » (Chalvet, 2011, p. 50-51). On reconnaît dans cette description la technique de l'essartage évoquée plus haut.

Pour la Franche-Comté, on obtient quelques renseignements sur la forêt en lisant la *Lex Burgundionum* ou *Loi Gombette*, attribuée à Gondebaud (fin du 5^{ème} siècle - début du 6^{ème} siècle), et en usage dans le royaume burgonde* jusqu'au 9^{ème} siècle au moins (Peyré, 1855 ; Favrod, 1997). Pour les historiens, ce recueil de lois plusieurs fois remanié est inspiré du droit romain (*Code Théodosien**, en particulier). Il réunit des titres et articles relatifs aux droits de succession, aux vols, dégradations, blessures et homicides, à l'esclavage, aux droits des femmes, aux défrichements et droits de couper du bois, à l'entretien des haies et des chemins, à la plantation des vignes, etc³³.

Le titre 67 de la *Lex Burgundionum*, relatif aux forêts, suggère que c'était un espace dont l'utilisation et la propriété faisaient l'objet d'un partage réglementé. La forêt était l'une des composantes du domaine rural³⁴ :

« Ceux qui possèdent en commun des terres ou une métairie partageront les forêts dépendantes de ces domaines, dans la proportion de ce qui revient à chacun d'eux dans les terres ou dans la métairie » (Peyré, 1855, p. 104). On lit aussi : « L'usage des bois, des montagnes et des pâturages doit être commun à chacun, dans la proportion de son droit. » (nouveau titre 1, article 6, Peyré, 1855, p. 125)

La réglementation des défrichements fait l'objet du titre 13. La forêt y apparaît comme un espace qu'on pouvait s'approprier par le défrichement, à condition de respecter quelques règles :

« Si un Bourguignon³⁵ ou un Romain a fait un défrichement dans une forêt restée en commun, il devra remettre à son copropriétaire un espace égal de terrain dans cette forêt. Après quoi, il jouira seul, et sans partage avec ce copropriétaire, du morceau de fonds qu'il a défriché. » (titre 13 : Peyré, 1855, p. 46). On lit ailleurs : « Nous voulons que le partage des terrains déjà défrichés ou qui se défrichent actuellement, soit fait entre les anciens possesseurs et les Bourguignons de la même manière que celui des forêts, dont nous avons

³³ D'une manière générale, la population est alors constituée d'esclaves et d'hommes libres, divisés en deux catégories : les Burgondes et les Romains. Les lois qui s'appliquent diffèrent selon qu'on est Burgonde ou Romain, le plus souvent à l'avantage des Burgondes.

³⁴ Le texte de la *Loi Gombette* a été consulté dans une traduction de 1855 (Peyré 1855).

³⁵ Cette traduction de 1855 de la *Loi Gombette* emploie le terme « Bourguignon », et non « Burgonde ».

voulu que la moitié appartînt aux Romains, ainsi que cela est réglé depuis longtemps. » (titre 54, article 2 : Peyré, 1855, p. 94).

Le processus d'appropriation individuelle d'un terrain sur une propriété collective semble avoir concerné aussi des zones ouvertes :

« Si quelqu'un, sans aucune opposition, a planté une vigne dans un champ encore indivis, il soit tenu de livrer à son copropriétaire un champ pareil à celui où il a planté une vigne. » (titre 31, article 1 : Peyré, 1855, p. 65).

On pouvait pratiquer le défrichement par le feu :

« Si quelqu'un a employé le feu pour faire un défrichement, et que la flamme, sans être poussée par le vent, ait gagné de proche en proche et soit arrivée à une haie ou à un champ de blé appartenant à un autre propriétaire, tout le dommage causé par l'incendie devra être réparé par celui qui l'a occasionné. » (titre 41, article 1 : Peyré, 1855, p. 74).

Les coupes de bois étaient libres et ouvertes à tous, même sur les propriétés privées. La seule restriction concerne *a priori* les arbres fruitiers* :

« Si un Bourguignon ou un Romain n'a point en propre de forêt, il aura la libre faculté de couper, dans une forêt quelconque, du bois pour son usage aux arbres morts et aux arbres de la classe de ceux qui ne portent aucun fruit, et le maître de cette forêt ne pourra pas s'y opposer. Mais si quelqu'un, sans la permission du maître, coupe un arbre fruitier, dans une forêt qui ne lui appartient pas, il sera tenu de payer un sou d'or pour chaque arbre qu'il a coupé. Nous ordonnons que la même règle soit appliquée lorsqu'il s'agira de pins et de sapins. » (titre 28, articles 1 et 2 : Peyré, 1855, p. 63).

La liberté de prélever du bois était garantie par un autre article :

« Si quelqu'un s'est opposé à ce qu'un individu coupât, aux arbres morts ou ne portant aucun fruit, le bois nécessaire à son usage, et s'il lui a saisi des gages, il devra lui restituer trois fois la valeur de ces gages, et payer en outre une amende de six sous d'or. » (titre 28, article 4 : Peyré, 1855, p. 64).

Pour l'Antiquité (et *a fortiori* pour les périodes antérieures), nos connaissances sur la forêt reposent surtout sur les résultats d'études paléo-environnementales* et archéologiques : palynologie*, anthracologie*, dendrochronologie*, climatologie. Les publications fondées

sur des données textuelles (auteurs antiques, etc.) sont peu fréquentes³⁶. On peut citer un article sur le massif forestier de la Sila (sud de l'Italie), qui analyse à partir de textes anciens quels ont pu être le type de boisement et les utilisations de ce massif au cours de l'Antiquité (Béal, 1995, p. 11-25 : production de poix*, fourniture de bois pour des chantiers navals et pour la viticulture), ou encore une étude sur l'économie forestière durant le Haut-Empire* dans le Norique romain, une région alpine (Regerat, 2005). Par ailleurs, une publication a récemment posé la question de la gestion des ressources en bois à large échelle - celle du bassin méditerranéen - entre le 8^{ème} siècle avant notre ère et le 7^{ème} siècle de notre ère (Harris, 2011). L'auteur y fait notamment de nombreuses références aux usages du bois attestés alors (bois d'œuvre ou combustible, usage du charbon de bois pour la métallurgie) et s'interroge sur les volumes produits, les lieux d'approvisionnement et l'économie du bois en général.

Nos connaissances pour les périodes les plus anciennes reposent sur l'apport des données paléo-environnementales. Voici, en un résumé succinct, ce qu'elles nous apprennent pour les dix derniers millénaires dans le nord-est de la France (Magny, 1995 ; Richard, 2000 ; Gauthier, 2004 ; Gauthier, Richard, 2008, en particulier) :

Après une longue phase froide où la couverture végétale devait plutôt ressembler à une steppe, le début de l'Holocène*, il y a environ dix millénaires, est marqué par un réchauffement climatique qui a favorisé le développement naturel de forêts de feuillus. Une phase de détérioration climatique d'environ mille ans suit ce premier réchauffement et favorise la pousse du noisetier (période du Boréal, entre 8000 et 7000 avant notre ère environ). Ensuite, une amélioration climatique permet le développement de la chênaie mixte, qui s'impose au cours des deux millénaires suivants (Atlantique ancien, entre 7000 et 5000 avant notre ère environ). La phase suivante (Atlantique récent), qui dure approximativement mille ans, est favorable aussi bien au chêne qu'au hêtre. Du point de vue des périodes archéologiques, on se situe au Néolithique* (Néolithique ancien à moyen). Puis le hêtre poursuit pendant trois millénaires son expansion dans les zones de basse altitude, alors qu'au même moment, les hauteurs sont plutôt colonisées par le sapin (période du Subboréal, entre 3500 et 800 avant notre ère). Cette phase, marquée par des variations climatiques complexes, correspond approximativement aux périodes archéologiques du Néolithique final, du Chalcolithique* et à l'âge du Bronze*. Grâce à des

³⁶Chevallier, 1986 ; Béal, 1995 ; Ulrich, 2007, sont des publications sur le bois au cours de l'Antiquité ; mais la plupart des publications concerne plutôt ce qu'on fait du bois que la forêt elle-même.

analyses polliniques, les indices d'une multiplication de pratiques de défrichements ont été mis en évidence, surtout à l'âge du Bronze final (fin du Subboréal). Les fluctuations du « signal anthropique* »³⁷ lues dans les diagrammes polliniques*³⁸ expriment probablement un nomadisme dans l'emplacement des sols cultivés. Vient ensuite la période Subatlantique, phase climatique dans laquelle nous nous situons encore aujourd'hui. Ce passage se confond approximativement avec l'entrée dans l'âge du Fer (vers 800 avant notre ère). On remarque le développement du charme entre la fin du Subboréal et le début du Subatlantique ; le hêtre et le sapin sont toujours très présents. A la période romaine, on voit apparaître le noyer, le châtaignier et quelques autres fruitiers. On observe à partir des analyses polliniques un net essor à la période romaine des pratiques agricoles, bien visible pendant les 1^{er} et 2^{ème} siècles de notre ère. Il s'ensuit une déprise agricole et une reprise du boisement dans les derniers siècles de l'Antiquité et pendant le début du Moyen Âge. A partir du milieu du Moyen Âge, une nouvelle phase de défrichements apparaît très nettement. Globalement, au cours du Subatlantique, l'action anthropique se révèle déterminante dans l'évolution de la couverture arborée, bien plus que les changements de couverture végétale induits par les variations climatiques.

Revenons aux données textuelles anciennes. Certains auteurs antiques évoquent les arbres, le milieu forestier ou, plus généralement, le domaine rural. On a relevé ici quelques passages dus aux agronomes Caton et Palladius, également à Pline l'Ancien. Caton et Palladius ont été choisis parce qu'ils sont respectivement le plus ancien (3^{ème} – 2^{ème} siècle avant notre ère) et le plus récent (4^{ème} siècle de notre ère) des agronomes antiques latins³⁹ connus. Pline a vécu dans la période intermédiaire, au 1^{er} siècle de notre ère.

La forêt, qui apparaissait dans la *Lex Burgundionum* comme l'un des éléments du domaine rural médiéval, est également une composante du domaine rural antique⁴⁰, fait de vignes, de cultures, de prés et de bois. Les textes de la période romaine suggèrent une spécialisation fonctionnelle des espaces boisés, source de bois à couper ou de nourriture pour les animaux.

³⁷ Le « signal anthropique » est donné par la présence de pollens de plantes rudérales* et/ou de céréales conjuguée à une diminution des pollens d'arbres.

³⁸ Les fluctuations sont déduites de quantités de pollens liés aux pratiques agricoles et pastorales variant significativement.

³⁹ Le plus complet et probablement le plus connu est cependant Columelle, qui a vécu au 1^{er} siècle de notre ère. Palladius est réputé s'être largement inspiré de l'œuvre de Columelle dans son ouvrage sur l'économie rurale.

⁴⁰ Avec la réserve que les textes auxquels on se réfère ici concernent plutôt l'Italie.

Dans son *De Re Rustica*, Caton cite (dans l'ordre décroissant) les profits qu'on peut tirer des productions d'un domaine bien situé⁴¹ : « premièrement, la vigne, si son vin est bon et abondant ; deuxièmement un jardin irrigué ; troisièmement, une saussaie ; quatrièmement, une oliveraie, cinquièmement, une prairie à faucher ; sixièmement, un champ de blé ; septièmement, une forêt à couper ; huitièmement, un lieu planté d'arbres ; neuvièmement, une forêt qui produit des glands⁴² » (traduction C. Fruchart).

Il est notable que la production céréalière semble ici modérément profitable, moins par exemple que celle de foin, et que le panage est considéré comme le produit sylvicole qui rapporte le moins. La hiérarchisation de la valeur économique des produits de la terre apparaît ainsi bien différente de notre référentiel actuel, ou même de celui qu'on peut imaginer pour la période moderne ou pour le second Moyen Âge.

Plus d'un demi-millénaire après Caton, la constitution du domaine rural suggérée par le *Code Théodosien* (5^{ème} siècle de notre ère) semble avoir peu changé. Dans un titre définissant ce qu'il convient de faire des biens ayant appartenu à des personnes condamnées ou exilées, et qui ne pourront donc plus profiter de leur propriété, la composition d'un domaine rural est brièvement décrite :

« ... un inventaire complet de la propriété inclut l'extension du domaine rural et sa composition : quelle part est attribuée à la vigne, à l'oliveraie, aux terres labourées, aux pâtures sous bois⁴³ ... » (d'après Pharr, 1952, p. 260, *Codex Theodosianus* livre 9, titre 42, article 7).

La pratique de la pâture en sous-bois est mentionnée à plusieurs reprises dans ce *Codex*, dans des articles concernant aussi bien l'Empire romain d'Occident que l'Empire d'Orient. Cette pratique pastorale semble avoir été rémunératrice, ainsi que le suggère ce passage :

« ... Comme il n'y a pas motif à augmenter le poids de la taxe sur les pâtures sous bois du domaine privé, aucune augmentation ne sera faite sur décision administrative⁴⁴ » (traduction C. Fruchart, *Codex Theodosianus* livre 7, titre 7, article 2).

⁴¹ « De omnibus agris, optimoque loco si emeris iugera agri centum, vinea est prima, si vino bono et multo siet, secundo loco hortus irriguus, tertio salictum, quarto oletum, quinto pratum, sexto campus frumentarius, septimo silva caedua, octavo arbustum, nono glandaria silva. » (Caton, *De re rustica*, I)

⁴² « glandaria silva » ne désigne pas nécessairement une chênaie. Pline cite de son côté plusieurs sortes de *glandi*, dont la faine de hêtre (« alia fagae glandi figura », Pline, *Naturalis historia* : 16, 6, 16).

⁴³ Le texte est traduit ici depuis une version anglaise du texte latin du *Codex Theodosianus*. L'expression latine employée pour la « pâture sous bois » est « pascuis saltibus », traduit en anglais par « woodland pasture ».

⁴⁴ « Cum nulla ratio sit, cur in pascuis saltibus rei privatae pensio debeat ampliari, nequaquam pro libidine ordinum augmenta facienda sunt. »

A la période romaine, les arbres sont « sauvages » mais aussi « cultivés », comme nous l'apprend Pline l'Ancien, qui consacre huit livres de son *Histoire Naturelle* aux arbres⁴⁵. Il cite divers usages qu'on fait des « arbres sauvages », tels les « arbres à glands », qui nourrissent principalement les porcs (il s'agit de différentes sortes de chênes, mais aussi de hêtres : *Naturalis Historia*, XVI, 8). Pline parle des emplois qu'on fait des écorces de diverses essences d'arbres, hêtre, tilleul, sapin ou épicéa, avec lesquelles on fabrique des paniers ou d'autres contenants (*Naturalis Historia*, XVI, 14). Il mentionne aussi, entre autres, la fabrication de poix à partir de résineux (*Naturalis Historia*, XVI, 15). Par ailleurs, certains passages relatifs aux « arbres cultivés » suggèrent la maîtrise dès cette époque antique de techniques sylvicoles. On remarque notamment, au sujet de la « culture d'arbres », la prise en compte à la fois de facteurs naturels (par exemple, certaines espèces se multiplient uniquement par semis naturel) et de pratiques artificielles (par exemple, on peut multiplier des arbres par d'autres moyens que le semis naturel), ce qui semble bien correspondre à une approche sylvicole, qui allie des contraintes naturelles à des actions anthropiques pour orienter la pousse des arbres.

« [Les arbres] proviennent ou bien de semis*, ou bien de boutures* ou marcottes*, ou de drageons*, de divisions, de rejets*, ou de greffons simples ou multiples⁴⁶ » (*Naturalis Historia*, XVII, 9). « C'est la nature qui a enseigné la plupart, et d'abord l'art de semer, car on voyait germer la graine tombée et reçue par la terre. Quelques arbres ne sont pas susceptibles de venir autrement, par exemple les châtaigniers, les noyers. Nous exceptons les taillis, qui repoussent du pied. Des arbres qui peuvent aussi se reproduire par d'autres moyens, la vigne, le pommier, le poirier, se reproduisent par la graine, quoique cette graine soit différente : en effet, ils ont pour graine le noyau, et non, comme les précédents, le fruit lui-même. Les néfliers peuvent aussi venir de graine. Tous ces arbres, ainsi semés, poussent lentement, dégénèrent, et il faut les régénérer par la greffe. Le châtaignier même a quelquefois besoin d'être greffé.⁴⁷ » (*Naturalis Historia*, XVII, 10).

⁴⁵ Livre 12 : les arbres (en général) ; livre 13 : les arbres exotiques ; livre 14 : les arbres fruitiers – la vigne ; livre 15 : les autres arbres fruitiers ; livre 16 : les arbres sauvages ; livre 17 : les arbres cultivés ; livre 23 : pharmacopée issue des arbres cultivés ; livre 24 : pharmacopée issue des arbres sauvages. *L'Histoire Naturelle* contient 37 livres en tout.

⁴⁶ Traduction C. Fruchart d'après le texte latin suivant : « Aut enim semine proueniunt aut plantis radicis aut propagine aut auolsione aut surculo aut insito aut consecto arboris trunco. ».

⁴⁷ Traduction Littré, 1850 du texte suivant : « Ac pleraque ex his natura ipsa docuit et in primis semen serere, cum decidens exceptumque terra uiuesceret. Sed quaedam non aliter proueniunt, ut castaneae, iuglandes, caeduis dumtaxat exceptis ; et semine autem, quamquam dissimili, ea quoque, quae aliis modis seruntur, ut uites et mala atque pira. Namque his pro semine nucleus, non, ut supra dictis, fructus ipse. Et mespila semine nasci possunt. Omnia haec tarda prouentu ac degenerantia et insito restituenda, interdumque etiam castaneae. ».

Comme aux périodes médiévale et moderne, la forêt fournit litière et fourrage :

« Si la litière manque, on prendra des feuilles de chêne (...) Qu'il coupe⁴⁸ les ramilles du peuplier, d'orme et de chêne ; qu'il les entasse pour les donner aux brebis avant qu'elles ne soient complètement séchées. » (Caton, *De Re Rustica*, V). Caton évoque aussi différentes espèces d'arbres qui fournissent un fourrage apprécié du bétail.

Palladius énumère les utilisations de diverses essences fournissant du bois d'œuvre : le « sapin des Gaules » est un bois très durable pour la construction. Le mélèze est difficilement inflammable et excellent pour les sous toitures. Le chêne convient bien aux constructions enterrées, aux pieux et échelas. Le châtaignier est un bon bois pour les clôtures. Le hêtre convient aux ouvrages qui restent au sec, de même que le pin. Le peuplier, le saule et le tilleul se sculptent bien. L'aulne ne convient pas aux constructions mais fait de bons pilotis sur des terrains humides. Le charme est « très utile » et le cyprès « excellent ». L'orme et le frêne servent à faire des liens, et ce sont aussi des porte-greffes pour le pommier et le cognassier. (d'après Palladius, *De Re Rustica*, XII et III). Pline signale des affinités particulières entre l'orme et la vigne (*Naturalis Historia*, XVI, 15).

Palladius et Columelle décrivent une pratique particulière de culture de la vigne appelée la « vigne mariée », qui fait appel à des arbres vivants issus d'essences typiquement forestières, notamment l'orme et le frêne. Columelle évoque aussi un vignoble dont l'aménagement est adapté à la polyculture, citant une vigne mélangée à une culture céréalière⁴⁹.

Voici la description de la technique de la « vigne mariée » :

« Il y a dans les Gaules une autre espèce de plants d'arbres mariés aux vignes, et qu'on appelle rumpotin (...) La plupart des vigneron ont recours, pour le même service, au cornouiller, au charme, à l'orme, et quelquefois au saule. Quant à ce dernier arbre, il ne faut s'en servir que dans les localités marécageuses, où les autres arbres ne prennent que difficilement, parce qu'il altère la saveur du vin. (...) L'arbre se divise ordinairement en trois branches, à chacune desquelles on conserve de chaque côté plusieurs bras ; puis on retranche presque tous les autres rameaux qui donneraient trop d'ombre à l'époque de la

⁴⁸ Il s'agit des tâches de l'intendant du domaine.

⁴⁹ On peut ajouter que la polyculture dans le vignoble est une pratique attestée en Franche-Comté au 16^{ème} et au 17^{ème} siècle (présence d'arbres fruitiers dans les parcelles viticoles, plantation de légumes entre les rangs de vignes). In : Delsalle, 2006, p. 58-60.

taille des vignes. Si on ne sème pas de grains sous les rumpotins, on laisse entre eux une distance de vingt pieds de chaque côté; mais si on y cultive des céréales, on étendra cet intervalle à quarante pieds d'un côté et à vingt de l'autre. Les autres pratiques sont les mêmes que celles qui sont usitées en Italie : ainsi on plante les vignes dans de longues fosses, on leur donne les mêmes soins, on les dispose sur les branches de l'arbre ; tous les ans on fait passer aux arbres voisins de nouveaux sarments, et l'on coupe les anciens. » (Columelle, *De Re Rustica*, V, 7).

Palladius précise la technique mise en œuvre :

« Il faudra commencer par élever dans une pépinière du plant de bonne qualité, que vous transporterez, lorsqu'il aura pris racine, dans des fosses creusées au pied de chaque arbre. (...) On met deux ceps dans la même fosse (...). Celui qui veut former un plant d'arbres mariés à des vignes doit choisir parmi les espèces suivantes, si elles abondent dans le canton, savoir, le peuplier, l'orme, et le frêne dans les terrains montagneux et escarpés, où l'orme ne viendrait pas bien. » (Palladius, *De Re Rustica*, III, 10).

Enfin, on peut citer quelques lignes de Palladius à propos des défrichements et de la préparation des terres labourables. On y apprend qu'une parcelle nouvellement défrichée doit être intégralement labourée.

« [On façonne la terre] de trois façons, ou en remuant toute la superficie du terrain, ou en y faisant des tranchées, ou en y creusant des fosses. Il faut fouiller un terrain dans toute son étendue quand il est en friche, afin de le débarrasser des souches* et des racines de fougères, ou d'autres mauvaises herbes. » (Palladius, *De Re Rustica*, II, 10). Palladius décrit ensuite précisément comment aménager des tranchées ou des fosses sur un terrain (dimensions, espacements, façon de réaliser des drains, etc.).

1.1.1.3 - Que faisait-on des différentes essences d'arbres au cours des siècles passés ?

Un ouvrage écrit en 1836 renseigne sur l'exploitation et le potentiel économique de la forêt au cours de la première moitié du 19^{ème} siècle. Cette *Encyclopédie d'Agriculture pratique* (Malepeyre Aîné, 1836) consacre environ deux cents pages à « l'agriculture forestière »

(sylviculture, aménagements, produits issus des bois, exploitation des forêts, etc.). Les usages des différentes essences de bois y sont décrits. Voici ce qui a été relevé pour les espèces de feuillus les plus rencontrées sur le massif de Chailluz :

Le hêtre a de multiples usages, dont le charronnage et la menuiserie. Ses fruits (faînes) sont transformés en huile pour la consommation humaine et l'éclairage. Les tourteaux nourrissent les porcs et la volaille.

Le chêne (sessile ou pédonculé) est prioritairement utilisé⁵⁰ pour les pièces de navires ou de ponts et pour la fabrication de roues d'usines. Il fournit aussi du bois de fente* (merrains*). Les arbres de moindre intérêt économique servent à fabriquer des planches. Le chêne produit un charbon de bonne qualité. Les glands nourrissent les porcs et la volaille, l'écorce sert au tannage.

Le charme fournit un excellent charbon pour les forges et pour la fabrication de poudre à canons. Ses feuilles sont un bon fourrage pour le bétail. Il est d'un intérêt médiocre comme bois de chauffage, parce qu'il pousse trop lentement.

L'érable champêtre sert aux tourneurs, aux ébénistes et aux luthiers. C'est un bon bois de chauffage et de charbon, et un fourrage apprécié du bétail.

Le tilleul (argenté, à grandes ou à petites feuilles) est utilisé par les menuisiers, les boisseliers, les tonneliers, les sabotiers. On en fait des échelas, des cordages et des liens à usage agricole. Sa fleur et sa sève sont consommés.

Le frêne sert à faire des meubles et des pièces de machines, en particulier des roues. C'est un bon bois de chauffage et de charbon.

Le noisetier sert à faire des pieux, des échelas et de la vannerie. Son charbon très léger sert à fabriquer de la poudre à canons. Ses fruits sont consommés et transformés en huile.

Le merisier fournit un bon bois de tournage et des fruits appréciés. Il peut aussi servir de bois de charpente et en tonnellerie ; c'est également un bon bois de chauffage et de charbon.

⁵⁰ Ici, c'est le profit économique qui est le critère utilisé pour hiérarchiser les utilisations.

L'orme⁵¹ est le meilleur bois pour le charronnage. Il sert aussi à faire des canalisations enterrées pour l'adduction d'eau potable. Il est considéré comme le bois de construction le plus durable après le chêne. Son écorce est utilisée pour la réalisation de cordages et ses feuilles constituent un bon fourrage pour le bétail.

On lit aussi des indications sur les différents régimes de culture (futaie, taillis, « futaie sur taillis », etc.). Plusieurs pages sont consacrées à la fabrication du charbon de bois. Voici quelques extraits qui évoquent les usages du taillis, la pratique encore existante de l'essartage au 19^{ème} siècle, et le charbon de bois :

« Les taillis sont des bois que l'on coupe ordinairement assez jeunes, soit pour les employer au chauffage, soit pour convertir les bûches en charbon, soit pour faire des échelas, des pieux, etc. (...) On divise ordinairement les bois taillis en trois classes : les jeunes taillis sont ceux qu'on exploite à l'âge de 7, 8 ou 9 ans ; ils sont (...) employés (...) surtout au chauffage des habitants de la campagne. Les taillis moyens sont ceux qu'on exploite à l'âge de 18 ou 20 ans pour en tirer du charbon ou du petit bois de chauffage. Les hauts-taillis s'exploitent à l'âge de 25 à 40 ans et fournissent du bois de chauffage pour les villes, de petites pièces de charpente et de charronnage, et surtout du bois de fente pour la latte, les échelas etc. » (Malepeyre, 1836, p. 79).

La pratique de l'essartage est décrite, encore en usage au 19^{ème} siècle dans certaines régions de France :

« La culture des bois en essarts se pratique depuis plusieurs siècles (...). Les bois d'essarts sont des taillis de chênes qui s'exploitent en plein, sans réserve* de baliveaux*⁵², tous les 16 ou 18 ans, et dont on cultive le sol après l'exploitation pour y semer du seigle et d'autres graines pendant 2 ou 3 ans au plus. L'écobuage est l'un des travaux essentiels de cette culture. Lorsque le taillis est coupé, les habitants du voisinage cultivent le sol à la pioche (...). La végétation se montre bien plus puissante dans ces essarts que dans les taillis ordinaires (...). Les taillis des essarts sont aussi forts à l'âge de 6 ans que les taillis ordinaires à l'âge de 12 ans. » (Malepeyre, 1836, p. 92).

Différentes sortes de charbons de bois sont évoquées :

⁵¹ L'orme a presque disparu aujourd'hui en forêt de Chailluz, mais il y était encore répandu au milieu du 20^{ème} siècle.

⁵² Autrement dit, la parcelle est coupée à blanc*. Néanmoins, les souches sont conservées et les arbres repoussent en cépées après les quelques années de cultures.

« Un stère de bois taillis âgé de 16 à 18 ans rend 7 pieds cubes de charbon. Un stère de taillis âgé de 24 à 30 ans rend 9 pieds cubes de charbon. » (Malepeyre, 1836, p. 118) ; « Dans les forges et grandes usines on distingue les charbons en 2 classes : 1° les charbons de bois dits *durs et pesans*, tels que ceux de chêne, épine, hêtre, charme, orme, érable, cornouiller, alizier, pommier ; 2° les *charbons de bois doux et légers*, savoir : ceux de tilleul, tremble, aune, coudrier, pin, sapin, bouleau etc. Dans quelques arts on recherche le charbon de plusieurs espèces particulières de bois : ainsi, dans la fabrication de la poudre, on donne la préférence aux charbons d’aulne, de bouleau, de saule et surtout de bourgène⁵³ ; on se sert du charbon de saule ou de bouleau pour la fabrication des crayons, et les dessinateurs donnent la préférence au charbon de fusain pour dessiner, etc. Le meilleur charbon se prépare avec de jeunes rondins de 6 à 12 pouces* de circonférence (16 à 32 cm), provenant de taillis de l’âge de 16 à 20 ans. » (Malepeyre, 1836, p. 128).

Un autre texte publié en 1774 détaille la fabrication et l’utilisation du charbon de bois (Duhamel de Monceau, 1774). L’auteur, Henri Louis Duhamel de Monceau était alors un scientifique connu, agronome et encyclopédiste. Son *Art du charbonnier* a probablement été à son époque un ouvrage scientifique de référence⁵⁴. En voici quelques extraits qui exposent les différentes qualités de charbon et leurs usages, le type de bois à exploiter pour fabriquer du charbon, ainsi que quelques indications sur les choix d’implantation des charbonnières et sur les caractéristiques de ces structures. Au cours du 18^{ème} siècle, on consommait de grandes quantités de charbon de bois⁵⁵. Duhamel de Monceau évoque ce fait :

« La quantité de bateaux emplies de charbon, qui arrivent journellement à Paris, est une preuve suffisante qu’il se fait dans les villes considérables une grande consommation de cette matière ; mais qu’est-ce que cette consommation en comparaison de celle qui se fait dans les fourneaux et les forges ? » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 653). Le besoin en charbon de bois est tel que les coupes de bois pour sa production – en principe, du bois réglé en taillis – couvrent des surfaces énormes : « Un fourneau consomme (...) par an 11 680 cordes* de bois. Or, un arpent de taillis en coupe de vingt ans, ne donne à chaque coupe qu’environ trente-six cordes de bois. » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 654).

⁵³ Autre nom de la bourdaine.

⁵⁴ Le texte est consultable sur internet : URL permanente vers le site du Conservatoire numérique des arts et métiers : <http://cnum.cnam.fr/redirect?4KY58.2>. On y trouve notamment une explication détaillée du processus de fabrication du charbon, depuis la coupe du bois jusqu’à la livraison du produit fini.

⁵⁵ C’est un fait bien connu, et exposé dans les publications consacrées à la métallurgie au Moyen Âge et sous l’Ancien Régime : Jacob, Mangin, 1990 ; Woronoff, 1990 ; Benoît, Cailleaux, 1991 ; Bonhôte, 1998, par exemple.

On fabrique différentes sortes de charbon, destiné à des usages variés. Il semble qu'on a pu employer différentes essences de bois pour fondre le minerai de fer ou éventuellement travailler ce métal, en fonction de la qualité de métal qu'on souhaitait obtenir :

« La qualité du charbon varie suivant l'espèce de bois qu'on brûle. On fait avec les bois durs du charbon qui donne beaucoup de chaleur⁵⁶. (...) Les charbons de bois tendres comme le bouleau, le tremble, le peuplier, le tilleul, le pin (...) ne font pas autant de chaleur (...). On prétend qu'ils donnent plus de douceur aux métaux. (...) Le charbon de bois blanc* [est] préférable aux autres pour faire de la poudre à canons (...). On l'emploie à polir les métaux et à faire des crayons. » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 655).

Le bois utilisé pour la fabrication de charbon provient de préférence de parcelles élevées en taillis :

« On trouve plus de profit à n'employer que [le menu bois] pour faire du charbon (...). [On utilise] les taillis de 18 à 20 ans, qui fournissent des rondins de 6 à 12 pouces de circonférence, plutôt que des branchages (...) qui occasionnent des vides dans l'intérieur du fourneau, qui empêchent les charbonniers de bien conduire leur feu (...). Dans les forêts qu'on exploite en bois de charpente et en bois à brûler, on destine à faire le charbon tous les bois de branchage, et les mauvais taillis qui ne sont point destinés à faire du bois de corde⁵⁷(...). Dans une forêt où la bonne corde coûte 12 livres, la corde pour le charbon ne se vend que 7 à 8 livres. » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 656).

Ce texte nous renseigne aussi sur des aspects techniques de la fabrication du charbon de bois, notamment le choix de la place où établir la charbonnière :

« Les charbonniers appellent *place à charbon*, *fosse à charbon* ou *faulde*, le lieu où ils asseyent leur fourneau. Ils nomment *fourneau* la pile de bois arrangée comme elle doit l'être pour faire du charbon. Quand la pile n'est que commencée, ce n'est pas un fourneau, c'est une *allumelle*. (...) Comme les ouvriers cherchent à s'épargner du travail, ils essayent de placer leur faulde à portée des cordes (...). Ils choisissent un endroit un peu élevé, afin que, s'il venait à pleuvoir, l'eau ne se rendit pas sous le fourneau. Ils diminuent encore leur travail, quand ils peuvent trouver des places unies, ou bien des endroits où l'on ait déjà cuit du charbon. (...) L'ordonnance⁵⁸ veut que les places où l'on doit cuire le charbon, soient

⁵⁶ Les bois cités sont principalement « *épine, chêne, hêtre* ».

⁵⁷ Le bois de corde désigne ici le bois de chauffage.

⁵⁸ Le texte fait ici référence à l'ordonnance de Colbert de 1669.

marquées par les officiers des Eaux et Forêts (...). On commence par bien unir le terrain (...). L'ouvrier qui fait ce travail se nomme le *dresseur*. Cet ouvrier trace la circonférence de la faulde, à laquelle il donne, pour les grands fourneaux, huit enjambées de diamètre, et moins pour les petits. » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 658-659). « Quand on établit des fourneaux dans les terrains où il y a beaucoup de pierres, on habille les fourneaux avec une couche épaisse de feuilles, et par-dessus du frasil⁵⁹ mêlé avec un peu de terre. » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 664). « Quand le charbon est bien refroidi, on le transporte (...) sur les bêtes de sommes (...), mais quand les chemins sont praticables, on préfère le transport par charroi. » Les « fourgons » ou « bannes » utilisés pour le charroi sont de « grandes charrettes » (Duhamel de Monceau, 1774, p. 671).

Théophraste, auteur grec du premier traité de botanique connu, qui a vécu au 4^{ème} siècle avant notre ère, évoque déjà la fabrication et les usages du charbon de bois. Plus de deux millénaires avant Duhamel de Monceau, il décrit différentes sortes de charbon de bois et leurs usages. Ses préconisations présentent des similitudes avec ce qu'on lit chez les auteurs des 18^{ème} et 19^{ème} siècles. En voici quelques passages⁶⁰ :

« Le meilleur charbon est fait dans les bois les plus denses, comme le chêne vert et l'arbousier ; (...) on les utilise dans les mines d'argent pour réduire le minerai. (...) Le meilleur charbon provient d'arbres jeunes⁶¹, en particulier d'arbres recépés. (...) Les différents types de charbon ont des usages divers : dans certains cas on a besoin qu'il soit tendre ; ainsi dans les mines de fer utilise-t-on après la réduction celui qui est fait du bois tendre de noisetier, et dans les mines d'argent le charbon fait avec du pin. Ces charbons sont aussi utilisés dans les forges. Les forgerons préfèrent le charbon d'épicéa à celui du chêne : il n'est pas aussi résistant, mais sa flamme est plus vive. »

D'une manière générale, l'étude du cycle de fabrication et de distribution du charbon de bois peut être intéressante pour mieux comprendre certaines façons de gérer ou de tirer profit de forêts autrefois, et pour mieux appréhender la place du bois dans un territoire en réponse à des besoins énergétiques. On songe notamment à ce sujet à des recherches en

⁵⁹ Frasil, ou fraisil, fraizi, frasi, en fonction des régions et des périodes : mot désignant le résidu charbonneux laissé à l'emplacement du fourneau après cuisson et après débarrassage de la meule, formé de cendres, de poussières ou de menues parcelles de charbon. Ce frasil pouvait être récupéré par le charbonnier qui le transportait sur d'autres emplacements, pour servir à la préparation du terrain lors de l'aménagement de nouvelles places à charbon et lors de la réalisation des fourneaux.

⁶⁰ Le texte est traduit ici de l'anglais depuis une édition bilingue grec/anglais (Theophrastus, *Enquiry into plants*, V, 9) : Hort, 1916, réédité en 1999, p. 467 *et sq.*

⁶¹ Le terme anglais utilisé est « trees in their prime », ce qui correspond à de jeunes arbres de plus de 15 ans.

cours ou passées menées dans diverses régions de France ou aussi en Espagne ou en Belgique (Bonhôte, 1998 ; Izard, 1999 ; Euba Rementeria, Palet-Martinez, 2010 ; Allée *et al.*, 2011 ; Ploquin *et al.*, 2011 ; Deforce *et al.*, 2012, par exemple). La fabrication de charbon de bois sur des espaces plans circulaires de quelques mètres de diamètres est attestée dès le premier Moyen Âge et jusqu'au 19^{ème} siècle (Malepeyre, 1836 ; Bouchey, 1969 ; Bonhôte, Vernet, 1988 ; Davasse, 2000 ; Allée *et al.*, 2011), voire même au début du 20^{ème} siècle dans certaines régions de France. On ignore en revanche si la même technique était employée pour sa fabrication au cours des périodes les plus anciennes. Des fouilles archéologiques dans la région du Mans ont notamment mis en évidence des fosses à charbon rectangulaires profondes de quelques dizaines de centimètres, datées du second Age du Fer, qui témoignent de l'emploi de techniques autres que celles décrites dans les lignes précédentes (Mangin, 2004, p. 52-53). Très généralement, la destination principale du charbon de bois semble avoir été la métallurgie, et tout particulièrement la fabrication du fer qui, ayant un point de fusion supérieur à 1200°, ne peut guère être envisagée à partir de bois non transformé, au pouvoir calorifique insuffisant (Woronoff, 1990 ; Mangin, 2004). Il se dessine ainsi une sorte de système économique-environnemental : pas de fonderies sans forêts.

Pour compléter l'évocation des usages passés de la forêt, il faut citer une autre activité connue pour avoir fortement mis à contribution la ressource en bois par le passé : la viticulture. Ce duo vigne – forêt, qui a fait l'objet de recherches et au moins d'une publication spécifique (Corvol, 2002), est à prendre en compte à Besançon, agglomération au riche passé viticole durant le Moyen Âge et la période moderne, jusqu'à son déclin progressif au 19^{ème} siècle, puis finalement sa disparition après l'épidémie de phylloxéra à la fin du 19^{ème} siècle (*cf.* Chevalier, Scherrer, 1955). Outre l'utilisation de bois de futaie pour la fabrication de merrains utilisés en tonnellerie (emploi du chêne, également du merisier), les viticulteurs prélevaient de grandes quantités de bois dans des forêts élevées en taillis (essences diverses, dont le chêne, le châtaignier, le robinier) pour leurs échelas, qui devaient être renouvelés fréquemment (Bru-Malgras, 2002 ; Ostermann, 2002 ; Vion-Delphin, 2002 ; Lacroix, 2006). Les viticulteurs étaient aussi de gros consommateurs de liens et de contenants (paniers, etc., faits avec du tilleul, du noisetier, de l'osier, notamment), mettant là encore la ressource ligneuse à contribution.

1.1.2 - Connaissances historiques relatives à la forêt de Chailluz

1.1.2.1 - Textes relatifs à la forêt de Chailluz des Archives municipales de Besançon

1.1.2.1.1 - Généralités

Un grand nombre de textes antérieurs à 1950 provenant des Archives municipales de Besançon donnent des informations utiles (délimitations, réglementation, économie de la forêt, aménagements divers, etc.) sur les paysages passés de la forêt de Chailluz, dont l'existence est attestée dès le second Moyen Âge⁶². Les archives auxquelles on se réfère ici ont pour la plupart été relevées dans des publications existantes (Fiétier, 1973 ; Dianin, 1995 ; Muller, 1999 ; Bépoix, 2010 ; essentiellement). Les textes relatifs aux délimitations de la forêt ou, plus globalement, aux limites du territoire bisontin ont été étudiés en priorité car ils renvoient généralement à des éléments du paysage susceptibles d'être encore visibles et détectables aujourd'hui (bornes, murs, tertres, chemins, etc.). Les sources utilisées proviennent principalement du fonds ancien (1290 – 1790). Le fonds moderne (1791 – 1952) n'a pratiquement pas été utilisé : aucune publication consacrée au massif de Chailluz spécifique à cette période n'a été trouvée, et il n'a pas été possible de dépouiller le fonds d'archives récentes dans le temps de la thèse. On y trouverait certainement des informations intéressantes sur l'exploitation des ressources naturelles et sur les aménagements réalisés au cours du 19^{ème} siècle (fabrication de charbon de bois, exploitation de carrières, entretien et réalisation de chemins, utilisations du bois provenant de la forêt de Chailluz, etc.).

Les archives anciennes rassemblent tous les documents relatifs à l'histoire de Besançon depuis la constitution de la commune en 1290 jusqu'à 1790. Ils sont classés en neuf séries thématiques notées AA à II, correspondant aux principales fonctions de l'administration communale de l'Ancien Régime*.

⁶² Les archives potentiellement intéressantes ici représentent une masse documentaire à dépouiller trop importante pour qu'on puisse les prendre en compte de façon systématique dans cette thèse : par exemple, les deux séries BB et DD, qui sont les plus fréquemment citées en référence dans les publications, représentent à elles seules environ 30 m linéaires d'archives manuscrites datées entre 1290 et 1790.

AA : Actes constitutifs et politiques de la commune, correspondance générale.

BB : Administration communale (essentiellement, registres de délibérations de l'assemblée communale).

CC : Finances, impôts et comptabilité.

DD⁶³ : Biens communaux, eaux et forêts, travaux publics, voirie.

EE : Affaires militaires.

FF : Justice, procédure, police

GG : Cultes, instruction publique, assistance publique

HH : Agriculture, industrie, commerce

II : Pièces isolées

Dans ce fonds ancien, les séries les plus utilisées par les historiens sont l'administration communale (série BB) et surtout les biens communaux, eaux et forêts, travaux publics, voirie (série DD). La série CC des finances de la ville entre 1388 et 1790 contient de nombreux renseignements sur l'utilisation de la forêt de Chailluz (Dianin, 1995). Il serait intéressant d'en entreprendre un dépouillement systématique, ce qui n'a pas pu être réalisé dans le temps de la thèse⁶⁴. L'intérêt de cette source a été évoqué dans une maîtrise d'Histoire consacrée à la forêt de Chailluz au 18^{ème} siècle (Dianin, 1995, p. 54-56) :

« L'exploitation des assiettes ordinaires des forêts de la ville ainsi que l'exploitation du quart de réserve de la forêt de Chailluz tiennent une place relativement importante dans les recettes de la ville. (...) Le quart de réserve de la forêt de Chailluz a permis par son exploitation d'assurer à la ville un revenu exceptionnel nécessaire à de grands travaux. Il est exploité deux fois au cours du XVIII^e s. sur ordre du roi en 1738 et 1773 pour financer la construction de casernes. »

On pourrait sans doute préciser, en étudiant cette série, la nature des ressources exploitées à Chailluz (essences coupées, bois d'œuvre ou de chauffage, charbon de bois, exploitation de la pierre, etc.).

Les archives modernes concernent la période 1791-1952. Cet ensemble composé des documents produits par les services municipaux entre 1789 et 1952 est classé en 19 séries.

⁶³ La série DD a été inventoriée en 1998 : VISCUSI-SIMONIN Valérie - *Approche documentaire du cadre urbain de 1350 à 1500. Inventaire du fonds des Archives Municipales. Mémoire de DEA en Histoire médiévale*, Besançon, 1998, 2 volumes (AMB cotes 76912.1 et 76912.2).

⁶⁴ La série CC représente un linéaire d'archives de 26,4 m. A. Castan a réalisé un inventaire de ce fonds resté à l'état de manuscrit : CASTAN Auguste, *Analyse des registres de comptes* (AMB cote Ms 1853-1855).

A : Lois et actes du pouvoir central
B : Actes de l'administration départementale⁶⁵
D : Administration générale de la commune
E : Etat civil
F : Population. Economie. Statistique
G : Contributions. Administrations financières
H : Affaires militaires
I : Police. Hygiène publique. Justice
K : Elections. Personnel municipal
L : Finances de la commune : Comptabilité ; Revenus et charges
M : Edifices communaux. Monuments et établissements publics
N : Biens communaux. Terres. Bois⁶⁶. Eaux
O : Travaux publics. Voirie. Moyens de transport. Régime des eaux
P : Cultes
Q : Assistance et prévoyance
R : Instruction publique. Sciences, lettres et arts. Sports et tourisme
S : Autres fonds
T : Urbanisme

Parmi ces catégories, la série N est celle qui peut apporter le plus d'informations, mais la consultation des séries H, L, O et S procurerait probablement des pièces intéressantes (ouvrages militaires, comptabilité, voirie).

1.1.2.1.2 - Explications sur le tableau récapitulatif des sources donné en *Annexe 1*.

Un tableau récapitulatif des sources utilisées dans les Archives municipales de Besançon relatives à la forêt de Chailluz est présenté en annexe. Il récapitule les informations issues de trois sources documentaires :

⁶⁵ La série C, « Bibliothèque administrative », est intégrée dans les fonds de la Bibliothèque municipale et ne figure pas par conséquent dans le répertoire des Archives municipales.

⁶⁶ La sous-série 2N concerne spécifiquement les bois.

- premièrement, la liste des cotes répondant au mot-clé « Chailluz » dans la base de données des Archives municipales.
- deuxièmement, le renvoi aux pages où sont citées les sources utilisées dans une maîtrise d'Histoire sur la forêt de Chailluz au 18^{ème} siècle (Dianin, 1995).
- troisièmement, le renvoi aux pages où sont citées les sources dans le tome 1 d'une deuxième maîtrise d'Histoire sur la forêt de Chailluz, mais pour la période 1500-1674 (Muller, 1999).

Les cotes des différentes archives sont attribuées dans la colonne la plus à gauche. Lorsque ces cotes figurent dans la base de données des Archives municipales en réponse au mot-clé « Chailluz », une croix figure dans la colonne 2 (entrée « BD AMB »). Les dates des documents ainsi qu'un texte explicatif succinct de ce qu'ils contiennent⁶⁷ sont mentionnés dans la colonne la plus à droite (entrée « Date/sujet relatif à Chailluz »). Enfin, l'avant-dernière colonne donne des mots-clés thématiques (*bâti, bois, charbon, comptes, droit, limite, paisson*, voirie*) pour avoir un aperçu rapide des sujets abordés par les différents manuscrits. Le mot-clé *bâti* renvoie à des textes qui concernent des bâtiments ou qui font référence aux matériaux de construction (pierre, chaux*, bois de charpente). Le mot-clé *bois* est utilisé si l'archive fait allusion à des prélèvements de bois ou à des activités sylvicoles. S'il est fait mention de charbon de bois, le mot clé *charbon* est ajouté. *Comptes* renvoie à des textes comptables, *droit* à des textes relatifs à des procès, des « méusus* », etc. *Limite* renvoie aux textes donnant des indications sur les limites passées de la forêt de Chailluz. *Paisson* est mentionné pour les activités pastorales en forêt (quels que soient les animaux concernés et les modalités de pâture). Enfin, *voirie* indique que les archives font allusion à des chemins (chemins pour les charretiers, pour la vidange* du bois, etc.).

Les sources utilisées à partir des autres ouvrages qui ont servi de base documentaire (Fiétier, 1973 et Bépoix, 2010) n'ont pas été reprises dans ce tableau. Précisons que Roland Fiétier a principalement exploité les séries BB et DD, alors que l'ouvrage de Sylvie Bépoix est consacré à un long rouleau manuscrit portant la cote DD 105. Celui-ci retrace un procès entre Besançon et Châtillon-le-Duc à la fin du 14^{ème} siècle.

⁶⁷ Le contenu indiqué provient des indications établies par les Archives municipales auxquelles ont été ajoutées les informations complémentaires fournies par les deux Maîtrises.

Quelques textes relatifs aux limites de la forêt de Chailluz ont été étudiés ici plus en détail (manuscrits cotés DD 105 et DD 106). Ils apportent des informations qui viennent compléter ce qu'on apprend à partir des cartes et plans anciens, permettant ainsi d'améliorer la compréhension et la lecture des documents graphiques⁶⁸. Certaines entités marquant autrefois les limites de la forêt sont encore détectables aujourd'hui dans le paysage (bornes, chemins, fossés). Le recouplement à l'aide d'un SIG des données topographiques récentes à haute résolution* (LiDAR*) et des observations effectuées sur le terrain avec ces données textuelles et les indications des cartes anciennes permet de mieux comprendre l'évolution de certaines parties de la forêt de Chailluz⁶⁹.

1.1.2.1.3 - Manuscrit DD 105 : le procès des « fourches patibulaires ».

L'un des textes les plus anciens relatif aux limites de Chailluz est un rouleau manuscrit long d'environ 32 m. La transcription de ce document écrit en moyen français a été publiée en 2010 (le texte est transcrit en deuxième partie de l'ouvrage : Bépoix, 2010, p. 121-250). Il rapporte un conflit qui s'est déroulé en 1390-1391 entre Châtillon-le-Duc, une commune voisine de la forêt de Chailluz, et Besançon. Châtillon-le-Duc, où le comte de Bourgogne avait fait construire l'une de ses résidences, est située sur le territoire du Comté de Bourgogne* ; et le territoire de Besançon, ville libre directement rattachée au Saint-Empire romain germanique, est totalement enclavé dans le Comté de Bourgogne. Châtillon a fait ériger des « fourches patibulaires » à proximité du village de Valentin et de la forêt de Chailluz, dans une zone où se situent des carrières de « laves ». Ces fourches sont une manifestation du pouvoir du comte de Bourgogne, celui de « haute justice ». Besançon, qui est une ville impériale et ne dépend pas du comte de Bourgogne, tient l'endroit en question comme partie de sa banlieue. Pour Besançon, ces fourches ont été installées indûment et il s'agit là d'un préjudice important. Le texte présente les faits et les revendications des deux parties ainsi que les témoignages de 99 témoins, qui évoquent en particulier la limite territoriale de Besançon au voisinage de Valentin. En voici quelques extraits commentés (les renvois à la transcription sont donnés en référence à la pagination de l'ouvrage de Sylvie Bépoix) :

⁶⁸ Ces documents graphiques sont présentés plus loin.

⁶⁹ Ces questions sont évoquées dans la troisième partie.

Les personnes ayant construit les fourches confirment leur emplacement et Besançon énonce le préjudice qui résulte de cette action :

« Vous confessez erigir et drecier ces forches en demostrant les forches qui faiçant erigir ou dit lieu des Raiclieres aultrement des Laivieres de Besençon, les faites erigir et dreciees ou terrain, heritaige et banlee de Besançon, que estoit ou grant griez, prejudice et diminucion des drois » (Bépoix, 2010, p. 122).

De nombreux témoins décrivent les limites de la banlieue de Besançon à proximité de Châtillon⁷⁰. Ils sont tous concordants. La banlieue de Besançon inclut le territoire de Valentin, où se situe le lieu du litige appelé « Raclières » ou « Lavières » :

« Le lieu ou terrein appelez les Raiclieres, autrement Lavieres de Besançon, est compris et enclos deanz et en ladite banlee devers Valentin en quel lieu des Raclieres ou Lavieres » (Bépoix, 2010, p. 127). « Le territoire et banlee de Besançon dure a la partie devers Chastoillon jusques a Valantin, c'est a savoir jusques a une taleverne de mur qu'est acques ou milieu ou souloit estre la ville de Valantin. » (Bépoix, 2010, p. 152)

On sait par d'autres sources (notamment Castan, 1865) qu'il y avait à Valentin une grange rattachée à l'hôpital du Saint-Esprit de Besançon. Plusieurs témoins y font allusion et la situent à proximité de la forêt :

« Li territoire de Besençon dure a la partie par devers Chastoillon jusque a Balon et oultre la ville de Valantin jusque ou bois dessus la grange de Valantin ; et a plus de XL anz et despuis ençay plusieurs fois et par plusieurs ans, il a vehu mener pastre et pasturer les bestes de Besençon jusques a Balom et jusques a bois dessus ladite grange » (Bépoix, 2010, p. 223).

Le territoire de Valentin est utilisé par les Bisontins pour la pâture de troupeaux et on extrait des pierres de construction des « Raclières » depuis plusieurs décennies au moment du procès :

« Il a veu ceulx de Besançon aler et venir par ledit territoire, cultiver leurs terres, mener paistre et pasturer leurs bestes jusques la où souloit estre la ville de Valantin, trarié laives Laivieres qui sont entre ledit Valantin et Besançon et ycelle laive amener et charoier a Besançon » (Bépoix, 2010, p. 160). « ... ledit savoir pour ce que XL ans a et despuis par

⁷⁰ Certains témoignages énoncent les limites de l'ensemble du territoire bisontin (par exemple, Bépoix, 2010, p. 170 et 193).

plusieurs fois et par plusieurs ans, il a vehuz mener pastre et pasturer les bestes de Besençon jusques es lues dessus dis, et trarié laives es Laivieres empres Valantin ou sunt les forches dom debat est » (Bépoix, 2010, p. 220).

La limite entre Besançon et Châtillon passe au niveau de la « fontaine de Ballon »⁷¹ appelée aussi par quelques témoins « fontaine de Valentin » :

« Ceulx de Besançon ont territoire conjoing a leur citey qui dure a la partie par devers Chastoillon jusques a la fontenne de Balon » (Bépoix, 2010, p. 164). « Le territoire de Besançon a la partie par devers Chastoillon dure jusques a la fontenne de Valantin. » (Bépoix, 2010, p. 181).

La limite franchit ensuite le sommet d'une colline appelée par certains « mont Rachtet » ou « mont Raichet », sur laquelle l'orientation du bassin versant* sert à partager les territoires :

« Ceulx du dit Besençon ont territoire conjoint a ladite citey que dure a la partie par devers Chastoillon jusque a Balom et jusques a l'ault de la montaigne dessus Valantin appellé Mont Raichet, ainsuit qu'il celle montaigne giete aigue par devers Besençon. » (Bépoix, 2010, p. 227).

Plus à l'est, en forêt de Chailluz, un témoin cite trois points de limite de la banlieue, énoncés d'ouest en est, entre un endroit vers Valentin appelé « combe Abert » et plus à l'est le « mostier de Talenay », puis plus à l'est encore, la « grange de Braillant » :

« Li territoire de Besençon a la partie par devers Chastoillon dure jusque a prez d'Aval, outre Valantin par devers Chastoillon et dois⁷² enqui a la combe Abert et dois l'ay a mostier de Talenay, et dois ledit mostier jusque a la grange de Braillant. » (Bépoix, 2010, p. 226).

Il est également fait allusion à une autre colline, le « mont Pucet », proche des « Raclières ». D'autres fourches auraient été dressées par Châtillon puis détruites par Besançon au pied de ce « mont Pucet », antérieurement à l'érection de celles qui font l'objet du litige de 1390 :

⁷¹ L'emplacement de la fontaine de Ballon figure sur le Plan cadastral napoléonien de Miserey, section B1.

⁷² « Dois » peut être compris avec le sens de « à l'endroit où ».

« Interrogué sur le XVII^e article⁷³, dit qui vit bien dessoubz mont Pucet, pres du lieu ou sont les fourches don debat est presentement, unes fourches que ceulx de Chastoillon fait y avoient lesquels si comme il dit finetre, a savoir tost apres que faittes, finetre abatues, et a oy dire que ceulx de Besançon les avoient abatues, mas autrement ne le scet. » (Bépoix, 2010, p. 156).

1.1.2.1.4 - Manuscrits DD 106 : procès et pose de bornes en 1442, limites du territoire bisontin en 1518.

Deux autres manuscrits encore inédits, conservés aux Archives municipales sous la cote DD 106, ont été étudiés plus particulièrement. Ils sont transcrits en *Annexe 2*⁷⁴. Pour faciliter leur lecture, les parties donnant des informations utiles à la connaissance des limites de Chailluz sont transcrites en caractères gras ; le reste du texte est transcrit en caractères simples.

Le premier texte date de 1442 (daté du 12 novembre) ; il a pour sujet un conflit territorial entre Châtillon et Besançon concernant la délimitation entre la forêt de Chailluz et le « bois de Valentin », propriété du comte de Bourgogne limitrophe de Chailluz. Quarante-six témoins ont participé à la définition de la limite qui n'était pas encore spécifiquement matérialisée. L'action s'est déroulée *in situ* au printemps 1442 (l'accord a été scellé le 29 mars). Il s'en est suivi la pose de treize bornes destinées à marquer de manière pérenne cette limite territoriale :

« ... nous avons fait mettre et planter tout au long desd. chemins et Limites et de bout a autre treize grosses bornes de pierre bien eslevées lesquelles font et feront doresnavant a tousjours mais perpetuellem(en)t division et separation desd. Bois. »

Le texte donne des indications sur la localisation des bornes et sur les entités faisant office de limites :

⁷³ Voici le contenu du 17^{ème} article, énoncé au début du rouleau, qui affirme que les Bisontins ont abattu les fourches de leur bon droit : « Item et que par les causes, raisons et moyens que dessus ne hont pehuz ou dehuz les diz de Chastoillon ou autres, faire lever ou dreçer ou lieu que dessus les dites fourches patibulaires, et en tant que levees et dreçees les hont, ce est estez de fait et non de droit et ou grief injure et domaige de la dite citey de Besançon et des habitanz d'icelle a tort et sanz cause raisonnable. » (Bépoix, 2010, p. 128).

⁷⁴ Transcription C. Fruchart.

La limite du « bois de Chailluc duroit et estendoit tans ez planche comme en bois des la tranchée de Braillans jusques a la fontaine de Balon, C'est a sçavoir ce qui jette aigue par devers Lad. Cité de Besançon comprise et enclavée Lad. Grange de Valentin, excepté seulement le bois de tres Reverend Pere en Dieu L'Archeveque de Besançon. »

On retrouve ici ce qu'indiquent d'autres archives, notamment le rouleau DD 105 évoqué précédemment : la mention de la « fontaine de Balon », et l'hypothèse que la limite territoriale se confond avec le bassin versant (« ce qui jette aigue », donc, l'ensemble des pentes inclinées en direction de Besançon). Ces lignes disent aussi, sans doute, qu'il y avait alors des espaces agricoles en forêt de Chailluz (« tans en planche comme en bois »), sans qu'on sache si ces « planches » étaient des cultures provisoires ou permanentes, et sans aucune indication de leur localisation ou de leur superficie.

Plus loin dans le texte, la limite entre les territoires de Besançon et Châtillon est décrite ; elle suit essentiellement des chemins. Parcourant le « chemin de la Layve » depuis le sommet du « mont vacher », cette limite descend vers le « chemin de la Hye » qui est un sentier sur lequel aboutit le « chemin de la Layve ». Après avoir suivi le « chemin de la Hye » qui passe près du « mont de Valentin » dominant les ruines du village, la limite coupe tout droit à travers une « rapaille⁷⁵ » pour rejoindre le « grand chemin Charraut » qui relie Besançon à Châtillon et à la grange de Valentin. Ensuite, elle emprunte le « chemin du doyen » qui relie le « chemin charraut » à la « Levée de Balon », située vers Ecole au pied du « mont Pussot » (*cf.* texte en caractères gras en *Annexe 2*).

On apprend également que les bornes sont « treize grosses bornes de pierre bien eslevées », et que l'une d'entre elles se situe à la jonction entre le « grand chemin charraut » et le « viel chemin au doyen ».

Le deuxième manuscrit date de 1518. Il concerne plus généralement les limites du territoire bisontin. Ce texte a au moins deux intérêts : il peut être mis en perspective avec le premier plan connu de Besançon et son territoire, datable de la même époque⁷⁶, et par ailleurs, il a peut-être servi de document de référence lors de la mise en place définitive des limites de la forêt de Chailluz à partir de 1699 (c'est ce que suggère une note ajoutée en 1699 à la fin du manuscrit).

⁷⁵ Une *rapaille** est, selon le *Dictionnaire du Moyen Français* (permalien <http://www.atilf.fr/dmf/>), un « taillis ou bois où la coupe est libre (par opposition au *banbois**) ».

⁷⁶ Ce plan conservé aux Archives municipales et portant la cote Yc Bes A1 est présenté plus loin.

Le texte énumère en deux temps les bornes limitant le territoire de Besançon vers Valentin et Chailluz.

Dans un premier temps, trois bornes sont citées : la première, la « borne du cerisier » se situe vers un grand chemin reliant Besançon à Valentin. A cet endroit, un sentier part, et c'est le long de ce dernier que se situe une deuxième borne :

« Sur un grand Chemin tirant dois ledit Besançon a Valentin, et bien près d'Iceluy grand chemin du Costé de la bize, y avons trouvé et veû une grande et grosse pierre que l'on dit estre borne (...) qu'est asséz près d'un Cerisier vulgairement appelée la borne du Cerisier. Au droit de laquelle a un sentier à pied tirant a une autre grande pierre que l'on dit estre une borne fort moussue. »

On reconnaît probablement dans cette description de 1518 le « grand chemin charraut » et le « veil chemin au doyen » décrits quelques décennies plus tôt en 1442, à l'embranchement desquels se situait l'une des bornes alors mises en place, qui est sans doute la « borne du cerisier ».

Dans la description de 1518, la deuxième borne, « fort moussue », est suivie d'une troisième borne également en pierre, implantée au lieu-dit « sur la Combe au loriguer ». Ces bornes, la deuxième et la troisième, devaient être situées aux Torcols :

« Cette et la immédiatement precedente borne estans en un lieu dit Torcel. »

Dans un deuxième temps, une autre série de huit bornes est donnée. La première entité décrite est une borne double composée de deux pierres qui se touchent. Cette borne double qui figure également sur plusieurs plans anciens sépare les territoires des forêts de Besançon et du domaine comtal :

« ... deux grosses bornes (...) touchans et confrontans l'une a l'autre; Separans Icelles deux bornes le bois du Comté de Bourgogne, et lesd. bois de Chailluc appartenant a lad. Cité. »

Une série de six nouvelles bornes est ensuite énumérée, qui sont implantées dans la pente qui monte depuis la borne double jusqu'au sommet de la colline :

« ... avons veu une semblable borne quarrée toute moussue nommée la deuxième borne. (...) Estant aud. bois nous a esté montrée separant tousjours comme dessus, (...) les cinq

precedentes (...) une autre borne quarrée (...) qu'est toute moussue (...) Et depuis les susd. bornes trouvées aud. Bois (...) nous ont esté montrées les hauteurs desd. bois de Chailluc, disans que tout ce entierement dud. bois qui rend eau devers Besançon est et appartient entièrement ausd. de Besançon, tirant dois la dernière borne par nous montrée Jusques devant l'Eglise de Talenay. »

1.1.2.1.5 - Informations apportées par d'autres manuscrits

Les archives transcrites par Céline Muller (Muller, 1999, t. 2, p. 88-133) apportent d'autres informations sur les délimitations et sur l'occupation à la périphérie de Chailluz⁷⁷.

En 1520 treize bornes séparent le bois de Châtillon de la forêt de Chailluz. La première, appelée « borne des bouchetz » ou « des bochotz », est située sur le grand chemin allant à Valentin. La dernière, la « borne du tillot », est implantée vers Châtillon au-dessus de la « Combe de la Levée »⁷⁸. Parmi ces treize bornes, la « borne double » est composée de deux pierres hautes et larges de deux pieds (1 pied = 0,325 m) jointes l'une à l'autre. Cette borne double « limite et sépare le bois du gruyer* du Comté et celui de la Cité et pareillement celui de l'archevêque. »⁷⁹.

Un témoignage de 1532 décrit les limites de Chailluz :

« De la borne du serizier on tire a la borne double qui fait limite et separation du bois du gruyer et de celui de la cité. De la borne double on va par le vieux chemin entre les deux bois jusqu'au sommet de la crête de Chailluz par plusieurs bornes dont la dernière est pres d'un tillot et est belle et apparente sur la crête : la borne de montrahet, puis on suit la crête jusqu'à l'église paroissiale de Tallenay de saint Jehan Goux, puis au lieu de l'homme mort ainsi nommé parce qu'autrefois il y eut un homme de tué qui demeura là et y fut enterré, il y a un gros murgier de pierre et de bois que l'on jette dessus en priant Dieu pour lui. (...) Ce lieu est pres de la croix au-dessus de Bonnay qui fut dressée par

⁷⁷ Pour localiser les zones dont il est question dans les pages qui suivent, on peut suivre les descriptions avec les planches 1A et 1B

⁷⁸ DD 68, liasse 12, du 3 mai 1520 in Muller, 1999, t.2, p. 91.

⁷⁹ DD 72, p. 149 et p. 154-156 (du 24 mars 1532) et p. 373, p. 383-392 (du 10 mai 1553) in Muller, 1999, t. 2, p. 93 et p. 118.

un chanoine* de l'église métropolitaine nommé maître Guillaume Goberdet (...) et de là on suit la crête par-dessus Merey, jusqu'au chemin de Vieilley, puis par un sentier aux bornes de Braillans près des vergers où il y a trois ou quatre bornes assez près l'une de l'autre faisant limite et séparation des territoires. »⁸⁰

Située sur la crête de Chailluz, la chapelle Saint-Gengoul, à proximité de laquelle l'espace avait été déboisé, possédait un cimetière. Elle était encore en fonction dans la première moitié du 16^{ème} siècle et l'église actuelle de Tallenay, située en contrebas dans le village même, n'existait pas encore :

« Il y a un petit essarts ancien autour de l'église pour le cimetière. Il y a vingt ans, allant à Châtillon le Duc, en descendant la roche⁸¹ il rencontra une femme et des enfants de Tallenay montant à l'église. Il leur dit qu'ils avaient bien du mal et qu'ils ferraient mieux d'en construire une en bas. »⁸²

Vers Vieilley, la limite est définie par le « chemin de Vieilley ». Une croix proche du chemin est mentionnée à plusieurs reprises et nommée « croix Maulcon ». En 1608, elle est probablement déjà détruite :

« Les limites du côté de Vielley sont la croix et le sentier, mais il ne peut pas qu'on puisse retrouver la croix mais plutôt le goulot de Vielley. » Vers 1605, Vieilley a semblé-t-il fait creuser une tranchée large de 9 à 10 pieds et longue d'une demi-lieue. Cette tranchée aurait empiété indûment d'une demi-lieue dans le bois⁸³.

Après la limite avec Vieilley, la forêt de Chailluz touche le territoire de Braillans qui dépend en 1532 d'une grange cistercienne* rattachée à l'abbaye de Bellevaux, installée là depuis le 12^{ème} siècle⁸⁴ :

« ... continuant la crête jusqu'à la grange de Braillans, puis descend vers la grange et d'un trait continue jusqu'au chemin de Marchaux... »⁸⁵.

⁸⁰ DD 72, p. 90, p. 99-104, p. 106-107, p. 111-120 (du 21 mars 1532). Témoignage de Jehan Pochard, 60 ans, vigneron de Besançon. *In* Muller, 1999, t.2, p. 121.

⁸¹ « La roche » est l'appellation donnée localement au flanc nord du bois en côte. Cette face nord est en grande partie constituée dans sa partie supérieure de falaises calcaires.

⁸² DD 93, p. 82-83 (du 14 septembre 1547) *in* Muller, 1999, t.2, p. 127.

⁸³ DD 97, fol.9 (du 14 mars 1608) *in* Muller, 1999, t.2, p. 93. ½ demi-lieue = 1666 toises ; 1 toise = 6 pieds = 6 x 0,325 m. Par conséquent ½ lieue équivaut à environ 1600 m.

⁸⁴ L'abbaye de Bellevaux, première implantation cistercienne en Franche-Comté, est fondée en 1119 à Cirey-lès-Bellevaux (Haute-Saône). L'existence de la grange de Braillans est attestée depuis 1160 au moins (d'après Courtieu, Locatelli, 2002 et Castan, 1858). L'emplacement des bâtiments de cette grange aujourd'hui disparue reste à découvrir.

On remarque ici que le substantif « grange » désigne à la fois le territoire exploité (depuis la crête, au nord, jusqu'au chemin de Marchaux, vers le sud) et le ou les bâtiments installés plus bas (on « descend vers la grange »), et peut-être situés à l'emplacement approximatif du village actuel. La limite territoriale prend concrètement la forme d'un sentier cheminant depuis la crête jusqu'au bois de Thise. Il passe le long des vergers et des champs de Braillans⁸⁶. Un témoignage incite à penser que la grange était assez proche de la forêt :

« ... est allé au moins quarante fois charger du bois pres de la grange de Braillans ou les grangiers de ce lieu ne lui dire rien. »⁸⁷

Au sud de Braillans, en direction de l'ouest, la forêt de Chailluz touche les territoires de Thise, puis de Chalezeule. La limite, qui est définie par un chemin menant de Besançon à Marchaux, est source de conflit. Il y a en effet deux chemins – l'ancien et le nouveau – et chacun se réfère pour définir la limite à celui qui lui attribue le territoire le plus étendu. Le nouveau chemin, appelé « grand chemin », est déjà en place au tout début du 16^{ème} siècle : en 1513, « depuis dix ans, Besançon prétend posséder le bois jusqu'au Grand Chemin tirant a montbeliard. » Besançon a essarté et mis en culture la « Combe aux Agasses » considérée par les habitants de Thise comme leur propriété⁸⁸. On accède à cette combe par le « vieux chemin de Marchaux ». Quelques années plus tard, en 1532-1533, on y trouve « du froment et du millet cultivé par Thise. » Un autre témoignage dit que « la combe aux Agasses est réputée être du bois de Chailluz touchant le vieux chemin de Marchaux qui fait séparation des bois de Chailluz. » On lit aussi : « Dès les bornes de Braillans on tire par le chemin de Marchaux au long de la Combe aux Agasses aux planches de la cité contiguës au vieux chemin de Marchaux. »⁸⁹

Enfin, au sud-ouest de Chailluz, des témoignages évoquent le « bois de l'archevêque » et le lieu-dit « Combe aux Chiens » :

« La combe aux chiens est la perrière ordinaire de la cité desquelles sont faites les églises et la plupart des maisons de ceste cité. (...) Le bois de l'archevêque est une corne du bois de chailluz et donné à un archevêque par Besançon en récompense d'un quart de

⁸⁵ DD 72, p. 28, p. 32-34 (du 19 mars 1532) *in* Muller, 1999, t.2, p. 90.

⁸⁶ DD 72, p. 44, p. 48-54 (du 19 mars 1532) *in* Muller, 1999, t.2, p. 98.

⁸⁷ DD 72, p. 28, p. 32-34 (du 19 mars 1532) *in* Muller, 1999, t.2, p. 90.

⁸⁸ DD 68, liasse 8, p. 3-6 (du 6 novembre 1513) *in* Muller, 1999, t.2, p. 126.

⁸⁹ DD 72, p. 81-90 (du 21 mars 1532), p. 383-392 (du 10 mai 1533), p. 601, p. 608-609 (du 17 mai 1533) *in* Muller, 1999, t.2, p. 89, p. 96, p. 109.

l'éminage⁹⁰ de Besançon, et l'archevêque n'en a maintenant plus que la moitié, la cité un quart et Saint Paul l'autre. »⁹¹

1.1.2.2 Autres sources anciennes relatives à la forêt de Chailluz et à ses alentours

1.1.2.2.1 – Archives départementales

Le fonds des Archives départementales a été très peu exploité, comparativement au fonds des Archives municipales de Besançon. Les deux maîtrises sur Chailluz (Muller, 1999 et Dianin, 1995) se réfèrent à seulement deux sources provenant des Archives départementales. Le premier document (cote 1C 2409) est un mémoire non daté intitulé *Mémoire particulier servant à établir la bonne administration du magistrat de Besançon sur les bois de la forêt de Chailluz*. Il s'agit d'un récapitulatif des événements intervenus dans les forêts de Besançon au cours de la première moitié du 18^{ème} siècle (coupes, ventes, dégradations etc.). La deuxième archive (cote 2B 3436) date du début du 17^{ème} siècle. Elle concerne Tallenay, et donne de nombreux renseignements sur une ferme construite au voisinage de la crête de Chailluz, au lieu-dit « Charmoy⁹² ».

Voici le récapitulatif des renvois à ces textes :

Cote ADD	Dianin, 1995	Muller, 1999	Mot-clé	Date/sujet relatif à Chailluz
1C 2409	p. 15, p. 24, p. 35, p.53, p. 92, p. 100, p. 102, p. 103 à 110		bois surface	1707-21 : dégradations par les militaires et les vigneron. 1732 : émeute de vigneron qui font des coupes sauvages. 1738 : vente du ¼ de réserve. 1739 : exploitation du ¼ de réserve, coupes d'arbres pour l'aménagement d'un chemin.

⁹⁰ Eminage : quantité de grains prélevée lors de la vente de ces derniers. Le terme tire son origine du mot grec hémime, nom d'une mesure de capacité antique.

⁹¹ DD 72, p. 90, p. 99-104, p. 106-107, p. 111-120 (du 21 mars 1532) in Muller, 1999, t.2, p. 122.

⁹² Les indications historiques relatives à cet endroit seront données plus tard dans la thèse, en même temps que la présentation des résultats des prospections archéologiques qui y ont été réalisées.

2B 3436		p. 26-27, p. 126, p. 130-133	droit bâti	1625 : procès opposant le sire de Chevroz seigneur de Tallenay aux habitants de la communauté.
---------	--	------------------------------------	-------------------	--

Le fonds des Archives départementales fourniraient assurément des renseignements intéressants, notamment la sous-série 7 Mp, qui rassemble les sources relatives à l'agriculture et aux eaux et forêts (19^{ème} et première moitié du 20^{ème} siècle)⁹³. Les fonds concernant les communes limitrophes de Chailluz apporteraient certainement aussi des informations inédites.

1.1.2.2.2 – Données issues du *Dictionnaire des communes du département du Doubs*

Le *Dictionnaire des communes du département du Doubs* (Courtieu, 1982 à 1987, 6 tomes) puise pour l'essentiel ses sources dans la documentation des Archives départementales ; il apporte quelques renseignements sur les communes situées autour de la forêt de Chailluz. Il nous indique depuis quand l'existence des communes est attestée, si elles possédaient une église, quel était leur seigneur, etc. : des informations qui aident à contextualiser l'insertion du massif de Chailluz dans son environnement au cours des siècles passés.

Bonnay (Courtieu, 1982, p. 435-438)

La plus ancienne mention du village date de 967 (*villa boniacum*⁹⁴). Un acte du roi Conrad de Bourgogne confirme au chapitre* métropolitain de Besançon⁹⁵ un ensemble de biens, dont une église. Le chapitre métropolitain est le seigneur de Bonnay. Aux 12^{ème}

⁹³ Lien vers le répertoire de la sous-série 7 Mp (valide au 1^{er} juin 2014) : http://recherche-archives.doubs.fr/accounts/mnesys_ad25/datas/medias/Fichiers_pdf/10_M/M_Niv6_Inspection_des_eaux_et_forets_de_besancon.pdf.

⁹⁴ Les références aux sources des toponymes (cartulaires, diplômes, etc.) ne sont spécifiées par J. Courtieu.

⁹⁵ Chapitre métropolitain de Besançon : c'est un groupe de chanoines dirigés par un doyen qui desservent les cathédrales de Besançon, élisent et conseillent l'archevêque. Besançon a en effet eu la particularité d'abriter deux cathédrales durant le Moyen Âge : la cathédrale Saint-Etienne, aujourd'hui détruite était située à l'emplacement de l'actuelle citadelle de Vauban, et la cathédrale Saint-Jean, qui existe encore aujourd'hui, implantée à proximité de l'antique « Porte-Noire » (voir, par exemple, Fohlen, 1981 à ce sujet).

et 13^{ème} siècles, des abbayes de la région viennent s'implanter (Bellevaux, Saint-Vincent). Le comte de Bourgogne y possède également des biens.

Braillans (Courtieu, 1983, p. 507-508)

On ne sait rien de l'histoire de Braillans, sinon que l'endroit a appartenu à l'abbaye cistercienne de Bellevaux qui y possédait une grange, mentionnée pour la première fois en 1139 (*terra de braillant*).

Chalezeule (Courtieu, 1983, p. 622-626)

Le village est cité pour la première fois en 1147 (*calisolia*). Il dépendait déjà au 12^{ème} siècle, et encore au 15^{ème} siècle, d'une branche de la famille des Montfaucon qui avait reconnu en 1256 tenir le fief* de Chalezeule de l'Eglise de Besançon. C'est un village agricole qui a des vignes dès 1184 (au lieudit « Clemtigney »). L'abbaye Saint-Paul de Besançon y possédait des terres. L'église de Chalezeule est citée pour la première fois en 1180, lorsque l'archevêque de Besançon en fait donation à l'abbaye Saint-Paul. A la fin du 16^{ème} siècle, Chalezeule dispose d'une tuilerie appelée « du Riv »⁹⁶.

Châtillon-le-Duc (Courtieu, 1983, p. 719-723)

L'endroit est mentionné pour la première fois en 967 (*villa de catolio*). En 1198, Othon 1^{er}, comte de Bourgogne et l'un des fils cadets de l'empereur Frédéric 1^{er} « Barberousse », y fait ériger un château sur des terres appartenant au chapitre métropolitain de Besançon. La forteresse est détruite, puis reconstruite en 1222. L'endroit, qui est sous la domination du Comté de Bourgogne, prend alors le nom de Châtillon-le-Duc. Le village, qui a été détruit à plusieurs reprises (1404-1405, 1479, 1637 et 1674), a été reconstruit à chaque fois.

Mérey-Vieilley (Courtieu, 1985, p. 2011-2012)

Les terres de Mérey-Vieilley constituaient une seigneurie* dépendant du chapitre métropolitain, acquises en 1148 par une donation de Richard de Montfaucon qui cédait

⁹⁶ Cet établissement est distinct de la tuilerie de Palente connue par ailleurs.

tous les biens qu'il possédait là (hommes, fiefs, justice). Ce village sans église est rattaché à la paroisse de Vieilley.

Tallenay (Courtieu, 1987, p.3106-3109)

La plus ancienne mention de Tallenay en 1049 concerne son église⁹⁷. C'est une possession seigneuriale du chapitre métropolitain de Besançon. Aux 15^{ème} – 16^{ème} siècles, les officiers de Châtillon-le-Duc, représentants du pouvoir comtal, et les chanoines du chapitre métropolitain se font concurrence pour l'exercice du pouvoir sur les gens de Tallenay. Dès 1623, Châtillon et Tallenay forment une unique paroisse rattachée à la cure de Tallenay. La nouvelle église, installée dans l'actuel village en remplacement de la chapelle Saint-Gengoul située très à l'écart sur la crête de Chailluz, a été érigée au cours du 17^{ème} siècle.

Un texte relatif à la prébende* de Tallenay, écrit en 1930 (Boiteux, 1930), apporte quelques informations sur la chapelle Saint-Gengoul et ses alentours. L'endroit y est décrit tel que l'auteur l'a observé au début du 20^{ème} siècle :

« L'an dernier⁹⁸ la forêt de Chailluz, qui étendait son manteau sur cette zone, a été exploitée à l'endroit, laissant à nu la configuration du sol. (...) Sur la crête (...) se dresse un magnifique foyard⁹⁹ (...). En-dessous une série de terre-pleins s'étagent, en gradins successifs, sur la déclivité de la forêt, demi-cercles concentriques, s'arrondissant autour d'un puits central, qui devait servir à l'alimentation en eau. Des murs épars attestent (...) de constructions écroulées. Et tout en haut, encadrant l'arbre géant, un quadrilatère marque l'emplacement d'un édifice qui fut la chapelle. » (Boiteux, 1930, p. 146).

D'autre part, il rapporte une découverte archéologique arrivée quelques décennies plus tôt :

« En 1875, pendant l'établissement du chemin stratégique qui conduit de Besançon au fort de la Dame Blanche, on découvrit, presque à la bifurcation de la voie nouvelle avec le vieux chemin descendant à Tallenay, une sépulture (...) qui renfermait une boucle de ceinturon et un coutelas en fer (...). Au dire des ouvriers qui travaillaient à l'époque et

⁹⁷ «... *capella sancti Gengulphi cum appendicitiis suis de villa Talleniaco* » : confirmation de la possession de la chapelle Saint-Gengoul et de ses dépendances, faite par le pape Léon IX au chapitre Saint-Jean en 1049. In Courtieu 1987 et Boiteux 1930 p.148, ce dernier se référant à Dunod de Charnage.

⁹⁸ En 1929

⁹⁹ Autre nom pour le hêtre.

dont l'un au moins (...) vit encore, il y eut plus d'une tombe analogue mise au jour dans la même zone. » (Boiteux, 1930, p. 145).

Thise (Courtieu, 1987, p. 3120-3127)

Thise est citée dès la fin du 11^{ème} siècle (*tysia* vers 1090, *in villa thisia* en 1097). L'église, qui existe déjà en 1119, est rattachée à l'abbaye Saint-Vincent de Besançon qui possède des droits importants sur le territoire de Thise, ainsi que de nombreuses terres. L'abbaye Saint-Paul de Besançon y possède également des biens dès le 13^{ème} siècle. Plusieurs seigneuries cohabitent à Thise entre le 13^{ème} et le 16^{ème} siècle. La vocation agricole de ce village est attestée dès la fin du 12^{ème} siècle (terres cultivées, moulin, etc.).

Valentin (Courtieu, 1987, p. 3231-3234)

La première mention du village date de 1120 (*apud vallantin*). Une église y est signalée au début du 13^{ème} siècle, dont le rattachement semble avoir changé de main à plusieurs reprises aux 13-14^{ème} siècles. A partir du 14^{ème} siècle, l'hôpital du Saint-Esprit de Besançon possède pratiquement tout le village. Valentin était à la fin du 13^{ème} siècle un village de belle taille qui comptait au moins une trentaine de feux (Fiétier, 1973, p. 77). Vers 1295, un riche citoyen bisontin lègue les rentes de son domaine de Valentin à l'hôpital du Saint-Esprit. Il était constitué de champs, de prés, de vignes et de maisons (Castan, 1865, p. 55-56). Au milieu du 14^{ème} siècle, l'hôpital du Saint-Esprit est devenu propriétaire de la presque totalité du village. Au cours de ce même siècle, Valentin est détruit de manière brutale ; il ne subsiste que la ferme de l'hôpital. L'église, encore debout en 1359, a disparu en 1390¹⁰⁰. Au milieu du 15^{ème} siècle, le domaine du Saint-Esprit fait l'objet d'une nouvelle délimitation, les bois environnants ayant « empiété sur le domaine de toutes parts ». A cette même période, l'hôpital du Saint-Esprit construit une tuilerie et obtient un droit d'affouage dans les bois voisins sur décision de Philippe le Bon, duc et comte de Bourgogne.

¹⁰⁰ La destruction de Valentin est située au milieu du 14^{ème} siècle par Roland Fiétier, en référence à des témoignages mentionnant que le village a été détruit dans une guerre (AMB DD 105, in Fiétier, 1973, p. 90, note 2). Castan et Courtieu donnent pour leur part la destruction de Valentin en 1435 (Castan, 1865, p. 56 et Courtieu, 1987, p. 3232).

Vieilley (Courtieu, 1987, p. 3394-3400)

La plus ancienne citation de Vieilley remonterait à la fin du 9^{ème} siècle, lorsque l'archevêque Thierry fait donation vers 895 de ses biens à l'Eglise de Besançon. Mais le texte témoignant directement de ce fait a disparu¹⁰¹. Il est néanmoins certain que, dès le 11^{ème} siècle, les terres de Vieilley appartiennent au chapitre métropolitain de Besançon. Une église est attestée en 1033-1036, citée parmi les biens du chapitre avec des vignes, des champs et des prés. En 1148, Richard de Montfaucon, qui possédait des biens à Vieilley les cède tous au chapitre métropolitain. Dès le 12^{ème} siècle, les coteaux de Vieilley sont couverts de vignes qui fournissent des vins renommés, pressés et élevés pour le compte du chapitre métropolitain. Le village dispose également de terres agricoles. Aux 13^{ème} - 14^{ème} siècles, des litiges sont attestés entre plusieurs seigneurs voisins de Vieilley et le chapitre métropolitain. Ce dernier reste seigneur de Vieilley au moins jusqu'au 16^{ème} siècle.

1.1.2.2.3 – Autres informations publiées

Par ailleurs, quelques informations sur la forêt de Chailluz et ses alentours ont été trouvées dans les tomes 3, 7 et 13 des *Mémoires et documents inédits pour servir à l'histoire de la Franche-Comté*. Une autorisation datée de 1231-1232, relative au droit accordé par l'empereur Frédéric II à l'établissement religieux des Dames de Battant de défricher et labourer des terres au lieudit « Chaillou », a été publiée dans le tome 3 (publié en 1844, p. 523-524).

Le tome 7 (1876, p. 217-350) contient la transcription d'une description de Besançon et ses environs écrite en 1608 par Pierre Despotot, co-gouverneur de Besançon, ainsi que plusieurs chroniques relatant des événements survenus à Besançon aux périodes médiévale et moderne. Le paysage tel qu'il est évoqué par Despotot est certainement idéalisé, mais on

¹⁰¹ Ce fait remontant à 895 est rapporté au cours du 17^{ème} siècle par Pierre Despotot, alors co-gouverneur de la ville de Besançon. Le texte de Despotot est repris en 1876 dans les *Mémoires et documents inédits pour servir à l'histoire de la Franche-Comté*, tome 7 p. 285-322.

relève cependant quelques informations intéressantes, qui permettent d'ébaucher quelques traits du paysage des alentours de Besançon au début du 17^{ème} siècle :

«La cite a en son territoire et environ d'icelui, terres labourables bonnes et fertiles, un fort ample et spacieux vignoble où croissant raisins en abondance, propres pour faire vin très excellent, blanc, clair et rouge, au contentement de divers goûts et appétit des citoyens. La rivière du Doubs, qui enclot et mépartit la cité, est abondante en variété de bons poissons, entre lesquels la carpe excelle au jugement de tous. L'eau des fontaines et puits est très fraîche, légère et salubre. La cité a des forêts de bois fruitiers et propres aux bâtiments et chauffage des citoyens, appelés vulgo des glans, parce que ce sont la plupart chesnes, et de Chaillu, quasi campus lunae. Le bois d'ailleurs ne peut faillir, parce qu'on en amenne de loing en la cité sur la rivière du Doubs. » (Despotot, 1876, p. 240-241).

Le port se situait vers Rivotte : « ... un endroit appelé le Port où l'on décharge les bois qui sont amenés sur la rivière du Doubs et une porte appelée Rivotte » (Despotot, 1876, p. 235).

Le vignoble occupe dans cette description une place de premier ordre, et on relève différentes fonctions attribuées à la forêt locale : c'est une forêt nourricière et également une forêt à vocation économique, source de combustible et de matériaux de construction. On remarque aussi que, au début du 17^{ème} siècle, les ressources en bois locales étaient vraisemblablement insuffisantes pour couvrir les besoins de Besançon, puisqu'on faisait venir du bois de loin par flottage.

Le tome 13 (1946) transcrit la *Police du Noble Hostel Consistorial*, texte du 16^{ème} siècle rassemblant les règlements alors en vigueur à Besançon. Quelques pages (p. 32-36) sont consacrées à « l'Ordonnance et estat du gruyer et des quatre forestiers ». Ceux-ci sont chargés de garder et faire garder les forêts d'Aglans et de Chailluz et de veiller à ce que les usagers respectent les règles. Ils doivent aussi veiller à la préservation des bornes :

« Afin que nostredict territoire soit mieulx et plus sûrement entretenu, ledict nostre gruyer sera tenu tous les ans virer une ou deux fois, assavoir a l'entrée du printemps et après les vendanges envyron tout nostredict territoire et aller de bosne en bosne. Et pour ce faire y mènera avecques luy une cinquantaine d'hommes ou plus, tant vieulx que jeusnes demeurans tant deçà que delà le pont lesquels vieux monstrent aux jeusnes feablement et à la vérité lesdictes bosnes et limites. » (p. 35).

Les *Bulletins de la Société d'Emulation du Doubs* ont également été dépouillés, sans y trouver de renseignements particulièrement utiles. En revanche, plusieurs publications d'Auguste Castan¹⁰² ont apporté des informations : parmi les pièces justificatives des *Origines de la commune de Besançon* (Castan, 1858), dans la *Notice sur l'hôpital du Saint-Esprit de Besançon* (Castan, 1865) et dans la réédition de *Besançon et ses environs* (Castan, Pingaud, 1901).

Dans les pièces justificatives des *Origines de la commune...*, Castan a transcrit deux textes du 12^{ème} siècle relatifs à l'abbaye de Bellevaux, dont un sur la grange de Braillans¹⁰³ (Castan, 1858, p. 167, pièce justificative n° 15). Un texte de 1309 parle des usages des ressources de la forêt de Chailluz (affouage, récolte d'écorces de chênes : Castan, 1858, p. 189, pièce justificative n° 23). La *Notice sur l'hôpital du Saint-Esprit* donne des informations sur le village médiéval disparu de Valentin. *Besançon et ses environs* apporte quelques renseignements sur l'occupation des alentours de Besançon à la fin du 19^{ème} siècle et au tout début du 20^{ème} siècle. Ils peuvent parfois faciliter la lecture et la compréhension de cartes ou plans anciens.

1.1.2.3 - Résumé des connaissances historiques sur la forêt Chailluz

Sur la base des recherches historiques réalisées (Fiétier, 1973 ; Dianin, 1995 ; Muller, 1999 ; Bépoix, 2010) on a des éléments descriptifs sur la forêt Chailluz à partir du 13^{ème} siècle. Aucun document ne renseigne sur l'occupation de cette zone au cours du premier Moyen Âge, et *a fortiori* durant les périodes antérieures. Les pages qui suivent résument l'état des connaissances historiques sur la forêt de Chailluz pour le second Moyen Âge, l'époque moderne et le 19^{ème} siècle, tel qu'on a pu le constituer à partir des données publiées.

¹⁰² Auguste Castan, formé à l'Ecole des Chartes, a dirigé la bibliothèque municipale de Besançon entre 1866 et 1892. Cet archiviste et historien a réalisé de nombreuses recherches sur Besançon et ses environs à partir du fonds d'archives municipales, publiées sous forme de notices, d'articles dans les *Bulletins de la Société d'Emulation du Doubs*, de monographies, etc.

¹⁰³ Il s'agit d'un texte daté entre 1181 et 1189, rendant compte d'une querelle arbitrée par l'archevêque Theodericus (Thierry de Montfaucon) sur la propriété de la grange survenue entre la communauté des citoyens de Besançon et les religieux de Bellevaux. Les citoyens de Besançon réclament la propriété de la grange, et les religieux affirment qu'au contraire, elle leur appartient et qu'ils en font usage « depuis plus de trente et un ans ».

1.1.2.3.1 - La forêt de Chailluz au cours du second Moyen Âge

La plus ancienne mention de la forêt de Chailluz est attribuée à la fin du 12^{ème} siècle, en référence à la « sentence de Colmar » donnée le 9 mai 1179 par l'empereur Frédéric 1^{er} « Barberousse » au sujet d'un différend sur les droits de succession entre l'archevêché et les citoyens laïcs de Besançon (Castan, 1858, p. 60 et p. 162-164, repris par Fohlen, 1981, p. 336 et p. 342 et Bépoix, 2010, p. 54). Mais la forêt de Chailluz n'est pas explicitement nommée dans ce texte¹⁰⁴. La plus ancienne mention explicite est datée par Castan de 1258 ; elle fait référence au droit, partagé par les communautés laïques et religieuses de Besançon, de prélever du bois en forêt de Chailluz :

« ... omnes civitate Bisuntina, tam clerici (quam laici) capiebant ligna in nemore de Chalor et exertabant pro volunta sua. » (Castan, 1858, p. 60, note 3, texte issu de *Attestatio Stephani quondam abbatia S. Pauli Bisuntini, ann.1258, apud Cartularium archiep. Bisuntin.*), ce qui signifie : « tous les citoyens de Besançon, aussi bien religieux que laïcs peuvent prélever du bois et l'emporter hors de la forêt de *Chalor* à leur guise. ». Ce droit donné à tous les citoyens bisontins de partager la ressource forestière n'est pas sans rappeler les dispositions sur l'usufruit de la forêt qu'on lit dans le titre 28 de la *Loi Gombette*.

D'autres archives attestent que la forêt de Chailluz existe dès la première moitié du 13^{ème} siècle. Située dans la banlieue¹⁰⁵ de Besançon, son usage semble alors partagé entre les diverses communautés riveraines. Le boisement du massif est déjà sans doute bien en place : les ressources qu'on y puise, les pratiques qu'on y évoque, sont plutôt celles d'une forêt « adulte » que celles d'une friche nouvelle. Les prélèvements de bois, d'écorces de chêne, la pratique de la paisson sont soumis à autorisations. Cet espace forestier fait déjà l'objet d'une gestion au 13^{ème} siècle. On sait qu'il y pousse des chênes, ce qui témoigne peut-être déjà de l'emploi de techniques sylvicoles, au moins rudimentaires¹⁰⁶. Il est assez probable qu'on y ait pratiqué l'essartage, usage suggéré par

¹⁰⁴ Le texte de la sentence de Colmar a été consulté dans la transcription de Castan donnée en pièce justificative dans son ouvrage *Origines de la commune de Besançon* (Castan, 1858, p. 162-164).

¹⁰⁵ Au sujet de l'emploi du terme « banlieue », voir les commentaires de R. Fiétier (Fiétier, 1973, p. 45 *et sq.*).

¹⁰⁶ En effet, on exploite manifestement le chêne, dont on récolte l'écorce. Or, dans la zone de la forêt de Chailluz aux périodes historiques étudiées, le peuplement forestier spontané serait plutôt favorable au hêtre,

certaines sources¹⁰⁷ et attesté d'une manière générale en forêt au Moyen Âge, ainsi que l'évoque par exemple le passage suivant : « En se rapprochant de la couronne périphérique des forêts (...) se situaient les essarts temporaires le plus souvent défrichés par le feu et qui fréquemment donnaient, par l'effet fertilisant des cendres, des rendements supérieurs à ceux des champs permanents. (...) C'était parfois dans ces essarts, cultivés un ou deux ans, (...) que l'on plantait les céréales les plus précieuses. » (Bechmann, 1984, p. 66)¹⁰⁸.

Etant donné le temps minimal pour la constitution d'une forêt adulte, le boisement de Chailluz remonte ainsi au moins au milieu du 12^{ème} siècle. Son étendue pour cette période est inconnue, mais il s'agit sans doute d'un vaste massif forestier dès les 13^{ème} – 14^{ème} siècles. On peut en ébaucher quelques limites géographiques :

A l'est, Braillans est mentionné à la fin du 12^{ème} siècle ; l'endroit est occupé depuis le milieu du siècle par une grange cistercienne¹⁰⁹, certainement dotée de terres agricoles. On peut considérer qu'il s'agit là d'une des limites du massif forestier, confirmée par une archive de 1390¹¹⁰.

Au sud, l'emprise potentielle maximale de la forêt de Chailluz ne dépasse pas le village de Thise, à proximité duquel se trouvent des prés et des champs (*cf.* texte de 1290 cité par Fiétier, 1973, p. 50).

ce qui limite *a priori* les possibilités naturelles de développement du chêne. La régénération sans intervention humaine à partir des semis naturels donne en principe naissance à de nombreux pieds de hêtres qui « étouffent » les jeunes pousses de chênes et freinent leur développement. Les chênes ont en effet besoin de lumière pour pousser, ce qui peut être obtenu par un éclaircissement artificiel et la suppression partielle des autres jeunes pousses, ce qui nécessite une intervention humaine et l'emploi de techniques sylvicoles. D'autre part, en référence à la définition donnée par l'auteur tardo-antique Servius et citée au début de cette première partie, l'utilisation du substantif *nemus* pour nommer cette forêt pourrait également indiquer qu'il s'agit d'une forêt où la pousse des arbres est contrôlée, et donc qu'on y utilise des techniques sylvicoles.

¹⁰⁷ C'est ce que semble indiquer un texte de 1231 ou 1232 faisant état du droit de défricher et labourer des terres sur le territoire de « Chaillou » accordé par Frédéric II aux Dames de Battant « Concedentes insuper ut liceat eis excoli facere in predicto territorio de Chaillou et laborare ad unam carrucam de terris incultis quae sunt ibi sicut cives ejusdem civitatis excolunt et laborant » (*Mémoires et documents inédits...* t.3, 1844, p. 523-524).

¹⁰⁸ Roland Bechmann consacre un intéressant développement sur l'utilisation de la forêt au Moyen Âge pour un usage agricole dans son ouvrage *Des arbres et des hommes. La forêt au Moyen Âge* (chapitre 3, « l'agriculteur dans la forêt », p. 61-92).

¹⁰⁹ L'emplacement exact de la grange de Braillans est encore inconnu. Néanmoins, à partir des données archéologiques récoltées en prospection depuis 2010, il semble probable qu'elle était située à l'emplacement du village actuel. A quelques kilomètres au nord-est de Braillans, la grange cistercienne de Champoux, rattachée comme celle de Braillans à l'abbaye de Bellevaux, est un site archéologique bien documenté, ce qui permet d'avoir une idée de l'emprise sur le terrain de ce type d'établissement. La grange de Champoux était composée de quatre bâtiments à l'intérieur d'un enclos subrectangulaire d'environ 0,5 ha (données Nathalie Bonvalot – SRA de Franche-Comté). On peut également se référer, au sujet de la topographie des granges cisterciennes comtoises, à Courtieu, Locatelli, 2002.

¹¹⁰ AMB DD 105, témoins 52 et 78. Cité par Fiétier, 1973, p. 71, note n° 71.

Au nord, on reconnaît dans le texte de 1290 la limite topographique bien identifiable de la crête bordant le nord de la « Côte » de Chailluz¹¹¹. Cette crête est la limite du territoire bisontin et de la forêt de Chailluz sur une longueur de 3,5 km au moins¹¹², jusqu'au « mostier de Talenay » qui correspond certainement à la zone de la chapelle Saint-Gengoul dominant l'actuel village de Tallenay. Plus à l'ouest, la limite du territoire de Besançon est donnée « dois Talenay jusque deanz tote la vile de Valentin » : là, ce n'est plus nécessairement la crête qui fait référence.

Au nord-ouest, le village de Valentin constitue une limite certaine à la fin du 13^{ème} siècle. Au sud-ouest, entre Valentin et Besançon, R. Fiétier estime que la forêt descendait « très bas » jusque dans la première moitié du 13^{ème} siècle¹¹³. Le massif forestier comprenait non seulement la forêt de Chailluz, mais également un autre bois propriété de l'archevêché de Besançon, appelé « bois du Deffoy » et, plus tard « bois de l'Archevêque ». D'importants défrichements auraient été opérés dans la deuxième moitié du 13^{ème} siècle sur ce « bois du Deffoy », donnant naissance aux quartiers des Montarmots, de Palente et de la Viotte cités pour la première fois vers 1270¹¹⁴. La zone des Torcols est encore un bois en 1496 (« boys de Torcol », AMB DD 83, p. 300, cité par Muller, 1999, p. 154).

On ignore cependant l'étendue maximale totale du massif forestier, et on ne sait pas, par exemple, si le boisement au nord de Chailluz s'étendait dans une continuité au-delà des limites du territoire bisontin, sur les territoires des actuelles communes de Châtillon-le-Duc, Tallenay, Mérey-Vielley et Vieilley.

L'aperçu général, à partir des textes pour la période du second Moyen Âge, suggère un massif boisé important couvrant probablement une surface plus étendue qu'aujourd'hui au voisinage immédiat de Besançon, et dont l'extension maximale dans les secteurs les plus éloignés du centre urbain reste floue, mais pourrait être au moins en partie assez comparable à ce qu'on peut observer à l'heure actuelle (vers Valentin, Tallenay, Braillans, Thise).

¹¹¹ La limite du territoire de Besançon est formée par « tote li coste dudit bois de Chaillous qui giete ea par devers Besençon ». Cette notion de limite coïncidant avec la direction dans laquelle s'écoule l'eau se retrouve dans d'autres textes plus tardifs.

¹¹² Depuis le sommet de la côte dans l'alignement de Braillans jusqu'à la chapelle Saint-Gengoul.

¹¹³ Jusqu'aux Cras

¹¹⁴ R. Fiétier ne cite pas ses sources à ce sujet.

1.1.2.3.2 - La forêt de Chailluz entre la fin du 15^{ème} et la fin du 17^{ème} siècle.

Dès le Moyen Âge, la propriété de la forêt de Chailluz fait l'objet de contestations ; celles-ci persistent à la période moderne avec de multiples motivations. Des communes limitrophes de Chailluz revendiquent leur part de bois. Parfois, l'absence de délimitations précisément établies donne naissance à des situations conflictuelles : entre Besançon et Thise et Chalezeule¹¹⁵ (quel chemin faut-il prendre en compte pour la délimitation de territoires communaux ?), ou entre Besançon et Châtillon ou Tallenay¹¹⁶ (quelle entité physique constitue exactement la limite territoriale ?). D'autre part, Braillans aurait pratiqué des essartages abusifs en forêt de Chailluz, et Vieilley aurait mis en place une tranchée « bien avant dans le bois »¹¹⁷.

On sait que Besançon a la particularité depuis le Moyen Âge d'être une cité impériale enclavée dans le Comté de Bourgogne¹¹⁸. Cette spécificité multiplie les possibilités de contester la propriété du massif forestier, qui en plus d'être disputée par parties entre les communes limitrophes, est plus d'une fois remise intégralement en question, revendiquée à la fois comme territoire bisontin et comme territoire comtal.

A partir du 16^{ème} siècle, Besançon semble vouloir limiter les droits d'usage dans Chailluz, notamment en restreignant le nombre d'ayants droit (Muller, 1999, p. 16)¹¹⁹. Très logiquement, la mise en place de ces restrictions nécessite d'apporter des preuves solides de sa propriété et, réciproquement, entraîne probablement une recrudescence des contestations de la part des communautés qui s'estiment lésées. La forêt fournit en effet de nombreuses ressources : bois de chauffage, bois à façonner pour la construction ou pour un usage agricole, nourriture et litière pour les animaux d'élevage, gibier, végétaux à consommer ou à usage phytothérapeutique, miel, etc. Elle fournit des matières premières aux artisans du bois (charpentiers, menuisiers, charretiers, par exemple), de la pierre (maçons, couvreurs), ou

¹¹⁵ AMB DD 68, liasse 10, *cf.* Muller, 1999, p. 30.

¹¹⁶ AMB DD 68, liasse 12, *cf.* Muller, 1999, p. 30.

¹¹⁷ AMB DD 97, *cf.* Muller, 1999, p. 32.

¹¹⁸ A ce sujet voir Fohlen, 1981 et Fiétier, 1977, par exemple.

¹¹⁹ Cette apparente volonté de restreindre l'accès aux ressources mériterait probablement une étude spécifique pour déterminer s'il s'agit d'un « effet de source » lié à la documentation existante ou étudiée, ou bien d'une évolution dans l'usage de la forêt dont les motivations seraient alors à préciser : s'agit-il d'un choix politique ou économique, de la manifestation d'un épuisement des ressources, ou d'une réponse à une forte augmentation des prélèvements, par exemple ?

encore aux vigneron et aux « grangiers »¹²⁰. Les vigneron – les vignes autour de Besançon qui étaient alors nombreuses ont produit dès le Moyen Âge et jusqu’au début du 19^{ème} siècle des vins renommés¹²¹ – semblent être les principaux utilisateurs de la forêt de Chailluz aux 16^{ème} et 17^{ème} siècles (Muller, 1999, p. 119). Les essences de bois prélevées les plus fréquemment citées dans les textes sont le hêtre et le chêne, puis le charme et le cerisier. On mentionne également le pommier, le poirier, le frêne et le tilleul.

Il est possible que les ressources en bois aient manqué vers la fin du 15^{ème} siècle ; une ordonnance interdit en effet en 1470 les coupes dans Chailluz pendant vingt ans, à l’exception du ramassage de bois mort pour le chauffage. La raison invoquée est « qu’il y avoit ou territoire et banlieu de ceste cite peu de bois pour faire marrin¹²² et aussi de gros bois pour soy chauffer. » (Muller, 1999, p. 99, d’après le texte des Archives municipales DD 71, p. 116). Dès 1528, un système de cantonnement* est mis en place¹²³. La forêt de Chailluz est divisée en quatre quarts, mais on ignore suivant quel découpage. Une première zone située vers Thise, décrite comme un taillis très épais et bon à couper, mais dans lequel sont néanmoins conservés les « arbres fruitiers »¹²⁴, est destinée au bois de chauffage ; le cœur du bois est préservé des coupes. En 1625, un texte évoque une zone de « haulte fustee »¹²⁵ dans Chailluz. Les archives nous indiquent ainsi qu’une certaine forme de gestion de la forêt était certainement en place au 16^{ème} siècle, avec la préoccupation d’assurer le renouvellement et la diversité des ressources en bois.

Aucun document ne témoigne aux 16^{ème} et 17^{ème} siècles d’essartages au cœur du massif forestier. En revanche, cette pratique est bien attestée en périphérie de la forêt, vers Braillans, Tallenay, Thise ou sur Besançon même.

Durant une bonne partie du 16^{ème} siècle et au début du 17^{ème} siècle, les procès se succèdent, soit pour contester une propriété, soit pour remettre en question la légitimité de décisions prises quant aux « us et mésum » : l’autorité sur la forêt de Chailluz est revendiquée à la fois par le Comté de Bourgogne et par la cité de Besançon (Muller, 1999, p. 32 *et sq.*). Ces procès alimentent ainsi une situation doublement conflictuelle, mêlant des questions

¹²⁰ Le « grangier » est le fermier travaillant dans une « grange », donc un agriculteur et/ou éleveur.

¹²¹ Cf. par exemple Royer *et al.*, 1988.

¹²² Le « marrin » ou aujourd’hui « merrain » est une pièce de bois obtenue par fente, en suivant le fil du bois, autrement dit, un quartier de bois issu du fût d’un arbre dont le diamètre doit être suffisamment grand pour un débitage en quartiers. Les merrains de chêne servent en particulier à la fabrication de tonneaux.

¹²³ AMB DD 83, p. 467, v° (*in* Muller, 1999, p. 99).

¹²⁴ On entend par « arbres fruitiers » non seulement ceux auxquels on attribue ce sens aujourd’hui, mais également le hêtre et surtout le chêne dont les glands nourrissent les porcs.

¹²⁵ AMB DD 111 *in* Muller, 1999, p. 102

« simples » de propriété d'un espace forestier et des droits d'usage qui s'y rapportent à d'autres enjeux qui dépassent largement ce cadre et témoignent d'une situation de rivalité entre la cité de Besançon et les représentants du Comté de Bourgogne.

1.1.2.3.3 - La forêt au 18^{ème} siècle, depuis l'application de l'ordonnance de Colbert

La définition de la propriété de Chailluz (s'agit-il d'une forêt communale ou d'une forêt royale ?) est toujours conflictuelle au début du 18^{ème} siècle. Un premier procès a lieu entre 1699 et 1705, opposant la ville de Besançon au royaume de France au sujet d'une parcelle de 40 arpents¹²⁶ : cette propriété royale, située sur la « Coste de Chastillon », aurait été indûment exploitée par Besançon. Le conflit s'étend jusqu'à la contestation de la totalité de la propriété de Chailluz ; Besançon doit apporter les preuves que cette forêt lui appartient. Le plus ancien titre produit par la ville date de 1268¹²⁷. Un arrêté du 19 août 1705 se prononce en faveur de Besançon, mais la décision est mise en appel en 1707. Le conflit dure jusqu'en 1720. A cause de cette situation floue, l'exploitation forestière entre 1705 et 1721 semble n'obéir à aucune planification, ce qui entraîne des abus et des dégradations dont on a gardé les traces consignées dans les archives. En 1721-1722, la forêt est découpée en 30 parcelles de taille égale (« assiettes » ou « cantons ») auxquelles s'ajoute une grande parcelle appelée « quart de réserve » dont la surface équivaut à un quart de la superficie totale de la forêt. Les assiettes sont destinées à être coupées tous les 30 ans (« coupes ordinaires ») alors que le quart de réserve est réservé à des « coupes extraordinaires » décidées sur ordonnance par la Maîtrise des Eaux et Forêts¹²⁸. Cette grande parcelle peut servir à financer des dépenses imprévues et à fournir des arbres de bois d'œuvre (bois de charpente, bois de marine, en particulier).

La première assiette est exploitée en 1724 par adjudication de la Maîtrise des Eaux et Forêts à un marchand de bois. Jusqu'en 1730, le petit bois des coupes ordinaires peut être transformé en charbon à condition d'être vendu aux Bisontins. A partir de 1738, la fabrication de charbon est fortement contrainte, puis interdite à partir de 1763. Les assiettes

¹²⁶ Cette parcelle de 40 arpents figure sur des plans du 18^{ème} siècle présentés un peu plus loin.

¹²⁷ Il s'agit de la vente d'une coupe en forêt de Chailluz.

¹²⁸ La mise en place et le fonctionnement des « quarts de réserve » ont été développés par Andrée Corvol dans son ouvrage *L'homme et l'arbre sous l'Ancien Régime* (Corvol, 1984, p. 164 *et sq.*).

sont ensuite adjudgées à des exploitants privés jusqu'en 1763, sauf en 1750 où est tentée une « mise en régie », abandonnée dès l'année suivante. En 1763, une deuxième régie est mise en place jusqu'en 1776 ; elle est maintenue après cette date mais en suivant un nouveau règlement établi en 1776. Ce nouveau règlement semble avoir été initié à la suite de problèmes de gestion (disparitions ou vols de bois, notamment) ; à partir de ce moment-là, des registres sont mis en place pour consigner les exploitations et travaux. L'article 19 du nouveau règlement restreint les activités liées au bois en forêt (interdiction de laisser des tas de bois, interdiction aux sabotiers d'exercer en forêt).

La première exploitation du quart de réserve date de 1738-1739¹²⁹ : cette coupe extraordinaire est destinée à financer la construction d'une nouvelle caserne dans le quartier d'Arènes à Besançon. Après cette coupe prévue sur une durée de huit ans, on doit laisser pousser la futaie. Mais dès 1770, une deuxième coupe du quart de réserve est entreprise pour financer la construction de nouveaux bâtiments militaires (pavillon d'officiers dans le secteur de Bregille) ; la nouvelle coupe est prévue sur une durée de neuf ans. Sa mise en place pose des problèmes, ce qui a pour conséquence d'allonger la durée d'exploitation qui doit finalement s'achever en 1784.

Cette même année 1784, on entreprend la construction de deux logements de gardes au cœur de la forêt, situés à l'emplacement actuel des Grandes Baraques.

1.1.2.3.4 - Au 19^{ème} siècle : construction d'ouvrages militaires

Il n'y a pas à l'heure actuelle de publication de synthèse en mesure de nous renseigner sur la forêt de Chailluz et sur son exploitation au cours du 19^{ème} siècle. Pour la toute fin du siècle, la consultation des livrets journaliers destinés aux personnels des Eaux et Forêts¹³⁰ nous apprend que le découpage en parcelles du quart de réserve date de 1893.

Par ailleurs, on dispose de quelques informations sur les ouvrages militaires aménagés après la guerre de 1870 (Dutriez, 1981, p. 185-201 et site internet « index de la fortification française 1874-1914 » <http://www.fortiff.be/index.php> - lien valide au 1^{er} juin 2014). Ces

¹²⁹ C'est *a priori* l'ensemble du quart de réserve qui a été coupé à cette occasion, ce qui représente une exploitation de plus de 400 ha.

¹³⁰ Ces livrets inédits proviennent de l'ONF, Unité Territoriale de Besançon.

constructions font partie d'un vaste système défensif imaginé par le général Séré de Rivières après 1870 pour protéger les frontières françaises. Les ouvrages de Chailluz constituent des éléments du système défensif rattaché à la place forte de Besançon. La mise en place de l'ensemble de la ceinture de forts, venant compléter les constructions déjà en place à Besançon, est comprise entre 1874 et 1891. Vers 1875, le « chemin stratégique » est aménagé ; il mène au fort de Chailluz, également appelé « fort de la Dame Blanche ». Le fort est construit entre 1875 et 1878 ; l'ouvrage est prévu pour accueillir environ 600 hommes. Vers 1880, une batterie à canons et un magasin à poudre (batterie et magasin de « la charrière de Chailluz ») sont édifiés à quelques centaines de mètres du fort. En 1888, un deuxième magasin à poudre creusé dans le roc est réalisé à environ 2 km au sud-ouest du fort, le long du chemin stratégique (magasin de « la Fourche de Chailluz »). En 1892, un dernier magasin sous roc communiquant avec le premier érigé vers 1880 vient compléter le dispositif.

1.2

Etat des sources historiques : apport des documents graphiques (cartes et plans)

Avant de présenter les cartes et plans anciens consultés et utilisés, évoquons l'ouvrage d'un spécialiste de ces documents graphiques : *Le langage des géographes*, de François de Dainville (De Dainville, 1964, réédité en 2002¹³¹). Ce livre est, pour l'essentiel, un lexique illustré de cartographie et de géographie historique fournissant des clés de lecture du langage géographique des cartes et plans produits entre le 16^{ème} et le 18^{ème} siècle en France (évolution du vocabulaire, sens des signes utilisés, contexte historique, modes et choix de représentation cartographique, etc.). A titre documentaire, les entrées lexicales consacrées au mot « plan » dans cet ouvrage ont été partiellement reproduites en *Annexe 3*.

L'auteur rappelle que, jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, le géographe est un cartographe, spécialiste de la représentation de l'espace sous forme de plans ou de cartes. Jusqu'au début du 19^{ème} siècle, il n'y a pas de norme imposée en matière de représentation cartographique. Une Commission, réunie pour débattre de ce sujet en 1802, édicte les premières normes de représentation cartographique applicables à l'échelle de la France ; elles imposent l'usage généralisé de l'échelle métrique et l'unité de la projection* utilisée sur une même carte, notamment. Par ailleurs, on observe au cours de la période moderne, surtout au 18^{ème} siècle grâce aux travaux des Cassini, une amélioration des performances des outils trigonométriques et des techniques d'arpentage. Ceci permet – lorsque les moyens techniques nécessaires ont été mobilisés – la réalisation de documents graphiques offrant une restitution planimétrique* d'excellente précision géométrique ; les plans du cadastre* napoléonien, réalisés au cours du 19^{ème} siècle, tout comme ceux de la carte d'état-major, notamment, offrent cette précision.

Le langage du géographe (mots, symboles figuratifs, couleurs utilisées) s'est constitué progressivement. Le vocabulaire des cartes anciennes du 16^{ème} siècle était issu de la langue commune, et occasionnellement du grec des géographes antiques pour les termes techniques ; celui des 17^{ème} et 18^{ème} siècles s'est largement enrichi d'emprunts au vocabulaire local pour décrire des faits régionaux (par exemple, *baume*), mais aussi aux langues étrangères (par exemple, *polder*), ajoutant des termes spécialisés issus du lexique de la marine (par exemple, *mouillage*), du domaine militaire (par exemple, *défilé*), du monde forestier (par exemple, *trriage**), de l'architecture (par exemple, *bassin*) et même du monde artistique (par exemple, *paysage*). Le vocabulaire des géographes de l'époque moderne se caractérise par son anthropocentrisme : « Quels que soient les faits envisagés, généraux ou particuliers, ils

¹³¹ On peut également consulter une publication consacrée à F. De Dainville : Bousquet-Bressolier, 2004.

n'intéressent que dans la mesure de leurs rapports à l'homme. (...) La mer, les rivages, les fleuves, les contrées terrestres sont étudiées par rapport aux facilités qu'ils proposent, aux obstacles qu'ils opposent à la circulation des hommes » (De Dainville, 2002, p. 322-323).

La restitution des informations spatiales sur les cartes et plans est figurée par des signes (figures, lettres, abréviations, écritures). F. De Dainville constate que, durant la période moderne, les cartographes ont accordé une attention particulière aux données hydrographiques (rivages, cours d'eau, canaux) et aux divisions territoriales (politiques, ecclésiastiques, etc.). En revanche, la représentation des réseaux de voirie, tout comme celle de l'habitat et de l'occupation du sol, s'avèrent plus inégales ; l'information restituée par les cartes anciennes varie, essentiellement en fonction de l'échelle du document.

Alors que les cartes médiévales sont colorisées, la carte moderne, imprimée, est en général monochrome. Certaines sont mises en couleur, et les cartographes de l'époque moderne les tiennent pour celles offrant le meilleur rendu. Le géographe utilise une palette de couleurs restreinte et conventionnelle, la même que celle des cartes médiévales : « On relève (...) le coloris des eaux naturelles, mers et fleuves en vert, le carmin étant lié aux silhouettes de villes et parfois au ruban de routes. (...) Les ponts en pierre sont rouges, ceux de bois gris ou noirs. (...) Le vert est aussi, tout naturellement, la couleur de la végétation, des prés et des bois. (...) Parfois les cartographes lavent de bleu les eaux dormantes. (...) Les montagnes sont à l'ordinaire colorées d'ocre ou de terre de Sienne. (...) Le rouge est la couleur constamment employée pour désigner les villes et les maisons sur les cartes à petite échelle* » (De Dainville, 2002, p. 330-334).

Pour conclure cette évocation du *Langage des géographes*, on peut citer l'une des premières phrases du livre, qui souligne la valeur documentaire des cartes anciennes : « Elles apportent, en effet, sur toutes sortes d'objets, forêts, routes, industries, institutions militaires, civiles et religieuses (...), une foule de renseignements localisés, de synthèses de faits et de relations. » (De Dainville, 2002, p. VII). La possibilité d'exploiter à présent ces informations sur SIG offre des perspectives inédites pour améliorer nos connaissances sur les paysages de l'époque moderne et sur leur évolution au cours des derniers siècles.

Pour faciliter une vue d'ensemble, les cartes et plans pris en compte ici sont récapitulés en tableaux (planches I et II). Ces documents proviennent principalement des Archives municipales de Besançon, également des Archives départementales du Doubs, de l'ONF,

de l'IGN* et de la BnF¹³². Le corpus documentaire étudié et présenté ici ne vise pas l'exhaustivité : l'objectif a été de constituer parmi les sources consultées un échantillon de cartes qui rende compte des différentes échelles d'exécution du dessin (de 1 / 1 250 à 1 / 86 400), de la variété des contextes de réalisation rencontrés (cartes régionales dont l'exécution a couvert toute la France, plans cadastraux divers ou encore représentations schématiques non géométriques) et des périodes représentées (du 16^{ème} au début du 20^{ème} siècle). Ainsi, la carte Yc Bes A1 des Archives municipales de Besançon, datable du 16^{ème} siècle, a été choisie pour son ancienneté – c'est le premier plan connu de la banlieue bisontine – et pour sa richesse documentaire. Elle est considérée comme une source fiable par des historiens spécialistes (Fiétier, 1973, en particulier). Un autre plan du 16^{ème} siècle, issu du manuscrit Ms Chiflet f7 (Archives municipales) a été retenu pour son caractère schématique (le document porte le nom de « raccourci ») laissant supposer qu'il représente plutôt des entités bien connues que des structures dont l'existence est ignorée de la plupart des gens. Les cartes de Cassini (pour Besançon, les feuilles datent de la deuxième moitié du 18^{ème} siècle) et d'état-major (milieu du 19^{ème} siècle), ainsi que les extraits du plan cadastral napoléonien (première moitié du 19^{ème} siècle pour l'ensemble des communes concernées autour de Besançon) ont été pris en compte car ce sont, d'une manière générale, des documents graphiques qui offrent une bonne, voire une excellente restitution de la géométrie¹³³, parce que les entités relevées sur ces plans ont fait l'objet d'une normalisation dont on connaît les règles¹³⁴ et aussi parce qu'il s'agit d'une source d'information éditée à l'échelle nationale et qui est par conséquent largement utilisée par les chercheurs étudiant les paysages passés¹³⁵, ce qui donne des possibilités de comparer les données sur la forêt de Chailluz avec d'autres études. Une série de plans de la forêt de Chailluz datés entre 1699 et 1739 a fait l'objet d'une attention particulière : ils ont été établis au moment de l'application à Besançon de l'ordonnance de Colbert de 1669, processus qui s'est déroulé sur plusieurs décennies au cours du premier quart du 18^{ème} siècle, avant d'aboutir à un découpage pérenne du territoire forestier. Une autre série de plans datés entre 1824 et 1912 apporte des informations complémentaires sur les aménagements réalisés en forêt de Chailluz et sur l'évolution de cet espace depuis la fin du

¹³² BnF : Bibliothèque nationale de France. Les documents utilisés provenant de l'IGN et de la BnF sont consultables sur internet à partir des sites <http://www.geoportail.gouv.fr> et <http://gallica.bnf.fr/>.

¹³³ La précision attendue doit évidemment être mise en rapport avec l'échelle du document : on ne peut espérer la même précision géométrique entre la carte de Cassini à l'échelle 1 / 86 000 et les plans du cadastre napoléonien, dont l'échelle de représentation dépasse 1 / 5 000.

¹³⁴ On peut consulter à ce sujet, par exemple, Pelletier, 1990 et Lefort, 2004.

¹³⁵ Robert 2003; Ghozzi *et al.*, 2004 ; Dupouey *et al.*, 2007b ; Poirier, 2010 ; Vallauri *et al.*, 2012 , par exemple.

18^{ème} siècle et jusqu'au 20^{ème} siècle (évolution du parcellaire* forestier, aménagement de routes ou de chemins, construction d'ouvrages militaires).

Les plans et cartes pris en compte ici permettent parfois, lorsque leur échelle s'y prête, de situer la forêt de Chailluz dans un environnement plus large, à plusieurs moments de son histoire : on peut apprécier, par exemple, l'évolution de la couverture boisée en fonction du développement de l'habitat périurbain, ou en fonction des variations de l'exploitation des sols agricoles. Le 17^{ème} siècle n'est pas représenté parmi les documents retenus : peu de cartes ont été réalisées durant ce siècle, à une échelle insuffisamment précise pour fournir une information utilisable¹³⁶, et avec une qualité planimétrique difficile à évaluer (cf. De Dainville, 2002).

Le tableau récapitulatif donné sur les planches I et II précise la provenance des documents (lieu de conservation ou site de consultation numérique), leur cote d'archivage et leur titre. Il indique également les auteurs des cartes (ou l'organisme éditeur), leur date d'édition, les dimensions réelles des archives papier et leur échelle en valeurs métriques (donnée directement sur le document ou recalculée à partir des unités anciennes indiquées). La fiabilité documentaire de l'archive est évaluée en se fondant sur l'appréciation des historiens spécialistes pour les plans les plus anciens (16^{ème} ou 17^{ème} siècle) et sur la qualité de restitution planimétrique des différentes entités reproduites sur la carte (routes, constructions, relief, etc.) pour les autres. On tient toujours compte pour cette évaluation de leur échelle de représentation. La qualité géométrique de la planimétrie a été évaluée *a posteriori*, en comparant, après géoréférencement*, la position relative des différents éléments dessinés avec les données géolocalisées actuelles¹³⁷ et également en comparant la planimétrie des différentes cartes anciennes entre elles ainsi que les informations qu'elles contiennent¹³⁸. Le tableau donne par ailleurs les renvois aux illustrations et signale, s'ils existent, les permaliens* internet qui permettent de les visualiser. Sur certains plans, les annotations manuscrites fournissent des informations importantes sur certains aménagements ou entités. Le tableau renvoie aux pages du volume *Annexes* où elles ont été transcrites.

¹³⁶ L'échelle est de l'ordre du 1 / 250 000 par exemple pour l'une des cartes les plus connues et diffusées alors, réalisée sous la direction de Nicolas Sanson d'Abbeville au milieu du 17^{ème} siècle : *Sequani. Archidiaconné de Salins du Dioecese de Besançon. Partie meridionale de la Franche Comté ou est la Balliage d'Aval, subdivisé en plusieurs Balliages ou Jurisdictions subalternes*.

¹³⁷ Carte IGN à 1 / 25 000, plan cadastral vectorisé*, données topographiques issues du relevé LiDAR réalisé en 2009. Les éléments de comparaison ont été choisis de façon à ce qu'on soit certain de leur invariabilité au cours des derniers siècles : par exemple, position de la ligne de crête, emplacement d'entités remarquables (églises, sources dont la localisation est certaine, etc.).

¹³⁸ Cette étape méthodologique est exposée plus loin la thèse.

L'échelle métrique est l'unité de base des documents étudiés à partir du début du 19^{ème} siècle (ici, il s'agit des plans du cadastre napoléonien). Tous les plans antérieurs emploient des perches* ou des toises*. Les plans forestiers sont généralement dessinés en perches des Eaux et Forêts, qui valent 22 pieds de roi* (aussi appelé « pied ancien » après la Révolution) :

1 pied = 0,325 m et 1 perche des Eaux et Forêts = 22 x 0,325 m = 7,15 m.

On rencontre aussi la perche de Bourgogne, qui vaut 9,5 pieds :

1 perche de Bourgogne = 9,5 x 0,325 m = 3,09 m.

La toise, qui équivaut à 6 pieds de roi, est l'unité de base utilisée pour la carte de Cassini, où 1 ligne* représente 100 toises :

1 toise = 1,95 m et 1 ligne = 1/144 pied de roi.

L'échelle de la carte de Cassini est donc de [0,325/144 m] pour représenter [100 x 1,95 m], soit un rapport de 1 / 86 400.

Tableau récapitulatif des conversions d'unités :

Unité à convertir :	Ligne	Pied	Toise	Perche de Bourgogne	Perche des Eaux et Forêts
Valeur en mètres :	0,0023 m	0,325 m	1,95 m	3,09 m	7,15 m
Valeur en pieds :	1/144 pied	1 pied	6 pieds	9,5 pieds	22 pieds
Valeur en lignes :	1 ligne	144 lignes	864 lignes		

Dans les pages qui suivent, les cartes et plans sont présentés des plus anciens aux plus récents (du 16^{ème} siècle au début du 20^{ème} siècle), en distinguant trois catégories : les documents non géométriques, les cartes et plans à grande échelle (supérieure à 1 / 10 000) et ceux à petite échelle (inférieure à 1 / 10 000). Il s'agit ici d'indiquer les caractéristiques principales de ces documents (échelle de représentation, contenu représenté, transcription des annotations) dont les contenus ont par ailleurs été schématisés pour faciliter leur lecture.

1.2.1 - Plans du 16^{ème} siècle. Documents non géométriques

1.2.1.1 - Plans des Archives municipales de Besançon, cotes Yc Bes A1 et Gec Bes 1.1 (figures 3 à 6)

Les plans cotés Yc Bes A1 et Gec Bes 1.1 conservés aux Archives municipales de Besançon sont deux variantes d'un même dessin, l'un monochrome et l'autre aquarellé (figure 3). Ils portent le nom de « Plan de la Forest de Chaillu » (Yc Bes A1, titre au dos de la carte) et « Plan de Besançon et de ses environs » (Gec Bes 1.1). Ils ne sont pas datés. Le plan Yc Bes A1 est estimé du 16^{ème} siècle par Roland Fiétier, qui l'utilise abondamment comme source d'information dans son ouvrage sur la banlieue de Besançon :

« [Le plan] semble, d'après son écriture, remonter au XVI^e siècle (...). Toute la banlieue est représentée puisque dans le bas du dessin figurent Châtillon-le-Duc et Geneuille et qu'en haut se profilent le clocher de La Vèze et le château d'Arguel. Il est possible que ce soit le croquis dont parle Belamy¹³⁹ dans son inventaire à propos de l'enquête de 1532-1533. » (Fiétier, 1973, p. 14).

Le dessin n'est manifestement pas proportionnel à la disposition réelle des entités représentées, c'est pourquoi on a considéré ce document comme un plan visuel et non comme un plan géométrique¹⁴⁰ (cf. De Dainville, 2002, p. 48¹⁴¹). La figure 4 donne une comparaison entre la forme de l'espace géographique restitué par la carte ancienne (un rectangle de 57,5 cm sur 44 cm) et sa représentation sur une carte IGN actuelle, un polygone aux proportions très éloignées du rectangle précédent. Ce plan est sans échelle, mais on peut néanmoins proposer un ordre de grandeur de l'homothétie très approximative qui a été employée, une réduction de l'ordre de

¹³⁹ Belamy a dressé à la fin du 18^{ème} siècle un inventaire détaillé des pièces concernant le procès des limites intitulé *inventaire des titres et papiers concernant les limites du territoire de Besançon et de sa banlieue ancienne*, vol. 5. L'enquête de 1532-1533 est conservée aux Archives municipales, cote DD68 (Procès entre la Cité de Besançon et le Comté de Bourgogne au sujet des limites du territoire de la Cité : enquêtes, dépositions de témoins, nomination de commissaires, décisions souveraines, au sujet de la question des limites séparant le territoire de Besançon des lieux circonvoisins du comté de Bourgogne. Les enquêtes portent sur les limites du territoire du côté de Quingey, Velotte, Saint Ferjeux, Avanne, La Vèze, Thise, Chalezeule et la Forêt de Chailluz).

¹⁴⁰ Il en résulte que ce plan est considéré comme non géoréférencé.

¹⁴¹ Les définitions de « plan visuel » et de « plan géométrique » sont reproduites dans le volume *Annexes* en annexe n° 3.

1 / 30 000 à 1 / 40 000 (à titre d'exemple, le château d'Arguel et le clocher de Geneuille sont distants en réalité d'environ 14,5 km, représentés par un peu moins de 40 cm sur le plan ancien, soit une réduction qui correspondrait à environ 1 / 35 000).

L'agencement des entités dessinées renseigne sur la façon dont ce plan a été composé. On reconnaît tout d'abord un axe principal vertical séparant la feuille en deux parties égales (trait pointillé vertical rouge sur la figure 5). Cet axe, qui traverse le centre historique de Besançon en son milieu, sert d'appui à des éléments importants du paysage - limites territoriales ou points de référence dans la ville. Dans la partie supérieure du plan, La Vèze constitue la limite sud du territoire bisontin ; plus bas sur le dessin, l'axe central passe par le pont « Battant », qui enjambe le Doubs depuis l'Antiquité, dans le prolongement de la rue principale qui traverse le centre-ville (Grand-Rue) ; encore plus bas sur le dessin, la « Porte de Charmont » est le point de départ de plusieurs voies importantes ; enfin, dans la partie inférieure du plan, l'axe central passe par Ecole (autre limite du territoire bisontin) et par la route reliant cette commune à la porte de Charmont. Sur l'axe médian horizontal, perpendiculaire à l'axe vertical précédent (trait rouge horizontal sur la figure 5), on observe d'autres marqueurs de limites territoriales : une potence ou « fourche » (complètement à droite sur la carte originale) ; plus au centre, St Ferjeux (« Feriol ») et, dans la partie gauche du dessin, la « grange Chiflet ». Le centre de la feuille correspond sensiblement à la porte de Charmont. A partir de ces deux axes principaux on peut restituer un quadrillage qui partage en mailles régulières l'ensemble de la feuille (traits pointillés jaunes), possibles repères pour le choix de certains emplacements ; l'ensemble évoque un dessin composé selon la technique de la mise au carreau. On remarque par exemple deux séries de bornes (vers le bois de la Lave et vers Chalezeule) séparant le territoire bisontin du domaine comtal, bien alignées et disposées parallèlement au quadrillage ; cette représentation schématique est manifestement assez éloignée de la disposition réelle de ces limites territoriales.

Ce plan a probablement été dressé pour représenter les limites du territoire bisontin, ce que confirment par ailleurs les nombreuses annotations qu'on y a apposées. Pour faciliter la lecture de ce document riche d'informations, il a été schématisé pour mettre en évidence les éléments qui le composent : habitat et établissements divers, occupation du sol, voirie, portes, bornes, annotations diverses (figure 5). L'ensemble a ensuite subi une rotation et a été approximativement réorienté selon le Nord cartographique* afin de faciliter la comparaison de l'information qu'il contient avec celle d'autres cartes (figure 6).

1.2.1.2 - Plan des Archives municipales de Besançon, cote Ms Chiflet f7 (figures 7 et 8)

Ce plan cité par Roland Fiétier (Fiétier, 1973) est intégré à un manuscrit relié de plusieurs centaines de pages conservé aux Archives municipales. C'est un croquis synthétique du territoire de Besançon intitulé « Plan raccourci du Territoire de Besançon ». Il présente les principaux éléments du paysage qui permettent de délimiter le territoire bisontin à la fin du 16^{ème} siècle (figure 7). On y reconnaît la forêt de Chailluz et les principaux chemins qui la traversent. Le bornage entre Chailluz et la forêt de Châtillon (« bois du Gruyer ») y est représenté et les toponymes qui lui sont associés sont précisés. Ce plan a été schématisé suivant le même principe que la carte Yc Bes A1 ; il a également été réorienté par rotation suivant le Nord cartographique (figure 8).

Onze bornes de séparation entre la forêt de Chailluz et Valentin sont dessinées. Elles portent les noms suivants (citées depuis le nord en direction du sud) : « borne du tillot », « borne du chasne », « borne de sou.. [illisible] », « borne au pied du montrachot », « borne du chemin de croix », « borne du pomier », « borne de grelot », « borne double », « borne sauvageot », « borne du cerisier », « borne de Torcol ». A l'ouest de cette dernière, un arbre a probablement fait office de borne : il porte le nom d'« arbre de limite ».

Sur la crête nord de Chailluz, on remarque la mention « l'homme mort », vraisemblable écho à certains textes d'archives citant le « col de l'homme mort » (*cf.* textes cités précédemment en partie 1.1.2). Par ailleurs, en limite nord-est du territoire bisontin, l'indication d'une « croix abbatue » rappelle l'allusion de certains textes anciens à la « croix de Vieilley », située à proximité du « chemin de Vieilley » et déjà disparue au début du 17^{ème} siècle.

1.2.2 - Plans du 18^{ème} siècle

1.2.2.1 Plans du 18^{ème} siècle dont l'échelle est supérieure ou égale à 1 / 10 000

1.2.2.1.1 - Plans de 1699 des Archives municipales de Besançon, cotes Yc M1 43 et Yc M1 44 (figures 9 à 12)

Ces deux documents sont les plus anciens plans forestiers de la forêt de Chailluz (figure 9). Ils représentent ses limites de façon très schématique, et leur géométrie peu précise constitue un vrai obstacle au géoréférencement¹⁴². Les deux dessins présentent de fortes similitudes, telles la figuration de la limite entre le « Bois de Chaillu » et le « Bois de l'Archevêché » sous la forme d'un découpage très géométrique en escalier irrégulier ou encore des représentations des proportions générales du massif comparables, sauf pour la partie ouest voisine du « Bois de la Lave » où les deux plans adoptent une géométrie sensiblement différente. Les deux plans ont été schématisés sur la figure 10.

Le plan Yc M1 44 reproduit à une échelle proche de 1 / 10 000 les contours de la forêt de Chailluz et également ceux du Bois d'Aglans¹⁴³, situé au sud de Besançon. Il représente trois chemins traversant Chailluz du sud-ouest au nord-est (chemin de Tallenay, chemin de Bonnay et chemin de Vieilley) et un établissement, la chapelle Saint-Gengoul (« St Jean gulf »), située sur la crête nord en surplomb de la commune de Tallenay. Plusieurs zones boisées sont mentionnées dans la périphérie immédiate de Chailluz. Au nord-ouest (actuelle commune de Châtillon-le-Duc), le « Bois de la Lave » et le « Bois de Chailluz » sont séparés par une série de bornes. Le « Bois de l'Archevêque » se situe dans cette même zone, au sud-est du Bois de la Lave ; il est « réduit en pleins une grande partie », ce qui atteste de son déboisement au moins partiel dès la fin du 17^{ème} siècle. Cet endroit correspond aujourd'hui aux lieudits « Fonds de Chailluz » et « Dessus de Chailluz ». La limite est de la forêt, limitrophe avec le bois de l'abbaye de Bellevaux (commune de Braillans), est marquée par

¹⁴²Les résultats se révèlent décevants notamment pour la localisation d'entités, en particulier celle des anciens chemins représentés. Ce travail est détaillé plus loin.

¹⁴³ Les contours du bois d'Aglans n'ont pas été reproduits sur la figure 10.

un sentier. Au sud, la séparation de Chailluz avec le « Bois de Thise » est concrétisée par le « grand chemin de monbozon ». Ce dernier est représenté sur le plan par deux traits pointillés parallèles dessinant une route particulièrement large, marquant certainement un axe de circulation important à l'époque. Au sud-ouest, un chemin de moindre importance (« ancien chemin ») se raccorde à ce « grand chemin » ; il constitue la limite de la forêt de Chailluz au sud-ouest. Au sud du « Bois de l'Archevêque », les annotations renvoient probablement à des zones pâturées ou labourées avec la mention sans ambiguïté de « planche » et l'emploi du mot « terrain » alors qu'ailleurs on parle de « bois ». La superficie indiquée pour la forêt de Chailluz sur ce plan est de 2328 arpents¹⁴⁴, soit 1190 ha.

D'une manière générale, la comparaison à l'œil nu avec une représentation actuelle (figure 11) de la topographie de la forêt de Chailluz donnée par ce plan montre une nette différence de la limite vers l'est (Braillans) qui ne peut simplement résulter d'une erreur de géométrie. La limite nord de la forêt (la crête) apparaît peu précise. Notamment, une inflexion de la crête vers le nord-ouest entre la chapelle Saint-Gengoul et la série de bornes avec le bois de la Lave n'a pas d'existence réelle. D'autre part, le rapport entre la hauteur de la forêt (entre le « Bois de Thise » et le « Sommet de la Coste ») et sa largeur (entre le « Bois de la Lave » et le « Bois de Bellevaux ») diffère sensiblement de ce qu'on connaît aujourd'hui, sans qu'on puisse savoir *a priori* si cet écart est dû à une modification importante des limites de la forêt ou à une erreur géométrique du document d'archive.

On reconnaît néanmoins quelques similitudes entre ce plan ancien et les limites actuelles ; dans la partie actuelle de Palente / Montarmot¹⁴⁵, aux emplacements de la « Combe motueux » et de la « planche de chaillu » du plan ancien, la forme géométrique « en escalier » reste perceptible sur la carte à 1 / 25 000 actuelle. De même, la forme générale des limites du « Bois de l'Archevêque » se reconnaît aisément dans les contours des lieudits actuels « Dessus de Chailluz » et « Fonds de Chailluz ». La topographie actuelle adopte cependant une forme sensiblement moins ouverte que celle figurée sur ce plan de 1699.

Le plan Yc M1 43, également daté de 1699, matérialise la limite est de la forêt de Chailluz (vers Braillans) de la même façon que le plan précédent Yc M1 44 ; d'autre part, la zone située au sud-ouest de la forêt (limite « en marches d'escalier ») est représentée de façon similaire sur les deux cartes. Les proportions générales du dessin (rapport entre la largeur

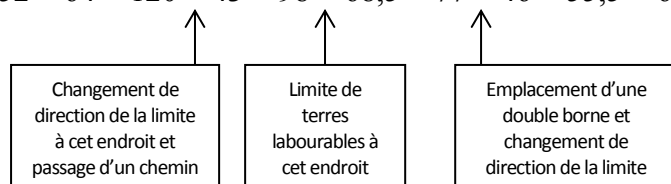
¹⁴⁴ D'une manière générale, 1 arpent = 100 perches. Ici, ce sont des perches des Eaux et Forêts de 22 pieds, donc 1 arpent = 5112, 25 m².

¹⁴⁵ On peut se référer pour situer cette zone à la figure 1.

et la hauteur représentées) sont comparables. En revanche, le tracé de la crête, au nord, est différent, et on ne retrouve pas sur Yc M1 43 l'inflexion irréaliste observée sur Yc M1 44. D'autre part, la topographie de la partie ouest (vers le « Bois de la Lave ») diffère : une ligne presque verticale et brisée en un point relie les bornes entre elles sur Yc M1 43, alors qu'il s'agit d'une ligne oblique et bien droite sur Yc M1 44.

Le plan Yc M1 43 donne une échelle de 200 unités, sans la préciser. La superposition après schématisation de Yc M1 44 et Yc M1 43 (figure 12) permet de faire l'hypothèse qu'il s'agit de perches de Bourgogne¹⁴⁶. On en déduit la valeur métrique des distances notées sur Yc M1 43 entre les 10 emplacements des bornes séparant le bois de la Lave de la forêt de Chailluz :

$$52 + 64 + 120 + 43 + 98 + 68,5 + 77 + 46 + 55,5 = 624 \text{ [perches de Bourgogne]}$$



Ce qui équivaut à 1926 m (résultat arrondi à l'entier inférieur).

A l'ouest de la forêt, la zone appelée « accensement* de La Cité » sur Yc M1 44 est qualifiée de « Terres labourables de la Cité » sur Yc M1 43, ce qui confirme la vocation agropastorale de cet endroit en périphérie de Chailluz dès la fin du 17^{ème} siècle. Tout à l'opposé, sur la crête au nord-est de la forêt, on lit la mention « Croix abatue », toponyme déjà mentionné sur le « Plan raccourci du Territoire de Besançon » Ms Chiflet f7.

Par ailleurs, le plan de 1699 Yc M1 43 indique une grande quantité de chemins, pour la plupart accompagnés d'un nom : la forêt de Chailluz était manifestement traversée par de nombreux chemins, indication déjà suggérée par le plan Chifflet.

1.2.2.1.2 - Plan de 1704 des Archives municipales de Besançon, cote Yc G2 47 (planche III)

La transcription des annotations manuscrites sur ce plan est donnée en *Annexe 4*.

¹⁴⁶ En effet, 200 unités inconnues du plan Yc M1 43 correspondent approximativement, après superposition des deux plans schématisés, à 80 perches de 22 pieds du plan Yc M1 44, soit un rapport de 0,4 voisin du rapport de 0,43 entre la perche de Bourgogne (1 perche = 3,09 m) et la perche des Eaux et Forêts (1 perche = 7,15 m).

Ce plan de 1704 est reproduit et schématisé sur la planche III. C'est le plus ancien document qui a pu être géoréférencé, malgré sa géométrie approximative, qui est malgré tout apparue suffisante pour permettre le recalage des indications qui y figurent.

On retrouve le Bois de la Lave, la chapelle Saint-Gengoul, la limite rectiligne entre Chailluz et le « Terrain de L'abbaye de Bellevaux », la mention du Bois de Thise, les chemins bordant Chailluz au sud (« Grand Chemin de Marchaux » qui correspond au « grand chemin de monbozon » des cartes précédentes et « Chemin d'entre deux bois » dénommé « ancien chemin » en 1699). Il signale également un bois appartenant à Chalezeule et situe deux zones en bordure de forêt de Chailluz probablement en culture (symbolisées par des hachures alternant lignes verticales et horizontales), l'un vers l'est en limite de Braillans et l'autre entre les bois de Thise et Chalezeule. La « planche de Chaillu » est à nouveau citée et trois nouveaux noms de chemins sont donnés (« chemin des bornes », « chemin du bas » et « chemin du Virrot »). Enfin, plusieurs grandes parcelles sont dessinées au nord-est et à l'est de la forêt (« assiette de 40 arpants »¹⁴⁷, « Canton prétendu par Vielley contenant 166 arpants », « Canton prétendu par Braillant contenat 206 arpants »), probable matérialisation graphique des discussions engagées entre les différentes communes pour le découpage du massif. On a là l'ébauche du découpage final adopté en 1738.

Quelques lignes de texte contiennent des formulations conventionnelles et indiquent la surface de la forêt : 3251 arpents (arpents des Eaux et Forêts) soit 1662 ha, ce qui est sensiblement supérieur à la surface donnée par le plan légèrement antérieur de 1699 (2328 arpents, soit 1190 ha). Même en soustrayant les surfaces des parcelles prétendues par les communes limitrophes dans le plan de 1704 (40 + 166 + 206 = 412 arpents), la superficie de la forêt de Chailluz vaut encore 2839 arpents, soit 511 arpents (261 ha) de plus qu'en 1699.

1.2.2.1.3 - Plans de 1720-1721 (Archives municipales de Besançon, non coté et ONF, non coté) (planches IV et V et figure 12)

La transcription des annotations manuscrites est donnée en *Annexe 4*.

¹⁴⁷ Il s'agit certainement là de la parcelle de 40 arpents qui est à l'origine d'un procès entre Besançon et Châtillon entre 1699 et 1705 : la parcelle de 40 arpents, propriété royale située sur la « Coste de Chastillon », aurait été indûment exploitée par Besançon (cf. Dianin, 1995).

Ces deux plans sont deux variantes réalisées en 1720 - 1721 sur la base du même dessin. Un premier état est daté du 8 juillet 1720 ; le document a certainement été repris un an plus tard (7 septembre 1721) pour préciser l'attribution de différents espaces (« quart de réserve » et « assiette ordinaire »). Les deux archives portent les mêmes séries de dates. L'une est conservée aux Archives municipales et l'autre provient de l'ONF (plans non cotés). Ils sont reproduits et schématisés sur les planches IV et V. Les informations qu'ils apportent sont presque identiques. Ils ont été pris en compte tous les deux dans le corpus étudié pour pouvoir apprécier la coïncidence géométrique de leur planimétrie en les superposant après schématisation sous forme vectorielle (figure 12).

Parmi les documents du 18^{ème} siècle à échelle supérieure à 1 / 10 000, ces deux plans sont ceux qui fournissent la représentation la plus étendue du massif de Chailluz, depuis le territoire de Valentin, à l'ouest, jusqu'à Marchaux, à l'est (soit une distance réelle totale d'environ 12 km). L'ensemble du massif forestier est découpé en une dizaine de zones de tailles variables numérotées de A à H, auxquelles sont associés des commentaires manuscrits disposés dans la partie inférieure de la carte. Ce texte est reproduit en *Annexe 4*, p. 31 à 33. Ces commentaires indiquent la surface des différentes zones, leur propriétaire, si elles font l'objet d'un litige (contestation de propriété, par exemple). Ils mentionnent également la mise en place de quinze bornes pour la délimitation du « quart de réserve » et font allusion à la « tranche de Vielley », dont certains textes provenant des Archives municipales faisaient aussi état (*cf.* partie 1.1.2.1.5). Sur le plan lui-même, les annotations, qui sont nombreuses, indiquent des toponymes, donnent des détails sur diverses entités, sur des limites ou sur l'occupation du sol. La limite de Chailluz à l'est, vers Braillans, apparaît fortement découpée, avec un dessin très différent de celui qu'on observe sur les plans précédents de 1699 et 1704. Il est probable que ce dessin reproduit une limite entre une zone boisée et un espace découpé en parcelles cultivées, qui présente typiquement un aspect morcelé (parcelles en « planches » etc.). Au nord du village de Braillans, l'emplacement d'une ancienne vigne réinvestie par la forêt (« bois et buissons ») est indiqué. A l'ouest (côté Besançon), le processus de conversion du « Bois de l'Archevêque » en terres agricoles ou en pâturages, qui était manifestement déjà bien engagé en 1699 (*cf.* commentaires précédents sur le plan de 1699 Yc M1 44), est terminé en 1720-21 : la mention « Terre et Domaine de l'archevêché occupé par divers accensataires » en témoigne. Plusieurs granges sont également indiquées (« grange des Sauget », « grange Baulieux de Besançon »). Là encore, on note la mention du lieudit « les

Planches » et celle des terres appartenant à la famille Chifflet. Toujours dans cette partie ouest, une ligne diagonale matérialise la limite territoriale alors revendiquée par Châtillon-le-Duc¹⁴⁸, dont on constate qu'elle prend naissance au niveau du territoire communal de Valentin et qu'elle englobe entièrement ou presque les terres de l'archevêché. Par ailleurs, dans la forme générale de la zone portant la lettre G sur le plan ancien, on reconnaît bien le bois de la Lave actuel appartenant à Châtillon-le-Duc (« Bois Tailly appartenant au Roy » sur le plan ancien). Au nord-ouest du massif, la « fontaine de ballon » est mentionnée, puis le parcours de la crête est ponctué de nombreuses indications : arbres remarquables servant au bornage, toponymes, chemins, chapelle Saint-Gengoul, « grange de Charmoy » située au niveau de la « croix de l'homme mort », entre Tallenay et Bonnay. Quelques dolines sont dessinées : deux dolines circulaires au sud-ouest vers le lieudit « les Planches » et une longue doline appelée « combe de lagasse » au sud, au bord de la route formant la limite entre Besançon et Thise.

Les textes apposés sur les deux plans sont identiques, à quelques petites variantes près qui sont sans conséquence sur leur sens ; le texte reproduit en annexe est celui du plan des Archives municipales. Outre les mentions formelles (date de réalisation, nom et qualité de l'auteur, etc.) les annotations donnent des informations sur les surfaces forestières, sur les propriétaires, sur la gestion forestière (« bois taillis », « quart en réserve ») et sur quelques aménagements particuliers (chemins, fossés).

La surface totale de la forêt de Chailluz est estimée en 1720 à 3687,25 arpents (1885 ha) dont 210,75 arpents (108 ha, zone portant la lettre C sur le plan) sont revendiqués par Braillans, 184 arpents (94 ha, zone avec la lettre D) par Vieilley, 111,75 arpents (57 ha, lettre E) à la fois par Braillans et Vieilley, 120,75 arpents (62 ha, lettre F) par Marchaux, 86,5 arpents (44 ha, lettre G) sont propriété royale (Bois de la Lave), 216 arpents (110 ha, lettre H) sont réclamés par Châtillon et Tallenay (territoire de la grange de Valentin). Si on soustrait toutes les surfaces revendiquées, on obtient une surface de 2757,5 arpents (1410 ha), nettement inférieure à la superficie finalement retenue en 1720 pour la forêt de Chailluz, qui est de 3292,5 arpents soit 1683 ha.

Un an plus tard (7 septembre 1721, selon les indications données par les plans) le « quart de réserve » est mis en place entre le Bois de la Lave, la crête, le « chemin de Bonnay » et

¹⁴⁸ Cette limite virtuelle est représentée sur les cartes par un trait sous-titré d'une annotation. Il est repris sur les schémas (planches IV et V) sous la forme d'un trait pointillé noir.

le « chemin du Bas ». 15 bornes sont posées pour délimiter cette « réserve » (indiquées sur le plan), qui occupe 883 arpents et 12,5 perches (421 ha), soit effectivement un quart de la surface totale de la forêt. Les 1262 ha restants sont mis « en assiette », divisés en 30 parcelles de 42 ha chacune, et exploitées en rotation sur une durée totale de 30 ans.

1.2.2.1.4 - Plans de 1738 et 1739 des Archives municipales de Besançon, cotes Yc M1 45, Yc M1 46 et Yc P2 40 (planches VI à IX et figures 13 à 15)

La transcription des annotations manuscrites est donnée en *Annexe 4*.

Le plan des Archives municipales Yc M1 45 (planche 1-H), daté de 1738, représente la forêt de Chailluz à une échelle proche de 1 / 8 000. Son découpage parcellaire y est indiqué avec une grande précision ; la plupart des limites dessinées se confondent sur SIG avec le plan cadastral actuel. La partie nord / nord-ouest est occupée par le « quart de réserve » d'une surface de 837 arpents et 70 perches (environ 428 ha). Le reste (2513 arpents et 10 perches qui équivalent à 1285 ha) est découpé en 30 parcelles rectangulaires disposées autour d'une longue sommière* partageant la forêt en deux dans une direction sud-ouest / nord-est. Ces parcelles qui portent le nom « d'assiette » ont une superficie de 83 arpents et 70 perches, soit 42,8 ha. Quelques voies sont représentées, dont le chemin de Bonnay, le chemin de Vieilley et le chemin du Bas qui figurent déjà sur les plans antérieurs. D'autres chemins sont évoqués par un court trait à l'emplacement de leur entrée en forêt. La position des bornes est indiquée ainsi que celle d'arbres remarquables. Les Archives municipales possèdent une variante très proche non datée de ce plan portant la cote Yc M1 46 (figure 13). Ces deux documents ont été superposés après schématisation pour comparer les différences géométriques des deux dessins (figure 14). Quelques annotations manuscrites précisent les fonctions et les surfaces des parcelles (*Annexe 4*, p. 34).

Outre la schématisation et la superposition sur une seule figure des contours et des limites parcellaires de la forêt de Chailluz (figure 14, figure 12) indiquées par les plans de 1704 (Archives municipales, Yc G2 47), de 1720-21 (Archives municipales et ONF, non cotés) et de 1738 (Archives municipales, Yc M1 45 et Yc M1 46), on a schématisé et superposé les chemins (planche VII), les bornes (figure 15) ainsi que les entités diverses figurées sur ces plans : arbres remarquables, établissements, entités d'origine naturelle, toponymes

(planche VIII). Les trois plans schématiques résultants ont ensuite été géoréférencés en plaçant les points d'amer sur des points issus du plan à la géométrie la plus précise, celui de 1738 (Yc M1 45)¹⁴⁹.

Un plan daté de 1739 détaille l'organisation du quart de réserve (Archives municipales, cote Yc P2 40 – planche IX). Son échelle est proche de 1 / 5 700. Il précise des superficies et situe plusieurs coupes d'exploitation en cours. Il montre de façon détaillée le tracé du « chemin du Bas », localise les bornes, la chapelle Saint-Gengoul, les fossés, l'emplacement de murs en pierres sèches matérialisant parfois la limite de la forêt et indique la position de « goulots » (chemins de vidange aménagés pour l'évacuation des bois coupés) et de divers chemins.

Les annotations manuscrites sur ce plan, qui permettent de localiser les divers éléments cités ci-dessus, sont transcrites en *Annexe 4*, p. 35-36.

Le tableau ci-dessous récapitule les superficies des différentes portions de bois mentionnées par le plan Yc M1 44 de 1699, le plan non coté de 1720-21 et le plan Yc M1 45 de 1738.

année	Surface du massif de Chailluz	Surface de la forêt de Chailluz de Besançon	surface de bois située sur Valentin	Surface de bois à Châtillon-le-Duc	Surface de bois à Braillans	Surface de bois à Vieilley	Surface de bois à Marchaux
1699		1190 ha					
1704	1662 ha	1451 ha		20 ha réclamés par Châtillon mais exploités <i>a priori</i> par Besançon	105 ha	85 ha	
1721	1885 ha	1683 ha dont 421 ha en réserve et 1262 ha en assiette (30 cantons d'environ 42 ha)	110 ha propriété de l'hôpital du Saint-Esprit (grange de Valentin) et réclamés par Châtillon et Tallenay	44 ha : propriété royale (Bois de la Lave)	108 ha	94 ha	
					57 ha exploités en commun et réclamés par les deux communes		
						62 ha exploités en commun et réclamés par les deux communes	
1738		1713 ha dont 428 ha en réserve et 1285 ha en assiette (30 cantons d'environ 43 ha)					

On voit que la surface estimée de la forêt de Chailluz appartenant à Besançon¹⁵⁰ augmente à systématiquement, et, globalement, de façon importante, sur les plans du 18^{ème} siècle, pour

¹⁴⁹ Voir en fin de partie 2 pour le détail du géoréférencement.

passer de 1190 ha en 1699 à 1713 ha en 1738 (44 % de surface en plus). Les surfaces revendiquées par Braillans et Vieilley augmentent aussi entre 1704 et 1720-21 : de 190 ha en 1704 pour les deux communes réunies, on passe à 259 ha en 1720-21 (+ 36 %, et ce pourcentage est un minimum : on n'a pas pris en compte ici la surface forestière partagée entre Vieilley et Marchaux, qui est mentionnée sur le plan de 1720-21). La superficie actuelle de la forêt de Chailluz - nom à présent attribué exclusivement à la partie du massif appartenant à Besançon - vaut 1673 ha ; si on inclut la surface occupée par l'autoroute A36, on obtient 1697 ha¹⁵¹. L'écart entre la surface incluse dans les limites actuelles de la forêt de Chailluz (1697 ha) et celle indiquée en 1738 (3350 arpents et 80 perches carrées, qui équivalent à 1713 ha) est égale à 16 ha. Cette petite différence, inférieure à 1 % de la surface totale, peut être considérée comme minime, et inhérente à l'incertitude* du mesurage* de la superficie totale de la forêt de Chailluz, dont on doit nécessairement tenir compte, en particulier au 18^{ème} siècle. La surface indiquée en 1720-21 est égale à 1683 ha ; là aussi, on se situe dans la fourchette basse d'une marge d'erreur du mesurage inférieure à 1 %.

La superficie de la forêt de Chailluz (forêt de Besançon) vaut donc 1700 ha +/- 15 ha (3325 arpents +/- 30 arpents) dans le deuxième quart du 18^{ème} siècle, une valeur inchangée au milieu des années 1970¹⁵², moment où l'on perd une vingtaine d'hectares de surface forestière (sur la commune de Besançon) avec la mise en place de l'autoroute A36.

On constate par ailleurs une variabilité assez importante de l'estimation de la surface du quart en réserve, qu'il semble difficile d'attribuer à une erreur de mesurage, étant donné la qualité géométrique des plans de 1738 et 1739 (attestée par leur géoréférencement sur un MNT* issu des données LiDAR) et le niveau de précision théorique du mesurage indiqué sur le plan de la première exploitation du quart de réserve de 1739 (cote Yc P2 40) : une surface parcellaire donnée au pouce carré près (soit moins de 10 cm²).

La surface du quart en réserve est estimée sur les plans d'ensemble de la forêt de Chailluz à 421 ha en 1720-21 (823 arpents 12 perches carrées ½) et 428 ha en 1738 (837 arpents 70 perches carrées), ce qui correspond bien (à quelques arpents ou hectares près) au quart de

¹⁵⁰ On peut noter que les plans du 18^{ème} siècle appellent « forêt de Chailluz » aussi bien les surfaces boisées appartenant à Besançon que celles attribuées à Braillans, Châtillon-le-Duc, Tallenay, Vieilley et même Marchaux. On constate en revanche que Thise, qui est pourtant la limite de la forêt de Chailluz sur toute sa partie sud-est, n'est jamais intégrée dans le compte des surfaces de ce massif forestier.

¹⁵¹ Cette valeur a été mesurée sur SIG à partir du plan parcellaire actuel sous sa forme vectorielle (IGN BD PARCELLAIRE ®).

¹⁵² Les contours de la forêt de Chailluz n'ont pas changé depuis le plan de 1738, dont on a constaté l'excellent rendu géométrique lors de son géoréférencement.

la surface totale de la forêt (1700 ha / 4 = 425 ha). Le plan du quart de réserve de 1739, qui dessine une augmentation de la surface du quart en réserve, indique des valeurs sensiblement inférieures (mais très précises) à celles des deux plans précédents : la surface de « l'ancien quart » vaut 683 arpents et 59 perches, 7 pieds et 5 pouces carrés (349,5 ha¹⁵³). Cet « ancien quart » a été augmenté de 128 arpents et 28 perches, 21 pieds et 4 pouces carrés (65,5 ha) et vaut donc, en 1739, 811 arpents et 88 perches, 6 pieds et 9 pouces carrés (415 ha)¹⁵⁴. On arrive, au final, à une surface comparable (415 ha), bien que légèrement inférieure, aux valeurs des plans de 1720-21 et 1738 (421 ha et 428 ha). Mais la surface indiquée pour « l'ancien quart » devrait coïncider avec celle donnée par le plan de 1720-21 : c'est le moment de sa mise en place, ce qui est bien signalé sur le plan de 1720-21, qui mentionne la pose de bornes pour le délimiter¹⁵⁵. Or, la surface de « l'ancien quart » mentionnée en 1739 est nettement moindre : 349,5 ha au lieu de 421 ha. Il faut donc supposer que le découpage du quart en réserve réalisé en 1721 n'a pas été conforme, sur le terrain, au plan (ou aux prévisions) de 1720-21, et qu'il a été rectifié ensuite, au plus tard en 1738, puisque les contours du quart en réserve figurés sur le plan d'ensemble de la forêt de Chailluz de 1738 se superposent parfaitement avec ceux du plan de 1739.

1.2.2.1.5 - Plans des bois de Bonnay (1740) et de Tallenay (1780) (figures 16 et 17)

Deux autres plans forestiers du 18^{ème} siècle ont été utilisés ponctuellement pour documenter l'occupation des zones boisées limitrophes de Chailluz : un plan de 1740 des bois de Bonnay provenant des Archives départementales du Doubs (figure 16) et un plan des bois de Tallenay de 1780 (Yc P1 16), provenant des Archives municipales de Besançon (figure 17). Ils précisent le découpage et les fonctions des parcelles forestières, l'emplacement de chemins ou d'entités particulières (murs, constructions) et mentionnent quelques toponymes.

¹⁵³ La valeur donnée par le plan de 1720-21 (moment de la mise en place le quart de réserve) est 421 ha.

¹⁵⁴ La surface des parcelles mesurable sur SIG après géoréférencement du plan de 1739 est de 372 ha pour « l'ancien quart » et de 58 ha pour l'augmentation, soit un total de 430 ha qui correspond bien, en tenant compte de la marge d'erreur, à la valeur donnée par les plans de 1720-21 et 1738.

¹⁵⁵ La date de la modification est spécifiée dans les annotations : « L'an mil sept cent vingt un le septieme septembre, je Maitre Pierre francois Dausse Geometre arpenteur Royal de la Maitrise des Eaux et forests (...) me suis rendu en lad ville pour proceder au mesurage et distraction du quart de Reserve de la forest de chaillu appartenant a lad ville et citee de Besançon » (cf. transcription en *Annexe 4*).

1.2.2.2 Plan du 18^{ème} siècle dont l'échelle est inférieure à 1 / 10 000 : la carte de Cassini (figures 18 et 19 et planches X et XI)

La carte de Cassini a couvert au 18^{ème} siècle l'ensemble du territoire français (figure 18). Sa réalisation a pris plusieurs décennies ; cet ensemble de cartes a été établi à partir de levés originaux obtenus en mesurant les distances par triangulation (Cassini de Thury, 1783 ; Pelletier, 1990 ; De Dainville, 2002 ; Lefort, 2004 ; site internet consacré à la carte de Cassini : <http://cassini.ehess.fr/cassini/fr/html/> - lien valide au 1^{er} juin 2014)¹⁵⁶. L'échelle de représentation (1 / 86 400) avait été choisie pour couvrir l'ensemble du territoire tout en étant apte à figurer des détails : rivières, grands chemins, forêts, vignoble, etc., villes, villages, mais également habitat dispersé ou localisation des activités industrielles et économiques. Les légendes montrent la diversité des établissements représentés et les différents types d'occupation du sol retenus (planche X). Besançon et ses alentours sont représentés sur deux feuilles dont les levés ont été réalisés entre 1757 et 1760 ; elles ont été publiées en 1760 et 1762 (feuille 145 de Vesoul et 146 de Besançon, figure 19). Seule la zone couverte par le relevé LiDAR réalisé au printemps 2009 a été prise en compte, ce qui représente une petite partie seulement des deux cartes. Les deux feuilles ont été assemblées, puis l'ensemble a été géoréférencé. Pour faciliter les comparaisons entre les plans des différentes périodes, la carte a par ailleurs été schématisée sur l'emprise de la zone d'étude en procédant de la même façon que pour les plans du 16^{ème} siècle (planche XI).

L'extrait de la carte de Cassini pris en compte ici est décrit et comparé un peu plus loin dans le texte, en même temps que sont présentés des extraits de cartes datant de la fin du 19^{ème} siècle.

¹⁵⁶ Les premiers levés de la méridienne et de sa perpendiculaire ont été faits respectivement vers 1720 et 1735. Les premières minutes ont été réalisées à partir de 1749 (feuille de Paris). La dernière feuille date de 1790 (Tréguier). Quatre générations de Cassini se sont succédé dans cette entreprise cartographique initiée dès le 17^{ème} siècle sous le règne de Louis XIV et terminée à la Révolution Française (Jean-Dominique Cassini, 1625-1712 ; Jacques Cassini, 1677-1756, son fils ; César-François Cassini de Thury, 1714-1784, fils de Jacques Cassini ; Jean-Dominique Cassini, 1748-1845, fils de César-François Cassini de Thury).

1.2.3 - Plans du 19^{ème} siècle

1.2.3.1 Plans du 19^{ème} siècle dont l'échelle est supérieure ou égale à 1 / 10 000

1.2.3.1.1 - Cadastre ancien « napoléonien » (planches XII et XIII et figures 20 à 27)

Le cadastre ancien a été mis en place au tout début du 19^{ème} siècle, sous Napoléon 1^{er}. Il a ensuite été réalisé durant la première moitié du 19^{ème} siècle et a couvert l'ensemble du territoire français. Il se compose de trois éléments : un plan parcellaire qui cartographie le découpage communal en sections et parcelles, les états de section qui répertorient les propriétaires, la nature de l'occupation des sols et les informations toponymiques, et enfin, la matrice des propriétés bâties et non bâties qui enregistre les changements ou les mutations relatives aux biens fonciers. Les échelles de représentation adoptées pour le plan parcellaire sont comprises entre 1 / 1 250 et 1 / 10 000. Ce cadastre ancien a eu pour objectif de décrire et de cartographier les propriétés foncières servant de base à l'assiette fiscale de l'impôt foncier. Les forêts n'entrant pas dans cette assiette, elles y ont sommairement représentées, et seuls leurs contours sont généralement dessinés sur le plan cadastral napoléonien. La notification des informations relatives au contenu des bois et forêts, consignées par écrit (« sommiers¹⁵⁷ ») et sur des plans détaillés, relevait du service des Eaux et Forêts.

Le plan cadastral ancien de Besançon et des communes voisines a été effectué entre 1806 et 1834¹⁵⁸. La forêt de Chailluz occupe les trois premières feuilles de la section A (elles sont présentées réassemblées sur la figure 20). Les informations données sur cette forêt sont sommaires : seuls ses contours sont figurés. Les amorces de quelques chemins sont indiquées, là où ils entrent en forêt ; le découpage parcellaire n'est pas reproduit. D'autre part, la forêt n'est pas dessinée sur le tableau d'assemblage (planche XII).

¹⁵⁷ Un sommier est un document écrit, mis en place et tenu par l'administration de la forêt (Eaux et Forêts, puis ONF), qui archive les informations sur un bois ou une forêt : sylviculture, aménagement* forestier, acquisitions foncières, dépenses et recettes, etc.

¹⁵⁸ Pour les communes touchant Chailluz, les dates de réalisation sont : Braillans, 1806 ; Besançon, 1833-34 ; Bonnay, 1809 ; Châtillon-le-Duc, 1808 ; Mérey-Vieilley, 1806 ; Tallenay, 1808 ; Thise, 1809 ; Vieilley, 1809.

Le cadastre ancien donne en revanche de nombreuses indications sur les zones non boisées situées en périphérie de Chailluz (découpage parcellaire, occupation du sol, voirie, réseau hydrologique, etc.). Les plans parcellaires¹⁵⁹ qui ont été les plus utiles pour les recherches appartiennent aux communes de Besançon, Bonnay (figure 21), Braillans (figure 22), Châtillon-le-Duc (figure 23), Mérey-Vieilley (figure 24), Tallenay (figure 25), Thise (figure 26) et Vieilley (figure 27). Le réassemblage des différentes feuilles du cadastre au voisinage de Chailluz permet de mettre en évidence quelques zones présentant des erreurs géométriques notables de la planimétrie de quelques plans (planche XIII). La divergence la plus importante se situe au nord-est de Chailluz, entre Vieilley et Mérey-Vieilley. Par ailleurs, les contours de Braillans se raccordent mal avec ceux des communes voisines : Besançon, Thise et Vieilley.

Le plan cadastral napoléonien a aussi été exploité sur une zone plus large, afin de situer la forêt de Chailluz dans son contexte environnant. Une zone couvrant environ 12 km sur 15 km¹⁶⁰, qui comprend les territoires de Besançon et de 31 communes limitrophes¹⁶¹ a été prise en considération ; l'ensemble représente environ 670 plans parcellaires, qui ont tous été numérisés pour les besoins de l'étude, puis en partie géoréférencés et au besoin vectorisés.

1.2.3.1.2 - Plan de Valentin intitulé « Le territoire de Besançon » daté de 1802 des Archives municipales de Besançon, cote Yc G2 55 (figure 28)

Ce plan représente la commune de Valentin à une échelle restituée voisine de 1 / 1 700 (échelle de 150 perches de 9,5 pieds). Il date de 1802 (« 1^{er} prairial de l'an X ») et est donc légèrement antérieur au plan cadastral napoléonien (1809) de la même commune.

¹⁵⁹ Les feuilles du cadastre ancien qui touchent la forêt de Chailluz sont : Braillans, feuille unique ; Besançon, section A, 7 feuilles, A4 à A6, A14, A15, A21, A22 ; Bonnay, section B, 1 feuille ; Châtillon-le-Duc, section D, 1 feuille ; Mérey-Vieilley, section D, 1 feuille ; Tallenay, sections A, C et D, 3 feuilles ; Thise, section A, 2 feuilles ; Vieilley, section D, 1 feuille.

¹⁶⁰ Cette surface correspond à l'emprise du relevé LiDAR effectué en 2009 dans le cadre du programme LIEPPEC. Ce relevé est présenté plus loin.

¹⁶¹ Amagney, Arguel, Auxon-Dessus, Avanne-Aveney, Besançon, Beure, Bonnay, Braillans, Chalèze, Chalezeule, Châtillon-le-Duc, Chevroz, Devecey, Ecole-Valentin, Fontain, Franois, Geneuille, Gennes, Marchaux, Mérey-Vieilley, Miserey-Salines, Montfaucon, Morre, Pirey, Pouilley-les-Vignes, Roche-lez-Beaupré, Saône, Tallenay, Thise, Vaire-Arcier, La Vèze, Vieilley.

Il fournit de nombreux détails sur l'occupation du sol de Valentin et sa qualité de restitution géométrique est équivalente à celle du plan cadastral napoléonien. Ce plan de 1802 a été préféré au plan napoléonien à cause de sa légère antériorité et parce que la commune y est représentée sur une seule feuille au lieu d'être scindée en deux (sections A et B) sur le plan de 1809.

1.2.3.1.3 - Carte de Besançon et de sa banlieue datée de 1824 des Archives municipales de Besançon, cote Yc M1 33 (planche XIV et figure 29)

Cette carte intitulée « Carte générale de Besançon et de la banlieue en 8 arrondissements et 18 sections » (planche XIV) est contemporaine de la réalisation du plan cadastral napoléonien. Elle n'indique pas d'échelle, ni de Nord (on peut néanmoins estimer cette échelle à 1 / 15 000). Datée de 1824, elle représente l'ensemble du territoire de Besançon ; un tiers environ de la feuille est occupé par la forêt de Chailluz, avec indication de ses contours et de son découpage parcellaire. Aucune figuration des chemins la traversant n'y est faite. La carte porte la mention suivante : « la forêt de Chailluz forme un plan particulier »¹⁶². Les proportions générales de Chailluz et son découpage sont à première vue similaires à ce qu'on observe sur le plan de 1738 (Yc M1 45) et sur le plan cadastral actuel. Cependant la superposition des trois plans (1738, 1824 et cadastre actuel) révèle que la forêt a été tronquée sur la carte de 1824 d'une largeur correspondant à environ 300 m dans toute sa partie sud-ouest, soit une lacune d'environ 2 cm à l'échelle du dessin (figure 29, au niveau de la section C indiquée sur la carte). De même, les limites de parcelles forestières sont figurées de façon très approximative et franchement éloignées de celles identifiables sur les cartes du 18^{ème} siècle et actuelles. Par conséquent, sa géométrie a été estimée insuffisante pour permettre son utilisation sur SIG. On ne dispose donc d'aucun plan de Chailluz à échelle cadastrale pour la première moitié du 19^{ème} siècle¹⁶³. La carte la plus précise pour cette période est la carte d'état-major, au 1 / 40 000 (réalisée en 1834-35) ; la carte la plus ancienne à grande échelle pour le 19^{ème} siècle date de 1862.

¹⁶² Ce « plan particulier » n'a pas été trouvé dans les recherches en archives.

¹⁶³ Il est possible que les Archives départementales du Doubs conservent un plan de la forêt de Chailluz pour la période 1800-1850, mais le répertoire de la sous-série 7 Mp relatif à l'administration des Eaux et Forêts (Meynet, 2004) consultable actuellement n'en signale aucun. Ce répertoire est en cours de mise à jour.

1.2.3.1.4 - Carte de Besançon et son territoire datée de 1862 des Archives municipales de Besançon, cote Gec Bes 317-1 (planche XV et figure 30)

Cette carte de 1862 à 1 / 10 000 représente l'ensemble de Besançon (planche XV). Parmi toutes les cartes du 19^{ème} siècle consultées, c'est celle qui donne le plus de détails sur la forêt de Chailluz : découpage parcellaire avec sa numérotation, indication du « quart en réserve », emplacement des chemins et d'entités particulières (points d'eau, arbres remarquables, etc.), nombreuses mentions toponymiques. Les contours de la forêt tels qu'ils sont représentés se superposent bien avec l'état actuel (figure 30). La partie relative à la forêt de Chailluz a été schématisée pour faciliter sa lecture. La carte a d'abord été géoréférencée puis schématisée directement sur le SIG¹⁶⁴. On constate ainsi que la forêt de Chailluz était traversée au milieu du 19^{ème} siècle par un grand nombre de chemins (lignes roses et rouges sur la figure 30) qui souvent portent un nom (chemins figurés en rouge sur la figure).

1.2.3.2 Plans du 19^{ème} siècle dont l'échelle est inférieure ou égale à 1 / 10 000

1.2.3.2.1 - Carte d'état-major (source IGN[®]) (figures 31 et 32)

La carte d'état-major est la carte générale de la France qui succède à la carte de Cassini. Elle était principalement destinée à un usage militaire, d'où son nom. Sa première version a été réalisée entre 1818 et 1875 (Huguenin, 1948 ; Lefort, 2004). Les minutes ont été dessinées à l'échelle 1 / 40 000 puis les cartes ont généralement été réduites à 1 / 80 000 pour la publication. Pour la première fois, elles portent des mentions altimétriques ; le relief y est également figuré. Les minutes à l'échelle 1 / 40 000 étaient accompagnées d'un calque sur lequel étaient dessinées des courbes de niveau, utilisées ensuite par les graveurs sur la carte définitive pour le bon placement des hachures représentant le relief. Sa restitution géométrique a été établie à partir d'une nouvelle triangulation de la France due aux ingénieurs géographes.

¹⁶⁴La déformation due au géoréférencement est minimale dans la mesure où la carte de 1862 et le plan cadastral actuel coïncident déjà par superposition simple, en utilisant une fonction polynomiale de premier degré : rotation et homothétie.

Cette nouvelle triangulation découpait le territoire en une vingtaine de polygones séparés par des chaînes principales de triangles formant un quadrillage. Du nord au sud, ces chaînes sont parallèles à la méridienne de Paris et de l'ouest à l'est, elles sont parallèles à sa perpendiculaire qui relie Brest à Strasbourg (*cf.* figure 31). La zone de Besançon est approximativement située sur l'une de ces chaînes principales de triangles (« parallèle de Bourges »).

La représentation du territoire bisontin et de la forêt de Chailluz est répartie sur deux cartes : la « feuille de Gray, partie sud-est » à l'échelle 1 / 40 000, datée de 1835, comprend l'essentiel de la forêt de Chailluz (figure 32) et la « feuille de Besançon, partie nord-est », à l'échelle 1 / 40 000 et datée de 1834, comprend l'extrême sud-ouest de la forêt ainsi que le reste de Besançon. Les reliefs généraux de Chailluz sont évoqués sous la forme de hachures, les chemins principaux sont figurés et certains sont nommés (chemin de Besançon à Vieilley, chemin de Besançon à Bonnay, chemin des Chapelets). L'emprise du boisement est identifiable par une coloration verte. Les limites communales sont indiquées, mais pas la parcellisation forestière. Cette carte à la géométrie fiable permet d'avoir une bonne idée de la topographie générale de la zone de Besançon vers 1835. Son échelle limite néanmoins l'observation à la mention d'entités principales, au détriment des détails qui ne peuvent être dessinés : 50 m dans la réalité sont représentés par 2 mm seulement, ce qui contraint nécessairement la représentation.

On a pu constater, en comparant après géoréférencement la restitution de l'occupation du sol figurée sur cette carte d'état-major avec celle donnée par le plan cadastral napoléonien, que la carte d'état-major rend compte de l'occupation du sol autour de Besançon vers 1834-35 avec une précision presque équivalente à celle du cadastre ancien ; cette carte d'état-major à l'échelle 1 / 40 000 apparaît donc comme une excellente source cartographique à petite échelle pour documenter avec précision l'occupation du sol dans la première moitié du 19^{ème} siècle.

1.2.3.2.2 - Carte des Environs de Besançon datée de 1882 (fonds numérisé BnF <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530210848>) (planche XVI).

Cette carte de 1882 provenant du fonds numérisé de la BnF représente Besançon et sa région proche à l'échelle 1 / 20 000 (planche XVI). Son échelle est suffisamment grande

pour permettre la représentation de détails (courbes de niveaux, réseau de voirie, parcellaire forestier, bâtiments isolés). Réalisée à la fin du 19^{ème} siècle, elle témoigne des mutations de la périphérie bisontine à partir du milieu de ce siècle, après à la mise en place du chemin de fer et la déprise du vignoble, qui cède la place à un espace périurbain résidentiel (*cf.* Chevalier, Scherrer 1955, Royer *et al.* 1988). Elle complète ainsi l'aperçu cartographique des différents états de l'occupation autour de Besançon et de la forêt de Chailluz depuis le 16^{ème} siècle. Elle a été schématisée suivant le même principe que celui adopté pour les cartes du 16^{ème} siècle et la carte de Cassini. Cette carte de 1882 est, après celle de 1862, celle qui représente le réseau viaire le plus complet en forêt de Chailluz.

Un peu plus d'un siècle séparent ce document de 1882 de la carte de Cassini (1760-62, planche XI). La carte de 1882, à l'échelle 1 / 20 000, offre un niveau de détail sensiblement supérieur à celui de la carte de Cassini, dont l'échelle est quatre fois plus petite ; c'est pourquoi certains éléments du paysage peuvent difficilement être mis en perspective entre les deux documents, à l'instar du réseau viaire, très détaillé sur la carte de 1882, et sommairement représenté sur la carte de Cassini¹⁶⁵. Il semble tout aussi hasardeux de comparer l'évolution, entre le milieu du 18^{ème} siècle et la fin du 19^{ème} siècle, de la couverture forestière à partir de ces deux seuls documents, dont on ignore comment ils ont fondé leur cartographie du boisement (quelles sources d'informations et quelles méthodologies de représentation ont été utilisées ?). En revanche, malgré les différences d'échelles de représentation, la progression de l'habitat peut sans doute être appréciée, car on sait qu'un soin particulier a été apporté sur la carte Cassini pour localiser systématiquement l'habitat, et plus généralement les établissements de diverses natures (granges, moulins, cabanes, prieurés, châteaux, etc. ; *cf.* Pelletier, 1990).

On observe ainsi autour du centre-ville historique de Besançon, sur la carte de Cassini que, vers 1762, l'habitat dense était limité à la Boucle et, en rive droite du Doubs, à une toute petite zone, au nord (quartier Battant). Il s'agit là, globalement, des limites dessinées par les remparts de Vauban. La proche périphérie du centre-ville semble composée d'un habitat lâche (semis irrégulier de groupes d'habitats plus ou moins importants), et apparaît assez largement plantée en vignes, surtout autour de la Boucle et le long du Doubs ; les vignes ont en revanche totalement disparu sur la carte de 1882. Plus loin du centre-ville (dans un rayon d'environ 5 à 6 km autour de la Boucle), l'habitat forme en 1762 un semis

¹⁶⁵ Le moindre détail de la représentation des réseaux viaires sur les cartes de l'Ancien Régime est un fait souligné par F. de Dainville (de Dainville, 2002).

assez homogène bien qu'irrégulier, fait de villages, de hameaux ou d'établissements isolés, parmi lesquels on compte une petite quarantaine de granges (rectangles jaunes sur la planche XI). En 1882, l'habitat dense s'est largement développé à l'extérieur de la Boucle, en rive droite (plus du double de la surface de la Boucle), surtout au nord / nord-est, et également vers l'ouest. Plus loin en périphérie, l'habitat dispersé s'est surtout densifié en rive droite du Doubs, alors qu'il s'est assez peu développé en rive gauche par rapport à la carte de Cassini (plateau du marais de Saône). Beaucoup de granges ont disparu sur la carte de 1882 ; il en reste une dizaine en tout, essentiellement au sud de Besançon, autour du marais de Saône. Elles ont quasiment disparu au nord de Besançon, où quatre granges seulement subsistent, dont une seule au voisinage de la forêt de Chailluz. En comparaison, elles étaient nettement plus nombreuses à cet endroit en 1762 : on comptait une douzaine de granges à l'emplacement de l'ancien « Bois de l'Archevêque » (actuels lieudits « Fonds de Chailluz » et « Dessus de Chailluz »), converti en terres agricoles entre la fin du 17^{ème} siècle et le début du 18^{ème} siècle.

1.2.3.2.3 - Cartes des Environs de Besançon datées de 1873 et de 1912 (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530210848> et <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8445709v> - fonds numérisé BnF) (planches XVII et XVIII et figures 33 à 36).

Deux dernières cartes anciennes datées de 1873 et 1912 ont été prises en compte. Publiées respectivement par le Dépôt de la Guerre et le Service Géographique des Armées, on peut les considérer comme des versions remaniées de la première carte d'état-major publiée en 1834-35. Celles-ci avaient été publiées aquarellées et à l'échelle 1 / 40 000 ; les versions de 1873 et 1912 sont monochromes et à l'échelle 1 / 80 000. On reconnaît sur la carte de 1912 (figure 34) le cadrage des cartes de 1834-35 (repérables notamment par des lignes claires quadrillant la carte de 1912). En revanche, la carte de 1873 est cadrée différemment (figure 33). Malgré cette première différence, les représentations qui sont faites de Besançon et de ses environs apparaissent, à l'œil nu, très proches. Il a semblé intéressant de comparer les contenus des différentes versions de ces cartes pour évaluer leurs différences¹⁶⁶, que ce soit au niveau de leur qualité géométrique, de leur précision documentaire ou des modifications

¹⁶⁶ En considérant une précision en rapport avec leur échelle : pour une échelle à 1 / 80 000, 1,25 mm sur le dessin pour 100 m dans la réalité.

du paysage qu'elles rapportent. Ces cartes peuvent aussi être mises en perspective avec la carte de Cassini dont l'échelle est très proche (1 / 86 400), permettant ainsi d'apprécier l'évolution de la représentation cartographique des paysages autour de Besançon à échelle constante entre le milieu du 18^{ème} siècle et le début du 20^{ème} siècle. Enfin, la carte de 1912 est le premier document graphique où figure la parcellisation du quart de réserve, dont le régime d'exploitation a été modifié en 1893¹⁶⁷.

Les trois dernières cartes présentées (1882, 1873 et 1912) ont pour point commun de fournir un dessin riche en informations, mais très chargé et par conséquent difficile à lire. Elles ont été schématisées pour mettre en évidence les différences dans leur contenu et pour en améliorer la lisibilité. Il s'avère notamment que la carte de 1912 contient une information étonnamment riche par rapport à son échelle de représentation (1 / 80 000). Une grande partie de la carte de 1882 a été redessinée ; une zone moins étendue, centrée sur la forêt de Chailluz, a été schématisée pour celles de 1873 et 1912. La planche XVII présente une vue rapprochée sur la zone de Chailluz à partir des cartes de 1873, 1882, 1912 et de la carte d'état-major de 1834-35 (après assemblage des feuilles de Gray et de Besançon). La planche XVIII montre les schémas dérivés. Pour rendre compte de la difficulté à déterminer précisément les limites de la couverture forestière sur les cartes, à cause de la monochromie des documents, ou d'une lisibilité compromise par la quantité d'informations données par certaines cartes, ou encore à cause de l'absence de traits délimitant les différents types d'occupation du sol, on a restitué l'incertitude de lecture en floutant légèrement les bords des zones boisées sur les représentations schématiques.

Le réseau de voies traversant le massif de Chailluz qui est représenté sur la carte d'état-major de 1873 (planche XVIII-c) est presque identique à celui figuré sur la carte de 1834-35 (planche XVIII-d). L'existence de quelques variantes entre les deux documents (à l'ouest du massif, vers le Bois de la Lave et au nord-est, vers la crête, au-dessus de Vieilley, par exemple) indique cependant que le dessin de 1873 n'est pas simplement une copie de celui de 1834-35 : il y a bien des différences entre les deux réseaux de chemins représentés. On a exclu la carte de 1882 (planche XVIII-b) pour la comparaison des réseaux viaires, à cause de sa trop grande échelle par rapport aux cartes d'état-major (1 / 20 000 en 1882, contre 1 / 80 000 en 1873 et 1912). On peut en revanche comparer la représentation des chemins donnée en 1873 et en 1912, et le réseau viaire restitué sur la

¹⁶⁷ Cette date de la conversion du quart de réserve a été relevée dans des carnets manuscrits inédits destinés à consigner les travaux journaliers des agents des Eaux et Forêts.

carte de 1912 est nettement plus important que celui représenté en 1873. On ne sait s'il s'agit là d'un changement réel intervenu en quelques décennies - une augmentation du nombre de chemins alors estimés suffisamment importants pour figurer sur une carte à 1 / 80 000 - ou si les cartographes avaient fait le choix en 1873, pour des raisons esthétiques ou de lisibilité, d'une simplification de la représentation du réseau de chemins.

On a également comparé la restitution du boisement faite sur les quatre extraits de cartes (figure 35), en gardant toutefois à l'esprit qu'elle offre une précision toute relative, notamment en raison de l'échelle des documents.

La restitution de l'occupation du sol sur la carte d'état-major de 1834-35 (pour la zone considérée ici) semble vraiment fiable : elle se superpose très bien, sur la zone d'étude, à l'occupation du sol figurée sur le plan cadastral napoléonien, qui lui est quasiment contemporain¹⁶⁸. On a par conséquent considéré que le boisement figuré en orange sur la figure 35-a était une bonne représentation de la réalité de la couverture forestière au voisinage du massif de Chailluz vers 1835.

En comparaison, le boisement figuré en 1873 semble sensiblement plus étendu (en bleu sur la figure 35-a). Cependant, on peut s'interroger sur la réalité de cette reprise de la forêt : en effet, la couverture forestière restituée moins de dix ans plus tard, en 1882 (en jaune sur la figure 35-b) est à nouveau moins importante, et presque identique à celle de 1834-35. Et le boisement figuré en 1912 (en rose sur la figure 35-c) diffère à nouveau légèrement par rapport celui de 1882. Quelle fiabilité accorder à la couverture forestière restituée par ces différentes cartes, et à la lecture qu'on peut en faire aujourd'hui ?

Il n'est pas exclu que la carte de 1873 a rendu compte d'une reprise rapide, momentanée mais bien réelle de la couverture forestière après 1835. Celle-ci pourrait s'expliquer, au moins en partie, par la rapide et totale disparition du vignoble, historiquement attestée, à Besançon et dans ses alentours dès la première moitié du 19^{ème} siècle (*cf.* Chevalier, Scherrer, 1955). On peut ainsi envisager que, dans la couverture forestière représentée, la carte de 1873 a pris en compte des friches, qui pourraient être d'anciennes parcelles viticoles laissées à l'abandon et qui, plusieurs décennies après cet abandon, auraient déjà revêtu l'aspect d'une forêt. D'autre part, un recul du boisement observé et cartographié en 1882 pourrait être tout aussi réel, et on pourrait le rapprocher historiquement de la mise en place,

¹⁶⁸ On a vérifié cette correspondance en superposant, après géoréférencement, les différents plans et cartes sur SIG.

au lendemain de la guerre de 1870, de nombreux ouvrages militaires autour de Besançon. On sait que les militaires ont eu à ce moment-là des besoins importants en bois¹⁶⁹ (construction, chauffage, etc.) ; et parallèlement, la mise en place des ouvrages militaires a nécessité le déboisement de surfaces étendues, notamment pour des raisons stratégiques, en particulier pour assurer une visibilité optimale depuis les postes d'observation.

Le boisement représenté en 1912 apparaît proche de celui de 1834-35 (figure 36-a), bien que légèrement plus étendu au nord-ouest et nord-est de la zone étudiée (Tallenay, Bonnay, Braillans). La couverture forestière de la carte de Cassini (1760-62) semble sensiblement différente de celle de 1834-35 (figure 36-b), nettement moins étendue en 1762 qu'en 1834-35 à l'est de la zone prise en compte¹⁷⁰. *A contrario*, le boisement semble plus important en 1762 au nord, vers Bonnay et Tallenay. Et dans tous les cas, la couverture forestière actuelle (figure 36-c ; restitution selon les données Corine Land Cover 2006) est nettement supérieure à celle figurée par les cartes anciennes, quelle que soit la période considérée.

Il faudrait, pour établir à quelle carte – de Cassini, d'état-major de 1834-35 ou de 1912 - correspond le minimum forestier, procéder à une enquête plus approfondie, en faisant appel aux archives forestières et aux données cadastrales anciennes : la précision de la figuration des cartes anciennes et leur interprétation ou lecture¹⁷¹ comporte trop d'aléas pour qu'elles servent seules à asseoir une comparaison solide.

¹⁶⁹ Ce fait est notamment confirmé dans les carnets des forestiers des Eaux et Forêts de la fin du 19^{ème} siècle – début du 20^{ème} siècle, qui ont été consultés mais dont il n'est pas rendu compte ici (faute de temps).

¹⁷⁰ La carte de Cassini semble plutôt indiquer des vergers pour cette zone proche de Braillans.

¹⁷¹ Difficultés à évaluer la limite du boisement dans des zones en pente, symbolisées par des hachures, par exemple.

1.3

Données archéologiques, données cartographiques actuelles et données LiDAR

1.3.1 - Données archéologiques

Les connaissances historiques sur la forêt de Chailluz (Dianin, 1995 ; Muller, 1999 ; Bépoix, 2010, essentiellement), et plus généralement, sur la périphérie de Besançon (Fiétier, 1973 ; Fohlen, 1981-82 ; Courtieu, 1982 à 1987 ; Vion-Delphin, 1983, 1987, 1991, 1994, 1995, 2003 ; Bépoix, 2010), ont été exposées précédemment.

Les publications archéologiques sur ce massif forestier, et même sur la périphérie de Besançon, font défaut. Celles qui existent se rapportent le plus souvent au centre-ville historique (la « Boucle »), ou à ses abords immédiats (notamment, Frézouls, 1988 ; Lerat, Walter, 1990 ; Chouquer, 1994 ; Guilhot, 1995 ; Gaston, 2002 ; Barral, Vaxelaire, 2003 ; Walter, Barçon, 2004 ; Stoulig, 2006). Occasionnellement, quelques-unes concernent des sites ou entités archéologiques éloignés du centre historique : Barçon, Jaccottey, 1999, par exemple, est un court article consacré à l'aqueduc antique de Besançon, dont on peut encore suivre aujourd'hui le parcours sur plus de 10 km, depuis la source d'Arcier dont il captait l'eau (son tracé approximatif est représenté sur la figure 37) ; La *Carte archéologique de la Gaule*, consacrée au département du Doubs (Joan, 2003), recense les données archéologiques relatives à toutes les communes du département, pour les périodes antérieures au second Moyen Âge ; une thèse consacrée à la voirie antique (Cloppet, 1996) traite du système routier à l'époque romaine à l'échelle de plusieurs régions, et évoque les voies de communication antiques principales à distance des centres urbains, notamment autour de Besançon ; on trouve parfois quelques renseignements dans le périodique *Gallia Informations*, paru régulièrement jusqu'en 2003, dans les *Bilans Scientifiques Régionaux* du Service Régional de l'Archéologie, ainsi que dans des rapports d'opérations archéologiques, dont certains sont consultables sur le site internet de l'INRAP (<http://www.inrap.fr/>).

Mais aucune publication de synthèse n'a été spécifiquement consacrée à l'occupation du territoire en périphérie de Besançon aux périodes traditionnellement dites « archéologiques » (Préhistoire*, Protohistoire et Antiquité, et aussi, premier Moyen Âge) ; une telle étude, qui prendrait en considération l'ensemble des données archéologiques connues qui sont, en général, enregistrées sur la Carte archéologique nationale*, reste encore à produire intégralement. Pour cette raison, il a été impossible de fonder, dans le cadre de cette thèse, des hypothèses solides sur les interconnexions éventuelles entre les vestiges archéologiques mis

en évidence dans le massif de Chailluz et le centre historique de Besançon, de même qu'il a paru hasardeux de construire des schémas de dynamiques spatiales qui prendraient en compte un périmètre large autour de ce massif forestier : l'occupation de l'espace périurbain est actuellement insuffisamment documentée pour les périodes anciennes.

A partir des informations archéologiques collectées dans le temps de cette thèse – une collecte non exhaustive et donc nécessairement lacunaire¹⁷² –, on a ébauché quelques traits de l'occupation autour de Besançon pour l'époque romaine (toutes périodes confondues, depuis la fin de la période laténienne* jusqu'à la fin de l'Antiquité tardive). Il s'agit simplement là d'estimer une extension maximale possible de l'antique *Vesontio*, de situer les grands axes de circulation connus ou très probables, et de localiser les établissements importants (villas, etc.) recensés en périphérie. Ceci donne quelques grandes lignes du cadre – même s'il est très approximatif – dans lequel s'insère la forêt de Chailluz au cours de l'Antiquité¹⁷³.

La figure 37 présente une vue LiDAR de Besançon et ses environs¹⁷⁴ (modèle numérique de surface avec conservation des structures actuelles construites et suppression de la végétation, application d'un ombrage simple suivant un azimut* de 315° et une élévation de 45°). La zone d'étude retenue pour la thèse et les contours de la forêt de Chailluz sont figurés par des traits en noir. On a estimé l'extension maximale du territoire ou de l'espace périurbain de la ville antique (trait pointillé jaune) d'après la localisation des nécropoles connues (carrés noirs entourés de rouge), quelle que soit leur période d'utilisation pendant l'Antiquité et leur taille (simple petit groupe d'inhumations ou cimetière étendu) : durant l'époque romaine, les nécropoles sont situées aux abords des villes mais hors des zones habitées, et sont souvent implantées le long de voies (*cf.* Ferdière, 1993 ; Crubézy *et al.*, 2007 ; Monteil, Tranoy, 2008, notamment). Leur emplacement est un indicateur des limites de l'habitat au moment de leur utilisation. On a par ailleurs représenté, très schématiquement, les tracés des voies principales antiques connues au nord de la Boucle (traits pointillés bleus), qui sont en partie confirmés par des fouilles archéologiques ; on a également figuré (trait vert) le parcours bien connu de l'aqueduc antique (la source d'Arcier dont il captait l'eau est hors de la zone du relevé LiDAR, à quelques centaines de mètres plus à l'est). Enfin, on a situé dans les carrés blancs

¹⁷² Il n'était pas envisageable d'inclure dans le temps consacré aux recherches pour cette thèse - qui concerne le massif forestier de Chailluz - une étude synthétique des occupations passées de l'ensemble de l'espace périurbain autour de Besançon : le corpus de données existant sur cet espace, qui a été vu seulement en partie et sans aucun approfondissement, est manifestement suffisamment riche pour constituer à lui seul un sujet de recherche transdisciplinaire.

¹⁷³ Ce travail n'a pas été réalisé pour les périodes antérieures à l'Antiquité, faute de temps et de données suffisantes.

¹⁷⁴ Les caractéristiques du LiDAR sont exposées plus loin.

numérotés et entourés de rouge (ils représentent une surface de 400 m de côté) des établissements, ou des groupes d'établissements antiques, de taille manifestement conséquente et implantés à distance du cœur urbain ; la taille de ces sites est simplement indicative ; elle a été estimée d'après les informations données par des fouilles préventives ou de sauvetage, ou par des prospections au sol (on se fonde sur la quantité et le type d'artefacts* découverts, ainsi que sur l'étendue de la zone de présence du mobilier).

Un seul site est connu dans le voisinage nord du massif de Chailluz (n° 1) ; il s'agit d'un établissement antique de grande taille, comprenant des bains et des sols en mosaïque, localisé dans le village actuel de Bonnay. Ce site, reconnu à plusieurs reprises dès le 19^{ème} siècle à l'occasion de travaux d'aménagement dans le village, a été partiellement fouillé en 1999 (Gizard, 1999 ; Joan, 2003, p. 261-262).

Le site n° 2, à plus de 3 km au nord-ouest du massif de Chailluz, est constitué de plusieurs structures dispersées dans le bois de Vauverille sur la commune de Geneuille, et détectées par des prospections au sol (Joan, 2003, p. 308-309). L'une d'entre elles, un petit établissement rural occupé entre le 1^{er} et le 3^{ème} siècle de notre ère (ses dimensions n'excèdent pas 30 m de côté), a été fouillé récemment à l'occasion de la mise en place de la ligne TGV (Goy, 2009).

Le site n° 3, à 1,5 km environ au nord-ouest de la forêt de Chailluz, a été reconnu (mais il n'a pas été fouillé) à l'occasion de travaux d'aménagements routiers dans les années 1970. Ce site de grande taille, à cheval sur les actuelles communes de Châtillon-le-Duc, Miserey-Salines et Auxon-Dessus, a livré, dans la coupe de la rectification routière, du mobilier antique entre 1 m et 3 m de profondeur sur plus de 400 m de longueur (Joan, 2003, p. 144).

Le site n° 4, une tuilerie antique, a été découvert à l'occasion des travaux d'aménagement de l'autoroute A36 dans les années 1970. Cet établissement touche la partie ouest du massif de Chailluz (Joan, 2003, p.299). On a retenu ce site non pas pour ses dimensions (il n'est pas nécessairement de grande taille), mais à cause de sa proximité avec le massif de Chailluz.

Plus au sud, entre le massif de Chailluz et la ville antique proprement dite, les données manquent ; il est donc impossible à l'heure actuelle de savoir si l'absence d'établissements importants observée renvoie-là à une réalité, ou s'il s'agit d'une lacune documentaire.

A moins d'1 km au sud-est de la forêt de Chailluz, le site n° 5 est un établissement de très grande taille (les vestiges observés en prospection à vue dans les champs labourés ont été repérés sur près de 800 m de longueur ; cf. Clerc, 1838 et Paquier, 1986). Il est interprété

comme une villa (Joan, 2003 p. 420). Le mobilier découvert indiquerait une occupation qui couvre une grande partie de la période romaine (présence, par exemple, de monnaies d'Auguste à Constantin 1^{er}). Ce site, découvert au début du 19^{ème} siècle, a été en partie recoupé par la mise en place du chemin de fer dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle et a été partiellement fouillé en 2001 ; il semble, d'après cette dernière fouille, très arasé aujourd'hui.

A environ 2 km plus à l'est, et à près de 3 km au sud-est du massif de Chailluz, le site n° 6 a été prospecté et en partie fouillé dans les années 2000 (Jaccottey *et al.*, 2003 ; Joan, 2003). Plusieurs constructions ont été repérées dans cette zone (prospections aériennes, prospections au sol) ; une fouille (Jaccottey *et al.*, 2003) a mis en évidence une voie antique – probablement la voie principale schématisée en pointillés bleus sur la figure 37 – et a mis au jour les parties d'un bâtiment de taille moyenne (déjà signalé par des prospections aériennes), proche de la voie et contenant du mobilier des 2^{ème} et 3^{ème} siècles.

D'après la *Carte archéologique de la Gaule* (Joan, 2003), on ne recense aucune occupation pour l'Antiquité sur les communes de Devecey, Tallenay et Mérey-Vieilley, qui sont situées au nord de la forêt de Chailluz, ni sur celle de Braillans, qui touche l'est du massif.

Les données archéologiques enregistrées jusqu'en 2009 pour la zone d'étude elle-même, au voisinage du massif de Chailluz, sont rares : on compte une trentaine de points, dont deux seulement sont situés dans la forêt même (figure 38). Ces points représentent les entités ou sites archéologiques suivants : 10 bornes de délimitation territoriale (points verts : 5 bornes attribuées au 18^{ème} siècle, 5 non datées), 11 objets isolés (points jaunes : 5 objets antiques, 2 médiévaux et 4 modernes), 7 fours à chaux (points gris foncé : estimés médiévaux ou modernes), 1 carrière d'argile non datée (point gris clair), 4 occupations hypothétiques (points rouges : 2 antiques, 1 médiévale, 1 de période indéterminée) et deux occupations certaines (points rouges cerclés de noir). Ces dernières sont situées dans la forêt de Chailluz même, sur la crête, au nord / nord-est du massif : le site médiéval de la chapelle Saint-Gengoul, dont les ruines sont encore visibles, surplombe le village actuel de Tallenay et le deuxième site, non daté, supposé pré- ou protohistorique, forme un épaulement en forme d'arc de cercle en bord de crête, à environ 1,5 km au nord-est de la chapelle Saint-Gengoul. A l'exception de la chapelle Saint-Gengoul, documentée historiquement et sommairement fouillée au début des années 1960, tous les points enregistrés et listés ci-dessus résultent d'observations faites au cours de prospections pédestres. On constate ainsi que, dans l'ensemble, le patrimoine archéologique recensé dans le massif de Chailluz est rare jusqu'en 2009.

1.3.2 - Données cartographiques actuelles

1.3.2.1 - Cartes et plans cadastraux

Plusieurs documents cartographiques géoréférencés ont été utilisés pour cette étude :

La carte IGN au 1 / 25 000 a été utilisée sous sa forme numérisée et géoréférencée SCAN 25[®] (aperçu sur la figure 38) ;

On a également fait appel à plusieurs bases de données de l'IGN : données cartographiques vectorielles de la BD CARTO[®] (limites communales, éléments du réseau routier, hydrographie) et de la BD PARCELLAIRE[®] (plan cadastral, bâtiments). Pour quelques communes (Bonnay, Braillans, Tallenay, Vieilley), le plan cadastral géoréférencé au format raster* (BDP25[®]) a été utilisé, à défaut d'une version vectorielle disponible. La figure 39 donne un aperçu du plan cadastral actuel de la zone d'étude. Elle mentionne également les noms des parcelles de la forêt de Chailluz selon le plan cadastral de Besançon (sections RV à RZ, ST, SV et SW) ;

La figure 40 indique le découpage parcellaire et le nom des parcelles selon le plan parcellaire forestier actuel de la forêt de Chailluz. Ce plan est le document cartographique de référence utilisé par les personnels chargés de la forêt de Chailluz à l'Office National des Forêts et au service des Espaces verts de la Ville de Besançon. Le découpage parcellaire indiqué sur ce plan forestier est très proche de celui du plan cadastral présenté sur la figure 39 ; néanmoins, ces deux plans diffèrent légèrement, et certaines parcelles du plan forestier correspondent au regroupement de plusieurs parcelles du plan cadastral. D'autre part, les noms des parcelles du plan forestier sont totalement différents de ceux du plan cadastral. Par exemple, la parcelle n° 1 du plan forestier de la forêt de Chailluz équivaut au regroupement des 3 parcelles RX 0011, RX 0012 et RX 0031 du plan cadastral de Besançon. Les deux plans parcellaires ont ainsi été utilisés comme outils de référence et de communication avec les différents interlocuteurs intervenant dans le cadre des opérations de terrain : Office National des Forêts, Ville de Besançon et autres communes de la zone d'étude, Service Régional de l'Archéologie.

1.3.2.2 - Cartes géologiques

On a aussi pris en compte les données publiées par le BRGM* : la carte géologique¹⁷⁵ au 1 / 50 000 (figure 41) et sa version réactualisée en 2008 au 1 / 150 000 et harmonisée à l'échelle du département (figure 42), ainsi que diverses bases de données consultables sur le site InfoTerre (<http://infoterre.brgm.fr/> lien valide au 1^{er} juin 2014). On a consulté les informations relatives aux cavités souterraines (Moiriat, Longet, 2003), aux mouvements de terrains (Moiriat, 2002), ainsi que diverses données ponctuelles (données lithologiques, stratigraphiques et hydrologiques ponctuelles relatives à la zone d'étude, inventaire minier, cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux, etc.). Ces informations ont été utiles pour la lecture des données LiDAR, notamment pour aider à déterminer l'origine de certains microreliefs, et différencier les entités naturelles des entités d'origine anthropique.

Pour compléter les informations offertes par la carte géologique et par les notices associées¹⁷⁶ (BRGM n° 113 ; BRGM n° 126 ; Lagié, Nagel, 2008), on a consulté quelques ouvrages et articles supplémentaires :

Des ouvrages qui couvrent la Franche-Comté en général : Bichet, Campy, 2009 ; Chorvot, 1991, réactualisé en 2012 (Collectif, 2012) ;

Des publications plus spécialisées : Rosenthal, 1990, pour situer l'emplacement des éventuelles ressources en minerais métalliques autour de Besançon (fer, en particulier) ; Weller *et al.*, 2008 pour localiser d'anciennes exploitations et gisements de sel connus¹⁷⁷ ;

Un article généraliste sur la géologie de la zone du massif de Chailluz, consultable sur internet : Rolin, 2011 (<http://baladesnaturalistes.hautetfort.com/tag/patrick+rolin> lien valide au 1^{er} juin 2014) ;

Des documents relatifs aux zones karstiques : Nicod, 1994 et Salomon, 2006.

Voici un résumé des informations qu'apportent ces différents documents :

¹⁷⁵ La carte géologique au 1 / 50 000 de la zone d'étude est répartie sur deux feuilles : feuille n° 113 de Gy, réalisée en 1970, et feuille n° 126 de Besançon, réalisée en 1934.

¹⁷⁶ Pour information, les descriptions données par ces trois notices pour les niveaux géologiques les plus représentés sur la zone d'étude sont reproduites en annexe 5 du volume *Annexes*.

¹⁷⁷ Ces publications indiquent qu'il n'y a pas, *a priori*, de ressources en fer (ou autre minéral métallique) et en sel sur la zone d'étude.

D'une manière générale, la structure géologique du département du Doubs se caractérise par une succession de zones subtabulaires (plateaux¹⁷⁸) et de zones plissées (faisceaux¹⁷⁹) (cf. fiche DREAL valide le 1^{er} juin 2014 http://www.franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=391). La couverture géologique du Doubs est presque totalement formée de strates calcaires provenant de formations sédimentaires de l'ère Secondaire (Trias, Jurassique, Crétacé). Ces calcaires sont, sur la plus grande partie du département, des roches massives qui affleurent ; certains niveaux (Jurassique moyen et supérieur) sont exploités comme carrières et fournissent des pierres destinées à différents usages : pierres de taille, moellons, laves, granulats de divers calibres.

A proximité de Besançon, le massif de Chailluz repose, pour l'essentiel, sur un plateau calcaire légèrement ondulé, orienté selon une direction naturelle sud-ouest / nord-est. Il est marqué par la présence de nombreuses dolines (plusieurs centaines), dépressions naturelles causées par une érosion de la pierre en surface (dissolution du calcaire sous l'action de l'eau de pluie et, dans une moindre mesure, gélifraction de la pierre) et par des affaissements en sous-sol liés à des failles* souterraines, nombreuses dans les zones karstiques (cf. Salomon, 2006). La planche XIX donne un aperçu 3D du relief naturel au nord de Besançon, après soustraction artificielle de la végétation ; cette vue a été réalisée d'après les données LiDAR acquises en 2009. Les dolines, qui ont une forme sensiblement circulaire et un fond relativement plat, ont des dimensions variables ; une doline de taille moyenne en forêt de Chailluz a un diamètre en surface d'environ 50 m et une profondeur au centre d'une petite dizaine de mètres. Le plateau calcaire qui s'étend au nord de Besançon, largement recouvert par la forêt, est limité sur son côté nord / nord-est par une zone de plis dont le plus méridional – qui est aussi le plus marqué – est occupé par le « Bois en Côte » de la forêt de Chailluz.

Les niveaux géologiques sur lesquels s'étend la forêt de Chailluz appartiennent, pour l'essentiel, au Jurassique moyen (figures 41 et 42) : Bathonien (environ 40 % de la zone d'étude - niveau noté J 2 sur la carte au 1 / 50 000 et n° 88 sur la carte au 1 / 150 000) et Bajocien supérieur (30 % de la zone d'étude – J 1b sur la carte au 1 / 50 000 et n° 91 sur la carte au 1 / 150 000). 10 % de la zone d'étude sont constitués du niveau Bajocien inférieur J 1a (n° 93 de la version au 1 / 150 000). Les calcaires des niveaux géologiques J 2, J 1b et

¹⁷⁸ Les plateaux sont formés de couches tabulaires ou faiblement ondulées, recoupées par des failles et nivelées par des surfaces d'érosion.

¹⁷⁹ Les faisceaux sont d'étroites zones plissées, faillées et plus ou moins disloquées, qui s'allongent entre les plateaux.

J 1a sont exploitables en pierres de construction. Ces trois niveaux géologiques constituent le sous-sol de l'ensemble de la partie en plateau du massif forestier de Chailluz, à l'exception de trois petites zones interprétées comme des dépôts fluviatiles anciens sur la carte au 1 / 50 000 et comme des couches d'argiles* d'altération par la carte au 1 / 150 000, plus récente (couche FR ou n° 11, environ 80 ha en tout, soit 2 % de la surface de la zone d'étude). Sur la face nord du pli montagneux qui borde le nord de la forêt de Chailluz, on trouve à nouveau, dans la partie nord-ouest de la zone d'étude, des calcaires J 2 et J 1b ; la partie nord-est de ce pli montagneux est essentiellement occupée par des éboulis* (couche E ou n° 2, 5 % de la zone d'étude). Enfin, vers la commune de Braillans, dans la partie est de la zone d'étude, on rencontre ponctuellement des niveaux calcaires plus récents (Callovien et Oxfordien : J 3 ou n° 87, et J 4 ou n° 83).

Les calcaires compacts, massifs et fins du Bathonien (J2) sont gélifs et sensibles à la dissolution et, de ce fait, propices à la formation de dolines ou de lapiaz*. Ils se découpent en petits parallélépipèdes (« moellons ») et, lorsqu'on se situe dans la partie supérieure de la couche (au voisinage du niveau Callovien J 3a), ils se débitent en fines dalles ne dépassant pas 10 cm d'épaisseur (« laves »). Autour de Besançon, les laves ont été employées pour couvrir des toitures et pour édifier des murs et murets de délimitation de propriétés ou de parcelles. On peut même en observer, par endroits, employées dans les voûtes de l'aqueduc antique, au sud-est de Besançon. Quant aux moellons, on les utilise couramment pour bâtir des murs.

Les pierres de taille aux teintes bicolores bien caractéristiques des édifices du centre ancien de Besançon sont extraites du niveau J 1b du Bajocien supérieur, dit « Grande oolithe ». Cette pierre résistante au gel, de bonne qualité, se débite en bancs d'épaisseur pluri-décimétriques. Sur la zone d'étude, plusieurs carrières destinées à l'exploitation de cette Grande oolithe étaient autrefois installées aux lieudits Torcols, Dessus-de-Chailluz, ou encore, aux Graviers-Blancs¹⁸⁰. Elles ont fourni des pierres de taille pour l'édification de nombreux bâtiments dans Besançon. Enfin, beaucoup de foyers de cheminées bisontines proviennent de la carrière Locatelli (calcaires oolithiques bleutés ou jaunâtres), exploitée après la Deuxième Guerre mondiale dans le quartier de Palente. Les pierres de cette carrière ont en effet une porosité capable d'absorber la dilatation différentielle consécutive

¹⁸⁰ Il existe d'autres carrières autrefois ouvertes dans ce niveau géologique à différents endroits autour de Besançon ; on a uniquement cité ici les lieudits proches de la forêt de Chailluz. Pour rappel (*cf.* partie 1.1.2) certaines archives citent le lieudit « Combe aux Chiens » comme « perrière de la Cité » au 16^{ème} siècle.

à la chauffe sans se fracturer ; elles sont ainsi bien adaptées à la fabrication de foyers de cheminée¹⁸¹.

Sur la commune de Braillans, le niveau de calcaire Oxfordien J 4 ou n° 83 correspond à des marnes pyriteuses exploitées pour la fabrication de tuiles. A l'ouest de cette commune, le niveau J 3 ou n° 87 est, dans sa partie supérieure (Callovien supérieur), un calcaire argileux à oolithes ferrugineuses ; ces oolithes ne sont pas – *a priori* – exploitables pour la production de fer. La partie inférieure de ce niveau J 3 (Callovien inférieur) est connue sous le nom de Dalle nacrée. Ce calcaire est employé pour la fabrication de laves.

Au nord-est de la zone d'étude, les pentes du versant nord du pli montagneux sont majoritairement occupées par des éboulis. Ces derniers masquent partiellement un niveau d'argiles marneuses grises du Lias (*cf.* Rolin, 2011, cité plus haut) ; on remarque également une couche de calcaires oolithiques roux et ferrugineux de l'Aalénien, notée I 6-5 sur la carte au 1 / 50 000.

1.3.2.3 - Carte pédologique

Les sols* de la zone d'étude de Chailluz sont renseignés par une carte pédologique* au 1 / 100 000 parue fin 2012 (Gaiffe, Bruckert, 2012 ; voir figure 43) Sa notice nous informe que ces sols sont situés sur « de puissantes séries de calcaires bajociens et bathoniens fortement karstifiés et faillés (...) qui imposent une mise en valeur forestière (...). Les « chaînes de sols du karst » s'y développent dans des altérites* autochtones (*unités 11, 12 et 13*¹⁸²) ou dans des matériaux de recouvrement (*unité 9*). Quelques dépôts riches en chailles de l'Argovien parsèment la surface et créent des enclaves de sols très acides (*unités 38 et 39*) » (Gaiffe, Bruckert, 2012 p.47-48).

60 % environ de la zone d'étude sont occupés par des sols aérés sur roches fracturées (la valeur est aussi de 60 % lorsqu'on prend seulement en compte la forêt de Chailluz). Ces sols bien drainés et sains, d'épaisseurs variables, sont formés d'argiles et de limons de décarbonatation. Il s'agit sur la figure 43 des zones portant les numéros 8 à 14.

¹⁸¹ Merci à Paul Broquet pour ces informations sur les cheminées bisontines, qui paraîtront prochainement dans un ouvrage consacré au quartier Saint-Claude de Besançon.

¹⁸² Voir la figure 43 pour la localisation de ces unités pédologiques sur la zone d'étude.

19 % environ de la zone d'étude (22,5 % pour la forêt de Chailluz) sont recouverts de sols généralement épais, lessivés et pauvres qui se sont développés sur des niveaux de calcaires durs, modérément fissurés et riches en silice. Ces sols limoneux en surface, limono-argileux ou argilo-limoneux en profondeur sont acides. Ils correspondent sur la figure 43 aux numéros 37 à 41.

8,5 % de la zone d'étude (3,5 % pour la forêt de Chailluz) sont des surfaces de très forte pente (supérieure à 50 %). Les sols de ces zones pentues, souvent formés sur des éboulis, sont généralement fertiles et permettent le développement d'une couverture arborée productive (vergers ou forêts). Ils correspondent aux numéros 43 et 45 sur la figure 43.

A partir des indications fournies par la notice de la carte pédologique, on a constitué une carte des aptitudes culturales des sols de la zone d'étude, telles qu'elles sont estimées selon les critères pédologiques actuels. On a réuni ces aptitudes en 8 catégories dont la répartition est présentée sur la figure 44¹⁸³. Près des trois-quarts de la zone d'étude (72 %) sont considérés aujourd'hui comme des sols aptes au développement de forêts ; 60 % de la zone d'étude sont classifiés en sols donnant des forêts productives (18 %) et très productives (42 %). 4 % seulement de la zone d'étude sont considérés comme adaptés à un usage agricole (cultures saisonnières). Les 24 % restants sont composés de sols adaptés à la prairie (12,5 %) et de sols pauvres où peuvent pousser des pelouses ou des broussailles (11,5 %).

En résumé, les sols de la zone d'étude sont (selon les critères pédologiques actuels) surtout favorables au développement d'un milieu forestier, majoritairement des forêts productives et très productives. Les surfaces propices aux cultures sont presque inexistantes ; la partie sud-ouest de la zone d'étude convient cependant aux prairies. Enfin, la partie nord-est de la zone d'étude, surtout composée de terrains en pente mal drainés et exposés au nord, est composée de sols médiocres mal adaptés aux cultures et aux prairies ; pour cette raison, leur utilisation à des fins agricoles a été généralement abandonnée aujourd'hui, et ces espaces ont été convertis en surfaces forestières.

¹⁸³ Carte établie par C. Fruchart d'après les données indiquées par la notice de la carte pédologique de 2012. Les 8 catégories ont été définies d'après les aptitudes mentionnées sur la légende de la carte pédologique et dans la notice. Ces dernières sont, pour la zone d'étude : toutes cultures adaptées aux conditions climatiques ; cultures à cycle terminé en début d'été ; cultures et prairies ; prairies ; prairies et prairies très humides ; prairies médiocres sensibles au piétinement ; pelouses et broussailles ; forêts peu productives, vignes, vergers ; forêts moyennement productives ; forêts productives à moyennement productives ; forêts de stabilisation des terrains, productives une fois installées ; forêts productives ; forêts très productives. Les 8 catégories indiquées sur la figure 44 correspondent parfois au regroupement de plusieurs aptitudes de la liste ci-dessus ; par exemple, tous les terrains adaptés aux cultures ont été regroupés en une seule catégorie.

1.3.2.4 - Carte des stations forestières

On a également utilisé les données relatives aux stations* forestières, produites par l'ONF. Pour la zone d'étude, on dispose d'un catalogue synthétique des stations (Beaufils, Bailly, 1998) et des cartes des stations forestières des forêts de Chailluz, Braillans, Mérey-Vieille et Thise. Ces données (catalogue synthétique et carte des stations), qui ont pu être étudiées dans le cadre de la thèse, sont des documents destinés à une diffusion interne à l'ONF et, pour cette raison, ils ne sont pas figurés ici. Ces données offrent, du point de vue cartographique, un niveau de détail nettement supérieur à celui de la carte pédologique au 1 / 100 000. La forêt de Chailluz, qui est détaillée sur la carte pédologique en 22 zones rattachées à 14 types de sols différents, est divisée en plus de 500 zones appartenant à 15 types de stations (hors clairières) sur la carte des stations forestières. Les données stationnelles fournissent également des renseignements complémentaires à ceux donnés par la carte pédologique (par exemple, précisions sur l'épaisseur des sols et sur leur fertilité sylvicole). La figure 45 permet de comparer, sur une surface échantillon en forêt de Chailluz (un carré de 500 m de côté situé au cœur du massif), les différences entre les informations apportées par la carte pédologique publiée en 2012 et celles provenant de la carte des stations forestières de l'ONF établie au début des années 2000.

Très globalement, la forêt de Chailluz est surtout peuplée de hêtres, de chênes (sessiles, majoritairement) et de charmes. On y rencontre également, parmi les espèces dominantes mais en moindre proportion, des érables et des tilleuls. L'enrésinement est faible et cantonné à quelques parcelles dans la partie est de la forêt, vers Braillans et Mérey-Vieille.

Les descripteurs pris en compte pour la caractérisation des stations forestières de la zone d'étude sont des données botaniques, climatiques, topographiques et pédologiques (*cf.* Bailly, Beaufils, 1998, p. 3-38). Les unités stationnelles sont définies en caractérisant :

- Les espèces végétales représentées (étage dominant*, sous-étage* et strate herbacée) ;
- Le zonage climatique, établi d'après l'altitude et la pluviométrie saisonnière ;
- Les caractéristiques topographiques considérées à moyenne échelle (plateaux, versants (adret ou ubac), fonds de vallon), afin de prendre en compte les variations climatiques et hydriques très locales liées aux micro-variations du relief ;
- La nature du substrat et les produits d'altération qui le recouvrent, car ils influent sur la ressource minérale offerte à la végétation ainsi que sur le bilan hydrique.

Des groupes socio-écologiques d'espèces indicatrices, qui prennent en compte les espèces des différentes strates végétales (herbacées, arbrisseaux*, arbustes* et arbres) ont été constitués dans le catalogue synthétique des stations forestières. Sur la zone d'étude, on compte une vingtaine de groupes (par exemple, groupes calciclinales*, acidiclinales*, etc.¹⁸⁴).

La base de données associée à la carte des stations de la forêt de Chailluz spécifie les degrés de fertilité sylvicole des sols, suivant quatre catégories : fertilité très faible, moyenne, bonne et très bonne. Ces données de fertilité ont été figurées sous la forme d'une carte, présentée sur la figure 46. D'autre part, une carte de l'épaisseur des sols a été réalisée, en se basant sur les indications données par le catalogue des stations forestières, qui précise les épaisseurs de sols associées à chaque type de station (épaisseur inférieure à 20 cm, comprise entre 20 cm et 40 cm, comprise entre 40 cm et 60 cm, et épaisseur supérieure à 60 cm) ; cette deuxième carte est présentée sur la planche XXVIII et décrite plus loin, dans la deuxième partie¹⁸⁵.

La fertilité des sols de la forêt de Chailluz se répartit de la manière suivante : 8 % environ de la forêt correspondent à des sols de fertilité très faible, 44 % à des sols de fertilité moyenne, 30 % à des sols de bonne fertilité et 16,5 % à des sols de très bonne fertilité. Il reste 1,5 % de surface forestière occupé par des clairières, parkings, etc. pour lesquels le degré de fertilité n'est pas renseigné. La carte de la figure 46 montre que ces différentes qualités de sols sont relativement mélangées sur le massif, et des surfaces peu fertiles côtoient presque partout des espaces de bonne fertilité ; si bien qu'on ne voit pas de très grandes surfaces de même degré de fertilité d'un seul tenant (plusieurs centaines d'hectares). On peut quand même distinguer trois zones à dominance de bonne et très bonne fertilité, qui forment trois longues bandes (deux orientées sud-ouest / nord-est et une orientée nord-sud). Une première zone, large d'environ 800 m (« zone fertile 1 » sur la figure 46), s'étire d'ouest en est dans toute la partie centrale de la forêt, autour du chemin de Vieilley, puis dans le prolongement de son axe vers l'est après les Grandes Baraques. La deuxième bande de bonne ou très bonne fertilité est plus étroite, large d'environ 500 m, au pied des pentes qui forment la partie nord du massif. A cet endroit, la meilleure fertilité des sols est probablement due à une augmentation de leur épaisseur, conséquence du colluvionnement* naturel en bas de pentes. Enfin, la troisième bande de terrain fertile est située dans la partie centre-est du massif et orientée sensiblement nord-sud ; elle est large de plusieurs centaines de mètres.

¹⁸⁴ Le « Diagramme combinant les gradients trophiques et hydriques de répartition des espèces végétales » (in : Rameau et al., 1994, figure 10, p. 38), présenté en illustration dans le glossaire en volume *Annexes*, à la suite de l'entrée « acidiclinal », donne les dénominations des différents types de groupes socio-écologiques en fonction de leurs affinités milieu acide/milieu calcaire.

¹⁸⁵ Ces cartes de fertilité et d'épaisseur des sols de la forêt de Chailluz ont été réalisées par C. Fruchart d'après les données ONF.

1.3.1 – Données LiDAR

Les recherches menées dans cette thèse reposent en grande partie sur l'analyse et l'interprétation d'un relevé LiDAR réalisé au printemps 2009 (*cf.* aperçu pour la zone d'étude sur la figure 47). En complément de cette information altimétrique en trois dimensions, une orthophotographie* de la zone d'étude d'une résolution de 20 cm (la figure 48 en donne un aperçu) a été effectuée en même temps que l'acquisition LiDAR¹⁸⁶. Ce cliché, considéré seul, est difficilement exploitable à des fins archéologiques : la zone d'étude est en grande partie sous couverture forestière. Il constitue cependant une source d'information importante, et permet par exemple de repérer les zones de végétation persistante (ici, des résineux), source potentielle de lacunes des données LIDAR au niveau du sol. L'orthophotographie donne aussi la localisation des aménagements actuels (parkings, lignes EDF, etc.), ce qui permet de situer les microreliefs qui leur sont liés sur le relevé LIDAR et de reconnaître, parmi toutes les micro-variations topographiques qu'on détecte, celles qui ne sont assurément pas des vestiges archéologiques. Elle indique également le degré d'anthropisation des zones d'investigation (densité du bâti ou du réseau de voirie actuel à proximité de la zone qui fait l'objet des recherches, etc.), ce qui est une information utile, notamment pour une préparation efficace des prospections sur le terrain. C'est, en résumé, un document visuel indispensable pour contextualiser les données LiDAR par rapport à l'occupation du sol actuelle.

1.3.2.1 - Le LiDAR : généralités

Le LiDAR – acronyme de *Light Detection And Ranging* – est une technique de télédétection active qui permet d'obtenir des relevés altimétriques en trois dimensions d'espaces balayés par un rayon laser. Trois variantes de cette technologie existent : le LiDAR terrestre (TLS, *Terrestrial Laser Scanning*), le LiDAR aéroporté (ALS, *Airborne Laser Scanning*) et le LiDAR bathymétrique (ALB, *Airborne Laser Bathymetry*). Le LiDAR terrestre est principalement destiné au relevé d'entités ponctuelles ou d'espaces

¹⁸⁶ L'orthophotographie a été réalisée en trichromie RVB (trois bandes séparées : rouge, vert et bleu) et également en proche infra-rouge.

d'étendue limitée (bâtiments, objets, arbres, par exemple) ; le LiDAR aéroporté permet de couvrir en les survolant par avion, hélicoptère ou drone, des territoires plus ou moins étendus et le LiDAR bathymétrique dispose de lasers et d'équipements spéciaux permettant le relevé topographique de terrains faiblement immergés. Le principe de fonctionnement du LiDAR est détaillé plus loin, en début de deuxième partie.

La première utilisation de cette technique a suivi de près l'invention du laser : le LiDAR a été employé au début des années 1960 pour mesurer la distance de la Terre à la Lune (Smullin et Fiocco, 1962). Cette technologie s'est ensuite développée et a été largement exploitée dans le domaine des Sciences Physiques et des Sciences de la Vie et de la Terre : étude de phénomènes météorologiques ou climatiques, contrôle de pollutions atmosphériques ou maritimes, foresterie (calcul de biomasses, de cubages*, de débits, etc.), études géologiques, hydrologiques, sismologiques, géomorphologiques*, etc.¹⁸⁷. Le LiDAR est aussi utile aux géographes et aux cartographes, car il documente en détail l'occupation du sol (une thèse récente a, par exemple, été consacrée à la classification de données LiDAR en milieu urbain : Mallet, 2010).

L'utilisation du LiDAR aéroporté en France pour des recherches archéologiques a fait son apparition au début des années 2000 (*cf.* notamment Sittler *et al.*, 2007 ; George-Leroy *et al.*, 2008 ; Nuninger *et al.*, 2008¹⁸⁸) ; d'abord employé de façon exceptionnelle, il s'est largement répandu au cours des cinq dernières années. Cette technologie est à présent mise à contribution aussi bien dans le cadre de l'archéologie préventive (des données LiDAR ont par exemple été étudiées pour des diagnostics archéologiques lors de la mise en place de lignes TGV¹⁸⁹) que dans le cadre de l'archéologie programmée, tout

¹⁸⁷ Les publications dans ce domaine sont nombreuses. On peut citer par exemple, parmi les nombreux articles consacrés au LiDAR dans le domaine des Sciences Physiques ou des Sciences de la Vie et de la Terre, quelques publications récentes librement consultables sur internet : Wang *et al.* 2013, <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/78/35/54/PDF/acp-13-269-2013.pdf> (article relatif à l'utilisation du LiDAR pour l'étude du comportement de microparticules dans l'atmosphère - consulté le 1^{er} juin 2014) ; Wulder *et al.*, 2012, <http://www.cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/33377.pdf> (article relatif à l'utilisation du LiDAR en foresterie - consulté le 1^{er} juin 2014) ; Shaw, 2012, http://www.researchgate.net/publication/235654915_Preliminary_notes_on_the_marine_geology_off_south_west_Newfoundland_based_on_a_merged_multibeamLiDAR_data_set/file/d912f51252a0c07168.pdf (rapport préliminaire sur une étude géologique de fonds marins côtiers à l'aide de la technologie LiDAR – consulté le 1^{er} juin 2014) ; on trouve également de nombreux articles dans la rubrique « publications » du site internet du MATIS (laboratoire de recherche de l'IGN) : http://recherche.ign.fr/labos/matis/publiMATIS_ppal.php (consulté le 1^{er} juin 2014).

¹⁸⁸ Rapport disponible sur HAL-SHS : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00483129> (consulté le 1^{er} juin 2014).

¹⁸⁹ *Cf.*, par exemple, un communiqué de presse de Réseau Ferré de France sur l'utilisation du LiDAR pour les diagnostics archéologiques relatifs à la LGV Est européenne : <http://www.rff.fr/fr/presse/communiqués-de-presse/2008-64/lgv-est-europeenne-phase-2> (consulté le 1^{er} juin 2014).

particulièrement lorsque les recherches sont menées en milieu forestier. On songe ici, par exemple, aux actions pour la prise en compte et la sauvegarde du patrimoine historique et archéologique en forêt initiées par l'ONF ou par des Services Régionaux de l'Archéologie (opérations de prospection-inventaire ou de prospections thématiques) ; ou encore, à l'intégration du LiDAR dans le cadre de programmes de recherches universitaires ou de fouilles programmées. On peut citer notamment à ce titre, dans le quart nord-est de la France, l'intégration du LiDAR pour l'étude du site de Bibracte (Bourgogne), objet de nombreuses investigations archéologiques depuis plusieurs décennies, l'exemple en Lorraine de la forêt de Haye, vers Nancy, où sont menées des recherches transdisciplinaires depuis plus de dix ans en faisant appel, entre autres, à des données LiDAR (George-Leroy *et al.*, 2009) ; en Franche-Comté, l'exploitation de données LiDAR a été intégrée à une thèse (Laplaige, 2012) sur l'agglomération antique de Mandeure-Mathay, objet d'un Programme Collectif de Recherches entre 2001 et 2011 ; on peut également citer l'utilisation du LiDAR pour l'étude des vestiges de la Première Guerre mondiale en forêt d'Argonne (Lorraine et Champagne-Ardenne). On pourrait ainsi multiplier les exemples d'utilisation du LiDAR pour des recherches archéologiques aujourd'hui, et à travers toute la France.

A l'échelle internationale, l'usage du LiDAR en archéologie est maintenant courant. Le Royaume-Uni, pionnier dans son utilisation pour l'archéologie des paysages, est probablement à l'heure actuelle l'un des pays où son exploitation est particulièrement bien développée. A titre d'exemple, on peut citer les abondantes publications répondant au mot-clé « lidar » (plus de 100) et librement consultables sur le site internet d'*English Heritage* (<http://www.english-heritage.org.uk/>), institution britannique sensiblement équivalente à la réunion de nos Monuments Historiques et de nos Service Régionaux de l'Archéologie. On pense par exemple parmi celles-ci, à deux guides relatifs à l'usage du LiDAR en archéologie : *3D Laser Scanning for Heritage*¹⁹⁰ (Mills, Andrews, 2011) et *The Light Fantastic*¹⁹¹ (Crutchley, Crow, 2010). On songe aussi à de nombreux articles, travaux universitaires ou rapports de synthèse qui évoquent des problématiques relatives à l'étude des paysages passés. En voici quelques références : Devereux *et al.*, 2005,

¹⁹⁰ <http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/> (valide le 1^{er} juin 2014).

¹⁹¹ <http://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/> (valide le 1^{er} juin 2014).

Crow *et al.*, 2007, Opitz, 2008, Crutchley, 2009, Heritage, Large, 2009, Challis *et al.*, 2011, Royall, 2011¹⁹², Shaw, Corns, 2011, Deegan, 2013¹⁹³.

Beaucoup d'autres pays développent des projets d'archéologie du paysage ou mènent des recherches archéologiques exploitant des données LiDAR. On peut citer, par exemple, en Allemagne et en Norvège, des programmes de cartographie systématique et à large échelle des entités archéologiques détectées par LiDAR impactant des surfaces de plusieurs milliers de km² (*cf.* Risbol *et al.*, 2006 ; Hesse, 2013). Ces travaux de cartographie sont accompagnés d'une réflexion sur le concept même « d'entité archéologique » et sur les informations historiques et patrimoniales qu'elles fournissent, tout en étant l'occasion d'améliorer les techniques d'exploitation du LiDAR (mise au point de nouveaux outils de visualisation, par exemple). On pense également, en Europe, à des études transdisciplinaires sur les paysages passés et sur les dynamiques paysagères menées en Autriche (Doneus *et al.*, 2007 ; Doneus, Briese, 2011), en Belgique (Werbrouck *et al.*, 2011 ; Deforce *et al.*, 2012), en Hongrie (Zlinszky *et al.*, 2011), en Italie (Opitz, 2008 ; Forlin, 2012), en Slovénie (Stular, 2011 ; Stular *et al.*, 2012 ; Mlekuz, 2013), par exemple. Plus loin, on peut citer des recherches menées au Cambodge par une équipe internationale (chercheurs australiens, français, cambodgiens, hongrois, japonais, américains et anglais) autour du site d'Angkor (Evans *et al.*, 2013) ; en Chine, pour détecter les épaves de bateaux échoués dans des zones côtières accidentées (Tian-Yuan Shih *et al.*, 2013) ; à Hawaï, pour cartographier des aménagements agricoles abandonnés (Mc Coy *et al.*, 2011). En Mésoamérique, l'utilisation du LiDAR a apporté des connaissances nouvelles sur l'occupation Maya, grâce à la mise en évidence de nombreux vestiges encore inconnus et conservés sous forêt (Chase *et al.*, 2011, 2012¹⁹⁴). En Amérique du Nord, on peut citer l'emploi du LiDAR pour étudier les traces laissées par des populations amérindiennes et encore détectables aujourd'hui à la surface des sols : tertres monumentaux dans l'Ohio, par exemple (Hopewell Mound Group, aménagements réalisés par des populations ayant vécu entre le 2^{ème} siècle av. n. è. et le 6^{ème} siècle ap. n. è. - voir : http://www.ohioarchaeology.org/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=233&Itemid=32 lien valide le 1^{er} juin 2014), ou les « shell mounds » du nord de la

¹⁹² <http://www.english-heritage.org.uk/publications/nmp-south-dorset-ridgeway/> (valide le 1^{er} juin 2014).

¹⁹³ <http://www.english-heritage.org.uk/publications/cumbria-terrestrial-mineral-resource-assessment/> (valide le 1^{er} juin 2014)

¹⁹⁴ Article consultable sur internet : <http://www.pnas.org/content/109/32/12916.full> (valide le 1^{er} juin 2014).

Floride (autres types de tertres datables de la période dite « Archaic Period », sensiblement équivalente au Néolithique en France : Randall, 2014). Le LiDAR est aussi employé pour mieux connaître l'extension de l'occupation du sol par les colons venus d'Europe au cours de l'époque moderne : vestiges de fermes et d'aménagements agropastoraux dans les forêts du Connecticut (Pachaug State Forest, vestiges datés du 17^{ème} siècle ; voir : <http://news.nationalgeographic.com/news/2014/01/140103-new-england-archaeology-lidar-science/> lien valide le 1^{er} juin 2014), ou encore, vestiges militaires du 18^{ème} siècle au Canada (Fort Beauséjour–Fort Cumberland National Historic Site, voir Millard *et al.*, 2009). On pourrait, là aussi, multiplier les exemples à travers le monde de l'utilisation de la technologie LiDAR pour renseigner l'occupation du sol passée.

La multiplication des recherches archéologiques faisant appel au LiDAR s'explique en grande partie par les performances de cet outil pour étudier le patrimoine anthropique conservé sous forêt : cette technique de télédétection permet en effet d'obtenir un relevé topographique 3D de grande précision du sol, même sous couvert forestier (le processus permettant de soustraire artificiellement la couverture arborée est décrit en début de deuxième partie). Les surfaces boisées, encore largement sous-documentées aujourd'hui d'un point de vue archéologique, représentent une surface de plus de 16 millions d'hectares en France métropolitaine (30 % du territoire).

Autour de Besançon (la figure 49 donne un aperçu général de l'occupation du sol), 40 % de la surface totale du relevé LiDAR (174 km²) est boisée¹⁹⁵ (environ 70 km²). En comparaison, la surface occupée par des terres cultivables – ce sont surtout des prairies – est nettement moins importante, un peu plus du quart de la surface totale seulement (48 km²) ; les sols artificialisés (bâtiments, routes, etc.) recouvrent un petit tiers de la surface totale (52 km²). La zone étudiée ici, autour de la forêt de Chailluz, est boisée à plus de 60 % (environ 20 km², dont 16,5 km² pour la seule forêt de Chailluz, sur une surface totale étudiée proche de 34 km²).

¹⁹⁵ L'évaluation de la surface sous couvert forestier a été établie d'après les données IFN-IGN de 2003 (BD FORET ®). On a également fait appel, pour renseigner l'occupation du sol, à la base de données Corine Land Cover 2006. Pour les surfaces sous couvert forestier, on a remplacé les données Corine Land Cover par celles de la cartographie IFN-IGN, car leur réalisation à plus grande échelle (échelle variant du 1 / 17 000 au 1 / 25 000) fournit une précision supérieure à celle de Corine Land Cover (échelle 1 / 100 000).

1.3.2.2 - Présentation générale du relevé LiDAR réalisé autour de Besançon (données extraites du rapport de synthèse de la mission - Aerodata, 2009)

Le relevé LiDAR centré sur Besançon a couvert une surface totale d'environ 174 km² (figure 50). Il a été réalisé dans le cadre du programme de recherche LIEPPEC (LiDAR pour l'étude des paysages passés et contemporains) porté par la MSHE C.N. Ledoux et financé par la Région Franche-Comté¹⁹⁶. Ce programme interdisciplinaire autour de la technologie laser (aéroportée ou terrestre) vise à développer des méthodes de traitement de données altimétriques à haute résolution pour une analyse des paysages dans la longue durée. Les recherches liées à l'action LIEPPEC font l'objet depuis 2010 de communications scientifiques, d'organisation d'ateliers¹⁹⁷ et de publications, concernant des points techniques avancés relatifs à la technologie LiDAR (filtrage de données altimétriques : Opitz, Nuninger, 2014 ; comparaison de plusieurs techniques de télédétection, dont le LiDAR : Laplaige, 2012), ou concernant des aspects méthodologiques sur l'analyse des paysages et des dynamiques paysagères sur la longue durée (plusieurs siècles à plusieurs millénaires), prenant pour exemple le secteur de Besançon ou celui de Mandeuire-Mathay, autre zone ayant bénéficié d'un relevé LiDAR en 2009, parallèlement à celle de Besançon (Nuninger *et al.*, 2010 ; Fruchart, 2011 ; Fruchart *et al.*, 2011 ; Laplaige *et al.*, 2011 ; Opitz *et al.*, 2012).

L'acquisition des données LiDAR autour de Besançon a été réalisée par avion en mars 2009 avec un scanner de marque RIEGL, modèle LMS-Q560. Les paramètres de vol, les plans de vol et les axes des bandes d'acquisition des données altimétriques sont présentés sur la figure 51.

Le système laser a été étalonné préalablement au relevé proprement dit, notamment pour ajuster correctement les bandes de vol entre elles. Cet étalonnage a été réalisé en survolant les alentours du centre-ville de Besançon (il s'agit des 2 bandes de vol représentées en bleu sur la figure 51-c ; les paramètres de ce vol sont donnés sur la figure 51-b). Le levé LiDAR

¹⁹⁶ Pour plus de renseignements sur le programme LIEPPEC (lien valide au 1^{er} juin 2014) : <http://mshe.univ-fcomte.fr/poles-de-recherche/environnement-ressources-et-paysages/axe-1-ressources-environnementales/lieppec>

¹⁹⁷ International Aerial Archaeology Conference 2010, Bucarest (<http://aarg2010.cimec.ro/>) ; Landscape Archaeology Conference 2010, Amsterdam (<http://dare.uva.nl/document/443177>) ; TRAIL (Training and Research in the Archaeological Interpretation of Lidar) 2011, Bibracte et 2014, Frasne (<http://trail2014.univ-fcomte.fr/>) ; CAA (Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology) 2014, Paris (<http://caa2014.sciencesconf.org/>) – liens valides au 1^{er} juin 2014.

de la zone complète a ensuite été effectué en décrivant 45 bandes de vol parallèles, orientées nord-sud, et distantes les unes des autres d'approximativement 240 m (cf. figure 51-c, bandes rouges ; les paramètres de ce vol sont donnés sur la figure 51-a).

Le calibrage et le géoréférencement des bandes de vol (position et attitude¹⁹⁸) ont été réalisés à partir des mesures GPS* et inertielles effectuées pendant les vols et en se référant à des points de contrôle levés au sol. La station permanente du réseau IGN/TERIA de Besançon a été utilisée pour évaluer le positionnement de l'avion en mode différentiel. Les mesures GPS, en parallèle avec celles acquises à bord de l'avion, ont servi au calcul de la trajectographie¹⁹⁹. Pendant le vol, la position de l'avion a été mesurée en continu à raison de 1 position par seconde. Il s'agit d'un positionnement GPS différentiel : il est calculé en utilisant la position fixe et connue de la station de référence (ici, la station permanente de Besançon), et celles d'un récepteur mobile embarqué à bord de l'avion. Les données ont simplement été enregistrées pendant les vols, et les calculs ont été effectués ultérieurement, en posttraitement. Le système de navigation utilisé a été le Trackair EZ/Track et le CCNS4 d'IGI Hilchenbach (Allemagne). La position (latitude, longitude et altitude) et l'orientation (tangage, roulis et lacet) en vol ont été déterminées en couplant le système GPS à un système inertiel (GPS/INS). Il s'agit ici du système AEROControl de IGI (les données relatives à cet équipement sont consultables sur : <http://www.igi.eu/aerocontrol.html> lien valide au 1^{er} juin 2014).

Afin de garantir un parfait ajustement du bloc de données sur le terrain et une précision altimétrique finale inférieure à 20 cm, un cabinet de géomètre-expert a levé une surface dite « de référence » (ce sont de grandes surfaces planes : terrain de football et parkings de grandes zones commerciales). En complément à ce levé, les coordonnées (X,Y,Z) des quatre coins des toits de 3 bâtiments situés à proximité des surfaces planes de référence ont été relevées. Au final, la différence altimétrique entre les points levés sur le terrain par le géomètre-expert et ceux extraits des données LiDAR est de l'ordre de 5 cm, en moyenne.

La trajectographie a été calculée à l'aide d'un logiciel spécifique (AeroOffice), en combinant les mesures GPS et INS. Le résultat du calcul restitue une trajectoire de l'avion avec une précision supérieure à 10 cm en (X,Y,Z).

¹⁹⁸ Attitude : Orientation axiale d'un avion par rapport à un plan de référence (par exemple, le plan horizontal).

¹⁹⁹ Trajectographie : Ensemble des méthodes de calcul et des techniques permettant de prévoir et de déterminer la trajectoire d'un engin spatial, d'un missile. Opération consistant à tracer ou à reconstituer cette trajectoire (définition Larousse).

Les données topographiques qui ont été enregistrées correspondent aux 4 premiers échos reçus à partir de l'impulsion laser émise²⁰⁰. La densité brute du semis de points acquis est comprise entre 8 et 11 points par mètre carré. Les données ont ensuite été rassemblées en un seul fichier où les points sont classés par écho (écho 1 à écho 4), sans distinction de leur appartenance à la végétation, au sol ou au bâti. Ce fichier a été livré à la MSHE C.N. Ledoux par la société prestataire (Aerodata France) au format ASCII*. Les données y sont réparties en 8 colonnes séparées par un espace (colonne 1 : temps GPS ; colonne 2 : X ; colonne 3 : Y ; colonne 4 : Z ; colonne 5 : intensité ; colonne 6 : numéro d'ordre de l'écho ; colonne 7 : nombre d'échos ; colonne 8 : angle du laser). Pour faciliter leur utilisation, le semis de points a été divisé en 765 dalles de 500 m de côté, numérotées de 1 à 765 (voir figure 52). Le fichier a été livré en utilisant le système de projection géographique Lambert* II Etendu (Z/IGN 69).

Le nuage de points a, par ailleurs, fait l'objet d'un filtrage afin de séparer les points appartenant au sol de ceux correspondant à la végétation et au bâti, dans le but de produire un Modèle Numérique de Terrain (figure 52). Ce filtrage des données a été réalisé par la société prestataire (Aerodata) avec le logiciel Terrascan (Terrasolid).

Les entités intégrées au Modèle Numérique de Terrain sont : le sol naturel ; les murs de soutènement, les talus et les digues ; les remblais et/ou déblais des réseaux routiers, les bretelles d'autoroutes. *A contrario*, les bâtiments, la végétation, les voitures, piétons et panneaux de signalisation, etc., ainsi que les ouvrages d'art (ponts et viaducs inclus) ont été exclus du Modèle Numérique de Terrain. Le MNT, d'une résolution de 50 cm, a été livré à la MSHE C.N. Ledoux par le prestataire (Aerodata) ; il est découpé en dalles élémentaires de 500 m de côté, et a été livré aux formats ASCII et Raster Grid.

Ces dernières données ont bénéficié à l'automne 2009 d'une nouvelle mise en forme et d'un premier traitement de visualisation pour faciliter leur exploitation²⁰¹ :

- assemblage des dalles élémentaires du MNT de 500 m de côté en dalles plus grandes de 4 km de côté, pour faciliter la manipulation des données

²⁰⁰ Les principes associés à ces différentes caractéristiques techniques sont décrits en début de deuxième partie.

²⁰¹ Données traitées par Ziga Kokalj, Ales Marsetic, Laure Nuninger et Rachel Opitz dans le cadre du programme LIEPPEC et du Laboratoire Européen Associé franco-slovène ModelTER (<http://modelter.zrc-sazu.si/> - lien valide au 1^{er} juin 2014).

- réalisation, pour l'ensemble des données, d'un ombrage simple suivant un azimut de 315° et une élévation de 45°, pour permettre la visualisation des reliefs
- réalisation, pour l'ensemble des données, d'un traitement Sky-View Factor, procédé de visualisation mis au point par des chercheurs du laboratoire slovène ZRC-SAZU (cf. Zaksek *et al.*, 2011 et <http://iaps.zrc-sazu.si/en/svf#v> – lien valide au 1^{er} juin 2014).

Ces données, disponibles au début de la thèse (décembre 2009), ont ensuite été complétées par de nouveaux traitements de visualisation et par la réalisation de nouveaux modèles de surface (décrits dans la partie 2)²⁰².

²⁰² La plupart des traitements complémentaires ont été effectués par C. Fruchart dans le cadre de la thèse. Lorsque leur réalisation est due à quelqu'un d'autre, cela est précisé en note au fur et à mesure du texte.

2

Aspects méthodologiques

2.1

Des modèles numériques : analyse des données LiDAR réalisées en 2009 autour de Besançon

2.1.1 - De l'acquisition des données à la visualisation du résultat sur un modèle numérique : généralités.

Le relevé LiDAR réalisé autour de Besançon au printemps 2009 a été effectué par avion (ALS²⁰³) en utilisant une technique d'acquisition des données « multi-échos ».

Pour être exploitable, l'information recueillie lors du relevé fait l'objet d'une série de post-traitements informatiques : les données acquises sont mises en forme, classifiées, filtrées et transformées. Les lignes qui suivent résument les différentes étapes de ce processus (Wehr, Lohr, 1999 ; de Joinville *et al.*, 2003 ; Bretar, 2006 ; Opitz, 2008 ; Vosselman, Maas, 2010).

2.1.1.1 - Acquisition des données

L'acquisition de données ALS est réalisée en survolant la zone d'étude avec un avion équipé d'un appareil émettant un faisceau d'ondes laser en direction du sol. On enregistre le temps écoulé entre les impulsions laser émises et leurs retours vers les appareils embarqués dans l'avion ; on collecte aussi d'autres variables, comme les variations du retour d'intensité de l'onde laser au cours de sa trajectoire. Le calcul de la durée écoulée entre l'émission de l'onde et la réception du signal en retour permet de déduire la distance entre l'émetteur et les différents points d'impact du laser²⁰⁴. La position absolue de l'émetteur/récepteur en vol est connue grâce à un système GPS/INS²⁰⁵ embarqué dans l'avion (technique dite du « géoréférencement direct »).

Le principe de mesure de la position par GPS/INS²⁰⁶ (figure 53-a) est une technologie utilisée dans divers domaines nécessitant la géolocalisation précise de trajectoires complexes (navigation aérienne, maritime, routière : Artes, Hutton, 2005 ; Bretar, 2006 ; Beraldin *et al.*, 2010 ; Kong *et al.*, 2012 ; Nawrat *et al.*, 2012). Elle consiste à coupler deux systèmes de géoréférencement fonctionnant selon des principes différents : le GPS (« différentiel » ou « en temps réel ») et l'INS. L'INS est un système de mesure et de

²⁰³ ALS : acronyme pour Airborne Laser Scanner.

²⁰⁴ L'onde laser se déplace à la vitesse de la lumière $2,99792 \times 10^8$ m/s.

²⁰⁵ GPS et INS* : acronymes pour Global Positioning System et Inertial Navigation System.

²⁰⁶ Voir la figure 2-1a, qui résume le principe des mesures par GPS différentiel et par INS.

calcul composé de trois éléments ; il comprend un IMU (« Inertial Measurement Unit » ou « Unité de Mesure Inertielle », instrument de mesure physiquement couplé à l'équipement laser) qui sert à mesurer en permanence les mouvements de l'avion - translations et rotations. L'INS est également composé d'un autre capteur mesurant en continu la position de l'avion par rapport à un ou plusieurs points-cibles fixes au sol (mesure de la distance et de l'angle par rapport à la cible). Enfin, l'INS comprend un ordinateur qui calcule, à partir des mesures effectuées par les deux équipements précédents, la trajectoire et la position réelles de l'avion par rapport à la surface survolée. Le couplage de l'INS avec un GPS (« différentiel » DGPS ou « en temps réel » RTK) permet d'optimiser la précision de la géolocalisation, et notamment de rectifier d'éventuelles erreurs de mesure qui seraient intervenues au cours du vol avec l'équipement INS. Le principe du GPS différentiel (DGPS) consiste à calculer la position absolue de l'avion en captant les signaux d'au moins quatre satellites et en utilisant parallèlement un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues²⁰⁷. Le GPS RTK est une amélioration technique du DGPS grâce à laquelle on obtient une meilleure précision du positionnement.

Au final, les positions des impacts du rayon laser mesurées par cette technique de géoréférencement direct GPS/INS ont une erreur absolue maximale de géolocalisation de l'ordre de 10 à 15 cm en x, y et z²⁰⁸. Les erreurs de mesure sont occasionnées par les limites de précision des appareils, la qualité d'étalonnage des capteurs et peuvent également résulter de la complexité de la zone survolée et de la position de l'avion par rapport à la surface dont on relève la topographie. Par exemple, la précision des mesures sur un terrain très accidenté, très pentu est inférieure à celle obtenue sur un terrain plat. Ou encore, la précision est meilleure lorsque la mesure est relevée à la verticale de la surface survolée.

Dans un deuxième temps, après un premier traitement informatique des données²⁰⁹, on présente le résultat de l'acquisition laser sous la forme d'un ensemble de points distribués

²⁰⁷ Le positionnement par GPS du vol de Besançon a fait appel au réseau de stations permanentes fixes IGN/TERIA, permettant une géolocalisation à quelques centimètres près en employant la technologie GPS RTK (cf. http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGPS_et_RTK_V2_cle598ba6.pdf lien valide au 1er juin 2014, document du CETMEF expliquant les différents principes de calcul de position par GPS : GPS, DGPS, GPS RTK).

²⁰⁸ Il s'agit là de la valeur absolue, qui tient compte de la somme cumulée de toutes les marges d'erreur. L'erreur relative entre deux points du relevé est évidemment beaucoup plus faible, et peut être considérée comme quantité négligeable lorsqu'on travaille sur des entités à l'échelle métrique ou supérieure.

²⁰⁹ Post-traitement et mise en forme des données au format informatique voulu (par exemple, mise en format ascii, ou en fichiers .las, etc.).

dans un espace normé (données vectorielles). Ces points ont divers attributs*, parmi lesquels il y a toujours des coordonnées spatiales (x,y,z), et en général aussi d'autres variables, telles l'intensité du retour laser, le rang du retour laser dans le cas d'une acquisition multi-écho, l'angle de scan, etc.

A titre d'exemple, la figure 53-b montre un échantillon de valeurs affectées à des points extraits du relevé LiDAR de Besançon²¹⁰. Les attributs qu'on peut lire sur le tableau sont : les coordonnées spatiales x, y et z (exprimés ici dans le système de coordonnées Lambert II étendu), l'intensité du retour, le rang du retour (premier écho, deuxième écho, etc.), le nombre total d'échos enregistrés, l'angle de scan et le « timestamp » ou « temps GPS », qui correspond au code unixtime* de l'instant où le retour a été enregistré²¹¹.

La densité du semis de points collectés lors d'une acquisition LiDAR est variable et dépend, en premier lieu, de la demande de l'utilisateur (combien de points par mètre carré veut-on acquérir ?) ; elle dépend également des caractéristiques techniques du vol et de l'équipement laser embarqué (fréquence et ouverture du faisceau laser, taille de l'empreinte, hauteur de vol, taux de recouvrement des lignes de fauchée²¹², etc.). Globalement, les jeux de données acquis contiennent toujours un très grand nombre de points. Par exemple, pour le LiDAR de la zone de Besançon, une surface d'un kilomètre carré est couverte en moyenne par dix à vingt millions de points, selon la nature de l'occupation du sol survolé (le nombre total de points enregistrés sur des zones boisées est nettement supérieur à celui enregistré sur des espaces ouverts et construits).

Le relevé LiDAR de Besançon a été réalisé suivant un procédé d'acquisition appelé « multi-échos » (quatre échos enregistrés dans le cas de Besançon). Il existe en effet deux modes d'acquisition des données LiDAR bien différents : le mode « multi-écho » et le mode « full waveform » (cf. figure 54-b). Dans le cas du « full waveform », ou « retour en onde complète », l'intégralité des variations de l'intensité du signal laser est enregistrée, depuis le moment de son émission jusqu'à la dernière réflexion de son dernier point d'impact (courbe en bleu sur la figure 54-b). Le mode multi-échos consiste à enregistrer uniquement certaines variations significatives de l'intensité du faisceau laser, obtenues aux

²¹⁰ L'extrait montré ici est un exemple de la façon de présenter les valeurs attributaires affectées aux points. Il n'y a pas de norme en la matière, et l'ordre, la nature et la façon de présenter les attributs varient selon les jeux de données, les pays, les prestataires, etc.

²¹¹ A propos de la conversion des timestamp, voir par exemple <http://www.timestamp.pro/> (lien valide au 1^{er} juin 2014).

²¹² Voir figure 54-a pour l'illustration du vocabulaire technique.

moments où celui-ci rencontre des obstacles (courbe en rouge sur la figure 54-b). La figure 55 montre un exemple pris sur la zone de Besançon de la répartition des points par rapport à leur numéro d'écho. Le nuage de points est représenté superposé à une orthophotographie couleur de la zone relevée. Le semis de points est cartographié avec une couleur différente pour chaque écho. Les points enregistrés au premier écho couvrent l'ensemble de la zone (points bleus). Le deuxième écho (points verts) couvre densément les espaces boisés. Le troisième, et surtout le quatrième écho (en jaune et en orange), génèrent des nuages de points nettement moins denses.

Les nuages de points sont visualisables à l'aide de logiciels spécialement dédiés²¹³. Les données peuvent être vues en plan, en coupe ou en 3D (*cf.* exemple donné figure 56).

2.1.1.2 - Classification et filtrage des points

L'étape suivante de traitement des données consiste à effectuer une classification des points, qui permet de les répartir en différentes catégories : points appartenant au sol, points correspondant à la végétation (haute, basse), points représentant des bâtiments, etc. Les différentes méthodes utilisées et les développements d'algorithmes mathématiques spécifiques pour les opérations de filtrage de points ne sont pas évoqués ici : ce sont des sujets de recherche et développement à part entière. On peut se référer sur ces thèmes à quelques articles ou chapitres d'ouvrages, par exemple : Loménie 2001 ; Sithole, Vosselman, 2004 ; Sithole, Vosselman, 2005 ; Opitz, 2008 ; Brenner *et al.*, 2010 ; Lafarge, Mallet, 2012 ; Opitz, Nuninger, 2014.

Pour la zone de Besançon, trois filtrages des données différents ont été employés.

Le premier filtrage a été réalisé par le prestataire chargé de l'acquisition des données LiDAR²¹⁴. Les données ont été classifiées en trois catégories : points du sol, points en élévation, points autres que ceux des deux premières classes (catégorie nommée « points non classés »). Les planches XX et XXI (vignettes c, d et e) donnent un aperçu sur des

²¹³ Les logiciels qui ont été utilisés dans le cadre de cette étude pour la visualisation et le filtrage des nuages de points sont LP360 sur Arcgis (Q-Coherent/ESRI), le logiciel en Open Source SAGA ainsi que le logiciel TerraScan (Terrasolid).

²¹⁴ Société Aerodata France.

zones-échantillon des semis de points par classe pour ce filtrage (les points-sol sont en orange, les points en élévation sont en vert, les points non classés en noir). Les exemples présentés ont été choisis sur deux zones avec des occupations du sol différentes²¹⁵ : le premier échantillon (planche XX) est un secteur ouvert et occupé par des constructions, en périphérie sud-ouest de Besançon. Le deuxième échantillon (planche XXI) est non bâti et en milieu fermé, au nord de la forêt de Chailluz. Ces deux exemples, qui couvrent chacun une surface de 0,25 km², contiennent un nombre total de points de 2 471 867 points pour la zone construite (planche XX) et 4 648 943 points pour la zone boisée. La classification a été effectuée à l'aide du logiciel TerraScan (Terrasolid). L'algorithme utilisé a permis de générer un ensemble de 1 301 104 points-sol pour l'exemple de la planche XX et de 1 209 338 points-sol pour l'autre. La densité des points-sol est assez homogène sur l'ensemble des surfaces, de l'ordre de 4 à 5 points/m². Le tri des points a été assez sélectif, et la catégorie des points « non classés » est importante (semis de points de couleur noire présentés sur les vignettes e des deux planches). Une partie de ces points aurait pu, avec un filtrage moins sévère, être affectée à la catégorie des points-sol ; c'est ce qu'on peut observer sur les coupes figurées sur les vignettes c des planches XX et XXI : les lignes du sol apparaissent composées non seulement de points de couleur orange (couleur de la classe des points-sols) mais également de points « non classés » de couleur noire. Néanmoins, la quantité de points retenus pour représenter le sol sur ce filtrage est largement suffisante pour percevoir les détails de la topographie du terrain nu.

Un deuxième filtrage a été effectué dans le cadre du programme LIEPPEC²¹⁶. La classification a été réalisée aussi avec TerraScan, mais avec un paramétrage un peu différent des algorithmes de calcul, induisant un tri moins sélectif des points-sol (on obtient ainsi une densité de points-sol de l'ordre de 7 points/m² contre 4 à 5 points/m² avec le filtrage précédent). D'autre part, le semis de points a été distribué en six classes contre trois dans le filtrage du prestataire. Les six catégories sont pour le filtrage LIEPPEC : points-sol, points non classés, bâtiments, végétation basse (inférieure à 1 m), végétation intermédiaire (entre 1 m et 3 m), végétation haute (supérieure à 3 m). Les planches XX et XXI permettent de comparer les différences de filtrage entre les deux jeux de semis de points (comparaison entre les vignettes c, d, e, d'une part et f, g, h, d'autre part sur les deux planches). Outre une densité de points-sols supérieure, le filtrage LIEPPEC réduit

²¹⁵ La localisation des deux zones est repérée sur la figure 57 (carrés rouges pleins).

²¹⁶ Le paramétrage de l'algorithme de calcul et le filtrage des données ont été réalisés par Rachel Opitz.

fortement la catégorie des points non classés (vignettes h) et permet de mieux contextualiser et interpréter les variations topographiques. De plus, la possibilité d'identifier et isoler les bâtiments actuels – et donc, de générer *in fine* des modèles numériques de surface qui intègrent à la fois les points du bâti et ceux du sol - facilite l'analyse des données LiDAR pour la recherche d'entités archéologiques, car la localisation des constructions actuelles permet une meilleure mise en évidence des variations topographiques dues à d'autres événements, en particulier celles occasionnées par la présence d'aménagements anthropiques anciens, qui intéressent l'archéologue.

Dans certaines configurations particulières, les filtrages sont moins performants. On peut avoir des « effets de bord » : le filtrage des points est parfois moins efficace sur les bords des dalles de points²¹⁷, ce qui se traduit par une surreprésentation de points « non classés » (on remarque ce phénomène sur le bord droit de la vignette h de la planche XX). Le filtrage des points est également problématique dans les zones aux reliefs très accidentés (falaises déchiquetées, lapiaz) et dans les endroits où se trouve une végétation basse persistante abondante (autour de Besançon, il s'agit le plus souvent de buis). La figure 58 en donne un exemple choisi au sud-ouest de Besançon, au voisinage des ruines du château médiéval d'Avanne, situées sur une colline au relief très accidenté où poussent des buis. Dans la zone représentée, les filtrages Aerodata et LIEPPEC (*cf.* figure 59, vignettes a et b) n'ont retenu aucun point-sol sur des surfaces étendues (plusieurs centaines de mètres carrés d'un seul tenant). Pourtant, le relevé LiDAR a couvert l'ensemble de cette zone et contient de nombreux points. En général, pour pallier les lacunes du tri automatique, on réalise un filtrage manuel des points à partir de vues en coupes du semis de points, à l'aide d'un logiciel spécifique (on a utilisé, pour la zone de Besançon, LP360 (Q-Coherent) sur Arcgis (ESRI). Cependant, il arrive que même ce tri manuel se révèle impossible ou très compliqué à réaliser, lorsque le relief est vraiment très accidenté (lapiaz, zones fortement fracturées, falaises), ce qui est le cas illustré par l'exemple montré sur la figure 58. Ici, on a eu recours à une troisième technique de filtrage.

Ce troisième filtrage repose sur un principe différent de tri des points, sans répartition par catégories²¹⁸. On divise l'espace de travail en un maillage* serré régulier (la dimension de la maille choisie varie de 0,5 m à 2 m de côté). La taille choisie pour la maille dépend

²¹⁷ Pour des commodités techniques de manipulation informatique, le semis de points a été divisé en 765 dalles de 500 m de côté (*cf.* figure 2-5).

²¹⁸ Filtrage réalisé par C. Fruchart dans le cadre du programme LIEPPEC.

surtout de la densité de la végétation persistante : plus celle-ci est dense, plus la maille doit être grande pour garantir que l'ensemble de points pris en compte dans une seule maille contienne au moins un point appartenant effectivement au sol²¹⁹. Pour chaque maille, on retient le point dont l'altitude est la plus basse, quelle que soit l'entité dont il provient : sol, bâti ou végétation. On obtient ainsi des ensembles de points couvrant l'espace avec une densité constante et restituant la hauteur minimale relevée par LiDAR, ce qui est - dans le contexte de données acquises pour un usage archéologique, destiné à la détection d'entités d'échelle métrique - généralement suffisant pour renseigner la topographie au sol, malgré la présence de végétation basse ou d'un relief accidenté. Parfois, le relief au sol reste non renseigné, mais il s'agit toujours de surfaces limitées : dans ces zones, le semis de point restitue seulement la végétation. Cela concerne typiquement, sur la zone d'étude de Besançon, quelques résineux isolés, voire un groupe de résineux formant un peuplement* particulièrement dense, où le faisceau laser n'a pas réussi à atteindre le sol sur plusieurs mètres carrés ou dizaines de mètres carrés d'un seul tenant). Cette méthode de filtrage permet en particulier d'obtenir un bon rendu des bords de falaises. La figure 59 permet de comparer les différences de rendu de la topographie au voisinage du château ruiné d'Avanne à partir des trois méthodes de filtrage des points utilisées (les images illustrant cet exemple sont obtenues après utilisation d'un outil de visualisation qui met en évidence les reliefs par ombrage fictif, appliqué à des modèles numériques de surface dérivés des semis de points). La vignette 59-c donne un aperçu du résultat obtenu en réalisant un modèle numérique de surface prenant en compte les points d'altitude minimale dans une surface de 50 cm de côté.

D'autre part, on a utilisé cette même technique en sélectionnant cette fois les points les plus élevés, ce qui a permis de constituer des ensembles de points correspondant aux hauteurs maximales enregistrées lors du relevé LiDAR. Ces ensembles ont été utilisés pour constituer un modèle numérique de canopée et calculer les hauteurs des arbres en milieu forestier, avec des valeurs restituées au plus près de celles effectivement enregistrées par le relevé LiDAR initial. Le temps a malheureusement manqué dans la thèse pour pouvoir croiser ces dernières informations avec les données archéologiques mises en évidence sur la zone d'étude, ce qui aurait peut-être apporté quelques renseignements ou pistes de réflexion sur l'impact que peuvent avoir des aménagements anciens (parcellaires agricoles,

²¹⁹ La taille de la maille doit évidemment aussi être en rapport avec la densité du nuage de points LiDAR lui-même, paramètre choisi en amont du relevé, avant l'acquisition des données.

en particulier) sur la croissance ou la distribution de peuplements forestiers, même après plusieurs siècles ou même millénaires.

2.1.1.3 - Du nuage de points au modèle numérique de surface

Après avoir été classifié et filtré, le nuage de points sert de base à la modélisation de surfaces. Les ensembles de points, données vectorielles discrètes (points disposés dans un espace normé et séparés par des vides), sont transformés en jeux continus de données : des images en mode raster composées de pixels*, à l'instar d'un cliché numérique (Briese *et al.*, 2002 ; Kraus *et al.*, 2002 ; Sithole, Vosselman, 2005 ; Briese, 2010). On obtient ainsi, à partir des nuages de points filtrés, des modèles altimétriques numériques : un modèle numérique de surface (MNS*) qui rend compte des données altimétriques d'une surface donnée, un modèle numérique d'élévation (MNE*) qui contient toutes les entités en élévation au-dessus du sol, ou un modèle numérique de terrain (MNT) qui fait apparaître uniquement le sol nu, ou encore un modèle numérique de canopée (MNC) qui rend compte de la hauteur de la végétation, etc. Visuellement, un modèle altimétrique numérique est une image composée de pixels contenant chacun une valeur altimétrique représentée par une nuance de couleur ou de gris, suivant l'échelle colorimétrique choisie (*cf.* figure 60-a).

Trois techniques différentes ont été utilisées pour obtenir des MNS / MNT à partir des données LiDAR de Besançon.

Un MNT offrant une résolution de 4 pixels/m² (1 pixel = 0,5 m x 0,5 m) a été réalisé par le prestataire chargé de l'acquisition du relevé LiDAR. Ce modèle numérique a été obtenu ainsi : un premier modèle de surface triangulée (TIN, Triangular Irregular Network), basé sur un algorithme de Delaunay* associé à un rééchantillonnage des données par la méthode des plus proches voisins, a été dérivé à partir du semis de points-sol²²⁰ (Aerodata, 2009 ; Tsai, 1993). A partir de ce TIN, les données ont été converties avec le logiciel Global Mapper en MNT, sous la forme d'une grille de pixels au format RASTER Grid (chaque pixel mesure 0,5 m de côté). On a appelé ce premier modèle numérique de terrain

²²⁰ Le principe du TIN* consiste à relier les points entre eux et à combler les vides des surfaces triangulaires ainsi formées (les points constituent donc les sommets des triangles).

MNT_{50cm}. La figure 60-b en montre un extrait (la figure 61 donne des exemples de représentation en mode TIN).

Un deuxième modèle numérique de terrain, avec une résolution de 25 pixels/m² (1 pixel = 0,2 m x 0,2 m), plus de deux fois supérieure à celle du modèle précédent, et incluant par ailleurs les structures construites, a été réalisé à partir du filtrage des points LIEPPEC (filtrage des points en six catégories - la figure 60-a présente un extrait de ce deuxième modèle).

En principe, la résolution maximale d'un modèle est déterminée par la densité de points pris en compte (Hu, 2003). Elle se déduit de la formule suivante :

$$R_{\max} = \sqrt{1/d}$$

où R_{\max} est la résolution maximale exprimée en mètres et d la densité de points par mètre carré. Cependant, la résolution choisie pour ce deuxième modèle (1 pixel = 0,2 m) a été volontairement fixée à une valeur inférieure à ce que préconise cette formule, qui limite théoriquement, pour le relevé de Besançon, la résolution à 0,37 m par pixel puisque le filtrage des points-sol a produit une densité moyenne de 7 pts/m². Le choix d'une résolution de 25 pixels/m² a été fait en se référant à un principe fréquemment employé par ailleurs dans des techniques d'optimisation d'images (subpixel pour la 2D et subvoxel pour la 3D). Ces techniques ont été développées dès les années 1980 (Bergounioux, 2008 ; Krissian, Westin, 2005 ; Peleg *et al.*, 1987), d'abord pour l'amélioration de la lecture d'images satellites, et sont par exemple employées aujourd'hui dans le domaine des sciences physiques ou de l'imagerie médicale²²¹ (Hwang, Wehrli, 2002). Cette « super-résolution » permet, lorsqu'on passe à l'étape d'interprétation visuelle des données, de travailler sur des images plus nettes, plus faciles à lire, sans pour autant dénaturer la morphologie générale des entités détectées.

On a appelé ce deuxième modèle, sur lequel ont été conservés les points-sols et les points du bâti, MNTB_{20cm} (modèle numérique de terrain bâti). Ce modèle hybride a été réalisé pour répondre à deux objectifs : optimiser la lecture des données et améliorer la compréhension des variations topographiques observées. Il fournit un rendu visuel offrant une lisibilité du relief optimale aussi bien à grande échelle (pour l'observation de

²²¹ En sciences physiques, on utilise par exemple la technique du subpixel pour définir avec plus de précision la limite entre deux milieux hétérogènes connexes (par exemple, Ling *et al.* 2008). En imagerie médicale, la technique du subvoxel permet d'améliorer la qualité des images 3D d'un squelette, d'un réseau veineux etc.

microreliefs) qu'à petite échelle (pour l'observation de macroreliefs). D'autre part, l'intégration au modèle des structures bâties améliore sensiblement les possibilités d'analyse des entités composant le « paysage topographique » étudié. Ce modèle a été généré avec une technique appelée « inverse distance weight » (IDW). Le principe de calcul selon cette méthode est illustré sur la figure 60-c. Pour un point p_1 représentatif de la surface d'un pixel, on calcule la valeur altimétrique z_1 de p_1 en tenant compte des valeurs $z_2, z_3, z_4, \dots, z_i$ des points $p_2, p_3, p_4, \dots, p_i$ voisins de p_1 dans un rayon prédéterminé centré sur p_1 . Le poids de $z_2, z_3, z_4, \dots, z_i$ est pondéré dans le calcul de la valeur de z_1 (plus le point est éloigné de p_1 , moins il a de poids dans le calcul). Les calculs sont réitérés pour tous les points p_i pris en compte. Pour le calcul de $MNTB_{20cm}$, le rayon fixé pour la prise en compte des points voisins est de 2 m et le poids diminue de moitié tous les 0,2 m.

Enfin, des modèles ont été dérivés à partir de la troisième méthode de tri des points (tri en fonction de la hauteur des points). Dans ce cas, on a simplement généralisé la valeur altimétrique locale ponctuelle retenue à la surface qu'il représente (autrement dit, à la taille d'une maille). Les modèles constitués ont été appelés MNE_{max} (modèle numérique d'élévation maximale) et MNE_{min} (modèle numérique d'élévation minimale)²²². Ces modèles ont été utilisés dans les zones où les modèles précédents se sont révélés moins performants (cf. exemple montré sur la figure 59) et pour le calcul de la hauteur des arbres en forêt de Chailluz.

2.1.1.4 - Utilisation d'outils de visualisation des données à partir d'un modèle numérique de surface

Après avoir réalisé ces modèles numériques « raster » à partir des semis de points, on les transforme encore pour les rendre accessibles à une analyse visuelle. Il existe de multiples techniques de visualisation applicables aux modèles numériques de surface : ombrages simples ou multidirectionnels, PCA (Principal Component Analysis), TPI (Topographic Position Index), SVF (Sky View Factor), visualisation des pentes, de l'exposition, courbes de niveaux, etc. Ces outils de visualisation ont fait l'objet de diverses publications qui exposent les techniques en détail ou les comparent entre elles (par exemple, Devereux *et*

²²² Réalisation des modèles $MNTB_{20cm}$, MNE_{max} et MNE_{min} LIEPPEC / C. Fruchart.

al., 2008 ; Jeness, 2006 ; Zavyalov *et al.*, 2009 ; Hesse, 2009 ; Crutchley, Crow, 2010 ; Zaksek *et al.*, 2011 ; Laplaige, 2012 ; Stular *et al.*, 2012²²³). C'est pourquoi ce sujet n'est pas développé ici. A titre d'exemple, la figure 62, extraite d'une publication récente (d'après Stular *et al.*, 2012), illustre différents rendus d'un même relief, obtenus par l'utilisation de plusieurs outils de visualisation.

Les lignes qui suivent donnent simplement quelques précisions sur les procédés qui ont été utilisés le plus souvent pour l'étude de la forêt de Chailluz : ombrage simple, TPI et visualisation des pentes.

2.1.1.4.1 - Ombrage simple

Cette technique consiste à réaliser une illumination artificielle en projetant une source lumineuse fictive suivant un axe (azimut) et une position zénithale (élévation) donnés. On crée ainsi un faux ombrage qui révèle les reliefs (*cf.* par exemple Devereux *et al.*, 2005 ; Laplaige, 2012).

Le calcul repose sur l'évaluation de la quantité théorique de lumière que chaque pixel du modèle numérique de surface reçoit de la source de lumière fictive (« éclairement* »). L'éclairage dépend directement de la position du pixel par rapport à l'azimut et à l'élévation de cette lumière, ces deux derniers paramètres étant exprimés en degrés (schéma sur la figure 63-a). Plus le degré d'élévation est proche de 0°, plus la lumière fictive est rasante et accentue les reliefs (*cf.* exemple sur la figure 63-b) ; *a contrario*, une élévation se rapprochant de 90° restitue une lumière zénithale, moins contrastée (*cf.* exemple sur la figure 63-c). Une élévation de 45° constitue une position d'équilibre entre une lumière rasante et une lumière zénithale (*cf.* exemple sur la figure 59, qui présente la même zone que la figure 63).

Par convention, un azimut à 0° correspond à une lumière provenant du nord. La valeur de l'angle varie de 0° à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre. La modification de l'azimut permet de présenter les reliefs suivant différentes perspectives (figure 64). La

²²³ Jeness, 2006 : http://www.jenessent.com/downloads/TPI_Documentation_online.pdf

Laplaige, 2012 : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00732379>

Zaksek *et al.*, 2011 : http://www.academia.edu/1275433/Sky-View_Factor_as_a_Relief_Visualization_Technique (toutes ces publications sont en libre accès sur internet - liens valide au 1^{er} juin 2014).

technique de l'ombrage simple présente un défaut : des entités linéaires orientées selon le même axe que l'azimut choisi n'apparaissent pas sur le modèle ombré (tous les pixels qui suivent cette orientation reçoivent la même quantité de lumière théorique et sont donc restitués selon une unique nuance de gris ou de couleur, donc sans génération de contrastes, ce qui les rend invisibles). Ce phénomène est illustré sur la figure 64 : des limites de parcelles forestières, chemins creux rectilignes larges de près de 3 m en réalité, bien visibles sur la vue 64-b éclairée selon un azimut de 270°, sont pratiquement indétectables sur la vue 64-a, modèle ombré selon un azimut de 315° correspondant précisément à l'axe de ces limites parcellaires. C'est pourquoi il est nécessaire, lorsqu'on utilise la mise en évidence des reliefs par un ombrage simple, de réaliser au moins deux modèles ombrés en choisissant des azimuts selon des axes bien différents (et non opposés). Pour la zone de Besançon, plusieurs modèles ombrés ont été réalisés (0°, 45°, 90°, 180°, 270°, 315°) ; ceux qui ont été les plus utilisés pour l'exploitation visuelle des données ont des azimuts de 315° et de 270°, et une élévation de 45°.

D'autre part, la visualisation d'un modèle ombré (contrastes de l'image, rendu colorimétrique, etc.) peut changer lorsqu'on modifie la courbe de restitution des valeurs représentée selon l'échelle colorimétrique choisie²²⁴ (figure 65). Les valeurs d'éclairement peuvent, entre autre, être restituées selon une progression linéaire de l'échelle colorimétrique : sur la figure 65-a, la répartition des valeurs d'éclairement suit la courbe linéaire en noir sur la vignette incrustée en haut à droite de l'image. La répartition de l'ensemble des valeurs est indiquée par l'histogramme en violet. On peut modifier la courbe de répartition, par exemple en opérant une transformation calculée à partir de l'écart-type issu de l'histogramme précédent. On obtient ainsi une image qui restitue plus de contrastes (figure 65-b). On encore, on peut opérer une égalisation de l'histogramme, ce qui produit encore une autre visualisation des données (figure 65-c). On a aussi la possibilité de faire varier les échelles colorimétriques, les contrastes et la luminosité de l'image, indépendamment des valeurs de l'éclairement. On peut également combiner différents modèles en les superposant par transparences. En d'autres termes, toutes les possibilités offertes par les traitements classiques de l'imagerie numérique sont utilisables pour optimiser le rendu des reliefs et faciliter l'analyse visuelle des données.

²²⁴ Pour les généralités sur le traitement d'images numériques, on peut par exemple se référer à Gonzales, Woods, 2007.

2.1.1.4.2 - Visualisation des pentes

Une deuxième technique de visualisation de la topographie a été utilisée pour l'analyse des reliefs de la forêt de Chailluz : l'outil de calcul des pentes. Cet outil calcule pour chaque pixel du modèle la variation d'élévation maximale entre ce pixel et les huit pixels qui l'entourent (figure 66-a). On mesure les différences d'élévation e_i entre le pixel et ses huit voisins. On divise les résultats e_i par la distance d_i séparant les pixels²²⁵. Les valeurs de pentes θ_i calculées correspondent à la formule suivante :

$$\theta_i = \arctan (e_i/d_i)$$

L'angle θ_i le plus grand parmi les huit angles calculés est retenu comme la valeur de pente en degrés du pixel considéré.

Cet outil de visualisation permet de mettre en évidence de nombreuses variations du relief. La figure 66-b donne un aperçu d'une visualisation d'un modèle de pente.

2.1.1.4.3 - Topographic Position Index (TPI)

Une troisième technique a été utilisée pour les recherches sur la forêt de Chailluz : l'outil Topographic Position Index (Jenness Entreprises, <http://www.jennessent.com/> - lien valide au 1^{er} juin 2014). Le TPI permet de représenter la topographie d'une zone donnée par rapport aux reliefs qui l'entourent. Il compare l'altitude en un pixel donné à la moyenne des altitudes mesurées dans un voisinage défini autour de ce pixel (figure 67). Le voisinage peut être considéré à diverses échelles - métrique, hectométrique etc. - selon qu'on s'intéresse à des micro- ou des macro-variations du relief. D'autre part, la surface prise en compte autour du pixel pour le calcul du TPI peut être circulaire, quadrangulaire ou en forme d'anneau ; dans ce dernier cas, un périmètre immédiatement situé autour de la cellule est exclu du calcul de l'altitude moyenne du voisinage (l'exemple présenté sur le schéma de la figure 67 montre ce cas d'un voisinage annulaire). Lorsque les calculs donnent des valeurs positives, le pixel considéré est en surélévation par rapport à son voisinage. Inversement, les valeurs négatives permettent de faire apparaître des zones en

²²⁵ Les distances d_i sont mesurées entre les centres des pixels.

dépression. Cet outil a donné de très bons résultats pour la mise en évidence des micro-variations du relief en forêt de Chailluz (notamment, pour la détection des chemins abandonnés faiblement marqués au sol, ou des limites parcellaires peu visibles ; il permet également de relever avec une grande facilité les plateformes de charbonnier). La figure 67 donne un aperçu du rendu de visualisation avec cet outil, qu'on peut comparer avec l'ombrage simple (figures 64 et 65) et avec la visualisation des pentes (figure 66). Pour la zone de la forêt de Chailluz, le modèle TPI a été réalisé à partir du modèle numérique de terrain bâti MNTB_{20cm}, en définissant un voisinage annulaire de rayon minimum et maximum équivalant respectivement à 1 m et 3 m. Ce paramétrage pour le calcul du modèle TPI, qui a été déterminé de façon empirique, a été retenu car c'est celui qui a offert le meilleur rendu visuel des entités de petites dimensions (aménagements ponctuels de quelques mètres de côté, et également voies, talus, fossés,) à partir du modèle MNTB_{20cm}.

2.1.2 Détection, identification et cartographie d'entités à partir de l'analyse visuelle des données LiDAR en forêt de Chailluz.

Les modèles réalisés au moyen des outils décrits précédemment sont ensuite analysés manuellement (observation de l'image à l'œil nu sur SIG). Ils sont comparés entre eux, superposés, mis en perspective avec d'autres couches du SIG (données IGN, BRGM, orthophotographies, cartes anciennes géoréférencées, etc.) afin d'identifier les différentes entités qui composent l'image, repérables parce qu'elles occasionnent des variations du relief (entités d'origine naturelle ou anthropique : reliefs naturels, limites parcellaires, routes, constructions, etc.). Parallèlement à cette lecture du modèle numérique, les structures détectées sont 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. On a comparé le modèle sur SIG, directement consulté à l'aide d'un ordinateur portable emmené sur le terrain, avec les entités réelles, en prenant soin de géolocaliser ces entités à l'aide d'un GPS, pour confirmer qu'on a bien observé sur le modèle et sur le terrain la même structure. Cette étape a permis de compléter et d'améliorer la description des micro- et macroreliefs observables. Grâce à la reconnaissance et à la vérification sur le terrain, on appréhende mieux l'échelle réelle des structures d'abord vues

sur SIG. Ce fait, qui peut sembler à première vue anecdotique, s'est révélé important dans la compréhension et la lecture de la topographie relevée par LiDAR. Une reconnaissance systématique, exhaustive des structures sur le terrain est certainement superflue ; en revanche, il paraît indispensable, pour une bonne compréhension des composantes de la topographie d'un espace donné, de choisir sur le modèle numérique des zones échantillons pertinentes et de les mettre en perspective avec la réalité. Cela permet de repérer des formes typiques d'aménagements bien particuliers (par exemple, une plateforme de charbonnier), ou des « textures numériques » spécifiques à certains terrains (par exemple, un lapiaz), des formes récurrentes, auxquelles on peut ensuite attribuer une identité ou une fonction sans avoir nécessairement besoin de vérifier cette interprétation sur le terrain. Une petite structure de dix mètres de côté, lorsqu'elle est visualisée sur le SIG, est une anomalie du relief vraiment ponctuelle, presque insignifiante, quelques millimètres sur l'écran d'ordinateur noyés dans la représentation de l'ensemble du relief. Dans la réalité, on perçoit cette anomalie différemment : sa taille réelle est plus de cinq fois celle d'un humain. Cette différence de perception est d'autant plus significative pour des entités de grande taille - entités naturelles (falaises, dolines, par exemple) ou aménagements (parcellaires, voirie, notamment). La reconnaissance des structures sur le terrain donne aussi la possibilité de contextualiser ce qui a été préalablement repéré sur le modèle numérique : sur quel type de sol l'entité est-elle disposée ? Quelle est la végétation environnante ? L'endroit est-il fortement anthropisé, ou au contraire, semble-t-il, « livré à la nature » ? Cette démarche permet également de compléter *a posteriori* la lecture initiale du modèle numérique : ajouter des entités nouvelles qui n'avaient pas été repérées, comprendre des recoupements de structures à l'origine de formes complexes difficiles à interpréter *a priori*. On est éventuellement amené à modifier l'identification hypothétique proposée initialement, appelée à être nuancée ou révisée après vérification sur le terrain. Au fur et à mesure, on a pu constituer pour la zone d'étude de Besançon un référentiel de formes et de textures identifiables sur un modèle numérique, auxquelles on peut attribuer une fonction ou donner une interprétation fiables, c'est-à-dire fournir *a priori* une interprétation dont on sait - par expérience - qu'elle sera, sauf cas exceptionnel, confirmée *a posteriori* sur le terrain lors d'une vérification.

2.1.2.1 - Un exemple d'analyse visuelle de l'information topographique fournie par un modèle numérique : description des variations du relief sur une zone échantillon de 15 ha en forêt de Chailluz.

A titre d'exemple, nous proposons d'analyser la topographie de la vue LiDAR présentée dans les pages précédentes sur les figures 64 à 67, et mettre en évidence toutes les entités qu'on y a détectées. La zone choisie, située dans la partie ouest de la forêt de Chailluz, occupe une surface de 15 ha environ (500 m x 300 m). Elle est située sur un plateau calcaire au pendage presque nul dans sa partie est ; la zone a une pente modérée dans sa partie ouest (*cf.* figure 66, modèle de pente). La planche XXII montre une vue LiDAR de cette zone. La vue est composée d'une superposition par transparences d'un modèle ombré (azimut 270°, élévation 45°), d'un modèle de pentes et d'un modèle TPI (planche XXII-a). La planche donne également une restitution schématique de l'ensemble des entités observées, dessinées en superposition sur le modèle LiDAR (planche XXII-b).

Parmi les variations topographiques observables sur le modèle numérique, quelques aménagements sont des structures contemporaines identifiables sur le plan cadastral actuel (*cf.* BD PARCELLAIRE[®], en illustration sur la figure 68). Il s'agit d'éléments de voirie et de limites parcellaires. On y retrouve une route forestière actuelle, étroit ruban sinueux et allongé d'une largeur constante (environ 10 m de large dans la réalité). Son relief bien marqué est facilement repérable sur le modèle numérique : c'est un long et mince replat bordé de part et d'autre de fins bourrelets au profil irrégulier. Les limites parcellaires sont d'autres linéaments étroits et bien rectilignes (larges d'environ 3 m), légèrement surcreusés par rapport au relief environnant (0,10 à 0,30 m selon les endroits). Ce surcreusement est dû, le plus souvent, à un tassement du sol : ces emplacements sont fréquemment utilisés comme chemins, à titre provisoire (pour des travaux forestiers, par exemple) ou permanent.

On remarque également, située dans la partie supérieure droite de cette vue LiDAR, une forme compacte ovalaire mesurant environ 80 m sur 60 m, schématisée par une surface en rose clair sur la planche XXII-b. Cette forme en creux au fond sensiblement plat, dessinant une dépression profonde de près de 8 m sur une surface d'environ 500 m² est une doline, forme naturelle créée par l'érosion du substrat calcaire, typique du relief autour de Besançon, zone géologique karstique. Les bords de la doline sont asymétriques ; la face

orientée au sud-ouest est abrupte et forme une petite falaise, alors que le côté opposé, au nord-est, décrit une pente douce qui s'étend sur une quinzaine de mètres entre le fond de la doline et le niveau supérieur du plateau calcaire.

De nombreuses autres entités occasionnant des variations du relief sont repérables sur cette vue LiDAR, micro-variations ponctuelles compactes ou linéaments, observables sur plusieurs dizaines ou même centaines de mètres. Contrairement aux limites parcellaires actuelles et à la route forestière, ces entités ne figurent sur aucun plan ou carte actuels, ni sur aucune couche de données géoréférencées sur SIG.

Parmi elles, on trouve des chemins non répertoriés, dus aux travaux forestiers ou bien créés par des passages de promeneurs ou d'animaux répétés au même endroit. Ce sont des chemins anciens ou récents, toujours fréquentés mais non répertoriés, ou alors d'anciens chemins, structures aux gabarits plus ou moins importants, abandonnés mais néanmoins toujours visibles sur les données LiDAR. Les chemins dus aux engins de débardage sont identifiables sur le modèle LiDAR par la présence de deux empreintes parallèles rapprochées, en creux, imprimées par les roues des engins. Ils suivent souvent des trajectoires reconnaissables par un tracé bien particulier, sinueux, parcours un peu désordonné au travers d'une ou de plusieurs parcelles. La figure 69 en donne un exemple ; la figure 70-a montre un aperçu photographique d'un chemin d'exploitation forestière²²⁶. Sur la planche XXII-b et sur la figure 71, les chemins de débardage sont représentés en rouge (traits sinueux d'épaisseur moyenne). Les travaux forestiers occasionnent également une autre forme typique repérable sur les données LiDAR : les marques de cloisonnements* sylvicoles (cliché d'illustration sur la figure 70-b). Le cloisonnement consiste à façonner, dans des parcelles forestières en régénération, des séries de couloirs débroussaillés parallèles, régulièrement répartis, où la végétation est broyée à l'aide de machines. Sur le modèle LiDAR, ces couloirs forment des séries de fines bandes légèrement en dépression. Sur la vue schématique de la planche XXII-b et la figure 71, les cloisonnements sont symbolisés par de fins traits droits rouges.

Cette zone échantillon contient d'autres tronçons de chemins, schématisés par des traits de couleur marron. Certains petits tronçons, situés le long de la route forestière actuelle, correspondent sans doute à des variantes (actuelles ou anciennes) de cette route (raccourci, ancien tracé, variante pour éviter l'embourbement, etc.). Ailleurs, un autre tronçon se

²²⁶ La zone présentée sur la figure 69 est située dans la partie sud-est de la forêt de Chailluz.

distingue, nettement plus large que les autres ; il suit sensiblement le même axe que la route forestière actuelle, dont il est distant de quelques dizaines de mètres, plus à l'ouest. Ce long replat sensiblement rectiligne a une largeur presque constante (entre 9 et 10 m en réalité). Il s'agit vraisemblablement d'une ancienne route, qui ne figure cependant sur aucun plan. Comparativement à la route forestière actuelle, son tracé est beaucoup moins net, et elle n'est bordée par aucun bourrelet. Par ailleurs, elle est recoupée par la plupart des autres entités détectables, ce qui est aussi un indice de son antériorité.

D'autres linéaments sont interprétables comme des aménagements en terrasse²²⁷, probables vestiges d'espaces autrefois ouverts et destinés à un usage agropastoral (vergers, vignes, pâtures, par exemple). Ces entités (symbolisés par des traits de couleur verte sur la planche XXII-b et sur la figure 71) sont d'étroits linéaments formant des épaulements et/ou replats plus ou moins marqués, aménagés perpendiculairement aux pentes. Ces structures sont rarement observées seules ; on les rencontre en général par groupes de linéaments sensiblement parallèles les uns aux autres, bien rectilignes ou avec des sinuosités, et composant ensemble des blocs de tailles variables. En forêt de Chailluz, ces aménagements sont fréquemment associés à des tas d'épierrements disposés dans l'espace de façon irrégulière, petites entités en élévation, compactes et subcirculaires, d'un diamètre variant de 4 m pour les plus petits à 15 m environ pour les plus grands (les tas d'épierrement sont représentés en vert clair ou en jaune sur les dessins schématiques). Sur le terrain, ces structures sont des amas de blocs calcaires de tailles et de formes variées. Les pierres, plus ou moins grandes, sans indice de façonnage et entre lesquelles on observe généralement des interstices, semblent simplement disposées en tas, sans agencement particulier. Les amas sont de hauteur variable (quelques dizaines de centimètres à deux mètres environ pour les plus élevés) ; les plus hauts sont souvent ceux qui présentent aussi le plus grand diamètre.

Les terrasses à usage agro-pastoral sont des aménagements très répandus et dont l'utilisation, encore constatée aujourd'hui, est déjà attestée à l'âge du Bronze (*cf.* Harfouche, 2010, par exemple)²²⁸. La figure 72 montre en illustration, choisie hors de la zone de Besançon, une vue LiDAR et une orthophotographie de terrasses viticoles

²²⁷ Parfois, il est difficile de différencier un chemin et une terrasse : tous deux ont des caractéristiques communes – étroit linéament formant un replat. Parfois aussi, les deux fonctions peuvent se confondre, la zone terrassée pouvant faire office de chemin. Pour la zone de Besançon, en cas de doute entre les deux fonctions, l'entité a été classée en terrasse. Une vérification sur le terrain permet le plus souvent de lever le doute.

²²⁸ On peut consulter, au sujet des terrasses et plus généralement, des aménagements en pierres sèches un site internet spécialement dédié à ce sujet <http://www.pierreseche.com/> (lien valide au 1^{er} juin 2014).

aménagées sur le flanc d'une colline dans le vignoble alsacien. Une partie de ces structures est encore utilisée et entretenue aujourd'hui, occupée par des rangs de vignes ; une autre partie est à présent recouverte par la forêt ou en cours de reboisement. Comparativement, le relief des terrasses visibles dans la zone échantillon en forêt de Chailluz²²⁹ est nettement moins marqué que sur l'exemple choisi dans le vignoble alsacien. Mais on retrouve dans les deux exemples des caractéristiques morpho-typologiques communes : ces terrasses forment des linéaments parallèles de longueur variable, aménagés par blocs perpendiculairement aux pentes, et dessinant des épaulements plus ou moins marqués.

Une vue 3D (figure 73) de la zone échantillon²³⁰ permet de mieux apprécier comment ces aménagements en terrasse sont organisés par rapport au pendage et au relief naturel du terrain. Elle donne aussi un aperçu de l'empreinte et du tracé du réseau viaire (actuel ou passé) par rapport au relief. La visualisation en 3D des données topographiques est, d'une manière générale, une source d'information utile à l'analyse des structures composant un paysage. Ce mode de représentation a permis, sur la zone de Besançon, de mieux saisir l'insertion des structures d'origine anthropique dans le relief naturel à partir du modèle numérique. C'est un outil de contextualisation visuelle des données qui complète la vue en plan ou en coupe. D'autre part, la 3D s'avère spécialement utile pour appréhender certaines entités naturelles en milieu forestier, où la couverture arborée empêche la vue d'ensemble sur le terrain.

Outre des aménagements parcellaires et des tronçons viaires actuels ou fossilisés sous forêt, on détecte sur la zone échantillon de petites structures compactes, circulaires, planes, d'un diamètre de 7 à 10 m (planche XXII, ronds bleus). Ce sont d'anciennes plateformes de charbonniers, facilement reconnaissables sur le terrain par la présence d'une terre noire chargée en fragments de charbon de bois (voir figure 74). Ces structures sont également schématisées par de petits disques bleus sur la figure 71.

Enfin, dans la partie est de la zone, on remarque un four à chaux, petite structure circulaire d'approximativement 5 m de diamètre. Cette entité formant une dépression circulaire est profonde en son centre d'un bon mètre. Dans la fosse centrale, on trouve des résidus de

²²⁹ En référence aux données historiques, il est certain que ces terrasses en forêt de Chailluz sont abandonnées depuis plus de cinq cents ans. En effet, le texte définissant les limites de la forêt de Chailluz en 1518, conservé aux Archives municipales sous la cote DD 106, mentionne uniquement un « bois », et ne fait aucune allusion à la présence de « planches » (cf. première partie, sources historiques). D'autre part, le plan de Besançon et ses environs, contemporain de ce texte (Archives municipales de Besançon, cote Yc Bes A1) figure uniquement une couverture forestière dans la zone de la forêt de Chailluz.

²³⁰ La vue 3D est cadrée sur une zone plus large que la zone échantillon.

chaux. Les bords de la structure sont un bourrelet circulaire surélevé de quelques dizaines de centimètres par rapport au niveau de sol extérieur. Ce bourrelet, constitué par la terre rejetée sur les côtés au moment du défournement après la cuisson du calcaire, contient de nombreux fragments de terre rubéfiée. La figure 74 présente un exemple de four à chaux en forêt de Chailluz.

La figure 71-a présente une schématisation de toutes les entités détectées sur cette zone échantillon de 15 ha. Après interprétation, on peut isoler et mettre en évidence les structures d'origine anthropique non actuelles, susceptibles de nous renseigner sur l'utilisation passée de cette partie de la forêt (figure 71-b). Ce sont les indices d'une fonction agro-pastorale, l'indication d'un ou d'autres systèmes de voirie, ou encore les témoins de l'utilisation passée des ressources naturelles disponibles en forêt (fabrication de chaux, de charbon de bois). La datation de ces entités est parfois possible à partir de prospections archéologiques, de prélèvements d'échantillons ou de croisement avec des données historiques (ces questions sont développées en troisième partie).

2.1.2.2 - Décrire, classer et identifier les entités en forêt de Chailluz et dans ses environs

En suivant la même démarche que celle exposée dans les lignes précédentes (application de divers traitements de visualisation au modèle numérique, détection et dessin des entités, pré-interprétation, vérification sur le terrain si nécessaire, corrections éventuelles), on a analysé l'ensemble du modèle LiDAR pour la forêt de Chailluz et dans ses alentours.

Les diverses entités détectées sont présentées sur les planches XXIII à XXV. Sur ces planches, l'ensemble des structures a été dessiné sur un modèle numérique de terrain ombré suivant un azimut de 270° et une élévation de 45°.

Par choix, les entités manifestement attribuables à des activités récentes (chemins de débardage, cloisonnements, en particulier) ou indiquées par les plans et cartes actuels (carte IGN 1 / 25 000, plan cadastral actuel) ne sont pas dessinées ici.

La zone de détection a été limitée à la forêt de Chailluz et à son voisinage immédiat²³¹ : pentes sur la face nord du bois en côte de Chailluz (territoires des communes de Châtillon-le-Duc, Tallenay, Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley) ; zone de Braillans située à l'est de la forêt de Chailluz ; partie nord de la commune de Thise, limitrophe de la partie sud de Chailluz ; zone des lieux dits « Fonds de Chailluz » et « Dessus de Chailluz » ainsi qu'une petite partie de la commune d'Ecole-Valentin, à l'ouest et au nord-ouest de la forêt. L'ensemble de cette zone d'étude occupe une surface d'environ 34 km².

Les entités ont été dessinées sur SIG en utilisant un système de coordonnées exprimé en Lambert II étendu²³², sous la forme de polygones ou de points. Le dessin par points a été adopté pour représenter des entités compactes avec une morphologie homogène, présentes en grand nombre sur la zone. C'est ainsi qu'ont été schématisés les plateformes de charbonniers, les fours à chaux (entités d'origine anthropique, planche XXIV) et les dolines, (entités naturelles, planche XXV). Les autres structures ont été figurées par des polygones. Ce mode de représentation a été retenu parce qu'il a été estimé, au fur et à mesure des recherches, le plus efficace pour observer et analyser à l'œil nu l'organisation spatiale des entités, aussi bien dans leur environnement que les unes par rapport aux autres, tout en offrant la possibilité de changer d'échelle d'observation sans nécessité de modifier le rendu ou les paramètres du dessin schématique. On peut ainsi observer et analyser visuellement la localisation et la répartition d'entités considérées à petite échelle, apprécier comment elles sont organisées les unes par rapport aux autres, comment des aménagements d'origine anthropique sont intégrés dans le relief naturel. Et en même temps, sans nécessité de modifier les paramètres du dessin²³³, on peut observer une zone dans ses détails, à grande échelle, étudier la topographie d'une structure particulière et analyser son insertion dans son environnement local. La schématisation par polygones s'est notamment révélée la plus efficace pour une analyse visuelle des faisceaux de voies ou chemins, parce qu'elle permet de différencier les éléments de voirie en fonction de leur largeur – et donc d'envisager, par exemple, une hiérarchisation d'un réseau de voies - tout

²³¹ Le travail de détection et de vérification a en réalité concerné l'ensemble de la zone LiDAR autour de Besançon (travail toujours en cours actuellement), mais seule la zone au voisinage de Chailluz est présentée ici.

²³² Bien que le système de référence actuel soit le RGF93*, le système de projection L2E a été choisi parce qu'il correspond encore actuellement au système de référence en usage à la DRAC* – Service de la Carte Archéologique - et à l'ONF, deux interlocuteurs majeurs pour la gestion, le référencement et la préservation du patrimoine archéologique détecté en forêt de Chailluz.

²³³ Concrètement, la représentation des entités sous la forme de lignes ou de points nécessite, pour conserver la lisibilité du schéma, qu'on modifie l'épaisseur du trait ou la taille du point pour observer à des échelles très différentes.

en rendant possible la visualisation de faisceaux de petits chemins formant ensemble un axe de circulation.

Quelques entités naturelles remarquables ont été dessinées en polygones en raison de la variabilité de leur morphologie et de leur emprise spatiale. Les glissements de terrain, particulièrement importants et nombreux sur la face nord du bois en côte de Chailluz (en particulier sur la commune de Bonnay, où un glissement de terrain massif s'est produit en 1983) ont été schématisés ainsi. On a procédé de la même façon pour la représentation de soutirages* naturels ou d'effondrement du terrain. Ces données sont figurées sur la planche XXV.

La planche XXIII montre les aménagements anciens détectés autres que les plateformes de charbonniers, les fours à chaux et les carrières. Les entités dessinées correspondent à des vestiges de murs en pierres sèches (enclos, murs de délimitation, etc.), des talus (talus en pierre sèche ou en terre), des fossés (fossés de délimitation, structures fossoyées pouvant faire office de chemin), des épaulements ou aménagements en terrasses (aménagements agricoles et, éventuellement, terrassements annexes réalisés autour d'une voie), des tronçons de chemins ou de voies, des amas de pierres (qui renvoient le plus souvent à des tas d'épierrement agricole). Ce sont pour la plupart des entités non datées par les archives (textes ou plans). Dans les zones en périphérie de la forêt de Chailluz, les entités dessinées sont généralement des limites parcellaires ou des marques d'aménagements agricoles (vestiges de champs bombés). Les ouvrages militaires (tranchées, constructions, levées de terre) ont également été représentés.

Les entités figurées par une couleur rouge sur la planche XXIII correspondent à des structures réalisées en pierre, en lien avec des aménagements parcellaires (mur formant une limite entre deux parcelles, par exemple), des établissements (enclos construit autour d'un bâtiment, par exemple) ou des activités à vocation agropastorales (tas d'épierrement). Les entités figurées en vert correspondent aux autres variations du relief en lien avec des aménagements parcellaires non identifiés sur le plan cadastral actuel (terrasses, fossés, sommets de « champs bombés* », talus non empierrés²³⁴). Les entités dessinées en bleu correspondent aux aménagements d'origine militaire (forts, tranchées, batteries, etc.), dans

²³⁴ On indique un « talus non empierré » lorsque, après vérification sur le terrain, on a constaté que la structure concernée est réalisée en terre. D'autre part, il est possible que les terrasses observées reposent ou ont par le passé reposé sur une structure empierrée (mur, etc.), qui soit resté complètement invisible en surface (colluvionnement), soit a disparu du fait de l'érosion.

l'ensemble datables de la fin du 19^{ème} siècle. Les entités schématisées en brun représentent les vestiges d'éléments de voirie non attribuables *a priori* à des chemins de débardage ou à des travaux forestiers récents, et qui ne correspondent à aucun chemin identifié sur la documentation cartographique actuelle.

Sur la planche XXIV, les plateformes de charbonnier sont représentées par des points de couleur bleue et les fours à chaux par des points de couleur rose. Les carrières de lave sont figurées par des polygones de couleur violette.

Sur la planche XXV, les dolines sont indiquées par des points de couleur marron. Les glissements de terrain sont mis en évidence par des polygones en orange clair, et les effondrements ou soutirages en orange foncé.

2.2

Analyse des conditions d'observation et caractérisation de la distribution spatiale des entités archéologiques détectées.

2.2.1 - Facteurs influant sur les conditions d'observation et sur la conservation des données topographiques

Les planches XXIII à XXV montrent une grande quantité d'entités détectées sur l'ensemble de la zone d'étude. Quels sont les facteurs déterminants qui permettent d'évaluer la fiabilité de ces schémas ? La détection a-t-elle été exhaustive ? Sinon, pour quelles raisons ? Quelles structures ne sont pas détectées, détectables, représentées ou représentables ? D'autre part, sur la base de quels critères a-t-on sélectionné et interprété les entités dessinées ? Et quelles sont les limites d'interprétation auxquelles on est confronté ?

2.2.1.1 - Les limites du relevé de points-sol obtenus par l'acquisition LiDAR.

Par hypothèse, on a considéré que la qualité technique du relevé d'une part, et celle du modèle de surface dérivé, d'autre part, sont satisfaisantes (autrement dit, on suppose que le relevé LiDAR et le/les modèle(s) numérique(s) ont été réalisés « dans les règles de l'art »).

La qualité documentaire du relevé (et celle du modèle qui en est dérivé) dépend de la densité de points-sol renseignant la topographie de la zone étudiée. La planche XXVI montre la densité du semis de points-sol acquis par le relevé LiDAR de la forêt de Chailluz et ses environs. Cette densité représente un nombre de points divisé par une surface, généralement exprimée en m^2 ; on peut aussi la calculer en unités de surface plus grandes (are, hectare, etc.). Pour évaluer si un ensemble de points-sol est suffisamment complet pour restituer la topographie d'une structure donnée, la densité devrait être exprimée en fonction d'une unité surfacique en adéquation avec les dimensions de la structure étudiée : on se réfère à des unités différentes selon que la structure à détecter mesure 1000 m ou bien 10 m de côté.

Sur la planche XXVI, la densité des points LiDAR est exprimée en nombre de points/ m^2 et en nombre de points/are. La densité de points par m^2 permet d'évaluer très localement la

fiabilité des valeurs altimétriques attribuées aux pixels du modèle numérique dérivé. La densité exprimée en nombre de points par are est adaptée à l'analyse de l'information topographique à l'échelle d'une entité de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de côté - ce qui correspond le plus souvent à l'ordre de grandeur des structures d'origine anthropique. Pour l'essentiel, les densités de points-sol du relevé de Besançon sont situées dans des fourchettes de 5 à 12 points/m² (zones en bleu sur la planche XXVI-a) et 600 à 1200 points/are (zones en vert en en jaune sur la planche XXVI-b). Une bande large d'environ 1 km située au sud-est de la forêt de Chailluz, entre Chalezeule et Roche-lez-Beaupré, présente des densités de points nettement supérieures à ces moyennes : cette zone correspond aux bandes de vol ayant servi à l'étalonnage du système laser qui a effectué le relevé (*cf.* présentation générale du relevé LiDAR de Besançon en fin de première partie). Une autre zone, à l'est de la forêt de Chailluz, présente au contraire des densités de points sensiblement inférieures à la moyenne (zones colorées en blanc et en nuances de gris ; ceci est dû aux nombreux résineux qui peuplent cet endroit). La topographie de cette partie de la forêt est donc potentiellement moins bien renseignée par les données LiDAR.

Peut-on caractériser le type d'entité susceptible d'avoir échappé au relevé dans cette zone moins bien couverte par le relevé LiDAR ?

Globalement, la visualisation sur un modèle numérique et la détection d'une entité dépendent de deux paramètres principaux : d'une part, la capacité du semis de points à restituer les caractéristiques morphologiques principales de la structure recherchée et, d'autre part, la résolution de l'image observée. En effet, une structure circulaire de 5 m de diamètre ne sera jamais détectable sur un modèle numérique où la taille d'un pixel vaut 10 m, quel que soit le nombre de points relevés initialement.

Autrement dit, combien de points faut-il pour générer un modèle raster d'une résolution adaptée à la détection et à l'interprétation d'une forme ?

Pour illustrer ces questions, considérons une entité détectée par centaines d'individus en forêt de Chailluz : la plateforme de charbonnier. Cet aménagement a une morphologie bien identifiable ; c'est un espace circulaire, parfois légèrement ovalaire, plan, d'un diamètre compris entre 6 m et 10 m. Combien faut-il de pixels sur une image raster pour pouvoir identifier cette structure et combien de points-sol sont-ils nécessaires pour générer un modèle numérique avec une résolution adaptée ?

Morphologiquement, on a schématisé cette structure par un disque-symbole de 10 m de diamètre. Vue sur un modèle numérique de terrain ombré, la plateforme ressemble à un petit disque de couleur uniforme, un « confetti » gris inséré dans une surface d'un autre gris (figure 75-a)²³⁵. Sur la figure 75-b, le disque-symbole de référence (au centre de l'image) peut être virtuellement inclus dans différentes grilles carrées découpées suivant des maillages réguliers (les maillages représentés sur la figure sont respectivement de 4, 9, 16, 25, 49, 100, 225 et 625 mailles soit, pour un disque de 10 m de diamètre, des mailles de : 5 m ; 3,33 m ; 2,5 m ; 2 m ; 1,43 m ; 1 m ; 0,67 m et 0,25 m). On applique ensuite, sur toutes les mailles dont la surface appartient majoritairement au disque, la couleur gris clair du disque-symbole. Les pixels dont la surface est majoritairement à l'extérieur du disque prennent la couleur gris foncé du fond²³⁶. On observe – de façon empirique - que la lisibilité de la forme circulaire est amorcée à partir d'un découpage en 25 mailles, bien que, dans ce cas, l'assimilation à un disque reste franchement hypothétique. L'ébauche du disque devient significative à partir du découpage en 49 mailles, soit un rapport surface du pixel/surface de la forme complète de l'ordre de 1/20. Elle devient de plus en plus précise à mesure qu'on augmente la résolution. Avec un découpage en 625 mailles, on est très proche, à l'œil nu, d'une forme effectivement circulaire. Dans notre exemple, la lisibilité du disque serait déjà possible à partir d'une résolution de 1 pixel = 1,43 m (découpage en 49 mailles). Cette lisibilité serait confortable avec 225 pixels (1 pixel = 0,67 m) et excellente avec découpage en 625 mailles correspondant à une résolution de 1 pixel = 25 cm.

En extrapolant cette observation aux données LiDAR, on peut supposer qu'une plateforme de charbonnier est éventuellement détectable si on dispose d'un ensemble de points d'une densité voisine de 50 pts/are, et que cette structure est facilement identifiable si la densité de points atteint 100 points/are environ (par hypothèse, on part du principe que les points sont répartis assez régulièrement sur la surface considérée).

Vérifions si cette hypothèse est confirmée sur une zone test choisie sur le relevé LiDAR de Besançon (planche XXVII). Cette zone test, d'une superficie totale de 193 m², mesure environ 15 m sur 13 m. C'est un terrain naturellement en pente, et la plateforme de charbonnier installée là se distingue nettement, surface ovalaire bien plane d'environ 9 m sur

²³⁵ Souvent, le disque est légèrement ovalaire dans les pentes à cause de l'érosion naturelle de la structure.

²³⁶ Les deux nuances de gris ont été choisies volontairement assez proches, ce qui correspond concrètement au cas de figure qu'on rencontre réellement en observant les modèles numériques.

6 m. Cette plateforme est facilement repérable sur les modèles numériques MNT_{50cm} et MNTB_{20cm} après l'application d'un traitement de visualisation (pente, ombrage simple, etc.).

A partir du relevé de points LiDAR original, on a réalisé quatre ensembles de points appartenant tous au sol de la zone test. Ces ensembles contiennent 383 points, 225 points, 112 points et 50 points, ce qui correspond à des densités respectives d'environ 200 points/are, 100 points/are, 50 points/are et 25 points/are. Sur la planche 2-H, les vignettes de gauche permettent également de connaître la densité du semis de points par m² (sur ces vignettes de gauche, chaque pixel blanc, gris ou noir représente une densité de points/m²).

L'ensemble contenant 383 points a été simplement extrait du nuage de points-sol original obtenu avec le filtrage LIEPPEC. Les trois autres ensembles ont été réalisés par soustractions successives de points, en prenant soin que l'échantillon final forme un semis relativement régulier sur l'ensemble de la zone. La planche XXVII montre les différentes répartitions de ces points (points rouges sur les vignettes). On a ensuite réalisé plusieurs modèles numériques de terrain à partir de chaque ensemble, en employant toujours le même protocole²³⁷. Ces modèles ont été effectués avec des résolutions de 1 m, 50 cm et 20 cm. La planche XXVII les présente après application d'un traitement de visualisation (ombrage simple selon un azimut 315° et une élévation de 45°).

On évalue ensuite la lisibilité à l'œil nu de la forme circulaire.

Trois modèles offrent un rendu des détails et un « confort de lecture » qu'on peut considérer comme optimaux : les contours de la structure ovale sont bien marqués, et on voit un détail topographique supplémentaire situé sur la gauche de la plateforme, une petite anomalie topographique linéaire (zone entaillée formant un petit décrochement dans la pente) qui prend la forme d'un fin trait gris foncé sur le MNT ombré. Ces trois modèles « optimaux » sont obtenus avec une densité de 200 points/are et une résolution de 50 cm et 20 cm, ainsi qu'avec une densité de 100 points/are et une résolution de 50 cm (modèles dans le cadre bleu sur la planche XXVII).

Trois autres modèles offrent une lisibilité estimée correcte (modèles encadrés en vert sur la planche XXVII ; modèles avec une densité de 50 points/are et une résolution de 50 cm et 20 cm et modèle avec une densité de 100 points/are avec une résolution de 20 cm). Les modèles

²³⁷ Réalisation des MNT avec LP360 sur Arcgis en utilisant la technique IDW avec prise en compte de tous les points compris dans un rayon de 2 m.

avec une résolution de 20 cm sont assez fortement bruités, ce qui handicape la lisibilité. On observe néanmoins que la petite anomalie rectiligne sur la gauche de la plateforme est encore perceptible sur le modèle à 20 cm de résolution obtenu à partir de l'ensemble de points d'une densité de 100 points/are. Dans les modèles issus de l'ensemble de points d'une densité de 50 points/are, la forme générale de la plateforme de charbonnier est encore bien visible, mais ses contours sont moins bien définis.

On peut considérer que sur quatre autres modèles, la détection de la structure est possible (modèles encadrés en orange ; modèles avec une résolution de 1 m dérivés des ensembles de points de densités 200 points/are, 100 points/are et 50 points/are et modèle avec une résolution de 50 cm et une densité de 25 points/are). Le modèle avec une résolution de 50 cm contient des artefacts* topographiques, apparus parce qu'il n'y a pas assez de points pour renseigner correctement les variations altimétriques du sol. Sur les modèles de résolution à 1 m, l'image est très pixellisée, ce qui gêne la lecture de la forme.

Enfin, les deux derniers modèles, encadrés en rouge sur la planche XXVII apparaissent inexploitable : le modèle avec une résolution de 20 cm est vraiment trop bruité. Le modèle avec une résolution de 1 m ne permet pas de distinguer avec certitude la forme ovale de la plateforme.

Cette évaluation empirique de la perception de l'information topographique à partir de ces divers modèles apporte plusieurs indications. Elle montre que la qualité du rendu visuel d'un modèle dépend à la fois de la résolution choisie et de la densité du semis de points pris en compte. Elle montre aussi – mais ce constat est valable uniquement pour l'exemple pris ici de la plateforme de charbonnier sur un terrain en pente – que la réalisation d'un MNT d'une résolution de 50 cm à partir d'un relevé de points-sol d'une densité de 1 point/m², voire 0,5 point/m² fournit une qualité visuelle parfaitement exploitable pour la détection de cette entité occupant une surface approximative de 50 m². On voit également que, toujours sur la base de ce seul exemple, le rendu visuel et la capacité à détecter la structure sont meilleures dans tous les cas avec une résolution de 50 cm qu'avec une résolution de 1 m, quelle que soit la densité de points initiale prise en compte. Ceci peut signifier que, dans les choix à faire pour la réalisation d'un MNT (taille du pixel vs densité de points), il est peut-être préférable d'accorder la priorité à une résolution optimale, en rapport avec la taille des entités à détecter, plutôt que d'adopter une résolution théorique directement déduite de la densité de points ; en veillant toutefois à ce que cette résolution

reste dans des proportions raisonnables par rapport à la densité de points du relevé. Sur l'exemple de la planche XXVII, on peut, d'une part, estimer que la maille optimale mesure 50 cm de côté et, d'autre part, considérer que la densité de points minimale acceptable pour générer un MNT de 1 pixel = 50 cm équivaut à 50 points/are, avec une répartition des points dans l'espace telle que la densité de points/m² est voisine de 1 point/2 m² (ce dernier critère assure qu'on a une répartition suffisamment homogène des points).

Pour aller plus loin dans ces observations, il faudrait répéter cette expérience sur différents types de structures (micro- et macrostructures, sur terrain en pente, sur terrain plat, formes en creux, en élévation, compactes ou étirées, etc.) et aussi sur diverses textures de terrain, afin d'évaluer les paramètres optimaux (densité de points, résolution, qualité de rendu visuel) en mesure de répondre aux attentes de l'analyse topographique à produire²³⁸.

Néanmoins, ce test a permis d'estimer que la qualité de la donnée topographique obtenue grâce aux données LiDAR sur la forêt de Chailluz et ses environs était suffisante sur la presque totalité de la zone d'étude pour la détection d'entités de quelques mètres de côté. En ce qui concerne la zone moins bien couverte par le relevé dans la partie est de Chailluz, qui s'étend sur environ 170 hectares, il convient en revanche de la considérer dans son ensemble comme une zone de moindre lisibilité, où la fiabilité de détection d'aménagements de petite taille (surfaces de quelques dizaines de m²) est inférieure à celle envisagée pour la zone d'étude en général, sans toutefois être *a priori* nulle. De plus, sur ces 170 hectares, quatre zones totalisant environ 70 hectares (figure 76), où les densités moyennes de points par are sont le plus souvent inférieures à 100 points/are tout en présentant des densités de points/m² plus fréquemment nulles que supérieures ou égales à 1 point/m² sont particulièrement mal couvertes par le relevé. Ces zones posent problème parce qu'elles présentent à la fois de faibles densités de points par are et des répartitions hétérogènes des semis de points. La détection de macrostructures y est possible (dolines, par exemple), mais on a considéré qu'on ne peut y garantir la mise en évidence d'entités de petite taille.

²³⁸ Il faudrait aussi par ailleurs tester sur ces exemples différents modes de génération de modèles de terrain. Ce travail, dont la réalisation a initialement été envisagée sur le temps de la thèse n'a pas pu être mené à terme, faute de temps.

2.2.1.2 - Influence de l'artificialisation des sols et des pratiques agricoles contemporaines sur l'érosion des microreliefs.

Le type d'occupation du sol actuel a une influence sur la nature et la durée de conservation des entités détectables : il est bien plus probable qu'on puisse observer encore aujourd'hui des aménagements abandonnés depuis plusieurs siècles dans une forêt qu'en plein cœur d'un centre-ville. On a aussi plus de chances de voir les vestiges d'une structure ancienne encore en élévation dans une forêt ou dans une friche, où le sol est rarement perturbé, que sur des sols cultivés et labourés tous les ans.

La figure 77 montre un exemple d'érosion différentielle des microreliefs occasionnés par des aménagements parcellaires anciens encore en usage au début du 19^{ème} siècle, ainsi qu'en atteste un extrait du plan cadastral napoléonien²³⁹. On remarque sur la vue LiDAR que d'anciennes parcelles présentant les caractéristiques morphologiques de « champs bombés » sont aujourd'hui partiellement situées sous couvert forestier (zones en surbrillance verte). Dans la partie boisée actuelle, les bombements se voient nettement (cercle noir), alors qu'ils sont presque totalement effacés, arasés dans les zones encore cultivées aujourd'hui (cercle rouge).

Si les pratiques liées au type d'occupation du sol sont susceptibles d'entraîner la disparition d'aménagements anciens de petites dimensions, leur impact est rarement à même de modifier profondément la topographie de macrostructures : l'érosion du sol due à des labours ne peut suffire à araser une colline. Néanmoins, les activités humaines peuvent sensiblement modifier la topographie de certains reliefs naturels. Les figures 78 et 79 en donnent quelques exemples choisis autour de Besançon. Sur la figure 78, une doline sur le tracé de l'autoroute A36 a été entièrement comblée. Au bord d'une autre route (RD 486 menant de Besançon à Marchaux), une extraction ancienne de matière minérale²⁴⁰ a modifié sur une longueur d'environ deux cents mètres la pente douce naturelle d'une colline qui surplombe la route au sud-est, créant de petites falaises artificielles hautes de plusieurs mètres. La figure 79 montre la modification du cours du ruisseau du Trébignon (commune de Thisse) : en 1809, le plan

²³⁹ Extrait du plan cadastral napoléonien de Geneuille daté de 1806 (plan conservé aux Archives départementales du Doubs sous la cote 3P 994).

²⁴⁰ Il pourrait s'agir d'une extraction de marnes, ainsi que le suggère le toponyme « Aux Marnières » donné à cet emplacement sur le plan cadastral napoléonien de Marchaux daté de 1824 (document Archives départementales du Doubs, cote 3P 1077).

cadastral ancien (figure 79-a) indique un ruisseau au cours sinueux (le lit ancien du cours d'eau est reproduit par un trait pointillé sur la figure 79-b), à présent transformé en un tronçon bien rectiligne (trait plein bleu clair sur la figure 79-b) enjambé, à proximité de sa source, par la voie ferrée construite au cours du 19^{ème} siècle²⁴¹.

Le potentiel de conservation de microreliefs, en particulier celui d'aménagements anciens encore visibles en surface aujourd'hui, diffère selon la nature de l'occupation du sol. A partir de ce constat, on a composé pour la zone d'étude de la forêt de Chailluz une carte d'occupation du sol qui partage l'espace selon trois catégories : zones boisées, espaces ouverts non construits et zones bâties ou occupées par des éléments de voirie actuels²⁴². La zone d'étude a été découpée suivant une grille régulière, calibrée par choix suivant des mailles de 20 m de côté²⁴³.

La délimitation des zones boisées se base sur la cartographie de la couverture forestière établie par l'IFN²⁴⁴ ; cette donnée disponible sous forme vectorielle a été transformée en un modèle raster où 1 pixel = 20 m x 20 m (figure 80)²⁴⁵. Plus de 60 % de la zone d'étude est sous couvert forestier.

La localisation des bâtiments a été directement déduite des données LiDAR, en générant un modèle numérique du bâti à partir de l'ensemble de points appartenant à la classe des points du bâti selon la classification LIEPPEC²⁴⁶. Ce modèle a d'abord été réalisé avec une résolution de 1 pixel = 50 cm x 50 cm, afin d'obtenir une localisation des structures construites la plus précise possible (figure 81). Ce premier modèle a ensuite été généralisé pour obtenir une résolution de 1 pixel = 20 m x 20 m ; dans ce voisinage de 20 m autour des structures construites, on a estimé que la probabilité de détecter un aménagement ancien était pratiquement nulle. Par ailleurs, on a défini un deuxième périmètre prenant en compte l'espace autour des constructions selon une maille de 40 m de côté, où on a supposé que

²⁴¹ Les activités humaines peuvent parfois mener à une modification vraiment importante du relief naturel : on songe notamment à certaines pratiques d'exploitation du charbon minier emprisonné dans des couches profondes du sol, dont l'extraction peut entraîner la disparition totale de collines (pratique du « mountain top removing », notamment, parmi les exemples récents, dans les Appalaches aux Etats-Unis : cf. Scott, 2010, par exemple).

²⁴² On n'a pas pris en compte ici les surfaces en eau : il n'y en a pas sur la zone d'étude.

²⁴³ Cette taille de maille a été retenue parce qu'elle a semblé la mieux adaptée aux données prises en compte, notamment la résolution des documents cartographiques de référence (carte IGN etc.) et les dimensions réelles des entités cartographiées (bâtiments, par exemple).

²⁴⁴ Cf. base de données cartographiques IGN-IFN couches départementales agrégées, assemblées et généralisées BD FORET®, base vectorielle sur SIG consultable sur <http://inventaire-forestier.ign.fr/carto/carto/afficherCarto/25> (lien valide au 1er juin 2014).

²⁴⁵ A titre indicatif, 20 m correspond à peu près au diamètre maximal de la couronne d'un chêne adulte.

²⁴⁶ Ceci a permis d'obtenir une distribution du bâti plus précise que celle proposée par les données Corine Land Cover, et également plus complète que les données de la BD PARCELLAIRE® disponibles pour l'étude sur le massif de Chailluz.

l'éventualité de conservation et de détection d'aménagements anciens était moins improbable que dans la première zone des 20 m. D'autre part, les éléments de voirie ont été dessinés sur SIG à partir de la carte IGN au 1 / 25 000 (SCAN 25[®]). Tous les tronçons de voirie ont été pris en compte, à l'exception des très petits chemins, symbolisés par des traits noirs fins et pointillés sur la carte à 1 / 25 000²⁴⁷. La figure 82 montre la répartition du bâti et du réseau viaire sur la zone d'étude selon un maillage de l'espace avec un pas de 20 m (mailles de couleur rouge). Elle indique également la localisation du voisinage du bâti suivant des mailles de 40 m de côté (mailles de couleur bleue). Ces données sont représentées sur la figure en superposition avec un extrait de la carte IGN SCAN 25[®].

Le reste de la zone d'étude - endroits non boisés, sans constructions ni tronçons de voirie - a été considéré comme un espace ouvert non construit. Cette dernière catégorie comprend, pour l'essentiel, les zones à vocation agropastorale et les parties non construites de l'espace périurbain lâche.

2.2.1.3 - Influence de l'épaisseur des sols

Les données LiDAR relèvent la topographie des parties visibles du paysage : sol et sursol. Les entités entièrement enfouies dans le sous-sol, qui ne laissent pas d'empreinte topographique en surface, sont indétectables par ce procédé : structures fossoyées et comblées (silo, cave, sépulture, habitat semi-enterré, etc.), entités situées dans des niveaux stratigraphiques recouverts par des couches d'occupation postérieures, ainsi que la quasi-totalité de l'information stratigraphique géologique. L'information contenue dans ces couches est à rechercher avec d'autres techniques : fouilles, sondages, carottes, prospections géophysiques*.

On ne peut donc jamais, à partir de la seule étude des données LiDAR, tenir pour exhaustive la détection d'aménagements anciens. On a fait l'hypothèse pour cette étude que plus la couche superficielle de sol meuble est fine, plus on a de chances d'avoir détecté la majorité des éventuelles entités conservées ; on a estimé qu'un aménagement ancien a plus probablement eu un impact topographique visible en surface et donc observable à partir du relevé LiDAR s'il a été réalisé sur un sol fin que s'il a été installé dans un environnement où le sol est profond. On

²⁴⁷ Ces petits chemins ont un faible impact sur le relief. La voirie a été dessinée sous forme vectorielle (polylignes) et ensuite transposée au format raster avec une résolution de 1 pixel = 20 m.

a par exemple supposé qu'on creuse moins volontiers une structure fossoyée dans un substrat rocheux que dans un sol meuble, et qu'il est donc moins probable qu'on en ait aménagé là où les sols sont fins. Ou encore, on a fait l'hypothèse que dans les zones où le substrat rocheux est faiblement enfoui, on rencontre plus fréquemment des aménagements empierrés – la ressource est disponible sur place - que dans les espaces où la pierre est rare. Les structures empierrées se conservant plutôt bien sur la longue durée, elles restent certainement détectables plus longtemps que des aménagements en matériaux périssables.

Une carte estimative de l'épaisseur des sols de la forêt de Chailluz a été réalisée à partir de la carte des stations forestières²⁴⁸ établie par l'ONF. Elle est présentée sur la planche XXVIII. L'épaisseur des sols a été estimée pour les forêts de Besançon (Chailluz), Braillans, Thise et Mérey-Vieilley. Son évaluation n'a pas été possible pour le Bois de la Lave (commune de Châtillon-le-Duc) et pour les forêts de Tallenay et de Bonnay, aucune carte des stations forestières n'étant disponible pour ces zones. L'épaisseur des sols a été répartie en quatre classes : inférieure ou égale à 20 cm, comprise entre 20 cm et 40 cm, comprise entre 40 cm et 60 cm et supérieure à 60 cm²⁴⁹. On constate que la forêt de Chailluz est majoritairement occupée par des sols d'une épaisseur inférieure ou égale à 40 cm (zones de couleur jaune ou beige sur la planche XXVIII). Les dolines, presque partout présentes sauf dans les pentes au nord du massif, constituent autant de micro zones aux sols profonds²⁵⁰ ponctuant le plateau calcaire aux sols plutôt fins. Une zone située au cœur du massif de Chailluz, décrivant une ligne diagonale sensiblement orientée sud-ouest / nord-est, entre le lieudit « Dessus de Chailluz » à l'ouest et le village de Braillans à l'est, large d'environ 500 m, dispose de sols dont l'épaisseur est majoritairement supérieure à 60 cm (zone où la couleur brun foncé domine sur la carte). Les terrains recoupés par l'autoroute A36, situés pour l'essentiel au pied des pentes du bois en côte, ont également des sols assez profonds (40-60 cm, zones en brun moyen), probablement en raison d'un phénomène mécanique de colluvion au bas des pentes de cette partie nord de la forêt. Enfin, une zone orientée presque nord-sud, légèrement inclinée nord-ouest / sud-est, large de plusieurs centaines de mètres, située entre la forêt de Bonnay au nord et la commune de Thise au sud, est occupée par des sols assez épais (40-60 cm).

²⁴⁸ La carte des stations forestières a été réalisée par l'ONF – Unité territoriale de Besançon il y a une dizaine d'années en utilisant les référentiels et les principes méthodologiques décrits dans le « Catalogue synthétique des stations forestières des plateaux calcaires franc-comtois à l'étage feuillu » (Beaufils, Bailly, 1998). La carte d'estimation de l'épaisseur des sols a été réalisée par C. Fruchart en 2012 en utilisant le même référentiel de stations forestières pour l'évaluation de l'épaisseur des sols.

²⁴⁹ Le choix de ces quatre classes résulte des classes d'épaisseurs de sols définies dans le *Catalogue des stations forestières*.

²⁵⁰ On peut estimer la surface moyenne de sol profond d'une doline à environ 0,5 ha par entité individuelle.

2.2.2 - Quantification et caractérisation de la distribution spatiale des entités

2.2.2.1 - Quantification du potentiel d'information microtopographique observable en surface en fonction de la qualité du relevé LiDAR, de l'occupation du sol et de l'épaisseur des sols

En prenant en compte les facteurs influant sur les conditions d'observation et de conservation des entités témoignant d'éventuelles activités anthropiques passées, évoqués dans les lignes qui précèdent, on a réalisé une carte de quantification estimée de ces conditions d'observation suivant une répartition en 6 classes.

Pour chaque couche d'information²⁵¹, on a affecté aux pixels (1 pixel = 1 maille de 20 m de côté) une valeur-indice numérique (nombre entier choisi parmi les valeurs 1, 25, 50, 100 et 200) attribuée en fonction de leur classe d'appartenance. Ces valeurs-indice ont pour but de traduire numériquement les différences de conditions d'observations estimées. On a attribué comme valeur-indice de référence « neutre » le nombre 100, valeur majorée ou minorée en fonction des autres attributs pris en compte pour chaque couche d'information (nature de l'occupation du sol, densité de points LiDAR, etc.).

La carte du boisement et la carte de répartition du bâti et du réseau viaire ont été fusionnées pour former une seule couche d'information renseignant l'occupation du sol. Quatre valeurs-indice ont été attribuées aux pixels de cette carte : on a donné une valeur de 200 aux pixels appartenant à la catégorie des zones boisées. On a fixé une valeur de 1 pour les pixels appartenant au réseau viaire et pour ceux situés dans un voisinage de 20 m autour des constructions (pixels en rouge sur la figure 82). On a donné une valeur de 25 aux pixels situés au-delà de la zone des 20 m et en deçà de la zone de 40 m autour des constructions (pixels en bleu sur la figure 82). Les pixels qui n'appartiennent à aucune des trois catégories précédentes ont été fixés à la valeur « neutre » de 100. La valeur 200 traduit ici

²⁵¹ Ces couches d'information sont : localisation des surfaces boisées présentée figure 80, localisation du bâti et du réseau viaire présentée figure 81, carte de densité de points-sols par are présentée planche XXVI et carte de l'épaisseur des sols (planche XXVIII).

l'hypothèse que, sous couvert forestier, on a au moins deux fois plus de chances de détecter des microreliefs témoignant d'aménagements anciens encore visibles en surface que dans les zones ouvertes. A l'opposé, la valeur 1 traduit le fait que la probabilité de détecter un aménagement ancien dans le voisinage immédiat des constructions et des routes actuelles est infime.

Pour quantifier la qualité de la donnée LiDAR, on a distribué les densités de points par are en trois classes : les zones où la densité est supérieure à 200 points-sol par are ont été considérées comme fournissant une qualité de renseignement topographique optimale. La surface concernée par cette classe occupe l'essentiel de la zone d'étude (figure 83), c'est pourquoi on a donné aux pixels de cette catégorie²⁵² une valeur neutre de 100. Entre 50 et 200 points-sol par are, on a estimé que la donnée était exploitable mais ne présentait pas une garantie optimale de détectabilité des microreliefs. On a donné à ces mailles une valeur de 50. La dernière catégorie prend en compte les zones où la densité de points par are est inférieure ou égale à 50 points-sol par are. Pour ces mailles fournissant une information vraiment insuffisante, on a donné une valeur de 1.

On a enfin attribué des valeurs-indices selon l'épaisseur des sols²⁵³. Les épaisseurs de sols sont connues sur une partie seulement de la zone d'étude. On sait cependant que, excepté pour la partie située tout au nord / nord-ouest de la zone d'étude (au-delà de la crête de Chailluz), le terrain est essentiellement constitué de deux couches géologiques calcaires formant un grand plateau karstique criblé de dolines et recouvert dans l'ensemble par des sols fins composés d'argiles d'altération ou de décalcification²⁵⁴. Or on a pu constater, là où l'épaisseur des sols a été mesurée, que ce grand plateau calcaire est le plus souvent recouvert de sols épais de 20 à 40 cm. On a donc extrapolé cette classe d'épaisseur de sols comme valeur de référence pour les zones non documentées et on lui a attribué la valeur 100. On a donné la valeur 200 aux zones avec des sols très fins (épaisseur inférieure à 20 cm), la valeur 50 aux sols compris entre 40 et 60 cm et la valeur 25 aux sols dont l'épaisseur est supérieure à 60 cm. On a inclus dans cette dernière catégorie de sols profonds, en plus des surfaces identifiées à partir des cartes d'épaisseur des sols, le fond de

²⁵² Les mailles de cette couche d'information ont été laissées pour cette étape à 10 m x 10 m. Elles ont été généralisées dans un deuxième temps, au moment de fusionner l'ensemble des couches d'informations.

²⁵³ Pour rappel, les 4 classes d'épaisseurs sont : sols dont l'épaisseur est inférieure à 20 cm, sols compris entre 20 et 40 cm, sols compris entre 40 et 60 cm, sols dont l'épaisseur est supérieure à 60 cm.

²⁵⁴ Calcaires « Bajocien » et « Bathonien », cf. données de la carte géologique.

toutes les dolines²⁵⁵ ainsi que les zones où on a pu identifier des glissements de terrain à partir des données LiDAR (cf. planche XXV).

Les trois couches d'informations ainsi constituées (couche C_{occup} pour l'occupation du sol, couche C_{dens} pour la densité de points LiDAR par are et couche C_{ep} pour l'épaisseur des sols) ont ensuite été fusionnées en multipliant les valeurs attribuées individuellement aux pixels (valeurs $V_{i(\text{occup})}$, $V_{i(\text{dens})}$, $V_{i(\text{ep})} = 1, 25, 50, 100$ ou 200). Les valeurs $V_{i(\text{res})}$ de la couche d'information résultante C_{res} ont été calculées de la façon suivante :

$$V_{i(\text{res})} = V_{i(\text{occup})} \times V_{i(\text{dens})} \times V_{i(\text{ep})} \times 10^{-4}$$

pour toutes les valeurs V_i des couches C_{occup} , C_{dens} et C_{ep} de la zone d'étude.

La carte résultante C_{res} illustrée sur la figure 84 représente une quantification de la qualité estimée des conditions d'observation de microreliefs indiquant la présence d'aménagements anciens ou témoignant de micro perturbations d'origine naturelle et visibles en surface. Les valeurs $V_{i(\text{res})}$ calculées, comprises entre 1 et 400, ont été réparties en six classes : valeurs égales à 1, 25, 50, 100, 200 et 400²⁵⁶. Les classes d'indice 1 et 25 correspondent à des conditions d'observation respectivement très mauvaises et mauvaises, les classes d'indice 50 et 100 représentent des conditions d'observation moyennes basses et moyennes hautes, et les classes d'indice 200 et 400 équivalent à des conditions d'observation estimées bonnes et très bonnes. Environ 20 % de la zone d'étude correspond à des mauvaises ou très mauvaises conditions d'observation (classes d'indice 1 et 25, zones de couleur noire et gris foncé sur la figure 84), 40 % de la zone bénéficie de conditions moyennes (indices 50 et 100, zones en gris clair et en blanc sur la figure 84) et les 40 % restants de bonnes ou très bonnes conditions d'observation (indices 200 et 400, zones en jaune et en vert sur la figure 84).

On a ensuite considéré la carte de localisation des aménagements anciens (cf. planches XXIII et XXIV) par rapport à cette nouvelle carte C_{res} (planche XXIX). Toutes les entités d'origine anthropique sont représentées en rouge sur la planche : mouvements de terrain liés à des aménagements anciens à vocation agropastorale (terrasses, planches de cultures*,

²⁵⁵ Chaque doline a été comptabilisée comme une surface de 40 m x 40 m dotée d'une épaisseur de sol supérieure à 60 cm.

²⁵⁶ Pour la catégorie des valeurs égales à 1, on a regroupé des résultats compris entre 1 et 12. Pour les 5 autres catégories, aucun regroupement de données n'a été nécessaire, les valeurs résultantes étant toujours égales à 25, 50, 100, 200 ou 400.

fossés de drainage, etc.), délimitations diverses (limites parcellaires, enclos, etc.), structures en pierre sèche (tas d'épierrements, murets ou talus empierrés, etc.), vestiges de bâtiments et d'aménagements en lien avec ces constructions (petites zones de terrassements autour de bâtiments, par exemple), indices d'exploitation passés de ressources naturelles (plateformes de charbonnier, carrières de laves, fours à chaux), tronçons d'anciens chemins ou routes, ouvrages militaires divers (tranchées, petites batteries militaires, etc.).

On remarque que la répartition des entités sur la zone d'étude est hétérogène, avec en particulier une concentration de structures plus importante dans la partie ouest / nord-ouest de la zone d'étude. D'autre part, certaines zones estimées dotées de bonnes ou très bonnes conditions d'observation semblent peu impactées par des aménagements anciens, surtout dans la partie est / sud-est de la zone d'étude.

Afin de mettre en évidence les différences de concentration des entités, on a quantifié l'emprise spatiale des divers aménagements, tous types confondus, pour obtenir une carte de densité des entités (figure 85). Celle-ci a été réalisée en deux temps. On a d'abord transformé les données vectorielles schématisant les entités (polygones de couleur rouge sur la planche XXIX) en une grille raster aux mailles de 20 m de côté. Dans chaque maille, on a comptabilisé la présence / absence d'entités²⁵⁷. On a ensuite regroupé ces mailles de 20 m x 20 m en une grille de résolution égale à 100 m, pour calculer une densité d'entités par hectare. Cette carte de densité des entités par hectare montre des zones vides d'aménagements et signale par ailleurs une plus grande abondance de structures dans la partie ouest / nord-ouest de la zone d'étude (zones dans des nuances de rouge les plus foncées sur la figure 85). En plusieurs endroits, les surfaces vides d'aménagement sont sur des zones où les conditions d'observation estimées sont bonnes ou très bonnes (surface en vert sur la figure 85, correspondant aux classes de valeur-indice 200 et 400), suggérant ainsi une hétérogénéité dans la localisation et la concentration des structures détectables qui ne peut être justifiée uniquement par un « effet de source ».

²⁵⁷ On a pris en compte l'emprise réelle des entités dans chaque maille de 20 m de côté, et défini un seuil de surface minimum à atteindre pour considérer qu'une maille comprend une entité. Pour cela, les données vectorielles ont été transformées en pixels en plusieurs étapes, en commençant par des mailles de 1m de côté. Ces premiers rasters ont été ensuite agglomérés en mailles de 20 m de côté, ce qui a permis d'une part de connaître précisément la surface en m² d'entités par maille et d'autre part d'établir un seuil minimal de surface pris en compte pour valider la présence d'une entité : on a fixé le seuil minimum à 10 m², ce qui représente approximativement la surface d'un petit four à chaux ou d'un petit pierrier.

2.2.2.2 - Caractérisation de la distribution spatiale des entités sur la zone d'étude

Pour préciser les disparités de concentration, on a réalisé des cartes de localisation en discriminant les entités selon leur nature. Quatre catégories d'aménagements ont été déterminées :

- Entités indiquant un usage agropastoral et/ou des vestiges d'établissements
- Entités indiquant l'exploitation du bois : plateformes de charbonnier
- Entités indiquant l'exploitation de la pierre : fours à chaux
- Vestiges d'anciens chemins ou de routes

La figure 86 montre la répartition par hectare des vestiges d'anciens chemins ou routes. Ils sont tous situés sous couvert forestier, ce qui témoigne d'un « effet de source » : les tronçons de voirie fossiles sont bien préservés en forêt et ont disparu dans les zones ouvertes, effacés par des aménagements postérieurs. Les vestiges de voirie ancienne sont répartis sur l'ensemble des surfaces boisées ; aucun axe de voirie particulier ne peut être mis en évidence par cette seule carte.

La figure 87 présente la répartition par hectare d'aménagements qui sont pour l'essentiel les vestiges d'activités agropastorales passées : terrasses, planches de culture, limites parcellaires, fossés de drainage entre parcelles, tas d'épierrements, murets en pierre sèche délimitant des espaces enclos, etc. Les entités prises en compte correspondent aussi à quelques établissements et à des aménagements réalisés dans leur périphérie²⁵⁸.

La répartition de ces vestiges d'activités agropastorales est hétérogène : la moitié sud du massif en est presque dépourvue, alors que les zones ouest et nord en sont couvertes. On a décomposé ces entités en quatre sous-ensembles (zones 1 à 4 sur la figure 87).

La zone 1 comprend les structures situées à l'ouest / nord-ouest du massif ; elles sont particulièrement nombreuses sur cette zone. Elles sont composées de séries d'épaulements façonnant des terrasses sur l'ensemble des pentes du bois en côte ainsi que d'une grande

²⁵⁸ Cette couche d'information comprend par exemple les ruines de la chapelle Saint-Gengoul, située sur la crête au nord de la forêt de Chailluz, ainsi qu'un ensemble de terrasses aménagées autour de cette chapelle.

quantité de structures en pierres sèches - pierriers et murets ou talus – dont l'existence d'abord détectée sur le relevé LiDAR a été confirmée par des vérifications sur le terrain.

La zone 2 se situe au nord / nord-est du massif. Les structures sont aménagées sur les deux pentes du bois en côte - face nord et face sud, sur les pentes situées en contrebas des falaises côté nord et sur la partie supérieure des pentes côté sud. Les entités situées sur les pentes nord sont composées de séries de parcelles, souvent de petite taille, fréquemment délimitées par des aménagements fossoyés. Les tas d'épierrement sont rares, à la différence de la zone 1. Ceux qu'on y voit sont plutôt imposants et leur forme allongée ne ressemble pas à celle des pierriers généralement circulaires de la zone 1. Les entités qui occupent la partie sud de la zone 2 sont essentiellement des épaulements formant des terrasses étroites dans les pentes. Contrairement à la zone 1, elles couvrent seulement une partie des pentes. Les structures en pierre sèche y sont rares. Globalement, la densité d'aménagements observés dans cette partie sud de la zone 2 est sensiblement moins forte que dans la zone 1.

La zone 3, située complètement à l'est de la forêt de Chailluz, comprend quelques aménagements, murets-talus en pierre sèche formant des limites parcellaires, tas d'épierrement et terrasses réalisés à la périphérie du village de Braillans. Ils témoignent probablement de quelques fluctuations des limites entre l'espace agricole et l'espace forestier au cours des siècles passés autour de cette petite commune occupée au Moyen Âge par une grange cistercienne dépendant de l'abbaye de Bellevaux.

La zone 4 correspond à une entité rectiligne longue de trois kilomètres et large de quelques mètres, qui traverse une grande partie de la forêt de Chailluz suivant un axe sud-ouest / nord-est. Il s'agit d'un fossé peu profond bordé sur son côté sud d'un léger talus en terre qui pourrait correspondre aux vestiges d'une ancienne parcellisation forestière. On sait en effet par les textes d'archives qu'un premier système de cantonnement de la forêt de Chailluz a été mis en place en 1528 pour assurer la préservation des ressources en bois et faciliter leur gestion (*cf.* Archives municipales de Besançon, cote DD 83, p. 467 v^o cité par Muller, 1999, p. 99)²⁵⁹. Ce long fossé, dont le relief est aujourd'hui presque imperceptible sur le terrain, pourrait être un témoin de ce cantonnement du 16^{ème} siècle. Les limites nord-est et sud-ouest de cette structure ne se superposent pas avec les contours actuels de la forêt de Chailluz (qui sont inchangés depuis 1738) : à l'est, le fossé s'interrompt à plus d'un

²⁵⁹ « Chailluz est divisée en quatre quartiers (...). Le quartier autorisé [pour la coupe du bois de chauffage] est délimité par les forestiers au moyen d'enseignes qu'il est interdit de dépasser et il se situe « devers Tise ». » (Muller, 1999, p. 99).

kilomètre de la limite de la forêt avec la commune de Braillans, et à l'ouest, il se poursuit sur environ 400 m au-delà des limites de la forêt de Chailluz, dans une zone à présent déboisée. Cette zone 4, qui se rapporte à une seule entité, pourrait donc plutôt être rattachée au domaine sylvicole qu'au domaine agropastoral.

On a superposé sur une même carte (figure 88) les entités présentées sur les figures 86 et 87. Les pixels indiquant la présence d'anciens chemins sont en bleu, les aménagements à vocation agropastorale en rouge, et les pixels de couleur violette correspondent aux endroits où les deux types d'entités sont représentés. On remarque qu'il y a assez peu de zones où les deux types d'entités se superposent. A partir de cette nouvelle carte, on propose de préciser le zonage en partageant la zone 1 en deux sous-espaces 1a et 1b (figure 89) : ces deux sous-ensembles sont séparés par un espace vide d'entités, qui ne se justifie pas par la présence d'anciens chemins. Ceci pourrait indiquer qu'on est en présence de deux zones à vocation agropastorale bien distinctes.

On propose également sur la figure 89 trois axes de voirie (traits pointillés verts 5, 6 et 7). L'axe 5 peut être interprété comme le tracé d'un faisceau d'anciens chemins correspondant au « chemin de Bonnay » figuré sur la plupart des plans anciens de la forêt de Chailluz et cité par ailleurs dans des textes d'archives dès la fin de la période médiévale. L'axe 6 représente le tracé d'un autre faisceau de chemins : le « chemin de Vieilley » reliant Besançon à Vieilley en traversant l'ensemble de la forêt de Chailluz. On sait par un texte d'archive que ce chemin très ancien, qui existe encore en partie aujourd'hui, a servi de repère pour la délimitation de coupes de bois au tout début du 14^{ème} siècle (Castan, 1858, p. 189)²⁶⁰. Il figure sur tous les plans anciens et est cité de façon récurrente dans les textes d'archives. L'endroit où il franchit la crête de Chailluz vers Vieilley au nord-est du massif, sert de point de référence pour le bornage de la forêt dès la première moitié du 16^{ème} siècle. En référence aux données historiques (textes et plans), le chemin de Vieilley est certainement à considérer comme l'axe de voirie principal en forêt de Chailluz au cours des périodes médiévales et modernes. L'axe 7 correspond à un faisceau de chemins situés entre Besançon et Thise au sud de la forêt de Chailluz. A l'instar du chemin de Vieilley, cet axe de voirie figure sur tous les plans anciens. Alors que les axes 5 et 6 se rapportent sans aucun doute à un réseau de voirie local reliant Besançon aux communes voisines, cet

²⁶⁰ « ... [les] genz qui sont des prises et des mises et du communal de Besençon puissent aller en nostre bois de Chaillou, c'est assavoir ou bois de la coste dès la maison afaule qui soloit estre ou bois en amont et dès le chemin de Vielley en amont jusque a la golate... » : délimitation des zones autorisées à la coupe en forêt de Chailluz au printemps 1309 (transcription d'un texte d'archive par Auguste Castan. *In* Castan, 1858, p. 189)

axe 7 est plutôt à associer au réseau viaire régional : il est appelé à la période moderne « grand chemin » ou encore « chemin de Besançon à Montbozon » (Haute-Saône). On sait à partir de la documentation d'archives qu'il a fait référence au 16^{ème} siècle pour définir la limite territoriale entre Besançon et la partie nord de la commune de Thise (Archives municipales, cotes DD 68 et DD 94 d'après Muller, 1999, p. 30).

La figure 90 montre la répartition des plateformes de charbonnier en fonction de leur densité par hectare²⁶¹. On constate qu'elles sont réparties irrégulièrement sur la zone d'étude. D'une part, ces structures se rencontrent exclusivement en milieu forestier et d'autre part, leur localisation dans la partie est de la forêt de Chailluz pose problème : la présence d'éventuelles plateformes de charbonnier est indétectable à partir des données LiDAR dans la zone de 170 ha où le relevé topographique est insuffisant. Néanmoins, cela ne suffit pas à expliquer les disparités de localisation et de concentration sur l'ensemble des surfaces boisées. On a défini six groupes de charbonnières (figure 91). Le premier groupe, qui contient un peu plus de la moitié des entités détectées sur toute la zone d'étude, est constitué des structures situées dans la partie ouest / nord-ouest du massif, installées dans les zones en pente de la forêt de Chailluz. La densité de structures dans ce groupe est assez élevée (autour de 1 entité par hectare en moyenne), sauf à l'extrémité nord-est du groupe, sous le fort de Chailluz, où la concentration de plateformes baisse sensiblement. Un deuxième groupe (approximativement 20 % de l'effectif total), où la distribution des entités est nettement moins dense (environ 0,4 entité par hectare), occupe le cœur de la forêt de Chailluz. Le groupe 3 est constitué par les charbonnières situées sur les pentes sud des bois de Mérey-Vieilley et Vieilley et au nord du territoire de Braillans. Ce groupe, qui comprend un peu plus de 15 % de l'effectif total des charbonnières, présente une densité par hectare encore plus élevée que le groupe 1 (un peu plus de 1,2 entité par hectare). Les groupes 4, 5 et 6 correspondent à de petits ensembles de plateformes occupant des surfaces limitées sur les communes de Bonnay, Braillans et Thise. Hormis le groupe 3, aucun groupe de charbonnière n'est situé à cheval sur deux communes. On constate même que les limites d'implantation des plateformes coïncident généralement avec des limites communales actuelles²⁶². La disposition spatiale du groupe 3, à cheval sur les communes

²⁶¹ On a détecté 1089 plateformes de charbonniers sur l'ensemble de la zone d'étude.

²⁶² Les limites communales actuelles - hormis pour le secteur de Mérey-Vieilley, Vieilley et Braillans où les cartes anciennes manquent de précision - sont identiques à celles de la première moitié du 18^{ème} siècle (cf. documents cartographiques de cette période). Certaines limites sont très probablement nettement antérieures au 18^{ème} siècle : celle définie par la crête de Chailluz est par exemple déjà mentionnée au 15^{ème} siècle. Par

de Mérey-Vieilley, Vieilley et Braillans est singulière. Il est possible que ce groupe d'entités, qui présente par ailleurs une densité supérieure aux autres ensembles, réponde à des contraintes d'implantation et un mode d'exploitation différents des autres groupes.

On a comparé la distribution des plateformes de charbonnier avec le plan parcellaire de la forêt de Chailluz en vigueur à partir de 1738 (figure 92)²⁶³. Le groupe 1 se superpose assez bien avec la délimitation du « quart de réserve » (tel qu'on l'a défini ici, il s'étend toutefois légèrement plus à l'est que la limite du quart de réserve des plans anciens). Il est probable que ce groupe 1 soit au moins partiellement en lien avec l'exploitation de cette grande parcelle forestière au cours des 18^{ème} et 19^{ème} siècles. On songe en particulier aux coupes extraordinaires du quart de réserve en 1738-39 et à la fin du 18^{ème} siècle (entre 1770 et 1784)²⁶⁴. Ceci pourrait expliquer la surdensité de structures constatée pour le groupe 1 par rapport au groupe 2 de charbonnières situé plus au sud, à l'extérieur du quart de réserve. Par ailleurs, l'absence de coïncidence entre la distribution des entités du groupe 2 et le découpage parcellaire de l'assiette ordinaire de la forêt de Chailluz indique probablement que les plateformes ont été aménagées sans être contraintes par ces cantonnements. Cette absence de concordance suggère une possible antériorité de ces charbonnières, dont l'installation n'aurait pas été assujettie au respect des délimitations des cantons soumis aux assiettes annuelles mises en place après 1720²⁶⁵.

La figure 93 montre la répartition des fours à chaux en fonction de leur densité par hectare²⁶⁶. Ils sont presque tous implantés dans les zones sous forêt de la moitié sud de la zone d'étude. On a défini cinq groupes de fours à chaux (figure 94). Le groupe 1 est situé dans la partie ouest de la forêt de Chailluz et dans le bois de la Lave, à cheval sur les territoires de Besançon et de Châtillon-le-Duc. Ce premier ensemble, où la densité de structures est particulièrement importante (0,5 entité par hectare environ), contient près de

conséquent, la coïncidence entre les limites communales actuelles et celles des groupes de charbonnières n'indique pas nécessairement que ces ensembles de structures sont récents.

²⁶³ Cf. plan Yc M1 45 des Archives municipales de Besançon présenté sur la planche IV et plan de 1882 présenté planche XIV montrant le même découpage parcellaire qu'en 1738. La coïncidence du découpage a été déduite du géoréférencement des deux plans.

²⁶⁴ Cf. recherches de Séverine Dianin sur la forêt de Chailluz au 18^{ème} siècle (Dianin, 1995), citées dans la première partie. On peut souligner que, d'après S. Dianin, la production de charbon de bois est interdite en forêt de Chailluz à partir de 1763 (Dianin, 1995, p. 119) pour les parcelles de l'assiette ordinaire (*i.e.*, hors du quart de réserve qui constitue l'assiette extraordinaire).

²⁶⁵ Pour rappel, la mise en place des coupes ordinaires en forêt de Chailluz date de 1720-21 (découpage de la forêt en 30 cantons auxquels s'ajoute une grande parcelle mise « en réserve ») et la première assiette ordinaire date de 1724. Le quart de réserve a été mis en place en 1721, puis étendu en 1738, année de la première exploitation de cette réserve.

²⁶⁶ On compte 220 fours à chaux sur l'ensemble de la zone d'étude.

la moitié des fours à chaux détectés sur la totalité de la zone d'étude (une centaine d'individus pour ce groupe 1). A la différence des charbonnières, la limite de ce groupe ne coïncide pas avec une limite communale. Le groupe 2 qui contient environ 30 % de l'effectif total est composé d'une distribution lâche de fours au sud de la forêt de Chailluz (densité moyenne approximative de 0,15 entités par hectare). Le groupe 3 isole une petite série de fours à chaux installés au voisinage d'un alignement de dolines aux reliefs bien marqués, ce qui a pu motiver l'installation des structures²⁶⁷. Le groupe 4 correspond à un petit groupe de fours à chaux implantés régulièrement de part et d'autre d'un ancien chemin²⁶⁸. Le groupe 5 est composé de quelques structures présentant une distribution bien régulière sur les pentes nord du massif de Chailluz, à cheval sur les communes de Mérey-Vieilley et Vieilley. Les quelques entités isolées restantes n'ont pas été mises en groupes.

On a ensuite superposé la carte de concentration des plateformes de charbonniers avec la carte de densité des fours à chaux (figure 95). On observe que, sauf dans la zone située à l'extrême ouest du massif, les distributions spatiales des charbonnières et des fours à chaux sont relativement complémentaires. Il y a peu de surfaces de chevauchement (pixels bleus sur la figure 95), hormis pour les groupes 1 où la superposition concerne presque la totalité du groupe 1 de fours à chaux. Il apparaît ainsi que cette partie ouest de Chailluz a été sensiblement plus sollicitée que le reste du massif pour l'exploitation de ses ressources naturelles (bois et pierre). On constate également une assez bonne complémentarité spatiale des emplacements de charbonnières et de fours à chaux dans la forêt de Chailluz, en particulier pour les deux groupes 2. Ceci suggère une éventuelle contemporanéité de ces deux groupes qui indiquerait une exploitation différenciée des ressources en bois : transformation du bois en charbon au nord du plateau de Chailluz pour la zone des plateformes de charbonnier, et utilisation directe du bois à brûler pour les fours à chaux au sud de la forêt.

On a également comparé la localisation des charbonnières et des fours à chaux avec celle des aménagements à vocation agropastorale (figures 96 à 98).

La figure 96 montre la superposition des aménagements agropastoraux et des plateformes de charbonnier. On constate un chevauchement important des deux types de structures

²⁶⁷ La pierre calcaire recherchée pour fabriquer la chaux est peut-être plus abondante ou plus facile à prélever sur les flancs bien marqués de ces dolines.

²⁶⁸ Les prospections sur le terrain ont permis de déterminer qu'il s'agit d'un ancien chemin empierré emprunté par des charrettes au cours de la période moderne (16-18^{ème} siècle).

(pixels de couleur verte) sur l'ensemble du versant sud du bois en côte (limite du massif de Chailluz au nord). La superposition est particulièrement marquée dans la zone de l'ancien quart en réserve. En revanche, le recoupement des deux types d'entités est nettement moins présent sur la zone de plateau, dans la partie centrale et sud du massif ; la distribution spatiale entre les aménagements agropastoraux et les charbonnières y présente même une assez bonne complémentarité. On remarque également que les plateformes du groupe 2 (figure 91) sont toutes situées au nord du long fossé de 3 km interprété comme un aménagement parcellaire sylvicole (groupe 4 des entités agropastorales, figure 87). Cet aménagement pourrait avoir servi de référence pour délimiter la zone d'implantation des charbonnières. Enfin, au cœur du massif, une zone longue d'environ 6 km et large au plus de 1 km contient uniquement des plateformes de charbonnier (zone en pointillés noirs sur la figure 96). Cet ensemble s'étend de part et d'autre du faisceau de tronçons de voirie définissant le chemin de Vieilley, en suivant sensiblement le même axe.

La figure 97 présente la superposition des aménagements agropastoraux et des fours à chaux. Globalement, aucune complémentarité spatiale notable dans la distribution de ces deux types d'entités n'est mise en évidence ici. Hormis quelques chevauchements ponctuels épars et peu significatifs, une seule zone de superposition apparaît, bien visible à l'ouest du massif, là où avait déjà été constatée la coexistence de charbonnières et de fours à chaux.

On a enfin réalisé une carte des recoupements cumulés par hectare des trois types d'entités (figure 98) : coexistence d'aménagements agropastoraux et de charbonnières (pixels verts), d'aménagements agropastoraux et de fours à chaux (pixels roses), de charbonnières et de fours à chaux (pixels bleus), et présence commune de toutes les entités (pixels noirs).

Les trois types de structures vont de pair avec des contraintes d'exploitation et d'occupation du sol différentes. C'est pourquoi on a fait l'hypothèse que leur présence concomitante et répétée sur des surfaces d'étendues significatives (au moins plusieurs hectares d'un seul tenant) signale non seulement plusieurs modes d'exploitation des ressources disponibles au même endroit, mais peut également être l'indice d'une longue durée d'utilisation : la coexistence d'aménagements de différents types met en évidence des niveaux d'occupation distincts et successifs qui se superposent à la surface du sol.

Les aménagements agropastoraux observés sont à associer, d'une manière générale, à un paysage ouvert, dont témoignent notamment les nombreux tas d'épierrements, constitués au fil du temps afin de faciliter les travaux agricoles en ramassant les pierres sur un sol

nu²⁶⁹. L'ouverture du milieu exclut en principe la présence de plateformes de charbonniers, qui sont associées, à cause de leur fonction, aux surfaces forestières. On ne peut cependant pas totalement exclure la cohabitation des deux types d'entités : une alternance de paysages ouverts et de surfaces fermées conduites en taillis (technique de « l'essartage ») est envisageable, dans un même espace et sur un fonctionnement en rotations d'une à trois décennies, en particulier au cours de la période médiévale durant laquelle cette pratique est attestée²⁷⁰ (cf. Bechmann, 1984, notamment). Ainsi, des plateformes de charbonniers pourraient avoir été mises en place de façon permanente, en prévision d'un usage récurrent, dans des zones dédiées à l'essartage, et par conséquent être contemporaines de surfaces portant les traces d'un usage agropastoral (terrasses, par exemple) et²⁷¹.

Mais globalement, les charbonnières sont probablement plutôt postérieures aux aménagements agropastoraux, ou éventuellement leurs contemporaines. Par hypothèse, dans la zone du quart de réserve, la fréquence et l'étendue spatiale du chevauchement des deux types d'aménagements (pixels en vert sur la figure 98) sont considérées comme les indices d'une probable succession (au moins partielle) des deux types d'entités renvoyant à deux modes distincts et successifs d'exploitation des ressources : d'abord un usage principalement agropastoral, peut-être accompagné d'essartages auxquels se rapporteraient une partie des charbonnières, puis un usage uniquement sylvicole pour lequel de nouvelles plateformes sont mises en place, générant ainsi un groupe de structures de plus forte densité que celle observée plus au sud du massif.

Dans le périmètre de la forêt de Chailluz, les aménagements agropastoraux sont au plus tard médiévaux. Un texte de 1442 indique peut-être l'existence d'espaces ouverts et cultivés (identifiables dans le texte par le substantif « planche ») : « ... le bois de Chailluc duroit et estendoit tans ez planche comme en bois des la tranchée de Braillans jusques a la

²⁶⁹ En illustration, on peut citer une description de pratiques d'épierrements agricoles : « L'épierrage se fait par bandes successives. Sur une sorte de traîneau sans lisses tiré par un bœuf ou un cheval, on empile une charge de roches et de cailloux qu'on déverse à intervalles plus ou moins éloignés, formant ainsi une série de cairns ou tas de roches que viennent agrandir chaque labour et chaque nouvelle corvée d'érochage. (...) Ces cairns réduisent considérablement la surface cultivable des champs ; aussi, à l'avènement des machines, les propriétaires de fermes se sont-ils empressés de les faire enlever ou de les enfouir. On en voit encore dans les champs laissés en friche ou reconquis par la forêt. » (Des Gagniers, 1994, p. 219). Cette description concerne des épierrements agricoles pratiqués sur des sols fins et pauvres par des fermiers-colons nouvellement installés au Canada entre le 16^{ème} siècle et le début du 19^{ème} siècle.

²⁷⁰ Aucune archive consultée ne signale cependant cette pratique sur le massif de Chailluz.

²⁷¹ On songe notamment ici à des plateformes de charbonnier édifiées dans les pentes de Chailluz. En effet, pour certaines charbonnières, le plan horizontal recevant la meule repose sur une construction en pierres sèches soigneusement réalisée (cf. figure 73 par exemple). Ceci invite à penser que ces constructions ont pu avoir vocation à être pérennes (d'autres plateformes sont au contraire aménagées bien plus sommairement dans les mêmes pentes, en particulier sans aucun soubassement en pierre sèche).

fontaine de Balon... » (Archives municipales, cote DD 106, texte de 1442 transcrit dans le volume *Annexes*). D'autre part, on remarque la mention « laborable » inscrite sur un plan ancien dans une zone située hors des limites de la forêt de Chailluz mais dans son voisinage immédiat, au nord du bois de la Lave. Cette mention indiquée sur le premier plan représentant le massif de Chailluz au début du 16^{ème} siècle (Archives municipales cote Yc Bes A1, cf. figures 3 et 4) est apposée dans un espace manifestement forestier (le mot « laborable » est entouré d'arbres représentant sans ambiguïté la forêt). Elle pourrait éventuellement se rapporter à une pratique d'essartage tardive. Dans le périmètre même de la forêt de Chailluz, il semble probable que, sur la foi du texte décrivant ses limites en 1518 (Archives municipales cote DD 106, texte transcrit dans le volume *Annexes*), les éventuelles surfaces cultivées ont déjà disparu au début du 16^{ème} siècle : alors que l'archive de 1442 citait des « planches », celle de 1518 mentionne uniquement des zones boisées.

Si on peut envisager une coexistence de charbonnières et de surfaces à usage agricole temporaire, la présence de fours à chaux est nécessairement postérieure aux aménagements agropastoraux. En effet, des labours postérieurs aux fours auraient nivelé ces derniers, et réciproquement, il paraît très improbable qu'on aménage des fours en plein milieu de surfaces cultivées, qui plus est en augmentant les perturbations du sol par le creusement de petites carrières qui leur sont associées. Par conséquent, au moins une partie des nombreux fours à chaux observés à l'ouest du massif correspondent à une phase d'occupation distincte et postérieure à celle du groupe 1a d'entités agropastorales (figure 89). Le groupe 1 des fours à chaux (figure 94) se situe en partie sur le bois de la Lave, à l'endroit où figure la mention « laborable » sur le plan du 16^{ème} siècle. Ceci suggère que les fours à chaux situés là sont probablement datables au plus tôt du 16^{ème} siècle.

L'extrémité ouest du massif de Chailluz est le seul endroit où on constate un chevauchement par hectare des trois types d'entités sur une surface étendue (pixels en noir sur la figure 98 ; la zone s'étend sur environ 2 km²). Pour comprendre quelles raisons ont pu créer ce phénomène particulier, on a considéré les données en élargissant la zone géographique de référence pour prendre en compte le centre historique de Besançon. La surreprésentation d'entités pourrait *a priori* s'expliquer par :

- Un emplacement privilégié (topographie particulière, facilité d'accès, proximité du pôle urbain, etc.)

- La présence de ressources naturelles plus attractives (par exemple, strate géologique présente uniquement à cet endroit)
- Une durée d'utilisation plus longue ou des changements de mode d'exploitation plus fréquents ou plus nombreux.

La figure 99 montre la situation des zones de recoupement d'entités en incluant le centre historique de Besançon, implanté dans une boucle du Doubs à environ cinq kilomètres au sud des limites ouest et sud de la forêt de Chailluz. On a représenté sur cette figure le réseau viaire tel qu'il est restituable à partir de cartes et plans du 18^{ème} siècle. Les voies schématisées par des traits beiges correspondent au réseau routier de la carte de Cassini²⁷². Celles figurées en orange se rapportent d'une part aux plans de la forêt de Chailluz²⁷³ et d'autre part à une série de plans routiers réunis dans un atlas sous le nom de *Plans Itinéraires de la Province de Franche-Comté*²⁷⁴. Un cercle de 6 km de rayon (cercle rouge sur la figure 99), centré sur le pont Battant, permet d'évaluer l'éloignement des zones de concentration d'entités par rapport au centre historique de Besançon²⁷⁵.

La localisation de la zone de chevauchement important et de forte densité de structures ne peut se justifier ni par la présence d'une desserte de voirie privilégiée, ni par une plus grande proximité du centre-ville : la zone en question est bien située au voisinage d'un axe routier lui assurant une bonne accessibilité (route de Vesoul), mais les parties sud et est de la forêt de Chailluz sont tout aussi proches et facilement accessibles par le chemin de Vieilley et par le « grand chemin de Montbozon ». Par ailleurs (figure 100), la surdensité de fours à chaux semble difficilement explicable par une particularité géologique du terrain : les structures sont implantées sur des niveaux calcaires J1a et J1b qui s'étendent bien au-delà de la zone de forte densité de structures. D'autre part, la localisation de ce groupe n'est pas explicable par une moindre épaisseur des sols qui faciliterait l'extraction du calcaire par rapport aux autres zones de la forêt présentant les mêmes caractéristiques

²⁷² Carte de Cassini, feuilles 145 et 146.

²⁷³ On a retenu ici le plan des Archives municipales de Besançon coté Yc M1 45.

²⁷⁴ Atlas conservé aux Archives départementales du Doubs sous la cote 1C 2343. Ces plans datent de la deuxième moitié du 18^{ème} siècle. Dessinés à une échelle comprise entre 1 / 13 000 et 1 / 20 000, ils ont été réalisés par des ingénieurs des Ponts et Chaussées à partir de levés sur le terrain menés dans les années 1760.

²⁷⁵ Le pont Battant, dont l'existence est attestée depuis la période romaine, est situé dans le prolongement de la Grand-Rue, un axe de voirie principal du vieux Besançon. D'autre part, l'accessibilité par rapport au relief naturel des zones situées au nord de la boucle du Doubs, entre le pont Battant et la forêt de Chailluz, peut être considérée comme sensiblement équivalente partout (*cf.* vue en 3D du relief du plateau au nord de Besançon sur la figure 101). Par conséquent, la prise en compte équilibrée des distances depuis le centre-ville de Besançon peut être estimée suffisante sur la zone considérée et donc être représentée par une portion de cercle.

géologiques. Enfin (figure 101), une topographie privilégiée n'explique pas plus la localisation de cette zone. Les fours sont aménagés aussi bien sur des surfaces en pentes que sur des zones en plateau. La réunion de conditions comparables à celles de cette zone de forte concentration (zone sous forêt depuis le 16^{ème} siècle au moins, proximité d'une voie, topographie, géologie et épaisseur de sols comparables) est identifiable à environ un kilomètre plus au sud – donc plus près du centre de Besançon, dans un espace où on observe d'ailleurs un petit groupe de fours à chaux (partie ouest du groupe 2 de fours, figures 94 et 100). Ces conditions ne suffisent donc pas à expliquer les raisons pour lesquelles on constate une telle densité de structures ainsi qu'un recoupement important d'aménagements de différents types.

C'est pourquoi on a fait l'hypothèse que l'origine de cette surdensité et de ces chevauchements pourrait s'expliquer par de plus fréquents ou plus nombreux changements de modes d'exploitation, soit parce qu'on se situe dans une zone plus facilement sujette à des variations de dynamiques d'occupation, soit parce que les aménagements qu'on peut encore observer aujourd'hui se sont succédé sur une période d'utilisation plus longue. Les prospections sur le terrain ont permis de préciser en partie ces hypothèses.

2.3

Investigations sur le terrain : choix des zones et techniques de prospection

2.3.1 – Remarques générales

Pour mieux comprendre les dynamiques d'occupation du massif de Chailluz, on a procédé à des prospections sur le terrain. L'observation des aménagements dans leur contexte réel et la collecte ponctuelle de mobilier datant ont permis de préciser leurs périodes d'utilisation et leurs interprétations fonctionnelles.

Les prospections au sol ont été menées en priorité dans les zones de forte concentration d'entités détectées à partir des données LiDAR (figure 102), c'est pourquoi elles sont inégalement réparties et offrent une meilleure couverture de la partie ouest / nord-ouest du massif. Elles ont toutes été effectuées en milieu forestier et totalisent une surface d'environ 400 hectares, soit un peu plus de 10 % de la superficie de la zone d'étude et un peu moins de 15 % des zones sous forêt. Les prospections ont été réalisées dans le cadre d'opérations archéologiques programmées (prospections-inventaire), en conformité avec la réglementation en vigueur. Ces opérations de terrain, qui relèvent du Code du Patrimoine (livre V, titre III, relatif aux opérations archéologiques programmées), sont soumises à une autorisation délivrée annuellement par l'autorité administrative compétente²⁷⁶ (art. L531-1). Pour que la demande d'autorisation soit examinée, elle doit être accompagnée de l'accord écrit des propriétaires des terrains qui font l'objet des investigations (art. L531-2) et d'un dossier qui expose les problématiques scientifiques motivant l'opération archéologique. Par ailleurs, à l'issue de chaque campagne de prospections, les résultats obtenus sont consignés dans un rapport scientifique remis au SRA et les éléments de mobilier font l'objet d'une étude spécifique, avant d'être remis à leurs propriétaires (ou au SRA, si les propriétaires ne souhaitent pas se charger de leur conservation). Les terrains explorés dans le cadre de cette étude sont tous communaux²⁷⁷, et presque exclusivement situés en forêt. A cause de la couverture forestière, les prospections ont été réalisées à l'aide de détecteurs à métaux. Leur utilisation est soumise à une autorisation annuelle spécifique (art. L542-1), délivrée,

²⁷⁶ Pour les prospections autour de Besançon, la demande, soumise à autorisation préfectorale, a été adressée annuellement au Service Régional de l'Archéologie, DRAC de Besançon.

²⁷⁷ Parallèlement à la demande d'autorisation préfectorale, des demandes d'autorisation de prospection ont donc été adressées annuellement aux maires des communes concernées.

avec l'autorisation des propriétaires des terrains, par l'autorité administrative à titre individuel à chaque usager d'un détecteur.

Les connaissances archéologiques sur la forêt de Chailluz et ses alentours étaient minces avant l'acquisition et l'analyse des données LiDAR. Jusqu'en 2009, seulement quelques sites archéologiques et découvertes de mobilier isolé y étaient répertoriés (points rouges sur la figure 103 ; voir aussi figure 38) : une trentaine de points enregistrés sur la « Carte archéologique nationale », presque tous distribués sur le pourtour de la forêt. Quelques-uns signalent des établissements ou des occupations, au sujet desquels on ne dispose cependant d'aucune étude approfondie. Ce sont notamment les ruines de la chapelle médiévale Saint-Gengoul sur la crête de Chailluz, en surplomb du village de Tallenay ; à environ cinq cents mètres plus à l'est, les vestiges d'une ferme moderne côtoient quelques ouvrages militaires de la fin du 19^{ème} siècle ; toujours sur la crête, à quelques centaines de mètres encore plus à l'est, un site de quelques dizaines d'ares composé d'une enceinte semi-circulaire est présumé pré- ou protohistorique. Enfin, toujours sur la crête, le fort de Chailluz (fin du 19^{ème} siècle) et ses aménagements annexes (poudrières, batteries) complètent l'occupation répertoriée. On peut ajouter à ces quelques points les bâtiments modernes des « Grandes Baraques » et des « Petites Baraques », établis au cœur de la forêt de Chailluz, deux sources aménagées, la « Fontaine Sainte-Agathe » et la « Fontaine des Acacias », ainsi qu'une « lavogne » non datée (certainement moderne), située au cœur de la forêt, dans l'actuel parc animalier. L'existence de plateformes de charbonniers, de fours à chaux ou de carrières de « laves » était connue par les travaux d'historiens et les observations de forestiers et de prospecteurs, sans toutefois en avoir une localisation précise et savoir la quantité de structures présentes.

2.3.2 – Techniques de prospection et enregistrement des données

2.3.2.1 - Techniques de prospection

Parce qu'elles ont été menées en milieu forestier, où la visibilité au sol est en permanence nulle ou presque (*cf.* exemples de couvertures de sols forestiers figure 104), 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 métaux²⁷⁸ 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 prospector sont préalablement déterminées et circonscrites à partir du relevé LiDAR. Le choix des zones et le protocole de prospection, mis en place spécifiquement pour les recherches sur le massif de Chailluz²⁷⁹, ont été adaptés au fur et à mesure des opérations dans les premiers mois de prospection, afin d'obtenir sur le terrain une efficacité et une fiabilité d'observation optimales. 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, pour définir la surface à prospector, des éventuelles difficultés topographiques, ou autres, qu'on a repérées ; par exemple, la nécessité de progresser sur un éboulis dans une pente ou dans 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 (polygones bleus sur les figures 102 et 103). Contrairement aux prospections en milieu ouvert (*cf.* Racinet, Schwerdroffer, 2004 ; Dabas *et al.*, 2006), on ne cherche pas sur le terrain à décrire un parcours fait de lignes régulièrement espacées. La couverture effectivement réalisée au fur et à mesure de la prospection est évaluée en situant sur SIG le parcours effectué, qu'on repère sur un modèle numérique de terrain ombré issu des données LiDAR. 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

²⁷⁸ Le maniement de cet outil demande de véritables compétences, si on souhaite en obtenir un résultat efficace et utilisable à des fins scientifiques, avec notamment la préoccupation de garantir régularité et constance d'observation dans le travail réalisé par les opérateurs en détection. En cas de présence de taupinières, celles-ci sont également examinées avec attention. Les prospecteurs compétents dans l'utilisation de détecteurs à métaux autorisés à effectuer les opérations de prospection autour de Besançon, membres de l'Association de recherche et d'étude des sites archéologiques comtois (ARESAC) sont : Daniel Daval, Jean-Pierre Josserson, Patrick Mosca et Marc Petit.

²⁷⁹ Choix des zones et du protocole établis par C. Fruchart en collaboration avec D. Daval.

couverture arborée). Il est couplé à un ordinateur ultra-portable qui fournit simultanément une visualisation géoréférencée sur SIG du modèle numérique de terrain (les modèles utilisés sur le terrain ont une résolution de 20 cm ou 50 cm). Ce dernier outil apporte ainsi la garantie d'une bonne précision des coordonnées saisies pour l'emplacement du mobilier trouvé et des structures repérées. La visualisation sur le terrain même du modèle LiDAR sur SIG a permis d'améliorer substantiellement à la fois la compréhension des microreliefs observés sur l'image numérique et l'organisation fonctionnelle des entités observées en réalité.

L'enregistrement des observations et du mobilier est opéré sur papier sur le terrain, puis transposé sur une base de données sur SIG ultérieurement. Les structures, préalablement vues sur LiDAR puis observées sur le terrain, 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 spécialistes²⁸⁰. Les artefacts présentant un intérêt archéologique sont photographiés, inventoriés, décrits et illustrés sous forme de planches dans des rapports annuels de prospection-inventaire (Daval, Fruchart, 2010, 2011, 2012, 2013). Ils sont ensuite 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 donne une indication de la « pollution » des zones parcourues (boîtes à sardines, balles de chasseurs, etc.) et donne 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.).

2.3.2.2 – Enregistrement des données

Indépendamment du dessin sur SIG des entités préalablement détectées à partir du LiDAR (dessin sous forme de polygones, *cf.* par exemple planche XXIX), les résultats des

²⁸⁰ Le mobilier récolté correspond à un large éventail de périodes et de type d'objets (de l'âge du Bronze au 20^{ème} siècle), ce qui nécessite l'expertise de plusieurs spécialistes.

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 » (figure 105) 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 106 par des ronds violets. 300 points environ sont visibles sur la figure (la base brute 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 106 (un peu plus de 500 points, 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 (2^{ème} 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 »).

2.4

Mise en perspective des données acquises en prospection avec les informations apportées par les sources anciennes

2.4.1 – Remarques générales

Les données nouvelles collectées – entités détectées sur les modèles LiDAR et éléments apportés par les prospections sur le terrain – ont été mises en relation avec les sources d'informations rassemblées pour cette étude et présentées précédemment, en première partie : sources historiques (textes et documents graphiques) et données actuelles (données cartographiques sur SIG, essentiellement). L'objectif de cette mise en relation est d'attribuer une interprétation contextualisée à ces données nouvelles, établie selon un processus scientifique et situant, autant que possible, les structures découvertes dans une perspective historique. La démarche adoptée a été d'être à la fois précis à l'échelle des entités qui font l'objet des recherches (localisation, description, interprétation et datation en tant que structure individuelle, etc.), et plus globalement, de rechercher un point de vue synthétique qui permette de saisir, au moins en partie, l'évolution d'ensemble des éléments repérés, qui ont modelé au fil des siècles les paysages de la forêt de Chailluz et de ses environs.

L'utilisation des sources anciennes est tributaire de leur fiabilité : celle du témoignage historique qu'elles nous transmettent, évidemment, et aussi, pour les documents graphiques, celle de la localisation des informations représentées dans l'espace géographique.

La localisation spatiale qu'on peut faire aujourd'hui des informations contenues dans les cartes et plans anciens dépend à la fois du niveau de précision géométrique du document d'archive et de la qualité du géoréférencement qu'on a pu produire à partir de la source graphique. Parmi les archives utilisées, on a constaté l'excellente restitution géométrique assurée par certains documents (cartes d'état-major, plan de la forêt de Chailluz de 1738 des Archives municipales coté Yc M1 45, par exemple). D'autres plans ont en revanche été décevants, à cause de leur géométrie approximative : le recalage des chemins dessinés sur le plan de la forêt de Chailluz de 1862 (plan des Archives municipales, cote Gec Bes 317-1), par exemple, s'est révélé assez aléatoire et peu fiable, car le tracé des chemins qu'il restitue est manifestement assez éloigné de la réalité²⁸¹. Le

²⁸¹ Ce constat a pu être fait grâce au relevé LiDAR, qui a permis de détecter les anciens chemins encore visibles actuellement en forêt de Chailluz, dont certains ont pu être datés de la période romaine et du Moyen Âge par les prospections (*cf.* partie 3.2 dans les pages suivantes). Il semble improbable que le réseau de

géoréférencement de certains autres documents a été compromis par la disparition, dans le paysage actuel, des éléments qui auraient permis leur recalage : on manque, par exemple, de points de calage sûrs pour géoréférencer le plan de la forêt de Chailluz de 1704 (Archives municipales, cote Yc G2 47).

Ces appréciations sur la qualité géométrique des cartes et plans anciens utilisés résultent des observations faites lors du géoréférencement : cette opération, préalablement accompagnée d'un examen attentif du contenu des documents anciens, a souvent permis (en tenant compte de l'échelle de représentation du document) d'estimer la justesse de la restitution géométrique des entités représentées, ou l'exactitude de leur localisation spatiale²⁸². L'évaluation qu'on a faite repose sur deux critères d'appréciation. D'une part, on a observé comment, dans l'ensemble, la position des éléments représentés par les documents anciens coïncidait avec leur localisation sur les plans et cartes actuels visualisés sur SIG. D'autre part, on a observé la coïncidence de la position des entités sur les archives avec l'emplacement des microreliefs mis en évidence par le relevé LiDAR et susceptibles d'être associés aux éléments dessinés sur les plans anciens. Les informations microtopographiques restituées par les modèles numériques de surface issus des données LiDAR (anciennes limites parcellaires, notamment) ont en effet été toujours utiles, et parfois décisives, pour le géoréférencement des documents anciens. La bonne conservation de microreliefs correspondant à des aménagements anciens, visibles sur le modèle LiDAR mais absents des documents actuels (notamment parce qu'ils renvoient à des entités qui n'ont plus de fonction aujourd'hui), peut permettre, en particulier pour les documents à grande échelle, d'améliorer sensiblement leur recalage, et d'obtenir un meilleur résultat qu'en s'aidant uniquement de sources cartographiques actuelles, aussi précises soient-elles. La prise en compte des microreliefs mis en évidence par le relevé LiDAR a été utile, en particulier, pour le géoréférencement de certaines feuilles du plan cadastral napoléonien, qui représentent un plan parcellaire très différent du plan cadastral actuel : le modèle LiDAR contient généralement des indices topographiques figurés sur le plan cadastral ancien, mais pas sur le plan cadastral actuel (rémanence, par exemple, de reliefs dus à un ancien découpage parcellaire). Les données LiDAR sont également

chemins actifs au milieu du 19^{ème} siècle n'ait laissé aucun microrelief, ou presque, détectable aujourd'hui, alors que des réseaux étendus de chemins nettement plus anciens se voient parfaitement sur le relevé LiDAR. On en a déduit que la faible coïncidence, dans l'ensemble, du dessin des chemins sur la carte de 1862 avec les éléments de voirie observables sur le modèle LiDAR est due à une géométrie peu fidèle de la carte ancienne.

²⁸² Par exemple, on a pu comparer la restitution par les différents plans anciens de la géométrie de la ligne de crête, au nord du massif de Chailluz, ou la précision de la localisation de la chapelle Saint-Gengoul, etc.

utiles pour le recalage des plans forestiers anciens, à cause de la bonne conservation, souvent constatée dans le paysage forestier actuel, des microreliefs occasionnés par les limites de parcelles forestières anciennes, parfois sensiblement remaniées aujourd'hui, et donc absentes des plans actuels.

Géoréférencer une image numérique (ici, les images considérées sont des cartes ou des plans anciens, plutôt que des clichés aériens) consiste à appliquer un système de coordonnées spatiales à cette image, de façon à faire coïncider l'échelle et l'orientation des entités qu'il représente avec la localisation spatiale et la géométrie de ces mêmes entités, telles qu'elles sont agencées sur le document choisi comme référence et repéré dans le système de coordonnées spatiales voulu.

Toutes les images ne sont pas géoréférencables : celles dont la géométrie est trop éloignée d'une vue verticale - par exemple, les clichés panoramiques, les plans visuels non géométriques - ne conviennent pas.

L'opération de géoréférencement, réalisée à l'aide de logiciels spécialisés²⁸³, a pour conséquence de déformer d'une façon plus ou moins importante l'image initiale à recaler. Le degré de déformation dépend du type de transformation spatiale qui a pu être appliqué pour parvenir à réduire de façon optimale les écarts géométriques entre la représentation des entités sur l'image à recaler et leur figuration sur le document de référence.

Concrètement, le géoréférencement est effectué en choisissant des points de calages, appelés points d'amer. On place ainsi, en les répartissant au mieux, des séries de paires de points positionnées sur des entités communes aux deux documents, le premier point étant situé sur l'image à recaler et l'autre sur le document de référence repéré dans le système de coordonnées souhaité. Les points sont choisis à des emplacements où une correspondance entre leurs positions respectives sur les deux documents peut être établie avec une fiabilité suffisante. Le recalage consiste à déplacer l'image et à la déformer, plus ou moins localement, pour parvenir, à une marge d'erreur près, à la superposition des couples de points d'amer. Le décalage spatial résiduel entre les points d'une même paire varie selon la transformation mathématique appliquée : transformation polynomiale de premier degré, de deuxième degré, ou éventuellement, de

²⁸³ Les transformations des documents géoréférencés dans le cadre de cette étude ont été effectuées avec Arcgis.

troisième degré²⁸⁴. On peut appliquer la transformation de premier degré polynomial, la plus simple (linéaire), avec un minimum de 3 points d'amer. Si on dispose d'un nombre de points d'amer suffisamment élevé et bien répartis, il est possible d'appliquer une transformation du deuxième degré, voire du troisième degré, qui déforment plus l'image à recaler, mais permettent de réduire l'erreur de positionnement. La formule générale déterminant le degré de transformation polynomiale applicable en fonction du nombre de points d'amer est :

$$n = (p+1) \times (p+2)/2$$

où n est le nombre minimal de paires de points à prendre en compte et p le degré de la transformation polynomiale applicable. Pour une transformation de premier degré polynomial, il faut donc au moins 3 points d'amer, 6 points pour une transformation de deuxième degré, et 10 points pour une transformation de troisième degré. L'erreur de positionnement de l'image après recalage, considérée dans son ensemble, est appelée « erreur quadratique moyenne » (RMS)²⁸⁵. Pour les plans anciens, cette valeur, qui donne une indication de l'incertitude du géoréférencement, vient s'ajouter à l'incertitude des plans originaux eux-mêmes, dont la valeur exacte nous est inconnue, mais qu'on peut cependant évaluer *a minima* en lui attribuant une grandeur liée à l'échelle de représentation du document ancien. Ainsi, par exemple, pour une carte à l'échelle 1 / 80 000, où 1 mm sur la carte papier correspond à 80 m dans la réalité, on peut estimer qu'on ne peut attendre d'une telle carte une précision spatiale inférieure à 100 m, lorsqu'on observe le document sur SIG après son géoréférencement.

²⁸⁴ Plus le degré du polynôme est élevé, plus la déformation appliquée est complexe et importante.

²⁸⁵ L'erreur quadratique moyenne est la racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés de toutes les erreurs :

$$RMS_{(e_1, \dots, e_n)} = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n}}$$

2.4.2 – Précisions sur le géoréférencement des cartes et plans anciens relatifs à la forêt de Chailluz

La plupart des cartes et plans anciens relatifs à la zone d'étude ont été géoréférencés en utilisant une transformation polynomiale de premier ou de second degré, et en prenant en compte au moins deux fois plus de points d'amer que le nombre minimal nécessaire. D'une manière générale, les points ont été répartis sur l'ensemble du document à géoréférencer, en plaçant le plus régulièrement possible, et en priorité, suffisamment de points sur la périphérie de l'image à recalcr.

Les feuilles du plan cadastral napoléonien ont été géoréférencées en appliquant une transformation de premier ordre polynomial, afin de déformer le moins possible ces documents qui présentent généralement une excellente géométrie. Le nombre de points d'amer utilisé pour chaque feuille est variable et tributaire de la quantité d'éléments paysagers communs qui ont pu être repérés entre le plan ancien, le plan cadastral actuel et les microreliefs issus des données LiDAR. En moyenne, on a pris en compte une douzaine de points d'amer par feuille.

La portion de la carte de Cassini correspondant à l'emprise du relevé LiDAR autour de Besançon (extraits des feuilles n° 145 et n° 146 réalisées vers 1760 ; les feuilles ont été assemblées préalablement au recalage) a été géoréférencée suivant une transformation de premier degré qui s'appuie sur 10 points d'amer²⁸⁶ (la figure 107 montre l'emplacement des points d'amer et indique l'erreur quadratique moyenne résultante). 8 points sur 10 ont été placés sur des villages, au centre du symbole représentant un clocher d'église sur la carte de Cassini, et sur l'emplacement de l'église figuré sur la carte IGN à 1 / 25 000 (SCAN 25[®]). Au sud de la zone prise en compte, on a placé les points d'amer sur un château dont les ruines sont bien visibles sur le relevé LiDAR (château d'Arguel), et, à défaut d'église au sud-est de la zone, sur une « grange » dont certains bâtiments existent encore aujourd'hui (grange St-Antoine). L'erreur quadratique moyenne résultante est

²⁸⁶ A titre comparatif, le géoréférencement de la carte de Cassini réalisée en 2012 pour l'évaluation de la couverture forestière de la France au 18^{ème} siècle (Vallauri *et al.*, 2012) a été effectué en appliquant une transformation de troisième ordre polynomial à partir de 650 paires de points d'amer pour l'ensemble du pays, soit une moyenne de 36 points par bloc de géoréférencement, chacun composé de 10 feuilles préassemblées (la carte de Cassini comprend 180 feuilles en tout).

d'environ 65 m, ce qui équivaldrait, mis à l'échelle de la carte de Cassini (1 / 86 400), à moins d'un millimètre sur la carte papier.

La zone correspondant à l'emprise du relevé LiDAR sur les feuilles de la carte d'état-major réalisées en 1834 et 1835 a été géoréférencée selon une transformation de deuxième ordre polynomial et avec 12 points d'amer par feuille, soit 24 points en tout (les deux feuilles ont été géoréférencées séparément). Les emplacements des points d'amer sont indiqués sur la figure 108. Les points ont, pour la plupart, été placés au voisinage de villages, souvent sur des carrefours routiers dont on a pu vérifier que la position (compte-tenu de l'échelle de représentation : 1 / 40 000) est restée inchangée, notamment grâce à l'examen du plan cadastral napoléonien, lui-même préalablement géoréférencé²⁸⁷, et dont la réalisation a précédé de peu celle de cette carte d'état-major. Le relevé LiDAR et la carte IGN à l'échelle 1 / 25 000 ont été utilisés comme documents de référence actuels pour le géoréférencement. L'erreur quadratique moyenne est d'environ 15 m pour la partie nord (feuille de 1835, figurant la plus grande partie de la forêt de Chailluz), et proche de 20 m pour la partie sud (feuille de 1834, figurant notamment le centre historique de Besançon), soit au plus un demi-millimètre, mis à l'échelle de la carte papier.

La zone correspondant à l'emprise du relevé LiDAR sur la carte d'état-major de 1912²⁸⁸ a également été géoréférencée selon une transformation de deuxième ordre polynomial, en s'appuyant sur 24 points d'amer (figure 109). Les points ont été choisis à l'emplacement de forts militaires (les points ont été placés au centre de l'entité dessinée), sur des carrefours routiers, et sur des limites communales. On a là aussi utilisé le relevé LiDAR et la carte IGN à l'échelle 1 / 25 000 comme documents de référence actuels. L'erreur quadratique moyenne résultante est d'environ 43 m, ce qui correspondrait, pour cette carte à l'échelle 1 / 80 000, à une distance sur carte papier d'un demi-millimètre.

On peut considérer, pour les trois documents cités ci-dessus (carte de Cassini, cartes d'état-major de 1834-35 et 1912), que l'opération de géoréférencement a généré une erreur moyenne de localisation des entités représentées (l'erreur quadratique moyenne résultante ne dépasse jamais une longueur théorique sur carte papier de 1 mm) qui n'a pas modifié de

²⁸⁷ Les carrefours routiers ont en revanche rarement été utilisés comme points d'amer pour le géoréférencement des feuilles du plan cadastral napoléonien. On a en effet constaté qu'on obtenait un géoréférencement des feuilles plus précis en plaçant les points d'amer sur des angles ou intersections de limites parcellaires. Mais pour la carte d'état-major, dont l'échelle est nettement plus petite (1 / 40 000), les carrefours routiers se sont avérés être une bonne référence pour le positionnement des points d'amer.

²⁸⁸ Carte du fonds numérisé de la BnF, consultable sur : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8445709v> (permalien).

façon sensible la géométrie générale des images originales. Par conséquent, on a estimé que ces cartes anciennes observées sur SIG après géoréférencement restituaient avec fidélité la géométrie telle qu'elle est figurée sur les documents originaux numérisés.

On a évoqué dans les pages précédentes l'excellente géométrie du plan de la forêt de Chailluz de 1738 (Archives municipales, cote Yc M145). Ce plan a été géoréférencé selon une transformation de troisième ordre polynomial, en s'appuyant sur 60 points d'amer, tous positionnés aux endroits où sont indiquées des bornes sur le plan ancien, placées à des intersections ou angles de parcelles (figure 110). La plupart des bornes du plan ancien (à quelques exceptions près : la position des bornes situées au niveau de l'autoroute A36, notamment, n'est plus restituable sur les plans actuels) ont été prises en compte ; le recalage de ces points sur le plan cadastral actuel de la forêt de Chailluz et leur correspondance avec des microreliefs détectables sur le modèle LiDAR ont été faciles à établir. L'erreur quadratique moyenne vaut 11,62 m, soit environ 1,5 mm, rapporté à l'échelle du plan papier (la réduction, donnée en perches des Eaux et Forêts sur le plan ancien, est proche de 1 / 8000).

Le plan ancien de 1738 a lui-même servi de référence pour le recalage des autres plans géométriques de la forêt de Chailluz, qui lui sont antérieurs²⁸⁹ (cf. figures 14 et 15 et planches VII et VIII présentant la superposition, après schématisation, des divers contenus de ces plans). Ces plans antérieurs, considérés individuellement, ont en effet posé problème pour leur géoréférencement, notamment parce que la localisation des entités ou des limites parcellaires qu'ils figurent sont parfois difficilement identifiables avec certitude sur les documents actuels. Pour cette raison, on a dans un premier temps, après les avoir digitalisés sous forme schématique (cf. figures et planches citées ci-dessus), superposé ces plans par simple homothétie, translation et rotation, pour les comparer les uns par rapport aux autres, sans avoir à faire intervenir les données cartographiques actuelles.

Les superpositions ont été effectuées en cherchant en premier lieu à faire coïncider les échelles indiquées sur les plans et les contours de la forêt, dans ses grands traits, mais sans viser *a priori* une coïncidence parfaite des limites représentées. Ensuite, pour affiner la superposition, on s'est appuyé sur des entités particulières, dont la figuration sur ces plans correspond sans aucun doute à des emplacements géographiques qui n'ont pas pu varier, dans la réalité, d'un document à l'autre : la ligne de crête au nord du massif de Chailluz ; la

²⁸⁹ Plans des Archives municipales : plan non coté daté de 1720-21 et plan de 1704, coté Yc G2 47.

position, indiquée sur tous les plans, de la borne « du tilleul », dont on connaît par ailleurs l'emplacement aujourd'hui, car cet arbre, âgé de plus de 350 ans, et la borne en pierre disposée à son pied existent encore ; la position de la chapelle Saint-Gengoul, également figurée sur tous les documents, et dont les ruines sont toujours visibles de nos jours ; la limite territoriale dessinée entre le bois de la Lave et la forêt de Chailluz ; l'axe du chemin de Vieilley, qui était une voie principale traversant la forêt de Chailluz du sud-ouest au nord-est. Au final, la superposition des différents schémas est imparfaite, mais le regroupement des données sur un seul document apporte un point de vue global sur les diverses informations fournies par ces plans, ainsi que la possibilité d'une mise en perspective comparative des données.

Dans un deuxième temps, les schémas présentés sur les figures 14 et 15 et les planches VII et VIII ont été géoréférencés selon une transformation de premier degré, en plaçant simplement 3 points d'amer sur les contours préalablement schématisés de la forêt de Chailluz figurés par le plan de 1738 qui, pour sa part, a pu être géoréférencé avec 60 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.

On a ainsi pu localiser, par exemple, le « Bois de l'Archevêque » cité par de nombreuses archives, à l'emplacement des actuels lieudits « Fonds de Chailluz » et « Dessus de Chailluz » (figure 111). On constate que l'endroit est mentionné en « bois » en 1704 et appelé « terre et domaine » en 1720-21, ce qui, associé à la figuration de bâtiments (dont une grange) en 1720-21 et en 1738, indique certainement que le déboisement de ces terres et leur complète conversion en espace agricole est intervenu entre 1704 et 1720.

Ceci a aussi mis en évidence des différences planimétriques difficilement attribuables à une erreur géométrique, et plus probablement dues à la représentation d'entités réellement différentes. Les investigations sur le terrain, en particulier les prospections relatives à des éléments de voirie abandonnés, ont permis de confirmer que quelques-unes de ces divergences planimétriques renvoient bien, par exemple, à des changements réels de l'emplacement de certains chemins, et des limites territoriales qui leur ont été - pour une courte période ou plus durablement - associées.

3

Résultats des prospections et interprétation des données

3.1

**Aménagements à vocation agropastorale,
établissements et éléments de voirie.**

Parties ouest et nord du massif.

Les prospections réalisées sur le massif de Chailluz sont présentées en les répartissant par zones et par type d'entités concernées. Les références indiquées pour les zonages renvoient aux divers groupes d'entités dont on a défini et commenté les limites spatiales dans la partie 2.2.2. En rappel, ces zonages sont illustrés sur les figures 112 et 113.

3.1.1 - Zone 1a

Le mobilier mis en évidence par les prospections de la partie ouest du massif de Chailluz²⁹⁰ (Daval, Fruchart 2010, 2011, 2012, 2013) est pour une bonne part datable de la période romaine²⁹¹ (céramique, monnaies, objets divers). Dans la zone 1a, trois emplacements de quelques ares chacun, où les concentrations d'artefacts sont plus importantes, abritent probablement les vestiges de petits habitats (*cf.* carte de répartition du mobilier découvert en prospection sur la figure 114). Une petite quantité d'objets d'époque moderne (boucles de chaussures, monnaies, fers à cheval, par exemple) et quelques rares objets médiévaux ont également été découverts dans la zone 1a. Les structures reconnues par LiDAR et sur le terrain occupent tout l'espace, sans discontinuité (figure 115 et aperçu 3D sur la planche XXX). Ce sont des parcelles formant des espaces de tailles diverses, délimités par des murets-talus en pierres sèches le long desquels passent parfois d'anciens chemins. L'ensemble s'étend sur un terrain orienté sud-ouest / nord-est, dont les pentes bénéficient d'une orientation sud-est idéale pour des activités agricoles. Sur la ligne de crête, un replat assez étroit domine de fortes pentes, parfois des falaises, exposées au nord-ouest. La crête présente elle-même un léger dénivelé sud-ouest / nord-est, et son altitude d'environ 400 m dans le bois de la Lave au sud-ouest, s'élève doucement en direction du nord-est. La zone 1a est coupée en deux par l'autoroute A36, dans la partie basse du bois en côte. Au nord de l'A36, sur les pentes du bois en côte, les parcelles sont majoritairement occupées par des structures étagées, formant des séries parallèles les unes aux autres, évoquant typiquement des terrasses ou des rideaux de culture*. Des amas de pierres qu'on a interprétés comme des tas d'épierrement agricoles s'y remarquent également. Quelques enclos (n° 1 à 6 sur la figure 115), parfois imbriqués les uns dans les autres, et dont l'utilisation est datable de la

²⁹⁰ Il s'agit de la zone 1a de la figure 112. Cette zone traversée par l'autoroute A36 est divisée en deux parties : partie au nord et partie au sud de l'A36.

²⁹¹ Le mobilier datable se rapporte aux trois premiers siècles de notre ère.

période romaine par les prospections, sont directement connectés au système parcellaire auquel ils s'intègrent parfaitement. C'est pourquoi l'ensemble des vestiges observés dans cette partie nord de la zone 1a (aménagements parcellaires, chemins, enclos avec petits habitats) a été daté de la période romaine²⁹².

3.1.1.1 - Résultat des prospections dans les enclos d'habitat de la zone 1a

3.1.1.1.1 - Zone 1a, enclos n° 1

Un petit enclos double (figure 115, n° 1) qui s'étend sur une surface totale d'environ 15 ares est aménagé sur le replat dominant le bois en côte, presque au bord d'une très grande doline de plus de 120 m de diamètre et 20 m de profondeur (Daval, Fruchart, 2011, p. 121 *et sq.*). Il est occupé par un petit bâtiment antique mis en évidence par la découverte de céramique et de monnaies d'époque romaine, de clous et d'objets divers (*cf.* exemples de mobilier découvert dans les enclos sur la planche XXXI). Quelques artefacts d'époque moderne pourraient être liés à l'exploitation de fours à chaux voisins²⁹³. L'enclos le plus grand (n° 1 sur la figure 116-a) - un espace légèrement rectangulaire de 33 m x 28 m - occupe la partie nord-est du site ; dans sa partie sud-ouest, un enclos plus petit accolé au précédent dessine un carré d'environ 20 mètres de côté (n° 2). Le grand enclos est bordé au nord par un muret-talus empierré qui se prolonge en direction de l'ouest jusqu'à un aménagement en pierre sèche en forme de E renversé (n° 3), probable vestige des limites d'anciennes parcelles. Enfin, deux gros amas de pierres sont situés à l'intérieur du double enclos dans sa partie sud-ouest et, à l'extérieur, à une vingtaine de mètres plus au sud, deux autres pierriers sont espacés d'une quinzaine de mètres. L'un des enclos est recoupé par le fossé qui marque la limite entre le bois de la Lave et la forêt de Chailluz, creusé durant l'époque moderne²⁹⁴.

²⁹² Sur l'ensemble des surfaces prospectées, les aménagements agropastoraux n'ont pas livré de mobilier permettant leur datation directe. Les datations proposées pour les ensembles parcellaires sont hypothético-déductives, et exposées ou argumentées au fil du texte.

²⁹³ *Cf.* résultats de datations radiocarbone de fours à chaux décrites plus loin.

²⁹⁴ Le tracé de cette limite a été mis en place au milieu du 15^{ème} siècle (pose de bornes). Une borne citée dès 1442 est située dans l'enclos, juste à côté d'un tilleul aujourd'hui âgé de plus de 350 ans. Celui-ci est vraisemblablement le rejet d'un individu plus ancien faisant déjà office de référence dans le texte de 1442 et dans tous les documents postérieurs (borne du « Tillot »).

A une distance comprise entre 150 m et 300 m au sud-ouest de l'enclos, une vingtaine de pierriers d'un diamètre moyen voisin de 5 m sont répartis sur une surface de près de 2,5 ha. Cette zone est délimitée par un petit muret-talus au nord-ouest (côté crête) et par un ancien chemin (non daté) de l'autre côté (chemin n° 8 sur la figure 115). Interprétés comme des tas d'épierrement agricole, les pierriers semblent vraiment anciens : les amas de pierres, tassés par le temps, ont un relief émoussé, et les interstices entre les pierres sont comblés et remplis de terre humifère. Au cours de la prospection, deux petits lingots de bronze ont été découverts, l'un au sommet d'un pierrier et l'autre à quelques dizaines de mètres du premier, affleurant presque à la surface du sol. Ils sont non datés mais la morphologie de ces lingots évoque celle d'objets de l'âge du Bronze²⁹⁵. Au sud de la grande doline, à quelques dizaines de mètres du double enclos, une zone d'environ 20 ares est circonscrite dans un autre enclos, trapézoïdal, délimité par un muret-talus en pierres sèches (n° 4 sur la figure 115). Aucun élément mobilier n'a été découvert dans cet enclos n° 4.

Des prospections magnétiques ont confirmé la présence d'une construction dans le double enclos n° 1 (*cf.* Laplaige, 2012, vol.1, p. 89 *et sq.* et vol. 2, p. 56 *et sq.*). La prospection magnétique a été choisie car elle est la moins sensible à la présence de racines en sous-sol ; elle a été réalisée avec un appareil Grad-601, équipement léger et facile à mettre en œuvre, facteur dont il faut tenir compte pour des investigations en milieu forestier (la présence de nombreux obstacles complique les déplacements : ronces, troncs gisant au sol, etc.). Le peuplement forestier a compliqué l'acquisition des données : les arbres ont parfois fait obstacle à un parcours bien régulier et à une réalisation en ligne droite des profils de mesure.

La prospection magnétique a couvert un bloc de 40 m sur 40 m implanté à cheval sur les deux enclos. Sur la carte du gradient magnétique (figure 116-b), la dynamique de signal s'étale de -10 nT/m à +10 nT/m (du blanc au noir). Une anomalie sinueuse orientée est-ouest évoque le tracé d'un ancien chemin (n° 1 sur la figure 116-b). Côté ouest, elle se dirige vers l'emplacement d'une anomalie positive sensiblement circulaire d'environ 4 m de diamètre (n° 2). Cette structure excavée est interprétée comme une citerne²⁹⁶, son diamètre paraissant un peu élevé pour se rapporter à une fosse. Plus à l'est, quatre anomalies magnétiques négatives et rectilignes matérialisent probablement les fondations des murs d'un bâtiment rectangulaire divisé en deux pièces (n° 3). Cette construction, édifiée dans le prolongement

²⁹⁵ On a néanmoins considéré ces objets trouvés en surface comme des dépôts secondaires non pertinents pour la datation des aménagements agricoles.

²⁹⁶ L'absence de point d'eau naturel dans cette zone karstique pourrait corroborer l'interprétation en citerne.

de la limite sud-est du petit enclos et suivant la même orientation, est recoupée par le chemin n° 1 menant à l'éventuelle citerne : ce chemin est donc postérieur au bâtiment. Au sud-ouest de celui-ci, quatre anomalies positives du gradient (fosses ?), forment les angles d'un carré de 10 m de côté. Cette disposition évoque les vestiges d'un édifice sur poteaux, suggérant un autre état d'occupation. Bien qu'aucun élément décisif ne permette de trancher de façon certaine en faveur d'une antériorité ou d'une postériorité, on a fait l'hypothèse qu'un éventuel bâtiment sur poteaux serait plutôt antérieur au bâtiment rectangulaire et éventuellement à rattacher à un aménagement protohistorique. Cette supposition a été faite notamment à cause de l'absence de mobilier médiéval sur ce site, qu'on aurait certainement découvert en prospection s'il y avait eu là une occupation au premier Moyen Âge.

En recoupant les données acquises par les prospections au sol et par l'analyse des données LiDAR avec celles issues des prospections géophysiques, on peut ainsi envisager trois états distincts d'occupation de cet espace : dans un premier état, un bâtiment de 100 m² au moins serait érigé sur poteaux ; mais aucune association entre cette structure et les aménagements parcellaires (enclos, etc.) observables par ailleurs ne peut être établie. Une contemporanéité de la fosse circulaire - éventuelle citerne - avec la structure sur poteaux est possible. Dans un deuxième état, un bâtiment à deux pièces sensiblement carrées serait édifié sur sablières basses. Cet état semble en lien avec le système d'enclos tel qu'il est observé sur les données LiDAR et avec lequel il présente de nets alignements. On voit volontiers là l'état d'époque romaine. Enfin, un chemin, qui recoupe l'édifice à deux pièces et se dirige vers la grande fosse circulaire correspondrait plutôt à un usage agropastoral, un chemin menant vers un abreuvoir, par exemple.

3.1.1.1.2 - Zone 1 a, enclos n° 2

Implanté sur la partie sommitale relativement plane du bois en côte, à environ 300 m au nord-est de l'enclos n° 1, l'enclos n° 2 forme un espace sensiblement rectangulaire de 40 m sur 25 m environ, limité dans ses longueurs par des murets-talus en pierres sèches (figures 117 et 118 ; Daval, Fruchart, 2011, p. 116 *et sq.*). Dans ses largeurs, il est limité au nord-ouest par un ancien chemin large de 5 à 6 m et, au sud-est, par un replat formant une petite terrasse. A l'intérieur de l'enclos, à peu près en son centre, un amas de pierres d'environ 15 m sur 5 m

correspond certainement aux ruines d'un bâtiment datable de la période romaine par le mobilier découvert dans son voisinage. Ces structures sont installées sur de longues terrasses formant des replats légèrement étagés et qui se poursuivent loin à l'extérieur de l'enclos. Aucune rupture ou modification dans le façonnage des terrasses n'est perceptible au niveau de l'établissement et de ses abords immédiats. Ceci indique que cet enclos a été installé sur des terrasses déjà en place à l'époque romaine, et signale ainsi qu'elles sont de cette même période, ou peut-être antérieures (voir coupes sur la figure 119).

3.1.1.1.3 - Zone 1 a, enclos n° 3

Ce petit enclos quadrangulaire d'une trentaine de mètres de côté est situé dans une zone en pente faible de la partie basse du bois en côte, à environ 350 m au sud des deux enclos précédents (figure 120 ; cf. Daval, Fruchart, 2010, p. 55). Il est délimité par un talus en pierres sèches très émoussé haut de 30 à 50 cm. Son plus grand côté, au nord-ouest / sud-est, est long de 30 mètres. Les deux autres côtés, orientés nord-sud et nord-est / sud-ouest, mesurent respectivement 25 m et 29 m. Sur son côté est, l'enclos est adossé à un long talus empierré au tracé rectiligne, long d'environ 500 m, interrompu aux deux tiers de sa longueur par l'autoroute A36, qui le recoupe (figure 121). Ce talus orienté nord-ouest / sud-est est probablement une ancienne limite parcellaire. Les vestiges de son empierrement sont discrets dans sa partie supérieure voisine de l'enclos n° 3, au nord de l'A36, où il est bordé à l'est par un chemin aujourd'hui abandonné (n° 10 sur la figure 115) ; son existence, soupçonnée à partir des données LiDAR et des découvertes en prospection, a été confirmée par une investigation géophysique. Au sud de l'A36, le talus est plus visible, large d'au moins 2 à 3 m. Il forme, sur environ 100 m au bas des pentes du bois en côte, l'arête bien rectiligne d'un épaulement présentant un dénivelé de plus d'un mètre (cf. coupe sur la figure 121-a). L'enclos n° 3 est inscrit dans un enclos plus grand (n° 6 sur la figure 115), sensiblement rectangulaire, dont les dimensions mesurables sont voisines de 75 m sur 250 m. Ce dernier est limité à l'est par l'ancien chemin, au nord et à l'ouest par un talus empierré et recoupé au sud par l'A36.

Les prospections ont mis en évidence du mobilier antique trouvé à l'intérieur de l'enclos n° 3 (monnaie et céramique commune notamment), en particulier dans son angle sud-ouest et vers

son centre, où un amas de pierre évoque les ruines d'une petite construction édifiée au moins partiellement en pierre sèche. Quelques clous signalent peut-être du bâti en bois. Un fragment d'hipposandale* a été découvert en bordure d'enclos. L'ancien chemin (figure 115, n° 10), prospecté sur une longueur d'environ 200 m et sur lequel a été trouvée une monnaie datable du 3^{ème} siècle, semble être un chemin creux reposant directement sur le substrat calcaire naturel, presque affleurant dans cette partie du bois en côte. Sa situation en pente et son abandon ont probablement provoqué son colmatage presque total par colluvionnement.

A 20 m environ au sud de l'enclos n° 3, une dépression cylindrique de près de 8 m de diamètre et de quelques mètres de profondeur évoque un point de soutirage naturel (figure 121-b).

Une prospection magnétique (figure 122) effectuée sur une surface de 80 m x 40 m a été réalisée en suivant le même protocole que dans l'enclos n° 1 (*cf.* Laplaige, 2012, vol.1, p. 91-92 et vol. 2, fig. 83 et 84). Les anomalies magnétiques positives sont figurées en noir et les négatives en blanc. On identifie dans l'enclos six anomalies magnétiques positives caractéristiques de structures fossoyées (entités portant le n° 2 sur la figure 122-b). Trois d'entre elles sont alignées le long du talus sud-ouest et trois autres sont disposées à l'intérieur de l'enclos, distantes d'une dizaine de mètres les unes des autres. On détecte aussi un petit fossé (n° 5 sur la figure 122-b) et une anomalie négative (n° 6) - peut-être les vestiges d'un mur qui pourrait se prolonger vers le sud au-delà de l'enclos, comme le suggère la légère inflexion visible dans la topographie, schématisée par un trait courbe violet sur la figure 122-b (son tracé a été souligné par trois flèches noires sur la vue LiDAR correspondante). A l'extérieur de l'enclos, l'ancien chemin (n° 3 sur la figure 122-b et n° 10 sur la figure 115) apparaît bien comme une anomalie magnétique positive, signe très probable d'un remplissage par colluvionnement. Une structure de même nature (n° 4), sensiblement perpendiculaire au chemin précédent, pourrait se rattacher à un autre ancien tronçon de voirie (le fragment d'hipposandale a été découvert précisément au voisinage de ce tracé).

3.1.1.2 - Résultat des prospections dans la partie sud de la zone 1a

La partie sud de la zone 1a est caractérisée par la présence d'imposantes entités en pierres sèches, larges talus et gros pierriers. A la différence de la partie nord de la zone située sur les pentes du bois en côte, aucun enclos avec établissement n'a été mis en évidence, ni à

l'examen des données LiDAR, ni sur le terrain. Complètement au sud de la zone, les vestiges d'un large chemin un peu sinueux (le tronçon de voie est conservé sur 750 m environ) traversent le bois de la Lave et la forêt de Chailluz dans une direction sud-ouest / nord-est (aperçu 3D et vue en coupe sur la planche XXXII et n° 11 sur la figure 115). On perd sa trace au nord-est en limite de Chailluz et aucun indice ne permet de savoir s'il se poursuivait au-delà de cette limite ; rien ne permet d'identifier les lieux qu'il reliait. Au sud-ouest, il aboutit au voisinage de l'emplacement de l'ancien village de Valentin et de sa grange. Aucun élément datant découvert dans son voisinage ne permet d'établir fermement sa période d'utilisation. Quelques monnaies ont été trouvées sur son tracé mais la plupart sont illisibles, fortement altérées par l'acidité du sol (« argiles à chailles »). L'une d'entre elles est néanmoins datable de la fin de l'Antiquité et deux autres, illisibles, ont des modules plutôt attribuables à des monnaies médiévales. Aucun fragment de fer à cheval ou d'hipposandale n'a été trouvé sur son tracé et les prospections n'ont pas permis de détecter les vestiges d'empierrement ou de damage habituellement observables sur une chaussée. Dans sa partie sud-ouest, à l'endroit où il traverse une profonde doline, un empierrement massif en pierres sèches haut de plusieurs mètres - un terrassement servant d'assise à la voie - a été réalisé, manifestement pour faciliter la traversée de la dépression. Ce tronçon de voie semble avoir été aménagé en veillant à conserver une horizontalité optimale : dans sa partie nord-est, à l'endroit où il franchit une autre doline, tout le flanc sud de la dépression a été surcreusé sur une largeur de plusieurs mètres afin de créer un tracé bien plan épousant sur toute sa longueur le relief naturel. Ce tracé à flanc de doline est le seul endroit où la largeur du chemin est mesurable *in situ*, dans son implantation réelle. Ailleurs, l'examen des données LiDAR suggère qu'il s'agit dans son ensemble d'une voie assez large, entre 6 et 7 m (coupe [E,F] sur la planche XXXII), sans qu'on puisse néanmoins le confirmer par l'observation sur le terrain.

Au nord de ce chemin, dans une zone un peu en contrebas, de faible pendage mais criblée de dolines, de gros tas d'épierrement (diamètre 10 à 20 m) sont disséminés sur une surface de 500 m sur 300 m environ. Dans la partie est de cette zone, une série de pierriers est concentrée autour de trois dolines (*cf.* Daval, Fruchart, 2010, p. 67 *et sq.*). Ils ont un aspect érodé, sont constitués de pierres calcaires mêlées d'argile et d'humus et sont disposés sur le pourtour des dolines, proches les uns des autres. La plupart ont été éventrés, peut-être fouillés au 19^{ème} siècle ou utilisés comme matière première pour l'empierrement de chemins modernes voisins. Une clé de coffret en fer 13-14^{ème} siècle a été découverte sous les pierres,

à la base d'un de ces pierriers éventrés. Ailleurs, à quelques mètres d'un autre tas d'épierrement, une fibule* en fer d'un type proche d'Aucissa 22a1 (typologie Michel Feugère), attribuable à la période augustéenne*, a été trouvée. Plus loin, presque en surface d'un très gros amas de pierres dessinant un cône au sommet légèrement tronqué (*cf.* coupe [C,D] sur la planche XXXII et cliché sur la figure 123-a), une boucle de ceinture datable du 14-15^{ème} siècle a été découverte. Ce pierrier est situé sur le tracé d'un talus en pierre sèche d'une longueur totale proche de 400 m, orienté nord-ouest / sud-est²⁹⁷ (talus 2 sur la planche XXXII et cliché sur la figure 123-b). Vers le nord-ouest, le talus a été recoupé par l'A36. Il est particulièrement massif dans cette zone déclive, où il dessine sur une petite centaine de mètres perpendiculairement à la pente une bosse bien rectiligne haute de plus d'un mètre et large d'au moins dix mètres (coupe [A,B] sur la planche XXXII). Plus au sud-est, le talus est toujours visible mais plus discret. Plus loin encore, on le perd, puis il réapparaît à quelques dizaines de mètres du pierrier conique pour finalement disparaître à une centaine de mètres plus au sud-est, non loin de l'ancien chemin non daté. Plus au sud-est encore, croisant l'ancien chemin, sans qu'on puisse cependant déterminer une antériorité / postériorité entre les entités, un fossé peu marqué, légèrement sinueux, a été aménagé dans le prolongement du talus. La partie nord-ouest du talus 2, là où l'empierrement est particulièrement imposant, est parfaitement parallèle au talus 1 probablement antique (*cf.* description de l'enclos n° 3 plus haut). Les deux structures sont distantes de 335 m environ. Un dernier talus (talus 3) situé à environ 200 m à l'ouest du talus 2 est sensiblement parallèle aux deux précédents, quoique légèrement divergent²⁹⁸. On peut enfin signaler dans cette zone deux amas de pierres particulièrement imposants : le premier, situé dans la pente à une cinquantaine de mètres en contrebas de l'autoroute, à peu près à mi-chemin entre le talus 1 et le talus 2, se remarque à plus de cent mètres de distance sur le terrain, malgré la présence des arbres. Long de presque 25 m, large d'une quinzaine de mètres et d'une hauteur maximale de plus de 2 m, il a été partiellement détruit par l'installation postérieure d'une charbonnière. Un autre tas d'épierrement, encore plus gros, est situé dans le prolongement du talus 3, à l'endroit où celui-ci décrit un angle. L'amas de pierre, long d'une cinquantaine de mètres, s'étale dans la pente surplombant une série de trois dolines accolées les unes aux autres, côté est. La présence d'aussi gros pierriers dans cette partie sud de la zone 1a témoigne certainement d'une répétition des épierrements sur une longue durée et donc d'une utilisation prolongée de

²⁹⁷ Il a été impossible à la prospection de déterminer si le pierrier est antérieur ou postérieur au talus : les deux structures partiellement recouvertes de mousse apparaissent imbriquées l'une dans l'autre.

²⁹⁸ La distance au nord-ouest entre le talus 2 et le talus 3 est d'environ 190 m. 50 m plus au sud-ouest, la distance entre les deux entités est approximativement de 200 m).

l'endroit nécessitant l'épierrement du sol, ce qui renvoie probablement un usage agropastoral. La présence toute proche de l'ancien village médiéval de Valentin ainsi que celle de sa grange, qui, épargnée de la destruction à la fin du Moyen Âge, a continué son activité au cours de la période moderne, sont peut-être à mettre en relation avec l'occupation du sol qu'on observe à cet endroit.

Dans la partie sud-ouest de la zone 1a, sensiblement à l'emplacement actuel de la limite entre les communes d'Ecole-Valentin et de Châtillon-le-Duc, on remarque un agencement atypique des structures formant des terrasses aux arêtes soulignées par des talus en pierres sèches (zone en surbrillance rouge sur la figure 115 et zone en rouge comprenant le talus 3 sur la planche XXXII) : les talus-terrasses, qui sont aménagés en lignes brisées, ne présentent aucun parallélisme entre eux. L'agencement en lignes brisées s'explique en partie par la morphologie du relief naturel, mais pas partout ; l'absence de parallélisme entre les structures pourrait être due au relief également. Néanmoins, l'ensemble donne l'impression d'une absence de structuration générale, laissant envisager, d'une part, une mise en place en plusieurs phases et, d'autre part, un aménagement qui respecte des contraintes spatiales en partie dictées par le relief naturel, mais pas complètement. Ces deux particularités amènent à se demander si, outre une fonction de limitation parcellaire, ces entités situées dans le voisinage de Valentin - zone historiquement connue pour avoir subi des modifications de limites territoriales (*cf.* parties 1.1.2.1.3, 1.1.2.1.4 et 1.1.2.2.2) - n'ont pas pu également marquer des limites successives entre les territoires de Valentin et Châtillon-le-Duc ou Besançon, édifiées par les usagers revendiquant cet espace. Une vue 3D rapprochée sur la zone du talus 3 (figure 124) montre un possible recoupement d'aménagements : une zone, où la texture du terrain sur le modèle LiDAR évoque celle d'un sol dont la surface a été travaillée pour un usage agricole²⁹⁹, est bordée par un épaulement bien visible dans sa partie ouest et beaucoup plus discret dans sa partie nord, située dans la pente. Cet épaulement nord, dont l'existence reste cependant hypothétique car il n'a pas été vu sur le terrain, apparaît recoupé par le talus 3. Ce recoupement d'entités indiquerait bien l'existence de plusieurs phases d'aménagements.

²⁹⁹ Sur la base des modèles de terrain réalisés à partir des données LiDAR de la zone d'étude de Besançon, un sol agricole travaillé (labours, hersages, etc.) se distingue par une texture particulièrement lisse et fine du rendu du terrain, qui contraste avec l'impression d'irrégularité, le « grain » plus grossier d'un sol non façonné. Parfois, la limite de l'emprise de sols agricoles peut se détecter en recherchant la manifestation topographique qu'induit un phénomène de tassement du sol (« compaction », *cf.* Mériaux, 1988) : il génère une différence de niveau sensible entre les surfaces cultivées et celles sous couvert forestier. Ceci semble bien être ce qu'on observe sur la figure 125, où la zone présentant une texture lisse est cernée par un épaulement bien marqué, qui traduit un dénivelé du terrain de plusieurs dizaines de centimètres, probable résultat d'un phénomène d'érosion et/ou de compaction.

3.1.2 - Zone 1b

Les prospections ont révélé deux zones de concentration de mobilier antique dans la partie sud-ouest de la zone 1b (figure 125 et n° 1 et 2 sur la figure 126), une zone de concentration de mobilier médiéval sur la crête de Chailluz autour des vestiges de la chapelle Saint-Gengoul (figure 126, n° 5) et une zone de concentration de mobilier d'époque moderne au nord-est de la zone, à l'emplacement d'une ancienne ferme édifée au 17^{ème} siècle et dont les ruines sont encore visibles aujourd'hui (figure 126, n° 6). De nombreux aménagements parcellaires ont été observés sur le terrain (figure 126, n° 3, 4, 7, 8), composés de terrasses, de talus ou murets en pierres sèches et de tas d'épierrement. Plusieurs chemins ou faisceaux de chemins ont été détectés et reconnus sur le terrain (figure 126, n° 9 à 14). La plupart recoupent les entités précédentes et leur sont donc postérieurs. Certains tronçons de voirie peuvent être rapprochés de chemins indiqués sur des plans du 18^{ème} siècle (en particulier, plan de 1699 portant la cote Yc M1 43 aux Archives municipales de Besançon et plan de 1738 coté Yc M1 45 ; cf. figures 9, 10 et planche VI). La coïncidence entre les tronçons détectés par LiDAR et les chemins mentionnés sur les plans anciens, bien que probable, reste néanmoins hypothétique, notamment à cause de l'impossibilité de restituer une géolocalisation précise des éléments de voirie dessinés sur la carte Yc M1 43. Quelques découvertes de mobilier d'époque moderne sur le tracé de certaines voies (fers à cheval, boucles de chaussures, par exemple) attestent néanmoins qu'ils étaient fréquentés à la période où ces cartes ont été réalisées.

3.1.2.1 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 1 : enclos avec probable établissement (figures 126 et 127)

Un petit enclos quadrangulaire, situé dans la partie sud-ouest de la zone 1b (zone en rouge n° 1 sur la figure 126) recèle une zone de concentration de mobilier qui traduit probablement l'existence passée d'un petit établissement antique (notamment des fragments de céramique sigillée*, ainsi qu'une fibule et quelques monnaies, dont un as* et un *dupondius**). L'enclos, qui mesure approximativement 35 mètres sur 30 mètres, délimite un espace de mille mètres

carrés environ ; il est fermé sur trois côtés (les deux côtés situés dans le sens de la pente et celui fermant la partie basse au sud-est, *cf.* figure 127) par un talus très émoussé en pierres sèches. Au nord-ouest, le quatrième côté - le plus haut sur la pente - est marqué par un léger escarpement, affleurement naturel du substrat rocheux (traits pointillés blancs sur la figure 127). Le terrain situé au voisinage de l'enclos, en particulier celui qui surplombe le site au nord, conserve les traces d'aménagements à vocation agropastorale : marques de terrassements ou rideaux de culture, tas d'épierrement, talus en pierres sèches marquant d'anciennes limites parcellaires. Néanmoins, son pourtour immédiat, sur ses côtés ouest, sud et est, est dépourvu d'indices de terrassements. Cette zone d'environ un demi-hectare (90 mètres sur 60 mètres, zone en jaune autour de l'enclos 1 sur la figure 126) encadre l'enclos, sensiblement installé en position centrale. On pourrait voir là, par exemple, les vestiges d'un parc à bétail aménagé dans la périphérie immédiate d'une ferme. L'analyse des caractéristiques chimiques du sol de cet espace (teneurs en azote et phosphore en particulier) apporterait probablement des indices susceptibles de préciser les hypothèses possibles sur son usage passé (*cf.* Bürger 2007, Dupouey *et al.* 2007, par exemple).

D'une manière générale, l'examen des données LiDAR montre que ce groupe d'entités n° 1 (enclos et aménagements agropastoraux périphériques) occupe tout l'espace disponible, sans laisser de zone vide, vierge d'aménagements. Les structures qu'on détecte forment un ensemble qui semble cohérent, sans indices de recoupements ou de chevauchements qui témoigneraient d'occupations successives. C'est pourquoi on a émis l'hypothèse que cet ensemble d'aménagements n° 1, tel qu'il est resté fossilisé sur le sol forestier, et tel qu'il est encore observable aujourd'hui à la surface du sol, est le vestige d'un seul état d'occupation qu'on date de l'époque romaine (globalement plutôt du Haut-Empire) à partir du mobilier découvert dans l'enclos (*cf.* Daval, Fruchart, 2010, p. 50 *et sq.*). Cet état, détectable à la surface du sol grâce au relevé LiDAR, est à envisager comme un *terminus ante quem** : l'existence d'occupations antérieures – à vocation agropastorale ou autres - est évidemment possible, mais indécélable à partir de l'examen des seules données LiDAR. Des investigations du sous-sol (prospections géophysiques ou sondages archéologiques) seraient indispensables pour déterminer la durée d'occupation de cette zone, notamment pour un usage agropastoral.

3.1.2.2 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 2 : groupe d'enclos avec probable établissement (figure 128)

A 200 m au sud-est de l'enclos n° 1, une ultime zone de concentration de mobilier antique a été mise en évidence (n° 2 sur la figure 126). Le site, qui s'étend sur une surface globale de 200 m de côté environ, est composé dans sa partie nord d'une zone enclose relativement plane, où passe à présent l'autoroute A36 (c'est au voisinage nord et sud de cette dernière que se situe la concentration de mobilier, en rouge sur la figure 126). Dans la partie sud de ce groupe d'entités n° 2, le terrain, qui présente une pente marquée, comprend plusieurs grands enclos. Les artefacts³⁰⁰ ont été découverts en deux endroits, de part et d'autre de l'autoroute : l'axe routier recoupe le site précisément là où devait se situer un probable établissement antique. L'emprise exacte de l'enclos ayant abrité un ou des bâtiments reste donc inconnue. Les parties conservées sont constituées de talus en pierres sèches qui occupent au plus une surface de 40 m sur 90 m. La partie sud du site, en pente, est composée de trois grands enclos accolés ou imbriqués les uns dans les autres et délimités par des talus en pierres sèches ou des aménagements en terrasse ; ils occupent une surface totale d'environ 200 m sur 100 m (zone en jaune sur la figure 128).

3.1.2.3 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 3 : aménagements parcellaires (figures 129 et 130)

Plus à l'est, à environ 250 m des groupes d'entités n° 1 et 2, une surface d'approximativement 700 m sur 400 m (n° 3 sur la figure 126) est caractérisée par une densité particulièrement importante de structures en pierres sèches, limites parcellaires et tas d'épierrement (figures 129 et 130). Les talus en pierres sèches, de longueurs très variables, sont larges d'un à deux mètres et hauts de quelques dizaines de centimètres au plus. Ils sont sensiblement rectilignes et parallèles les uns aux autres, séparant les pentes du bois en côte en autant de longues parcelles en bandes de largeurs inégales ; dans les parcelles elles-mêmes, les tas d'épierrement sont nombreux, disposés, semble-t-il, au gré

³⁰⁰ Clous, fragments de terre cuite architecturale, céramique commune claire et sombre, monnaies en bronze (as, *dupondius*), fibule, scories ferreuses (Daval, Fruchart, 2010, p.60 *et sq.*).

du hasard, sans qu'on puisse y reconnaître un schéma d'agencement particulier³⁰¹. Dans la partie ouest de ce groupe d'entités n° 3, un pli naturel du terrain a donné naissance à un thalweg en pente exposé au sud-est, long d'environ 400 m et large d'une cinquantaine de mètres (figure 129). Là, le potentiel fertile des deux cents hectares de sol est nettement supérieur à celui généralement observé ailleurs sur les pentes du bois en côte (sols globalement fins et secs). Ici, le sol est épais (colluvions « d'argiles à chailles ») et il bénéficie d'un bon apport en eau : le thalweg recueille les eaux pluviales, qui terminent leur course dans une doline en contrebas, à présent presque entièrement comblée par l'accumulation du substrat argileux. La combinaison de l'excellente exposition de cette parcelle située à des altitudes comprises entre 360 m et 450 m, qui dispose d'un sol épais et hydraté a dû rendre l'endroit particulièrement attractif pour une utilisation agricole. Ce fait peut expliquer - au moins en partie - la grande quantité de tas d'épierrement observés dans son voisinage : on peut envisager une utilisation agricole durable, peut-être sur une période plus longue ici que dans d'autres zones proches, mais aux sols moins prometteurs. Une longue durée d'exploitation du terrain aura certainement occasionné des épierrements plus volumineux et plus nombreux. Ainsi, on a émis l'hypothèse que ce groupe d'entités n° 3, situé à quelques centaines de mètres d'établissements antiques, a pu avoir un usage agricole dès la période romaine, et qui s'est prolongé au cours du Moyen Âge, possiblement associé, à quelque cinq cents mètres au nord-est, au site médiéval de la chapelle Saint-Gengoul (groupe d'entités n° 5 sur la figure 126, décrit plus loin).

3.1.2.4 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 4 : parcellaire « géométrique » au sud de la chapelle Saint-Gengoul (figures 131 à 133)

A quelques centaines de mètres à l'est du groupe d'entités n° 3, on observe un autre aménagement parcellaire (n° 4 sur la figure 126 et figure 131), installé sur un terrain aux caractéristiques très différentes de celles décrites précédemment : ici, un sol très fin et vraiment sec, exposé sud / sud-est aux mêmes altitudes que celles du groupe n° 3, recouvre

³⁰¹ Globalement, les aménagements parcellaires (terrasses, talus empierrés, tas d'épierrements) observées dans le massif de Chailluz rappellent les agencements découverts en Bourgogne dans le Châtillonnais et datés pour l'essentiel de l'époque romaine (Goguey *et al.*, 2010).

à peine le substrat calcaire. Le terrain, dont la pente est très prononcée³⁰², offre une fertilité particulièrement faible³⁰³ (figures 132 et 133). La forme générale de ce parcellaire, qui se distingue des autres aménagements agropastoraux par la géométrie et la relative régularité de son agencement, évoque un rectangle de 450 m sur 200 m environ dont l'un des grands côtés présente un décrochement marqué. Il occupe une surface totale proche de dix hectares. Son pourtour est formé à l'ouest et à l'est de murets-talus en pierres sèches et au nord d'un épaulement en terre. Au sud, il est totalement recoupé par l'autoroute A36. Les murets-talus (en jaune sur les figures 131 et 132), aménagés dans le sens de la pente, sont peu élevés (50 cm tout au plus) et larges d'environ 2 m. Des épaulements (aménagés perpendiculairement aux murets, en orange sur les figures 131 et 132) forment de minces bandes planes, larges de 3 à 4 m. Ils ne présentent en surface aucune trace d'empierrements qui signaleraient d'anciennes terrasses ; celles-ci ont peut-être existé et ont disparu, effacées par l'érosion, ou, si elles existent encore, sont masquées à la vue par les colluvions dans cette zone en forte pente.

Ces épaulements sont espacés avec une relative régularité ; ils divisent l'espace en longues bandes de culture larges 40 à 50 m, qui s'étendent d'est en ouest entre les talus empierrés bordant l'ensemble parcellaire. Ces bandes sont elles-mêmes subdivisées en rectangles de tailles variables, délimités par les petits murets-talus aménagés entre les épaulements, perpendiculairement à la pente. On remarque çà et là quelques tas d'épierrement (en vert clair sur la figure 131), mais ils sont peu nombreux ; comparativement, la concentration de tas d'épierrements (vraisemblablement d'origine agricole) est nettement supérieure dans les zones immédiatement voisines mais à l'extérieur du parcellaire, aux caractéristiques topographiques, géologiques et pédologiques pourtant comparables. Aucun élément permettant de dater cet ensemble n'a été trouvé en prospection, mais il est assurément antérieur au 16^{ème} siècle : on sait, à partir des archives, que dès le début de la période moderne, il n'y a pas (ou plus) d'aménagements à vocation agricole en forêt de Chailluz. On associerait volontiers à cette entité parcellaire voisine du site médiéval de Saint-Gengoul (décrit ci-après), un espace viticole contemporain de l'établissement religieux, éventuellement un « clos » : situé à une altitude comprise entre 380 et 460 m, l'endroit est idéalement orienté au sud / sud-est, et son sol argileux fin sur dalle calcaire se délitant en laves paraît favorable à la vigne.

³⁰² La pente calculée à partir des données LiDAR est globalement supérieure à 15 %.

³⁰³ cf. carte des stations forestières établie par l'ONF. Le cliché présenté sur la figure 132 illustre l'affleurement de la roche calcaire à cet endroit.

Des relevés floristiques* ont été réalisés dans la partie est du parcellaire³⁰⁴, à l'intérieur et à l'extérieur du site. Une plus forte concentration d'espèces nitrophiles* a été constatée à l'intérieur du parcellaire : ce sol a pu bénéficier d'amendements autrefois (*cf.* notamment Dupouey *et al.* 2007 : mise en évidence, grâce à des relevés botaniques et à des analyses pédologiques, de la rémanence en milieu forestier actuel d'une teneur en nitrates due à des amendements sur des sols agricoles à l'époque romaine).

Trois anciens chemins traversent cet ensemble (représentés en bleu sur les figures 131 et 132). Ils recourent clairement les murets et les épaulements, indiquant ainsi leur postériorité. Une boucle de chaussure en alliage cuivreux datable du 18^{ème} siècle a été découverte sur l'un d'entre eux (chemin n° 15 sur la figure 126). Enfin, on compte 14 plateformes de charbonniers dans cette zone n° 4 (points de couleur rose sur la figure 131), dont deux ont été datées entre le 17^{ème} et le 19^{ème} siècle³⁰⁵. Les charbonniers ont certainement profité de la présence opportune d'épaulements offrant une surface bien plane et idéale pour l'installation de leurs plateformes.

3.1.2.5 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 5 : chapelle Saint-Gengoul (figures 134 à 137)

3.1.2.5.1 - Généralités

La chapelle Saint-Gengoul de Tallenay, établie sur la crête de la forêt de Chailluz en surplomb du village actuel, est la seule construction attestée pour la période médiévale sur l'ensemble du massif. Sa première mention date de 1049 (Courtieu, 1987, p. 3108) ; la chapelle est alors une dépendance du chapitre métropolitain de Besançon. La découverte de sépultures attribuées à la période burgonde³⁰⁶ dans ses alentours à

³⁰⁴ Les relevés floristiques ont été effectués par des étudiants en licence de Biologie dans le cadre de leur cursus sous la direction de P. Ruffaldi et O. Girardclos (laboratoire Chrono-environnement UMR 6249).

³⁰⁵ Les datations radiocarbone de charbonnières sont présentées plus loin.

³⁰⁶ Une note parue dans le bulletin de 1875 des *Mémoires de la société d'émulation du Doubs* (p. VIII, *Mémoires de la société d'émulation du Doubs*, 4^{ème} série, vol. 10, 1875, paru en 1876) rapporte ceci : « De la part du colonel Balland, chef du génie de la place de Besançon, le secrétaire offre à la Société un coutelas et une boucle de ceinturon en fer, objets trouvés dans une sépulture de l'époque burgonde, située à l'intersection

l'occasion de travaux de voirie vers 1875 (Boiteux, 1930) peut être l'indice d'une occupation antérieure au second Moyen Âge. Une archive de 1547 (Archives municipales de Besançon, cote DD 93, p. 82-83) permet d'établir que la chapelle est encore utilisée par les habitants de Tallenay au début du 16^{ème} siècle. L'extrait suivant en témoigne : « Il y a un petit essart ancien autour de l'église pour le cimetière. Il y a vingt ans³⁰⁷ (...) il rencontra une femme et des enfants montant à l'église. (...) Ils feraient mieux d'en construire une en bas. »

En 1722, les habitants de Tallenay présentent une requête à « Messieurs du Chapitre Métropolitain pour obtenir la permission de démolir leur ancienne église dédiée à St Gengouph. » Elle leur est accordée, « à condition que lesdits habitants laissent subsister la muraille de ladite église dans tout leur pourtour à la hauteur de 3 pieds. » Ceci afin que la présence de ces murs en bordure de la forêt prouve la limite incontestable de la forêt de Chailluz pour l'avenir³⁰⁸.

Le patronage de Saint-Gengoul³⁰⁹, généralement associé à de petits établissements religieux médiévaux, n'est pas une rareté dans le nord-est de la France ; on le rencontre surtout en Lorraine, mais aussi en Alsace, en Bourgogne, en Champagne et en Franche-Comté. Les quelques monographies consacrées à ce saint (la plus ancienne date de la fin du 10^{ème} siècle, cf. Gouillet, 2002) évoquent un aristocrate burgonde du 8^{ème} siècle qui aurait combattu aux côtés de Pépin le Bref et qui serait mort assassiné par l'amant de sa femme. Cet événement est certainement à l'origine du culte qui lui a été associé : il est le patron des maris trompés. On lui attribue aussi le don de faire surgir une source à l'endroit où il plante en terre son bâton de pèlerin, qui l'accompagne partout dans ses déplacements ; lorsque le saint quitte un lieu en emportant avec lui son bâton miraculeux, la source se tarit.

du chemin stratégique qui se construit à Chailluz et du vieux chemin descendant à Tallenay. Cette sépulture, encadrée par de petites dalles informes, n'était qu'à soixante centimètres au-dessous du sol. ». L'attribution à « l'époque burgonde » reste néanmoins à confirmer : aucune publication scientifique actuelle n'est venue valider (ou infirmer) la datation du mobilier qu'évoque cette note.

³⁰⁷ Donc aux alentours de 1525.

³⁰⁸ Ces informations sur la démolition de la chapelle Saint-Gengoul, établies à partir de recherches aux Archives municipales de Besançon, sont dues à J.-P. Josseron, agent ONF et correspondant pour l'ONF Franche-Comté sur les questions archéologiques et historiques.

³⁰⁹ Il existe plusieurs variantes de ce patronyme d'origine germanique ; les plus fréquentes sont sans doute Gengoult, Gengoux et Gengulphe. L'orthographe de la chapelle de Tallenay a connu plusieurs variantes, essentiellement Gengoult, Gengout et Gengoul, graphie actuellement utilisée.

3.1.2.5.2 – Apport des fouilles des années 1970.

Du point de vue archéologique, on sait peu de choses sur la chapelle Saint-Gengoul de Tallenay. L'intérieur de l'édifice a été partiellement fouillé au début des années 1970 (zone en orange sur la figure 134-a) ; il s'agit de la partie est du bâtiment. Cette fouille n'a cependant fait l'objet à l'époque d'aucun rapport écrit, et seuls quelques plans et dessins de mobilier ont été transmis pour témoigner de cette opération ; ils sont actuellement conservés au SRA. Quelques informations nouvelles relatives à cette fouille ont néanmoins pu être collectées, grâce au cahier de notes original constitué au cours de la fouille, que le responsable de l'opération (Ch. Cousin) a conservé jusqu'à aujourd'hui et nous a communiqué pour la présente étude³¹⁰.

L'excavation a couvert une surface d'environ 15 m², une tranchée ouverte de mur à mur à l'intérieur de la chapelle sur une largeur de 2 m. Le plan d'ensemble montre une construction subrectangulaire aux murs épais d'environ 80 cm ; la restitution de la presque totalité du mur nord, ainsi que celle d'une partie du mur ouest, sont hypothétiques : ces murs n'ont pas été observés en fouille (parties en gris sur la figure 134-a). Les dimensions extérieures totales estimées du bâtiment sont : 13 m pour le mur nord, 9 m pour le mur est, 14 m pour le mur sud et 8,50 m pour le mur ouest. Le plan mentionne également l'emplacement de deux petites fouilles anciennes ; l'une est située dans la partie sud-ouest de l'édifice, large d'environ 1,50 m et longue de 7,50 m le long du mur sud et 3 m le long du mur ouest (zone en jaune sur la figure 134-a)³¹¹. L'autre, au sud-est de la chapelle, est une petite excavation large d'un mètre et longue de 3 m contre le mur est (zone en rouge sur la figure 134-a).

La fouille des années 1970 a permis de découvrir un autel³¹² en pierre accolé au mur est, au centre, et, à environ 50 cm au nord de cet autel, un petit bassin appelé « piscine eucharistique³¹³ » sur les plans originaux et dans le cahier de fouilles. Aucune description

³¹⁰ Merci à Christophe Cousin de nous avoir communiqué ce document. Merci également à Sylvie Bépoix et Daniel Daval qui ont contacté M. Cousin et se sont chargés de la numérisation du cahier de fouilles.

³¹¹ Fouille ancienne appelée « fouille boy scout » dans le cahier de fouilles.

³¹² Aucune description spécifique n'est donnée. Si les dimensions indiquées sur le plan sont exactes, cet autel rectangulaire mesurait environ 2 m sur 1,50 m.

³¹³ Expression employée dans les notes de fouille et sur les croquis pour désigner ce bassin.

n'en est donnée. Cette entité a dû être déplacée au cours de la fouille : la mention d'une monnaie trouvée sous le bassin en témoigne³¹⁴.

Une stratigraphie sommaire est esquissée dans le cahier de fouilles. Elle est reproduite, après mise au propre et mise en forme, sur la figure 134-b. Elle apporte les renseignements suivants :

L'unité stratigraphique supérieure (US 1) est une couche de remblai qui correspond sans doute à la phase d'abandon puis de démolition de l'édifice. Cette couche épaisse d'un bon mètre contenait des fragments de matériaux architecturaux (« laves », fragments de tuiles plates et canal³¹⁵, fragments d'enduit peint avec des décors de couleur rouge et jaune sur fond blanc), du charbon de bois et du mobilier³¹⁶ (tessons, verre, vitrail, monnaies, ossements, clous). Le long des murs nord et est, une concentration particulièrement importante de fragments d'enduit peint (US 1b sur la figure 134-b) traduit vraisemblablement l'effondrement *in situ* du décor appliqué sur la paroi intérieure du mur nord³¹⁷.

Sous la couche de remblai US 1, une couche de terre épaisse d'une dizaine de centimètres (US 2) recouvre le sol « en béton » de la chapelle, épais d'une dizaine de centimètres également (US 3). Ce sol est en connexion directe avec les murs de l'édifice³¹⁸. Sous l'US 3, dans la partie sud de la fouille, sur toute la surface comprise entre le mur sud, le mur est et l'autel une couche de bois brûlé contient des morceaux de tuiles et quelques tessons (US 4). Cette fine couche, épaisse de 2 à 5 cm, qui signale probablement un incendie, est recoupée par l'autel, qui lui est donc postérieur et qui est aménagé directement sur le substrat rocheux en place (lapiaz). Dans la partie nord du sondage, entre le mur nord, le mur est et l'autel, l'US 3 repose directement sur la roche en place (lapiaz). Sous l'US 4, une fosse (US 5) mesurant, semble-t-il, 2 m sur 1,60 m et profonde d'au moins 30 cm occupe le coin sud-est de la chapelle. Cette fosse s'appuie sur les vestiges d'un ancien mur en « grosses pierres » situé sous le mur est de la chapelle encore en élévation. Elle contenait des ossements et

³¹⁴ La monnaie n'est ni datée, ni décrite ou dessinée.

³¹⁵ Les fragments de tuiles sont, semble-t-il, situés sous les laves, ce qui pourrait signaler que le toit de la chapelle était déjà effondré lors de la destruction définitive de l'édifice au début du 18^{ème} siècle.

³¹⁶ Aucune description détaillée du mobilier n'est donnée dans le cahier de fouilles, et on ne dispose d'aucun élément de datation pour ces artefacts.

³¹⁷ La coupe stratigraphique ébauchée dans le cahier de fouilles indique une autre sous unité stratigraphique US 1c au niveau du mur sud, au sujet de laquelle rien n'est dit ; cette US 1c correspond peut-être à la perturbation occasionnée par la fouille ancienne signalée sur le plan d'ensemble (zone en rouge sur la figure 134-a). Cette US 1c pourrait éventuellement aussi correspondre à une autre poche de concentration d'enduit peint le long du mur sud.

³¹⁸ Le cahier de fouille dit que « le sol en béton s'appuie sur les murs ».

quelques tessons ; il pourrait s'agir d'une fosse d'inhumation. La mention d'un « ancien mur » ainsi que la présence, sans doute, d'une couche d'incendie indiquent que cet édifice a subi au moins un remaniement substantiel au cours de son existence.

3.1.2.5.3 – Apport des données LiDAR et des prospections récentes

Le relevé LiDAR a permis de mettre en évidence 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 on observe des cloisonnements matérialisés par des talus en pierres sèches ou des épaulements, suivant la configuration du relief naturel (figure 135). La chapelle se situe sensiblement en position centrale, surplombant les deux étages de terrasses inférieurs. L'abondance de mobilier médiéval³¹⁹ découvert dans cet espace hémicirculaire (céramique, objets en fer divers, monnaies ; *cf.* figure 136) indique certainement la présence passée d'habitats autour de l'établissement religieux. Sur la terrasse inférieure, une dépression circulaire profonde d'environ 2 m, se rétrécissant légèrement en entonnoir au fur et à mesure qu'elle s'enfonce dans le sol, mesure environ 4 m de diamètre en surface ; le fond est un éboulis de pierres informes, possible remblai rapporté ou bien résultat d'un remplissage naturel dû à l'érosion. Cette dépression pourrait être soit un point de soutirage naturel, soit les vestiges d'une ancienne citerne creusée à même le substrat rocheux.

Du point de vue topographique, la chapelle Saint-Gengoul est implantée en surplomb de l'actuel village de Tallenay dans une position centrale ; celui-ci est situé dans la partie basse d'une sorte d'anse naturelle dont les contours sont dessinés par la crête de Chailluz (figure 137-a). La chapelle est placée juste au-dessus du village, au centre de l'anse, positionnée presque en son point culminant. Implanté à environ 487 m d'altitude, l'édifice est légèrement en contrebas du point le plus haut de l'anse, à environ 489 m d'altitude, à quelques dizaines de mètres plus au sud-ouest. La zone d'altitude maximale est marquée par un très gros pierrier, aménagé juste au bord de la crête. Ce dernier, recoupé par le chemin de crête actuel, marque presque la limite ouest de la zone hémicirculaire de terrasses : il est situé à quelques mètres à peine à l'intérieur de ce périmètre (*cf.* figure 135 et 137-b).

³¹⁹ Le mobilier le plus abondant est datable des 13^{ème} – 14^{ème} siècles.

L'existence d'un cimetière à proximité de la chapelle ne fait guère de doute ; elle est d'ailleurs évoquée par le texte d'archive de 1547 cité plus haut (AMB, DD 93, p. 82-83). De même, la présence de sépultures à l'intérieur de l'édifice est très probable, et il est possible que la fosse découverte au cours de la fouille des années 1970 en soit un témoin (*cf.* pages précédentes et figure 134-b, US 5). Cependant, les prospections récentes n'ont pas permis de cerner précisément l'emplacement de la / les zones d'inhumation³²⁰ : il faudrait *a minima* procéder à des prospections géophysiques non destructrices pour localiser les fosses d'inhumation associées au cimetière et les éventuelles sépultures encore détectables à l'intérieur de la chapelle. Une fouille de sondage permettrait probablement aussi de collecter des informations clés pour une meilleure compréhension de l'occupation de ce site archéologique et de son évolution au fil des siècles.

3.1.2.6 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 6 : des occupations successives (figures 138 à 147 et planche XXXIII)

Le groupe d'entités n° 6 (figure 126) est situé dans une zone où la crête de Chailluz s'élargit en un espace relativement plat sur plusieurs dizaines d'hectares (figure 138). L'endroit, aujourd'hui partagé entre les territoires des communes de Besançon, Bonnay et Tallenay est à environ 800 m au nord-est de la chapelle Saint-Gengoul. Les aménagements détectés et prospectés sont attribuables à au moins trois occupations distinctes, détaillées dans les pages suivantes : l'occupation la plus récente correspond à des aménagements militaires de la fin du 19^{ème} siècle. Ils ont succédé à une ferme de l'époque moderne ; ces deux occupations modernes à contemporaine* sont postérieures à une entité non datée, formant un enclos de plusieurs hectares sur le sommet montagneux (figure 139) et dont la morphologie pourrait s'apparenter à un habitat protohistorique. L'ensemble des vestiges, situé à une altitude moyenne de 540 m sur la partie sommitale plane de la crête montagneuse, s'étend sur environ 8 hectares. D'un point de vue topographique, le relief naturel forme là une sorte de col facile à franchir, configuration du terrain assez rare dans cette partie nord de Chailluz : la face nord du massif est le plus souvent constituée de falaises infranchissables, hautes de plusieurs dizaines de mètres (figure 140).

³²⁰ On a évité les prospections au détecteur à métaux dans le voisinage immédiat de la chapelle pour préserver l'intégrité des niveaux archéologiques autour de l'édifice.

Certains plans anciens³²¹ mentionnent dans cette zone de Chailluz le toponyme « croix de l'homme mort » et signalent également le « chemin de Bonnay » et le « chemin Baret », ainsi que la « grange de Charmoy », édifiée au 17^{ème} siècle (Muller, 1999) et encore indiquée sur le plan cadastral napoléonien de 1808 (figures 141 à 144).

3.1.2.6.1 - Occupation attribuable à la fin du 19^{ème} siècle : ouvrages militaires

Les entités les plus récentes observées sont des aménagements militaires mis en place à la fin du 19^{ème} siècle. Ils sont composés de deux groupes de batteries à canons et de tranchées (planche XXXIII-a). Le groupe le plus au nord occupe une surface d'environ 100 m sur 80 m (figure 145-a). Il comporte une batterie pour quatre canons longue de 60 m, une deuxième batterie plus petite à trois logements, longue de 30 m environ ainsi que trois tranchées au nord et à l'ouest des batteries. Quelques autres petites structures, circulaires ou irrégulières, creusées au voisinage de la batterie à canons peuvent correspondre à des trous individuels (appelés aussi « trous d'homme »).

Le deuxième groupe d'entités s'étend sur 150 m x 30 m au centre du site (figure 145-b). Il est composé d'une batterie pour quatre canons longue d'une soixantaine de mètres, bordée au nord par une structure fossoyée de même longueur (tranchée) et d'une deuxième tranchée en forme de C à l'ouest, longue d'une cinquantaine de mètres en tout. Une troisième étroite tranchée a été réalisée au sud de la batterie, tout contre la structure ; dans sa partie est, elle aboutit aux vestiges d'une structure cylindrique fossoyée dont les murs sont en moellons ou en grosses laves. La tranchée a manifestement provoqué la destruction d'une partie du parement supérieur de cette structure cylindrique dont le diamètre vaut environ 4 m et la profondeur au moins 2 m (le fond est partiellement comblé par un éboulis pierreux). Il s'agit peut-être d'une ancienne citerne (aperçu photographique sur la figure 146-a), probablement associée à l'occupation précédente du site - un établissement à vocation agricole construit au début du 17^{ème} siècle. Quelques autres petites entités fossoyées au nord et à l'est de la batterie sont peut-être d'autres trous individuels aménagés par les militaires. A l'est de la zone, une petite carrière de 20 m x 15 m est certainement à rattacher aux aménagements

³²¹ Plan Chiflet du 17^{ème} siècle (Archives municipales de Besançon cote Ms Chiflet f7), plan de la forêt de Chailluz daté de 1720-1721 (Archives municipales, non coté), plan de la forêt de Tallenay daté de 1780 (Archives départementales du Doubs, cote non précisée).

militaires ; elle a été creusée dans la roche qui affleure ici. Cette carrière recoupe une structure plus ancienne, un long linéament courbe de forme irrégulière, dessinant un replat large d'une bonne dizaine de mètres et long de plus de 850 m, qui enclot un espace d'environ 6,5 ha sur le sommet montagneux (cette entité est décrite plus loin).

3.1.2.6.2 - Occupation du site entre le 17^{ème} et le 19^{ème} siècle : un établissement à vocation agricole

Une surface polygonale d'environ 5 ha limitée par un muret en pierres sèches (plus grande longueur 400 m sur une largeur d'environ 200 m) a été occupée entre le 17^{ème} et le 19^{ème} siècle par un établissement à vocation agricole connu sous le nom de « grange de Charmoy »³²² (planche XXXIII-b).

Des textes conservés aux Archives municipales de Besançon (cote DD 111) et aux Archives départementales du Doubs (cote 2B 3436) renseignent sur cet établissement, de même que plusieurs plans anciens concernant Tallenay : cartes non cotées du 18^{ème} siècle conservées aux Archives municipales (figures 141-a-b et 143), et plan cadastral napoléonien provenant des Archives départementales, Tallenay feuille A, cote 3P 1221 (figures 141-c et 142).

La ferme a été construite par Loys de Scey, seigneur de Chevroz, dans le premier quart du 17^{ème} siècle. Elle a été édifiée sur un terrain jusqu'alors couvert de broussailles et vide de constructions³²³ (cf. 2B 3436 et DD 111). Une partie des terres exploitées par Loys de Scey lui avait été vendue par la commune ou par des habitants de Tallenay, après une tentative rapidement abandonnée d'exploitation viticole : les plants de vignes avaient été arrachés quelques décennies seulement après leur plantation³²⁴. On a supposé que ces terres temporairement converties en vignoble étaient situées plutôt au sud de la zone n° 6, dans la pente qui descend sur Tallenay, non loin de l'emplacement, sur le plan cadastral napoléonien,

³²² Plusieurs pages sont consacrées à cette ferme dans Muller, 1999, tome 1 p. 127-134 et tome 2 p. 133-146.

³²³ « ... ayans causes une pourtion des communaux dudit Chastillon dit au Charmoy estant en broussaille... » (extrait de 2B 3436 (texte de 1609), transcrit par : Muller, 1999, tome 2, p. 136).

³²⁴ Le cépage choisi pour cette exploitation – du gamay - avait été déclaré illégal par le comte de Bourgogne peu après la mise en place de cette vigne de Tallenay (le gamay était considéré comme un cépage produisant un vin médiocre qui n'avait pas sa place dans la région de Besançon, productrice de vin de qualité). A cause de cette interdiction, les exploitants de Tallenay ont été contraints à l'arrachage des plants mis en place depuis peu ; ils ont ensuite décidé de vendre le terrain (d'après Muller, 1999).

d'une zone découpée en petites parcelles nommée « Plantes Casset », toponyme se rapportant bien à la vigne (figure 141-c). La ferme était bâtie en pierres liées au mortier de chaux et possédait une charpente en chêne (DD 111) ; ses pignons étaient orientés est-ouest. Deux fours à chaux (un grand et un petit) avaient été aménagés pour l'occasion (DD 111). La bâtisse mesurait 12,60 m sur 11,60 m environ (6,5 toises x 6 toises) et disposait d'un jardin de 15 pas de côté (9,60 m environ) (2B 3436). Les terres autour de la ferme étaient labourées, au détriment du pâturage repoussé plus à distance de l'établissement (DD 111). Outre le bâtiment principal, la ferme possédait deux « grangeages » sur lesquels aucune indication n'est fournie. L'approvisionnement en eau a pu poser problème, les bêtes devant aller s'abreuver en cas de sécheresse à la « fontaine de Tallenay » (située au sud du village en contrebas à environ 1 km) en passant par le « chemin des vignes » (DD 111). La ferme possédait au cours du 17^{ème} siècle une vingtaine de bovins et des veaux.

La propriété figure sur une carte de la forêt de Tallenay de 1780 (figure 143) où le « terrain de la grange du charnoix appartient a Mr le conseiller marquis ». La famille Marquis a racheté les possessions et droits de la famille de Scey en 1727 (Courtieu, 1987, p. 3106-3107).

Actuellement, les vestiges du bâtiment en pierres sont encore visibles (figure 147), et des bases de murs sont toujours en élévation ; les restes d'une cave sont bien identifiables sur le terrain. L'observation du modèle LiDAR permet de restituer l'emplacement probable du bâtiment (on retrouve les dimensions indiquées par les archives) et de faire l'hypothèse que le jardin « de 15 pas » était placé juste au sud-est de l'édifice, où on identifie un espace sensiblement carré de 9,50 m de côté environ. On voit également deux enclos polygonaux au sud-ouest et au nord-est du bâtiment³²⁵ (enclos pour du bétail ?). Enfin, deux chemins larges d'environ 5 m forment une fourche au sud de la ferme ; ils sont représentés sur la carte de la forêt de Tallenay de 1780, et le chemin le plus au sud, qui passe le long d'une batterie à canons fin 19^{ème} est encore utilisé actuellement.

La structure fossoyée cylindrique située juste au nord-ouest de la ferme est probablement le vestige d'une citerne pour l'approvisionnement en eau de l'établissement, installé dans une zone dépourvue par ailleurs de point d'eau naturel. D'autre part, on remarque au sud de la zone plusieurs tas d'épierrement massifs (une dizaine de mètres de côté) dont certains sont disposés bien alignés (ce sont les entités en vert clair sur la figure 142 ; la

³²⁵ Enclos 1 de la figure 147 : dimensions des côtés = 18 m x 25 m x 9 m x 30 m ; surface environ 450 m²
Enclos 2 : dimensions des côtés = 10 m x 20 m x 8 m x 20 m ; surface environ 200 m².

figure 146-c en donne un aperçu photographique) ; leur forme quadrangulaire les différencie de la plupart des tas d'épierrement observés ailleurs en forêt de Chailluz, où les pierriers, même lorsqu'ils sont imposants, sont en général circulaires. Peut-être l'objectif a-t-il été, en façonnant les tas selon une forme quadrangulaire, une réduction optimale de leur emprise au sol pour conserver le plus possible de terrain à cultiver.

3.1.2.6.3 - Occupation du site antérieure aux deux phases décrites précédemment

Les données LiDAR ont permis de détecter une grande entité linéaire curviligne, longue d'environ 850 m et large de 6 à 10 m, formant un étroit replat qui enclot un espace d'environ 6,5 ha sur cette zone de crête (planche XXXIII-c). Cet aménagement, où aucun indice d'empierrement n'a été décelé en prospection, est clairement antérieur aux structures décrites précédemment, qui la recoupent ou la recouvrent, suivant le cas. Il forme un léger replat qu'on identifie bien sur le terrain, et qui se caractérise aussi par la qualité particulière de son sol, une terre argileuse ou limoneuse à la texture sensiblement plus fine de celle des sols voisins (la figure 146-b donne un aperçu photographique de ce sol). Aucun élément mobilier, aucune archive n'apporte d'indice permettant de dater cette structure qui est, par ses dimensions, un ouvrage ayant nécessité d'importants travaux de terrassement³²⁶ : le volume de terre déplacé peut-être approximativement estimé à au moins 6000 m³. En effet, l'emprise en surface du terrassement est de l'ordre de 6000 m² et le dénivelé mesuré sur le modèle numérique de terrain, à différents endroits de la structure, entre le replat que forme l'épaulement et la zone située plus haut, à l'intérieur de la surface enclose, avoisine 1 m (coupe [A,B] sur la planche XXXIII-c). L'absence totale de découverte au cours des prospections de mobilier d'époques romaine et médiévale sur ce site laisse supposer que cet ouvrage se rattache à d'autres périodes, et qu'il n'est pas postérieur à la période protohistorique.

Des investigations complémentaires, notamment des prospections géophysiques (pour la mise en évidence de structure fossoyées, en particulier), seraient à mener dans ce vaste

³²⁶ Le mobilier découvert en prospection correspond essentiellement à la période moderne et est vraisemblablement à rattacher à l'établissement agricole. Deux clous de maréchalerie médiévaux ont été découverts sur le tracé d'un ancien chemin signalé sur une carte de 1780. Quelques objets médiévaux sont des trouvailles isolées dans la pente raide au nord-est du site.

enclos, avant de pouvoir envisager l'attribution d'une interprétation fonctionnelle et également, celle d'une éventuelle période d'utilisation.

3.1.2.7 - Partie sud de la zone 1b (groupes d'entités n° 7 et 8 et voie n° 11) : aménagements agropastoraux et voirie médiévale (figures 148 à 154 et planches XXXIV à XXXVIII)

La partie sud de la zone 1b abrite deux groupes bien distincts d'aménagements parcellaires (épaulements, tas d'épierrements), entre lesquels passe un large faisceau de chemins fossilisés sous la forêt actuelle.

3.1.2.7.1 - Zone 1 b, faisceau de voies n° 11 (figures 148 à 150 et planches XXXIV à XXXVI)

Un faisceau d'anciens chemins (n° 11 sur la figure 126), orienté sensiblement nord-sud, est situé légèrement à l'ouest de l'actuelle route forestière du *Fau du Carré*. Cet ensemble de tronçons viaires détectable à partir des données LiDAR sur une longueur d'environ 1200 m a une emprise maximale en largeur sur le terrain variant d'une cinquantaine à une centaine de mètres (tronçons en bleu sur la figure 148). La prospection au sol a permis d'établir qu'il s'agit en grande partie d'un ancien axe de voirie médiévale. Il a été reconnu et prospecté sur 8 segments d'une centaine de mètres chacun (*cf.* Daval, Fruchart, 2013). Les tronçons de voirie observés (figure 149) sont d'une part composés de quelques segments de chemins relativement larges (4 à 5 m), qu'on peut suivre du nord au sud de façon continue sur toute la longueur de l'axe ; cet ensemble correspond vraisemblablement, pour l'essentiel, à un tracé emprunté par des équidés entre le 10^{ème} et le 13^{ème} siècle. D'autre part, d'autres tronçons de chemins creux, plus étroits que les segments précédents (2-3 m), suivent ou recoupent partiellement les tracés médiévaux. Ils semblent plus tardifs et attribuables à l'époque moderne en fonction du mobilier découvert (maréchalerie).

Les fourchettes de datation envisagées pour ces anciens chemins ont été établies à partir du mobilier découvert en position primaire au cours des prospections au sol : plusieurs dizaines de fers à cheval et de nombreux clous de maréchalerie, essentiellement. La découverte répétée de ces objets perdus par des équidés sur la chaussée tout le long d'un tracé (qui sont datables à partir des typologies existantes) peut être considérée comme un indicateur solide de la période d'utilisation de la voie prospectée. D'une part, la durée de vie d'un fer à cheval - et des clous qui lui sont associés - est courte car c'est un objet qui s'use vite³²⁷ ; d'autre part, ce type d'artefact est en principe perdu sur un chemin alors qu'il est précisément en cours d'utilisation. Par conséquent, le décalage chronologique entre le moment de la fabrication du fer et sa perte peut être considéré comme minime. Les fers à cheval et clous de maréchalerie sont probablement les meilleurs indicateurs chronologiques d'une période d'utilisation d'une chaussée pour les siècles à partir du second Moyen Âge. Ils sont sans doute plus pertinents que, par exemple, une monnaie dont on ne connaît pas le contexte du dépôt (perdue, jetée, ou cachée ? Combien de temps après sa période d'usage réel ?), ou des tessons en réemploi dans le rechapage d'une voie. C'est pourquoi on a estimé que la fourchette de datation de l'utilisation des chemins peut être calquée sur la chronotypologie du mobilier de maréchalerie. La typologie utilisée ici est celle établie par Urs Imhof, utilisée en particulier par des archéologues en Suisse pour la datation de voirie médiévale et moderne (Imhof, 2004, 2010, voir planches XXXIV et XXXV et figure 150 ; voir également Brunner, 2007 pour la typologie des clous de maréchalerie)³²⁸. D'autre part, la découverte d'hipposandales sur des tronçons viaires permet d'identifier des chemins empruntés durant la période romaine. Quelques exemples du mobilier de maréchalerie médiéval et moderne découvert sur cet axe de voirie n° 11 sont présentés sur la planche XXXVI.

Une partie de ce faisceau de chemins pourrait avoir été, au cours du second Moyen Âge, soit un axe de voirie menant au site de la chapelle Saint-Gengoul et/ou à Tallenay, soit un ancien tracé du chemin de Bonnay, dont le parcours pour l'époque moderne est identifiable, légèrement plus à l'est, sur les plans forestiers anciens du 18^{ème} siècle (*cf.* figure 148). Le tracé moderne est partiellement identifiable à partir des données LiDAR : un faisceau de chemins distinct de l'axe n° 11, environ 200 m plus à l'est, occupe le même emplacement

³²⁷ Actuellement, les fers des chevaux sont généralement remplacés toutes les 6 à 8 semaines (*cf.* Deutsch, 2007, p. 67).

³²⁸ Le nettoyage, l'identification, la photographie et la DAO du mobilier de maréchalerie collecté dans le cadre des prospections du massif de Chailluz ont été réalisés par Daniel Daval (ARESAC / MSHE C.N. Ledoux).

que le chemin de Bonnay, figuré sur le plan Yc M1 46 de 1738 (traits verts sur la figure 148)³²⁹. Ce faisceau moderne correspond également à l'axe de voirie n° 13 sur la figure 126.

3.1.2.7.2 - Zone 1 b, groupe d'entités n° 7 (figure 2-94 et planche 2-R)

A l'ouest du faisceau de chemins n° 11, une zone (groupe d'entités n° 7 sur la figure 126) d'environ 800 m sur 300 m, dans ses plus grandes dimensions, est occupée par des aménagements en terrasses (figure 151 et planche XXXVII). La forme terrassée est marquée par de longs épaulements légèrement courbes, mis en place perpendiculairement à la pente naturelle (assez douce). Ils créent des ressauts hauts de quelques décimètres (en moyenne, 80 cm). A partir de l'analyse des données LiDAR, on compte une petite dizaine de terrasses sensiblement parallèles les unes aux autres et formant des bandes étagées assez régulières, larges d'une vingtaine de mètres *a priori*³³⁰. On ne sait pas si ces aménagements se poursuivaient à l'ouest et au sud de ce groupe d'entités n° 7 : on est en limite de l'espace forestier. Au nord du groupe, la lecture des données microtopographiques est très difficile, à cause de cloisonnements sylvicoles récents qui ont laissé une empreinte au sol marquée. On ignore donc jusqu'où ces entités se poursuivaient vers le nord. On remarque par ailleurs, çà et là, quelques tas d'épierrement, certainement en lien avec ces terrasses. On a attribué un usage agricole probable à ce groupe d'entités n° 7.

A l'est du groupe n° 7, une zone large d'une centaine de mètres ne révèle aucun indice d'usage agropastoral (zone en vert sur la planche XXXVII et aperçu sur la figure 152, n° 1). Rien dans la nature de l'occupation du sol ou dans la topographie du relief naturel ne peut expliquer ce « vide ». Il est par conséquent probable que l'épaulement le plus oriental du groupe d'entités n° 7 correspond à la limite effective vers l'est de cette zone d'aménagements en terrasse.

Par ailleurs, dans la partie sud du groupe n° 7, on remarque un linéament légèrement courbe (sorte de talus large de près de 7 m et long d'environ 150 m portant le n° 2 sur la figure 152), qui recoupe les terrasses décrites ci-dessus (épaulements portant le n° 3 sur la figure 152). On constate également que ce talus est en connexion directe avec le groupe de

³²⁹ Ce plan Yc M1 46 offre très bonne une restitution géométrique.

³³⁰ Cette dimension reste quand même hypothétique : les épaulements ne sont pas tous visibles dans leur continuité. La largeur des terrasses a été extrapolée en complétant fictivement les parties manquantes des épaulements. Un des linéaments est néanmoins observable sur la quasi-totalité de sa longueur (800 m).

chemins daté du 10^{ème} au 13^{ème} siècle par les prospections. Il se connecte aux éléments de voirie à proximité d'une patte d'oie (n° 4 sur la figure 152) où une forte concentration de mobilier datable du 10^{ème} au 13^{ème} siècle a été mise en évidence. D'autres talus aux caractéristiques comparables sont également observables de l'autre côté du faisceau de chemins, un peu plus à l'est. A partir de cette observation, on a fait l'hypothèse que ces talus sont probablement contemporains du faisceau de chemins 10-13^{ème} siècles ; les uns et les autres ne semblent pas se recouper, et présentent plutôt une bonne complémentarité spatiale et topographique, ce qu'on a estimé être un indice de contemporanéité probable. Il est possible que le faisceau de chemins soit postérieur aux talus ; en revanche, l'inverse semble exclu, étant donné la structuration microtopographique des entités les unes par rapport aux autres. Il en résulte que les terrasses du groupe n° 7, qui sont recoupées par les talus, sont à considérer comme des aménagements antérieurs au second Moyen Âge³³¹.

En tenant compte du contexte spatial et temporel au voisinage de ce groupe n° 7, on peut faire l'hypothèse que ces terrasses sont antiques. En effet, les prospections ont révélé dans toute la partie ouest du massif de Chailluz une occupation antique composée de quelques petits établissements dispersés intégrés à des aménagements parcellaires dont la vocation est manifestement agropastorale (*cf.* pages précédentes, zone 1a et partie ouest de la zone 1b). Globalement, cet espace occupe au moins 700 m de largeur sur les pentes septentrionales du massif pour plus de 2 km de longueur. Le groupe d'entités n° 7 est situé dans le prolongement direct de ces aménagements antiques. De plus, on a remarqué une zone vraisemblablement vide d'aménagements agropastoraux à l'est des terrasses du groupe n° 7. Cette limite géographique vers l'est correspond aussi à l'extension orientale maximale du groupe d'entités n° 3 (figure 126, zone de parcelles en bandes avec une forte concentration de tas d'épierrement). Ces zones sont en vert sur la figure 151. La conjonction de ces trois éléments (occupation antique et limites vers l'est des groupes n° 3 et n° 7) amène à supposer qu'on observe ici la limite vers l'est de l'occupation antique découverte en forêt de Chailluz, composée de petits établissements à vocation agropastorale.

³³¹ On a pu mettre en évidence à partir des prospections que l'axe de voirie n° 11 est utilisé au cours de la fourchette temporelle 10-13^{ème} siècle. Une utilisation postérieure est très peu probable : on aurait trouvé du mobilier de cette période médiévale tardive. En revanche, rien n'exclut que ces chemins aient été en usage au cours du premier Moyen Âge ; l'absence de mobilier de cette période ne permet de tirer aucune conclusion à ce sujet. Enfin, une utilisation de ce faisceau de chemins à la période romaine semble peu probable : on aurait certainement trouvé du mobilier antique en prospection (monnaies, fragments d'hipposandales).

La figure 153 présente une vue d'ensemble de la localisation des entités datables de l'époque romaine mises en évidence par les découvertes de mobilier en prospection³³². La partie ouest / nord-ouest du massif de Chailluz est la seule zone où les artefacts peuvent être associés à des établissements et aménagements à vocation agropastorale. D'un point de vue spatial, cet ensemble d'entités pourrait se rattacher ou bien à l'antique *Vesontio* – surfaces agropastorales et habitats dispersés en périphérie de la ville romaine³³³, ou bien appartenir à un autre « pôle d'attraction » - domaine rural antique indépendant implanté à proximité de Besançon, par exemple³³⁴. Les données archéologiques disponibles à l'heure actuelle sur l'occupation antique à la périphérie de Besançon sont trop lacunaires pour pouvoir se prononcer.

3.1.2.7.3 - Zone 1 b, groupe de linéaments n° 8 (figure 154 et planche XXXVIII)

A l'est du faisceau de chemins n° 11, d'autres vestiges d'aménagements à vocation agropastorale (groupe d'entités n° 8 sur la figure 126) sont composés de séries de longs linéaments légèrement curvilignes et de quelques groupes de tas d'épierrement de tailles et de concentrations variables (figure 154, planche XXXVIII). Plutôt que les vestiges de terrasses, on verrait plus volontiers ici des rideaux de culture : les épaulements sont moins marqués, moins linéaires et moins réguliers que dans d'autres zones décrites dans les pages précédentes et où la présence de terrasses enfouies ou détruites est plus probable (la figure 155 donne un aperçu photographique de la microtopographie occasionnée par des rideaux de culture). Néanmoins, l'origine anthropique des entités de ce groupe n° 8 ne fait pas de doute : d'une part, les nombreux petits tas d'épierrement qu'on trouve sur cette même zone³³⁵ témoignent bien d'une activité anthropique passée probablement agropastorale.

³³² La superposition sur la figure 153 de l'emplacement du mobilier antique (points jaunes) et de l'emprise des surfaces prospectées (zones en bleu) indique bien une répartition hétérogène des objets d'époque romaine qui, par ailleurs, sont à mettre en relation avec des fonctions de différentes natures : établissements, voirie, objets isolés.

³³³ Les petits établissements sont tous situés entre 5 et 6 km du centre historique (cercle rouge sur la figure 153).

³³⁴ C'est ce que pourrait indiquer la limite orientale d'occupation antique pressentie et matérialisée par un trait pointillé noir sur la figure 153 ; cette extension maximale renverrait éventuellement à une occupation antique rurale à situer sur les communes actuelles de Châtillon-le-Duc et/ou d'Ecole-Valentin. Les indices archéologiques d'une occupation romaine sur ces communes existent bien (*cf.* données PATRIARCHE du SRA et également Joan, 2003). Rien actuellement ne permet cependant de conclure qu'ils renvoient à un « domaine rural » antique.

³³⁵ La réalité de ces tas d'épierrement a été vérifiée sur le terrain par des prospections, de même que celle des épaulements détectés par LiDAR, qui forment au sol des séries de ressauts et de replats peu marqués.

D'autre part, les limites des épaulements détectés ne correspondent pas (en général) à des variations du relief naturel, ce qui est aussi un indice de leur origine anthropique. Par ailleurs, certaines limites coïncident avec des chemins fossiles qui sont de possibles éléments de datation de ces aménagements agropastoraux.

L'ensemble occupe une surface sensiblement quadrangulaire de plus de 200 hectares³³⁶ (figure 154, zone en gris-bleu). La limite ouest de ce groupe n° 8 de linéaments et de tas d'épierrement semble coïncider, en grande partie, avec le tracé du faisceau de chemins médiéval n° 11. Vers le nord, les entités sont détectables jusqu'à la ligne de crête, à environ 200 m à l'est de la chapelle Saint-Gengoul. Depuis cette extrémité nord-ouest, on suit la limite septentrionale du groupe n° 8 sur plus d'un kilomètre et demi vers l'est, le long du bas des pentes du bois en côte de la forêt de Chailluz. Du côté est, l'extension maximale des linéaments (telle qu'elle est détectable à partir des données LiDAR) semble parallèle à l'axe du chemin de Vieilley, s'arrêtant à une distance de 200 à 250 m sur toute la longueur de ce dernier. Le chemin de Vieilley est le plus ancien axe de voirie du massif de Chailluz cité par les documents d'archives, explicitement mentionné dès 1309 dans un règlement annuel d'affouage* où il constitue l'une des délimitations de la surface de forêt à exploiter dans l'année³³⁷. On connaît, à partir du géoréférencement des plans forestiers, le tracé de ce chemin au 18^{ème} siècle³³⁸ : il correspond à un faisceau de tronçons viaires visible sur le relevé LiDAR et figuré en mauve sur la figure 154. On a supposé que le tracé médiéval du chemin de Vieilley correspondait peut-être³³⁹ à un faisceau de tronçons viaires parallèle au tracé 18^{ème} siècle et décalé vers l'ouest d'environ 200 m de l'axe moderne (trait pointillé bleu sur la figure 154). Au sud, le groupe n° 8 paraît s'étendre vers l'ouest partiellement au-delà du faisceau de chemins médiéval

³³⁶ Les dimensions du quadrilatère sont de l'ordre de 2000 m x 1500 m x 2500 m x 500 m.

³³⁷ « ... puissent aller en nostre bois de Chaillou, c'est assavoir ou bois de la coste dès la maison afaule qui soleit estre ou bois en amont et dès le chemin de Vielley en amont jusque à la golate, et pouhent tranchier tote manière de bois fuer que chasne... » (transcription de Castan ; Castan, 1858, p. 189). Castan met une note relative au mot « afaule » qu'il a transcrit, lui donnant le sens « d'enseigne de cabaret ». On pourrait faire une autre proposition, qui impliquerait néanmoins que Castan ait fait une erreur de transcription. Le mot pourrait en fait être « afaute », dont le sens est donné par Godefroy (Godefroy, 1881, p. 129) : verbe « afauter » signifiant « laisser dépérir », dont l'usage est attesté en Franche-Comté et en Suisse romande au second Moyen Âge essentiellement sous sa forme passive « afaute » ou « affaute » signifiant « misérable ». La maison citée en 1309 pourrait ainsi être une construction en mauvais état, voire une ruine, plutôt qu'une auberge ou un cabaret.

³³⁸ Le tracé du 18^{ème} siècle est lui-même proche du tracé actuel. Aujourd'hui, le chemin a changé de nom : il se nomme « Chemin du Maupertuis » dans la partie ouest de la forêt de Chailluz, jusqu'aux Grandes Baraques, et est ensuite appelé « Chemin de la Soue aux Cochons » entre les Grandes Baraques et un pont enjambant l'A36. Au-delà de l'autoroute, le chemin de Vieilley existe encore sous la forme d'un petit sentier qui ne porte pas de nom. Les toponymes actuels ont été attribués dans les années 1970 à l'occasion d'un remaniement paysager complet de la forêt de Chailluz (information Jean-Paul Grosbois, ONF Besançon).

³³⁹ Ce faisceau de chemins fossiles parallèle au tracé moderne du chemin de Vieilley n'a pas pu être prospecté faute de temps.

n° 11, où certaines entités recoupent quelques aménagements en terrasse du groupe d'entités n° 7 décrit précédemment (talus n° 2 de la figure 152, en particulier).

Cet ensemble n° 8, espace à un moment donné destiné à un probable usage agropastoral, a été une surface ouverte de plus de 200 hectares - de façon temporaire ou permanente - au cœur de l'actuelle forêt de Chailluz. Grâce aux documents d'archives³⁴⁰, on sait qu'il s'agit d'un ensemble antérieur au 16^{ème} siècle, moment à partir duquel l'endroit est assurément sous couvert forestier permanent. De plus, la datation radiocarbone*, au nord-est du groupe d'entités, d'une plateforme de charbonnier postérieure à l'un des épaulements (son emplacement est donné par la planche XXXVIII-b) indique que cette dernière a probablement été utilisée au 15^{ème} ou au 16^{ème} siècle³⁴¹. Cette charbonnière constitue donc un indice supplémentaire de l'antériorité du groupe n° 8 par rapport à l'époque moderne. On attribuerait volontiers à cet ensemble agropastoral une datation médiévale. En effet, son implantation spatiale offre une bonne coïncidence avec plusieurs entités datables du second Moyen Âge : faisceau de chemins n° 11, chapelle Saint-Gengoul, chemin de Vieilley. On pourrait, pourquoi pas, avoir ici l'exemple d'une zone à usage agricole temporaire alterné avec une sylviculture en taillis - un essartage - tel qu'il est évoqué par certains historiens médiévistes (Plaisance, 1962 ; Bechmann, 1984 ; Willemse, 1997, par exemple). Un usage agricole temporaire pourrait expliquer le moindre impact topographique observé dans ce groupe d'entités n° 8 à partir des données LiDAR : les traces générées par un travail du sol moins important auraient eu un impact topographique moins marqué et peut-être aussi moins structuré que celui dont témoignent les indices bien nets et mieux organisés qu'on observe plus à l'ouest du massif, par exemple dans le groupe d'entités n° 7, installé dans un espace où le relief naturel est pourtant comparable.

³⁴⁰ Archives municipales de Besançon, cartes cotées Yc Bes A1 et Gec Bes1.1, et texte de 1518, cote DD106.

³⁴¹ Les datations radiocarbone de charbonnières font l'objet d'un commentaire détaillé plus loin dans le texte.

3.1.3 - Zone 2

La zone 2 comprend des entités situées au nord-est du massif de Chailluz (figure 156). Celles-ci occupent non seulement la partie sommitale et le haut des pentes des forêts de Chailluz (Besançon), de Mérey-Vieilley et de Vieilley, exposées au sud, mais également l'autre versant, les pentes exposées au nord et situées au pied des falaises au-delà de la crête formant la limite de la forêt de Chailluz (communes de Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley).

Globalement, les indices d'occupation (établissements ou constructions diverses, aménagements à vocation agropastorale) dans cette partie nord-est de la zone d'étude sont bien moins denses qu'à l'ouest du massif. On y remarque seulement deux sites classables en « établissements », situés tous les deux sur la crête. L'un correspond à l'ouvrage militaire du fort de Chailluz et à ses aménagements périphériques édifiés à la fin du 19^{ème} siècle (également appelé fort de la Dame Blanche, n° 10 sur la figure 156) ; l'autre est un petit aménagement hémicirculaire qui enclot une surface de quelques dizaines d'ares en bord de falaise et dont la période d'occupation est inconnue (n° 1 sur la figure 156). Le sommet et le haut des pentes exposées au sud sont partiellement couverts de groupes de longs épaulements (n° 2 et 3), structures en terrasses renvoyant à un usage agropastoral probable et non daté (on observe aussi dans cette zone quelques tas d'épierrements). Plus bas, un ensemble d'anciens chemins (n° 5) gravit les pentes du bois en côte, convergeant progressivement en un unique tronçon qui atteint le sommet à l'endroit où le chemin de Vieilley franchit la crête avant de redescendre les abruptes pentes nord en direction de Vieilley (n° 4). Le tracé moderne du chemin de Vieilley (ligne orange en pointillés) est identifiable à partir des indications fournies par les plans forestiers en 1720 ; ce même tracé est encore un sentier aujourd'hui qui figure sur la carte IGN à 1 / 25 000. Au nord de la zone n° 2, d'autres aménagements parcellaires fossiles (n° 6, 8 et 9) sont, pour la plupart, des limites de parcelles qui figurent sur le plan cadastral ancien du début du 19^{ème} siècle (plans cadastraux napoléoniens de Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley). Ce versant nord se caractérise aussi par les nombreux glissements de terrains qu'on y observe (surfaces figurées en orange sur la figure 156). Le plus étendu (n° 7 sur la figure 156) est

aussi le plus récent : situé sur la commune de Bonnay, il s'est produit à la fin du printemps 1983 et a impacté une surface de près de 40 hectares³⁴².

Sur la zone n° 2, les prospections au sol ont essentiellement porté sur la zone de crête (figure 157). D'une manière générale, la crête été parcourue dans sa totalité, depuis le Bois de la Lave à l'ouest de la zone d'étude jusqu'à l'extrémité orientale de la forêt de Vieilley, à l'est. La zone 2 apparaît nettement moins riche en mobilier que la zone 1. Les artefacts découverts sont surtout modernes ou contemporains³⁴³. Quelques prospections ont été menées ponctuellement sur les pentes sud et nord, afin de compléter les investigations réalisées sur la crête.

3.1.3.1 - Zone 2, groupe d'entités n° 1 : enclos hémicirculaire non daté (figures 158 à 163)

Ce groupe d'entités est l'un des rares sites archéologiques signalé sur la Carte archéologique nationale en forêt de Chailluz avant le relevé LiDAR de 2009. Voici la description qui en est donnée (Daval, 2004, p. 27 *et sq.*) : « *Un enclos en forme de croissant long d'environ 90 mètres et large d'une trentaine de mètres ferme le sommet de la crête très en pente au point le plus haut de la colline. Il est limité au Nord par la falaise qui doit faire une quinzaine de mètres de hauteur à cet endroit. Sur son côté Est, l'enclos est limité par un mur en pierres sèches qui mesure 3 mètres en son point le plus haut, il est conservé sur une longueur de 18 mètres. Sa partie exposée au Sud, face à la pente, se présente sous la forme d'un replat long de 78 mètres, constitué de blocs de pierres et d'argile (vestige d'un mur avec palissade ?). Une plateforme mesurant 21 mètres de longueur et large de 8 mètres a été aménagée à la limite Sud-est, contre le mur et le replat.*

³⁴² Depuis le moment du relevé LiDAR réalisé en mars 2009, un nouveau glissement de petite étendue s'est produit, en janvier 2013, juste en amont de celui de 1983. 3 fiches relatives au glissement de 1983 sont consultables sur le site du BRGM (base de données des mouvements de terrain) http://www.bdmvt.net/donnees_resultat.asp?IDT=aucun®=aucun&DPT=25&COM=25073&TYP=aucun (lien valide au 17 01 2014).

³⁴³ Le fort de Chailluz a été fréquenté à des fins militaires encore après la Deuxième Guerre mondiale. Dans l'ensemble, le mobilier découvert sur la crête, toutes périodes confondues, est constitué d'objets isolés, certainement perdus au cours de déplacements, aux périodes romaine (clous de *caligae*), médiévale (maréchalerie, pointe de flèche) ou moderne (boucles et clous de chaussure).

Un autre mur long de 20 mètres barre la partie Ouest. Aucun mobilier n'a été découvert ni en surface ni au détecteur. »

L'analyse du relevé LiDAR, accompagnée d'une nouvelle reconnaissance sur le terrain, a permis de compléter cette description de 2004 (*cf.* Daval, Fruchart 2012, p. 108 *et sq.*). L'ensemble reste toutefois non daté, faute de découverte de mobilier au cours de la nouvelle prospection. L'absence d'objets en métal incite à situer son utilisation plutôt au cours d'une période préhistorique récente ou protohistorique : une occupation rattachée à l'époque romaine ou médiévale se détecterait très probablement par des artefacts métalliques (clous, en particulier). Néanmoins, comme on ignore la nature de l'occupation à attribuer à cet enclos (habitat ou autre fonction ?), les conclusions qu'on peut tirer de l'absence d'objets métalliques demeurent limitées, y compris en terme d'hypothèses sur la période d'utilisation³⁴⁴. On peut ajouter que, par sa morphotypologie, ce site évoque volontiers un aménagement préhistorique récent : sa topographie est, par exemple, très comparable à celle du site néolithique de la Roche d'Or (bien documenté par des fouilles) situé à une petite douzaine de kilomètres au sud-ouest, non loin du centre-ville de Besançon (Daugas *et al.* 1971). La Roche d'Or, comme l'enclos de Chailluz, est un site en pente aménagé en bord de falaise et fermé par une étroite terrasse hémicirculaire ; il occupe dans ses plus grandes dimensions 100 m sur 60 m environ pour une superficie totale de l'ordre de 3000 m², dimensions comparables à celles du site de Chailluz (figure 158).

La figure 159 donne un aperçu de la topographie du groupe d'entités n° 1 de la crête de Chailluz ; la vue 3D est prise à partir du nord-ouest. La figure 160 présente quelques vues en coupe sur lesquelles on voit bien le replat de la plateforme allongée évoquée dans la description de 2004. Celle-ci dessine un arc de cercle orienté ouest / est à nord-est, assez étroit et peu marqué côté ouest et allant en s'évasant côté est. La surface plane résultant de ce terrassement occupe une superficie d'environ 550 m². Cet aménagement en forme de croissant aboutit des deux côtés contre la falaise, à l'endroit où se voient, aussi bien à l'ouest qu'à l'est, deux larges entailles naturelles distantes de près de 90 m et dues à l'érosion de l'escarpement rocheux. L'espace enclos occupe une superficie totale d'environ 2500 m², plateforme incluse. La zone comprise entre cette dernière et la falaise décrit une pente régulière et marquée ; la ligne de crête forme une pointe saillante située approximativement à

³⁴⁴ Des investigations géophysiques apporteraient probablement un complément d'information utile, par exemple en mettant en évidence des trous de poteaux liés à d'éventuelles constructions, ou encore des fosses ou les vestiges de foyers.

équidistance des entailles. La plus grande distance de la pointe à la terrasse est d'environ 45 m. Le sol de cette zone en pente est très fin et la roche calcaire y affleure, formant un lapiaz à proximité de la ligne de crête. En revanche, le sol est profond au niveau de la plateforme, composée d'une terre qui n'est pas là par le fait d'un colluvionnement naturel : cet aménagement a manifestement nécessité un apport de terre pour réaliser le terrassement. Les profils des murs en pierre sèche observés en 2004 à l'ouest et à l'est du site sont visibles sur la coupe [E, F], surtout côté est. Tout à l'est, en contrebas du mur, il pourrait y avoir une deuxième terrasse mesurant environ 22 m sur 6 m (*cf.* figure 160) ; il s'agit d'une autre zone plane observable sur le modèle LiDAR en vue aérienne et sur la coupe [E, F].

D'un point de vue spatial et en élargissant le territoire pris en compte, on est tenté de mettre ce groupe d'entités n° 1 de la zone 2 en lien avec le groupe d'entités n° 6 de la zone 1 b décrit dans les pages précédentes (occupation non datée correspondant à une zone enclose de plus de 6 ha ; planche XXXIII). Les deux sites sont proches, implantés à environ 700 m l'un de l'autre (figure 161) ; aucune des deux occupations n'est datée ni même fonctionnellement caractérisée, néanmoins il pourrait s'agir d'aménagements contemporains et complémentaires. L'absence de mobilier métallique renvoie dans les deux cas plutôt à une période pré- ou protohistorique. D'autre part, les deux sites présentent des similitudes d'aménagement : tous deux sont fermés par des sortes de terrasses (zones planes larges de 10 m environ) réalisées, telles qu'on peut les observer en surface, en terre. Par ailleurs, considéré par rapport au relief naturel, le petit enclos hémicirculaire est implanté sur un point haut de la crête qui occupe, par rapport au grand site de 6 ha, un emplacement stratégique ; il pourrait ainsi s'agir d'un aménagement périphérique de surveillance ou de défense, par exemple – un ouvrage destiné à protéger les abords vers le nord-est du site principal, celui de 6 ha.

De plus, toujours sur la crête mais cette fois au sud-ouest du site de 6 ha, à une distance d'environ 900 m, le groupe d'entités où se situe la chapelle Saint-Gengoul dessine également un espace hémicirculaire en bord de falaise. Cet espace est lui aussi implanté sur un point haut de la crête³⁴⁵, d'une façon sensiblement symétrique à celle du petit enclos hémicirculaire nord-est. Aucune preuve archéologique ne témoigne d'une éventuelle occupation du site de Saint-Gengoul avant celle liée à l'établissement religieux médiéval. Mais faut-il simplement attribuer au hasard la présence, sur les deux points hauts de la crête

³⁴⁵ Le point le plus haut de la crête dans ce voisinage est matérialisé par un gros pierrier situé juste au bord de la falaise.

les plus proches du grand site de 6 ha, de part et d'autre du col de Bonnay, de ces deux petits enclos présentant des analogies topographiques ? La surface du grand site enclos - plus de 6 hectares - est une superficie qui équivaut, par exemple, à celle de la citadelle de Besançon. De ce point de vue, ce grand enclos de la forêt de Chailluz a pu correspondre à un site important, mais au sujet duquel tout reste archéologiquement à trouver. On en conclura pour le moment qu'il y a peut-être un site pré- ou protohistorique important et éventuellement multipolaire sur la crête de Chailluz, aux alentours du col menant à Bonnay.

3.1.3.2 - Zone 2, groupes d'entités n° 2 et 3 : aménagements à vocation agropastorale

On remarque, sur la partie sommitale des pentes du bois en côte exposées au sud / sud-est, les vestiges d'aménagements en terrasses qui témoignent d'une ancienne utilisation agropastorale du sol dans cette partie du massif de Chailluz (n° 2 et 3 sur la figure 156). Ce sont plusieurs groupes formés de séries d'épaulements parallèles. Leur emprise au sol est relativement lâche, bien moins dense en tout cas que dans la partie occidentale du massif forestier. On les observe uniquement dans la partie supérieure des pentes ; ils s'étendent en direction du nord-est au-delà de la zone d'étude, sur plus d'un kilomètre³⁴⁶. En revanche, ces aménagements sont totalement absents dans le bas des pentes. C'est pourquoi on a fait l'hypothèse que cette zone d'exploitation agropastorale était à relier aux villages de Bonnay, Mérey-Vieilley et / ou Vieilley, plutôt qu'à la commune de Braillans néanmoins toute proche ou à celle de Besançon, sur le territoire actuel de laquelle sont pourtant localisées une partie des entités.

Après avoir identifié, à partir des données LiDAR, l'emprise des surfaces cultivées ou cultivables (encore actives ou fossilisées sous forêt) autour de Braillans et de Besançon, on constate en effet que ces zones cultivables, situées à la périphérie des deux communes, sont séparées des vestiges des groupes n° 2 et 3 par un espace important totalement vide d'entités agropastorales : plusieurs centaines de mètres au moins pour Braillans et plusieurs

³⁴⁶ On a pu observer en parcourant la crête des talus en pierres sèches et des séries de tas d'épierrements jusqu'à la route départementale D 138 qui recoupe la crête au lieu-dit « Col de la Grande Côte » (la prospection n'a pas été poursuivie au-delà de cet endroit).

kilomètres pour Besançon³⁴⁷. Il semble par conséquent assez improbable que, si la zone de crête avait été cultivée par Braillans et / ou Besançon, les terrains plus proches, dont la topographie et la qualité de sols sont pourtant comparables, aient été laissés inexploités pour préférer des zones plus éloignées, d'accès plus pénible et plus facilement exposées aux intempéries et au gel que les parties basses des mêmes pentes. Alors que pour Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley, qui avaient en outre un accès facile à la crête grâce aux chemins qui les desservait (chemin de Bonnay, chemin de Vieilley), ces terrains, bien que placés au sommet des pentes, présentaient l'intérêt d'une exposition sud / sud-est qui a pu être attractive, d'autant plus qu'une bonne partie de leurs surfaces cultivables, placées sur le versant nord, avaient une exposition moins avantageuse.

Ces aménagements à vocation agropastorales ne sont pas datés, mais ils sont assurément antérieurs au début du 18^{ème} siècle (*cf.* plans anciens, en particulier). On les attribuerait volontiers d'ailleurs - étant donné l'ancienneté du boisement attestée par les archives - au plus tard au tout début de l'époque moderne. On sait d'autre part par les recherches historiques que, au cours du second Moyen Âge, les villages de Vieilley et Mérey-Vieilley disposaient d'un vignoble important exploité pour le compte de l'archevêché de Besançon (*cf.* Courtieu, 1987 et Fiétier, 1978, notamment) ; ceci est un autre indice possible d'une exploitation de cette zone de crête à des fins agricoles, éventuellement viticoles, au cours du Moyen Âge.

3.1.3.3 - Remarque méthodologique relative à l'identification des aménagements agropastoraux à partir des données LiDAR (figures 162 et 163 et planches XXXIX et XL)

A partir des données LiDAR, on a réalisé des modèles numériques de terrain (ainsi que les traitements de visualisation nécessaires) mettant en évidence les différences microtopographiques et les différences de « textures numériques » entre des entités d'origine anthropique (épaulements ou terrasses liés à un usage agropastoral) et des microplissements naturels du sol³⁴⁸ (l'exemple illustré ici a été choisi dans le secteur du

³⁴⁷ La localisation de cette zone « vide » est notamment donnée par la figure 87.

³⁴⁸ Les différences de textures de sol observées et décrites ici sont à considérer pour le cas précis du massif de Chailluz et ne cherchent pas à avoir une valeur de généralité.

groupe d'entités n° 3 ; figures 162 et 163 et planche XXXIX). On peut observer, un peu à l'est du chemin de Vieilley, des aménagements anthropiques (terrasses) et des plis naturels du sol. Une petite portion de terrain offre même la possibilité de voir deux structures anthropiques qui chevauchent légèrement quelques plis naturels très marqués (ce phénomène se voit bien sur une vue 3D, figure 163).

Les observations du modelé du terrain ont été réalisées à partir de plusieurs modèles numériques, en particulier à partir de modèles ombrés (azimuts 270° et 315°, élévation 45°) et d'un modèle Topographic Position Index³⁴⁹, dérivés du modèle numérique MNTB_{20cm} offrant une résolution de 1 px = 20 cm (modèle et traitements de visualisation décrits dans la partie 2).

Dans l'ensemble, la « texture numérique » d'une surface travaillée à des fins agropastorales est uniforme, lisse et fine (planche XXXIX-a). Lorsqu'il y a des terrassements, la microtopographie est rythmée par de fins linéaments assez marqués, souvent rectilignes et espacés régulièrement³⁵⁰. Les limites de ces groupes de linéaments sont elles-mêmes aussi volontiers rectilignes, ou presque, et ne coïncident pas de façon évidente avec une rupture topographique naturelle³⁵¹ ; ces groupes d'entités forment en général des ensembles parcellaires. On a associé une texture lisse et fine à des sols agropastoraux car c'est ce type de texture qu'on observe systématiquement sur les surfaces agropastorales, actuelles ou anciennes : planches de cultures, prés, zones de terrasses et/ou de rideaux de culture associées ou non à des tas d'épierrement.

La texture « numérique » d'un sol naturel microplissé (planche XXXIX-b) est en revanche irrégulière et plutôt grossière. Les plis qu'on observe sont sensiblement parallèles, mais contrairement aux entités d'origine anthropique, leurs longueurs, largeurs, épaisseurs et espacements sont variables, tout comme la netteté de leur empreinte microtopographique³⁵². D'autre part, ces plis sont plutôt curvilignes et ondulants, dictés par

³⁴⁹ Ce type de traitement TPI du MNT permet de mettre en évidence d'une manière particulièrement efficace de tels microreliefs.

³⁵⁰ Il pourrait être utile, par exemple, pour comparer des aménagements agropastoraux entre eux, de mettre au point une typologie descriptive, qui distingue et caractérise précisément la topographie et la nature des différents types d'entités qu'on peut rencontrer : terrasses, rideaux de cultures, planches de cultures*, billons*, sillons*, crêtes de labours*, etc. Ce travail qu'on aurait aimé faire dans le cadre de la thèse n'a pas pu être réalisé, faute de temps.

³⁵¹ Cette coïncidence n'est bien sûr pas exclue, mais elle n'a pas de caractère systématique.

³⁵² Ces plis naturels sont d'ailleurs particulièrement difficiles à dessiner ou schématiser (traits jaunes sur les figures 162 et 163), même lorsqu'ils sont bien visibles sur le modèle numérique de terrain : il est par exemple difficile de vraiment déterminer leur étendue, à la différence des terrasses/épaulements anthropiques dont les limites apparaissent plus clairement.

les aléas du relief naturel (on ne peut évidemment pas exclure qu'une série de plissements d'origine naturelle aient une géométrie rectiligne).

On a également fait la distinction entre les microvariations réelles de la topographie (entités d'origine naturelle ou anthropique, actuelles ou anciennes) et les artefacts qu'on peut rencontrer en examinant des modèles numériques, illusions de variations topographiques résultant parfois du relevé LiDAR lui-même et, plus fréquemment, de la génération du modèle numérique de terrain.

La planche XL présente des exemples d'artefacts observables sur des modèles numériques dérivés du relevé LiDAR de Besançon. On a mis en parallèle sur la même planche quelques entités d'origine anthropique pour la comparaison visuelle. Les illustrations d'artefacts présentées dérivent de deux modèles numériques : MNT_{50cm} et MNTB_{20cm}³⁵³. Les traitements de visualisation réalisés entre les différentes vignettes sont identiques : ombrage simple, azimut 270°, élévation 45°, visualisation en 256 niveaux de gris distribués selon une courbe linéaire, accentuation des différences de gris pour une meilleure visualisation par une simple augmentation du contraste d'image. Les artefacts récurrents générés par les deux modèles numériques sont différents. Sur le modèle MNTB_{20cm}, il s'agit de fines lignes droites et parallèles visibles sur la totalité du modèle et décrivant toujours le même angle (presque plat, cf. trait pointillé bleu sur la planche XL, a1 et a2). Ces fines lignes, artefacts très discrets mais néanmoins présents, se remarquent uniquement si on accentue fortement le contraste d'image. *A contrario*, les artefacts générés par le modèle MNT_{50cm} impactent partiellement l'image et sont essentiellement limités aux zones de fortes pentes, mais lorsqu'il y en a, ils sont bien visibles. Ce sont des séries de longues lignes ondulantes sensiblement parallèles les unes aux autres. Elles évoquent, par exemple, des moirages optiques, ou font penser aux défauts qu'on peut voir sur des modèles de terrain mal lissés ; lorsqu'ils sont schématisés, ces artefacts ressemblent un peu à des empreintes digitales (planche XL, a3 et a4).

Deux points essentiels caractérisent ce type d'artefacts répétitifs : en premier lieu, leur forme et leur apparition varient fortement suivant les modèles numériques considérés, ce qui montre bien que ce ne sont pas des reliefs réels. Par ailleurs, même si leur apparition est, parfois, dépendante de la topographie réelle (lien avec la méthode de calcul du modèle topographique), ils sont disposés dans l'espace indépendamment des vrais microreliefs. Si ces artefacts étaient des entités réelles, leur tracé serait influencé, au moins en partie, par certains

³⁵³ Pour le détail technique concernant l'élaboration de ces modèles, se reporter au début de la partie 2.

microreliefs réels placés sur leur cheminement. Par exemple, les artefacts courbes sur la planche XL a3 et a4, lignes distantes les unes des autres de 5 à 10 m, recourent, sans subir aucune variation, des chemins actuels et des plateformes de charbonniers, ce qui indique l'improbabilité de leur réalité. On reconnaît également ce type d'artefacts par l'uniformité particulière de la netteté de leur empreinte, qui se différencie de la variabilité des empreintes que laissent les entités réelles répétitives (cloisonnements sylvicoles, roues de tracteurs, par exemple). C'est ce qu'on peut observer sur les vignettes b1 et b2 : les fines lignes parallèles et serrées qu'on remarque, et dont l'empreinte est plus ou moins visible selon les endroits, sont les vestiges réels de travaux sylvicoles. Cette « empreinte numérique » laissée par ces linéaments est différente de celle qu'on observe sur les artefacts des vignettes a2 ou a3, où les lignes courbes sont « imprimées » avec une grande régularité. D'autre part, ces marques sylvicoles sont visibles quel que soit le modèle numérique considéré (à condition que le modèle offre une résolution suffisante) : MNTB_{20cm} (vignette b1) et MNT_{50cm} (vignette b2).

La différence entre des artefacts et des épaulements / terrasses est encore plus évidente. En illustration, la vignette c montre des artefacts qui se superposent aux microreliefs laissés par d'anciens aménagements en terrasse (exemple pris sur le groupe d'entités n° 3 de la zone 2).

C'est sur la base de ce type d'observations des textures du terrain et de détection des entités d'origine anthropique qu'on a déterminé les zones du massif de Chailluz dans lesquelles on ne constate aucune occupation passée du sol à vocation agropastorale³⁵⁴. Pour ces zones, on a estimé qu'on est probablement en présence d'un noyau forestier très ancien, qui peut remonter à l'Antiquité. On sait en effet que, en l'absence d'intervention anthropique, sous notre climat et depuis plusieurs millénaires, l'occupation du sol naturelle telle qu'elle est restituée par les Paléosciences est une couverture forestière ; c'est aussi ce que prouve toute déprise agricole actuelle. C'est pourquoi le boisement apparaît comme la couverture la plus logique à envisager à partir de l'Antiquité pour les zones où aucune occupation du sol à vocation agropastorale n'a été détectée. Pour les périodes antérieures, on ne se prononce pas ici : on a estimé que les moyens mis en œuvre dans cette thèse ne permettent pas de tirer des conclusions significatives sur l'occupation du sol aux périodes pré- et protohistoriques.

³⁵⁴ On a exclu des zones prises en compte ici celles où les données LiDAR sol sont insuffisantes pour fournir un modèle numérique de terrain exploitable en ce qui concerne les textures de terrain. Pour le massif de Chailluz, il s'agit d'une portion de terrain limitée à une centaine d'hectares au sud-est du massif.

3.1.3.4 - Zone 2, groupe d'entités n° 6 à 9 : aménagements agricoles encore exploités au 19^{ème} siècle, dans un espace sujet à des glissements de terrain (figures 164 à 166 et planches XLI à XLIII)

Les nombreux vestiges de limites parcellaires et d'utilisation agropastorale du sol observables sur le versant nord du bois en côte (n° 6, 8 et 9 sur la figure 156 ; communes de Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley) correspondent pour l'essentiel à des limites parcellaires et des aménagements divers (chemins, drainages, pierriers, etc.) figurés sur le plan cadastral napoléonien³⁵⁵. La planche XLI montre cette superposition (le parcellaire détecté par LiDAR est figuré en rouge). On constate également que, sur ce versant nord, les entités agropastorales fossiles sont quasiment inexistantes dans la zone déjà sous forêt au début du 19^{ème} siècle. Ceci s'explique en grande partie pour des raisons naturelles : immédiatement sous la crête de Chailluz, le terrain est vraiment inexploitable, constitué de falaises ou de pentes très abruptes. D'autre part, cette partie nord du massif est fortement sujette aux glissements de terrain, ce qui a peut-être aussi été un frein au développement des surfaces agricoles dans la partie supérieure des pentes. La figure 164 montre l'emplacement des glissements de terrain détectés par LiDAR (en orange), anciens ou récents, superposés au plan cadastral géoréférencé. Plusieurs mouvements de terrain anciens ayant impacté des surfaces variables (de quelques dizaines d'ares à plus de 5 hectares) sont situés dans les zones sous forêt au début du 19^{ème} siècle. D'autres glissements anciens sont certainement antérieurs au début du 19^{ème} siècle : on voit à partir des données LiDAR que les vestiges de limites parcellaires les recouvrent. Celles-ci leur sont donc postérieures. Le glissement de terrain le plus important qu'on peut observer dans cette zone (n° 7 sur la figure 156) est récent et date de 1983, au lieudit « Les Vallières », sur la commune de Bonnay. Il occupe une surface d'environ 40 hectares. On remarque qu'il s'est produit juste à côté d'un glissement ancien situé légèrement plus au nord et d'une surface approximative observable de 6 hectares. Cette zone aux sols particulièrement instables a d'ailleurs subi un nouveau

³⁵⁵ Plans provenant des Archives départementales du Doubs : plan de Bonnay de 1806, cote 3P 854, plan de Mérey de 1806, cote 3P 1083, plan de Vieilley de 1812, cote 3P 1260. Les plans ont été numérisés et géoréférencés dans le cadre du programme LIEPPEC (numérisation, assemblage numérique des feuilles et géoréférencement C. Fruchart, 2011-2012).

mouvement du terrain au début de l'année 2013, qui a affecté une petite surface un peu en amont des deux glissements précédents³⁵⁶.

La planche XLII donne un aperçu photographique restitué en 3D de la zone des Vallières avant le glissement (en 1940), juste après l'événement, en 1984, et enfin l'aspect actuel du lieu-dit, une trentaine d'années après le mouvement de terrain. Les vues ont été réalisées à partir d'orthophotographies en utilisant des modèles de surfaces dérivés des données LiDAR de 2009³⁵⁷. La succession des vues montre bien la progression du boisement dans cette zone depuis 1940, relativement modeste jusqu'en 1984, et nettement plus importante au cours des dernières décennies. La zone du glissement de 1983, encore largement ouverte en 1940 est totalement boisée aujourd'hui, et dans la partie ouest / sud-ouest du lieu-dit (parties situées en haut à droite sur les vues 3D), la progression de la couverture forestière, déjà bien visible entre 1940 et 1984, s'est poursuivie.

D'une manière générale, cette partie nord de la zone 2 s'est largement fermée entre le début du 19^{ème} siècle et aujourd'hui. La figure 165 permet d'évaluer la progression du boisement au cours des deux derniers siècles. Toutes les surfaces boisées au début du 19^{ème} siècle le sont également aujourd'hui (zones en vert clair). La déprise agricole, qui s'est accompagnée d'une progression du boisement, est presque totale ici : toutes les surfaces en vert foncé sur la figure correspondent à des zones à vocation agricole au début du 19^{ème} siècle (essentiellement, des terres labourables) et situées à présent sous forêt. Seuls trois espaces de quelques hectares chacun, sur Bonnay et Mérey-Vieilley, sont encore ouverts et en prairies actuellement.

La planche XLIII donne un aperçu de la variabilité de la progression au cours des deux derniers siècles du boisement au lieu-dit « Les Vallières » (Bonnay). En 1806, l'endroit dispose d'une centaine d'hectares de terres cultivables (en blanc sur la planche, avec indication du parcellaire napoléonien en noir), essentiellement référencées en « terres labourables » par le cadastre ancien. De nombreuses petites parcelles généralement quadrangulaires étaient desservies par un réseau de chemins d'exploitation et par quelques chemins plus importants, dont le « Chemin de Bonnay », qui descendait depuis la crête au sud-ouest et traversait la zone agricole en direction du village de Bonnay. « Les Vallières » bénéficiaient de l'apport en eau de plusieurs sources, toutes situées, du fait de la

³⁵⁶ On peut voir quelques images de ce dernier glissement sur les archives internet d'un quotidien régional (lien valide au 1er juin 2014) : <http://www.estrepublicain.fr/actualite/2013/01/02/impressionnant-glissement-de-terrain-dans-le-doubs>

³⁵⁷ Clichés IGN : IGNF_PVA_1-0_1940-06-06_C3323-0101_1940_F3323_0038 IGN[®] (1940), IGNF_PVA_1-0_1984-04-21_C3323-0041_1984_F3223-3423_0020 IGN[®] (1984) et cliché LIEPPEC (2009) ; géoréférencement des clichés IGN, réalisation des modèles de surface et vues 3D : C. Fruchart - ODIT 2014.

configuration géologique du sous-sol à cet endroit, dans le haut des pentes, dans la partie sud de la zone. L'écoulement des points d'eau était assuré par un ensemble de fossés, drains et/ou ruisselets qui serpentaient entre les parcelles et offraient, peut-être aussi, une alimentation en eau pour l'une ou l'autre culture. Tous ces petits cours d'eau étaient collectés dans le bas des pentes par un ruisseau plus important se jetant dans l'Ognon à quelques kilomètres plus au nord. Ce ruisseau collecteur existe encore aujourd'hui ; son cours a été modifié de façon substantielle par le glissement de terrain de 1983. En revanche, les ruisseaux-drains qui parcouraient les parcelles ont tous disparu.

L'orthophotographie de juin 1940 permet d'évaluer la progression du boisement depuis 1806 (vignettes du milieu sur la planche XLIII). Les zones en vert foncé sont celles qui sont boisées dès 1806. Les surfaces en vert clair correspondent à la couverture arborée observable sur le cliché de 1940³⁵⁸. Elles représentent une superficie d'environ 20 ha. Si on considère que la zone était entièrement ouverte en 1806, il en résulte que 20 % seulement de la zone s'est reboisée en près d'un siècle et demi.

Actuellement, la superficie sous couvert forestier atteint approximativement 70 ha (zones en vert le plus clair sur la troisième vignette de la planche XLIII). En 70 ans, depuis 1940, la progression du boisement a donc plus que triplé, et ce dans un intervalle de temps deux fois moindre que celui séparant l'état donné par le cadastre ancien et par le cliché de 1940.

Afin de compléter l'aperçu 3D de l'évolution de l'occupation du sol dans cette zone des Vallières (planche XLII), on a réalisé une restitution 3D du paysage au début du 19^{ème} siècle avec un rendu photographique (figure 166). La restitution a été réalisée en se référant aux indications du plan cadastral ancien géoréférencé (figure 166, vignette du haut). La base photographique utilisée est le cliché IGN de 1940 (IGNF_PVA_1-0_1940-06-06_C3323-0101_1940_F3323_0038 IGN[®]) qui a été modifié pour que l'occupation du sol représentée coïncide avec celle du plan cadastral ancien. La topographie est fournie par

³⁵⁸ Les groupes comprenant seulement quelques individus et les alignements simples d'arbres ou d'arbustes le long des ruisseaux n'ont pas été pris en compte. On a néanmoins comptabilisé dans la couverture arborée des groupes d'arbres que la classification IFN de 2006 exclut de la catégorie des zones sous couvert forestier (cf. méthodologie exposée dans le document IFN accessible sur internet : <http://inventaire-forestier.ign.fr/ocre-gp/docs/methodologie.pdf> (lien valide au 1er juin 2014). Par conséquent, la surface boisée prise en compte pour 1940 ne tient pas compte de tous les arbres réellement observables, mais elle fournit une évaluation de la couverture arborée légèrement supérieure à celle qu'on aurait obtenue avec la classification IFN.

les données LiDAR (utilisation d'un modèle numérique de terrain et d'un modèle numérique de canopée pour la couverture arborée)³⁵⁹.

3.1.3.5 - Zone 2, groupe d'entités n° 10 : aménagements militaires mis en place à la fin du 19^{ème} siècle (figures 167 à 173 et planche XLIV)

La figure 167 donne un aperçu général des entités militaires 19^{ème} – 20^{ème} siècle détectées dans la partie nord du relevé LiDAR de 2009 autour de Besançon. Ces ouvrages, mis en place peu après la guerre de 1870, font partie d'aménagements militaires réalisés autour de Besançon en prévention d'une éventuelle attaque ennemie venant de l'est. Plus généralement, ils s'insèrent dans un système de défense des frontières orientales de la France pensé par le général Séré de Rivières, en charge de cette tâche après sa nomination comme directeur du Service du Génie au ministère de la Guerre en 1874. La frontière nord / nord-est avait ainsi été subdivisée en quatre groupes destinés à former un rideau défensif. Tout au nord de la France, le groupe nord s'étendait de Dunkerque (Pas-de Calais) à Montmédy (Meuse) ; un peu plus au sud, le groupe de la Meuse moyenne était constitué d'une série d'aménagements reliant Verdun (Meuse) à Toul (Meurthe-et-Moselle) ; le groupe Vosges reliait Epinal (Vosges) à Belfort (Territoire-de-Belfort) et le groupe Jura, le plus méridional, avait pour base la place forte de Besançon (Doise, 1992 ; Dutriez, 1981).

L'organisation spatiale des structures observables sur la zone d'étude de Besançon à partir des données LiDAR (fort, tranchées, batteries, etc.) dessine plusieurs alignements (traits pointillés jaunes sur la figure 167). Le plus long d'entre eux (environ 6,5 km) décrit une ligne oblique nord-ouest / sud-est entre les entités de la crête de Chailluz vers le col menant à Bonnay³⁶⁰ et des ouvrages de petite dimensions (tranchées, essentiellement) sur les hauteurs de Roche-lez-Beaupré³⁶¹. Au nord-ouest de la zone LiDAR, une série de petits ouvrages aménagés sur des hauteurs de Bonnay, Châtillon-

³⁵⁹ Réalisation des modèles numériques de surface, géoréférencement des documents graphiques, visualisation 3D et transformation visuelle du cliché IGN de 1940 : C. Fruchart 2014 - LIEPPEC MSHE C.N. Ledoux.

³⁶⁰ Ces entités ont été détaillées dans la description de la zone 1b, groupe d'entités n° 6.

³⁶¹ On ne sait pas comment se poursuivent éventuellement ces aménagements au-delà du Doubs vers le sud-est : ces zones sont hors du relevé LiDAR.

le-Duc et Miserey-Salines forme une autre ligne de protection (ligne jaune incurvée). Enfin, une dernière série de structures suit une ligne perpendiculaire au premier axe oblique rectiligne nord-ouest / sud-est décrit ci-dessus. C'est le long de cette perpendiculaire, légèrement en retrait au nord-ouest de celle-ci, qu'a été installé le fort de Chailluz³⁶². Edifié au sommet de la crête montagneuse, il a été implanté à l'extrême limite nord-est du territoire communal de Besançon.

Les entités décrites dans les lignes suivantes sont uniquement celles qui appartiennent à la zone d'étude du massif de Chailluz³⁶³. Elles se composent (figure 168) d'une série d'ouvrages (fort, batteries, tranchées) répartis sur une longueur totale d'approximativement 5 km (deux lignes de 2,5 km environ chacune). Pour des commodités de présentation, les aménagements ont été répartis en trois groupes qui sont détaillés successivement ci-dessous (zones délimitées par des pointillés noirs sur la figure 168).

Le premier groupe est composé du fort de Chailluz³⁶⁴, de huit petites structures fossoyées (tranchées), de deux batteries à canons et d'un magasin à poudre, tous situés sur les pentes nord-est du bois en côte (figure 169-a et planche XLIV) ; on y trouve également une petite carrière probablement liée à la construction des structures militaires ; elle est située à environ 800 m au sud-ouest du fort, entre la falaise et le chemin stratégique³⁶⁵, juste à la limite entre les communes de Bonnay et de Besançon. On remarque également les vestiges de terrassements réalisés pour le passage d'un tuyau, probablement une adduction d'eau ayant alimenté le secteur du fort de Chailluz. Au nord-ouest du fort, sur la pente nord du massif montagneux (commune de Bonnay), on peut suivre sur une longueur de plus de 300 m l'étroit terrassement réalisé pour le passage de ce tuyau. Bien visible sur les données LiDAR sous la forme d'une longue anomalie linéaire rectiligne (figure 170), on le remarque également bien sur le terrain, où sa topographie rappelle celle d'un chemin. Cependant, l'étroitesse du replat, large au plus de 50 à 60 cm, exclut qu'il s'agisse d'un élément de voirie. Par ailleurs, un élément de fixation encore en place a été découvert en prospection, indice tangible de l'existence passée du tuyau (cliché sur la figure 170).

³⁶² Le fort est installé à environ 2 km en amont de la longue ligne nord-ouest / sud-est.

³⁶³ Par conséquent, les aménagements situés sur les communes de Bonnay, Châtillon-le-Duc, Miserey-Salines et Roche-lez-Beaupré ne sont pas évoqués.

³⁶⁴ Ce fort est également appelé « Fort de la Dame Blanche », notamment sur la carte IGN au 1 / 25 000.

³⁶⁵ La route forestière appelée « chemin stratégique » a elle-même été mise en place vers 1875 par les militaires à l'occasion de la construction du fort de Chailluz.

Le fort de Chailluz³⁶⁶ est l'un des plus grands ouvrages militaires édifiés à la fin du 19^{ème} siècle à la périphérie de Besançon. Construit entre 1875 et 1878, il pouvait loger 598 hommes et abriter un armement de 25 canons et 10 mortiers. La figure 171 donne un aperçu de la topographie au voisinage du fort (vue de la crête et du sommet des pentes exposées au sud) avec une vue 3D prise depuis l'est du fort. D'un point de vue spatial, il est installé sur un point culminant du relief en périphérie de Besançon, qui domine tout le paysage environnant, à 619 m d'altitude, et offre un large point de vue sur la vallée de l'Ognon et sur les sommets vosgiens. Sa forme générale dessine un pentagone dont le bord le plus long (environ 190 m) épouse la falaise. La partie centrale de l'édifice (environ 180 m sur 110 m dans ses plus grandes dimensions) était protégée par un talus en terre aménagé sur toute sa périphérie ainsi que par un fossé extérieur, profond de plusieurs mètres et large d'environ 8 m³⁶⁷. Ce fort, qui appartient aujourd'hui à la ville de Besançon, a été utilisé à des fins militaires jusqu'après la Deuxième Guerre mondiale.

Le deuxième groupe d'entités, situé au nord-est des Grandes Baraques (figure 169-b), est constitué de quelques tranchées linéaires et curvilignes aménagées sur le plateau karstique et formant ensemble un alignement de structures orientées nord-ouest / sud-est. La planche XLIV liste et illustre par une vue LiDAR en plan les entités de ce deuxième groupe et du groupe précédent.

Le troisième groupe d'entités est situé dans la forêt de Thise (Bois du Coutelot, figure 172-a). Il se compose d'un grand ouvrage central en forme d'heptagone irrégulier³⁶⁸ (figure 172-b et vue 3D et en coupe sur la figure 173) entouré, à une distance variant de 300 à 600 m, de 13 petites structures linéaires fossoyées (tranchées) réparties assez régulièrement sur trois de ses côtés (sud-ouest, nord-ouest, nord-est). Ces tranchées ont des longueurs comprises entre 30 m et 95 m, une profondeur inférieure à 1 m et une largeur de 1 à 2 m. La coupe de l'une d'entre elles est montrée sur la figure 173.

³⁶⁶ Le nom militaire du fort de Chailluz est « fort Kirgener », nommé d'après François Joseph Kirgener, baron de Planta (1766-1813), général du génie militaire qui s'est notamment illustré au cours de plusieurs batailles sous Bonaparte. Il a commandé le génie de Besançon entre 1799 et 1810.

³⁶⁷ Une page internet d'un site spécialisé dans les fortifications militaires <http://www.fortiff.be/index.php> est consacrée au fort de Chailluz et permet de voir de nombreux clichés de cet ouvrage (<http://www.fortiff.be/iff/index.php?page=c67>, lien valide au 1^{er} juin 2014).

³⁶⁸ Cet ouvrage semble peu ou pas connu : il n'est pas mentionné par les rares publications qui ont été trouvées consacrées aux aménagements militaires de cette période autour de Besançon (Frijns *et al.*, 2008 ; Dutriez, 1981 ; Bois, 1997 ; site internet consacré aux ouvrages militaires de Séré de Rivières <http://fortiffsere.fr/besancon/> et site consacré aux ouvrages militaires édifiés entre 1870 et 1914 <http://www.fortiff.be/iff/index.php?page=b95> (liens valides 1^{er} juin 2014).

L'ensemble de ces aménagements occupe une surface s'étendant sur une distance maximale de 900 m sur 850 m et une surface approximative de 50 ha.

L'ouvrage principal (figure 172-b), qui appartenait à la ligne de défense principale de Besançon, était destiné à recevoir une compagnie d'infanterie. Cet ouvrage fermé, composé d'abris aménagés recouverts de terre, était protégé au nord par un talus en terre ; il était entouré de tranchées d'infanterie avec parapet de tir, d'un fossé périphérique et de fils barbelés. La défense de ce dispositif était assurée par cinq positions de mitrailleuses³⁶⁹. L'ensemble occupe une surface d'environ 1,2 ha avec une emprise maximale de 165 m sur 95 m. Son périmètre extérieur heptagonal, long de 435 m, dessine un fossé de quelques dizaines de centimètres de profondeur sur une largeur d'environ 2 m, qui remonte sur une douzaine de mètres en pente régulière vers l'intérieur de l'ouvrage, aboutissant sur une deuxième structure fossoyée sensiblement parallèle, en forme d'hexagone irrégulier ouvert, d'une longueur totale de 325 m, large de près de 3 m et profonde d'environ 1m (*cf.* vue en coupe de l'ouvrage). L'entrée se faisait certainement au sud où l'on observe une rupture sur 6 m du fossé extérieur (n° 1 sur la figure 172). Une ouverture ménagée dans la partie sud-est du fossé intérieur donnait accès au cœur du dispositif (n°2). Cette zone centrale est faite d'un assemblage complexe de structures fossoyées linéaires et de talus. L'ensemble apparaît bien conservé dans son extrémité orientale où se voient nettement deux talus quadrangulaires de 10 m de côté séparés par des fossés de 2 à 6 m de large (n° 3). En revanche, les parties occidentale et centrale ont un aspect chaotique qui peut provenir d'une destruction partielle de l'ouvrage. On remarque par exemple, dans cette partie occidentale, quelques petites dépressions circulaires qui sont des terriers de blaireaux et qui ont assurément dégradé ces aménagements réalisés en terre (n° 4).

Il se pourrait également que cet aspect chaotique résulte d'un achèvement seulement partiel de l'ouvrage. En effet – c'est dans la partie centrale que cela s'observe le mieux – le travail de fossoyage semble inachevé, comme interrompu en cours de réalisation ; les bords des formes creusées, irréguliers (n° 5), se différencient bien des bords nets et droits de la partie est (n° 3). Cette irrégularité ne provient certainement pas d'un recouvrement partiel des zones fossoyées par colluvionnement ou érosion : le terrain voisin est relativement plat et ne présente aucun mouvement topographique particulier qui serait l'indice qu'il a été remué.

³⁶⁹ Merci à Jean Nuninger (association Avalfort) pour ces informations sur l'ouvrage fermé de Thise.

3.2

**Aménagements à vocation agropastorale,
établissements et éléments de voirie.**

Parties est et sud du massif.

3.2.1 - Braillans (zone 3)

Les prospections menées sur la commune de Braillans n'ont pas permis de localiser la grange cistercienne médiévale dont l'existence est pourtant attestée dès le 11^{ème} siècle et encore au 16^{ème} siècle par des textes d'archives (*cf.* données historiques exposées dans la partie 1) : son emplacement reste donc encore à découvrir. Le mobilier trouvé en prospection se limite à quelques objets épars et isolés datables aussi bien de l'Antiquité, du Moyen Âge que de l'époque moderne ; ils ne peuvent à l'heure actuelle être mis en perspective avec un contexte particulier (présence d'un établissement, par exemple). Les prospections ont néanmoins permis de reconnaître sur le terrain les vestiges fossilisés sous forêt d'aménagements parcellaires (terrasses, murs ou talus en pierre sèche, tas d'épierrements) antérieurs au 19^{ème} siècle : ils sont situés dans des zones déjà boisées en 1809³⁷⁰.

La plupart des entités détectées sur la commune de Braillans à partir des données LiDAR sont situées dans des zones non boisées actuellement et correspondent, comme pour la partie nord de la zone 2 décrite précédemment (Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley), à des limites parcellaires figurées sur le plan cadastral napoléonien de 1809 (planche XLV). Cependant, l'évolution de l'occupation du sol sur la commune de Braillans entre le début du 19^{ème} siècle et aujourd'hui est assez différente de celle constatée pour la partie nord de la zone 2 : alors que la forêt a conquis presque totalement les anciens sols agricoles sur le versant nord du bois en côte, sur les communes de Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley, la fermeture des surfaces labourables au début du 19^{ème} siècle à Braillans est restée limitée (planche XLVI).

³⁷⁰ Les prospections ayant été limitées aux zones sous couvert forestier, une grande partie du territoire de Braillans n'a pas été explorée. Par ailleurs, la plupart des vestiges agropastoraux fossilisés sous forêt sont situés au voisinage de l'autoroute A36, au nord de la commune ; on ne peut exclure que la mise en place de cette autoroute dans les années 1970 ait intégralement détruit, par exemple, un petit établissement antique comparable à ceux observés dans la partie ouest du massif de Chailluz et auquel auraient pu se rattacher les vestiges agropastoraux en pierre sèche vus en prospection. En effet, l'emprise en largeur de l'A36 est d'environ 50 m, une longueur supérieure aux dimensions moyennes constatées (environ 40 m de côté) pour les petits enclos avec établissement antique observés dans la partie ouest du massif forestier. Mais ces mêmes vestiges agropastoraux pourraient tout aussi bien être médiévaux, ou dater du tout début de l'époque moderne, et être en lien avec les exploitations agricoles de la grange de Braillans, dont l'existence est attestée à partir du milieu du 11^{ème} siècle.

Le territoire de Braillans occupe une surface totale d'environ 200 hectares³⁷¹, dont 85 hectares environ étaient boisés au début du 19^{ème} siècle, soit un peu plus de 40 % de la commune. Le découpage parcellaire et l'occupation du sol pour cette période ont été restitués à partir du plan cadastral napoléonien de 1809 et de la minute réalisée antérieurement à ce plan, en 1806 (figure 174). Les limites parcellaires figurées sur la planche XLVI ont été digitalisées d'après le plan de 1809 après son géoréférencement, et l'occupation du sol a été restituée d'après la minute de 1806. Celle-ci mentionne en effet la nature de l'occupation du sol réellement observée en 1806 (terres labourables, prés, vergers, vignes, friches et broussailles, bois, mare, marnière), ce qui permet notamment de localiser parmi les terres labourables celles laissées en friche³⁷². Les surfaces qui ont été considérées comme boisées en 1806 sur la planche XLVI (environ 85 ha) sont celles mentionnées en tant que bois (environ 65 ha en « bois taillis », « futaie » et « bois de particulier ») ainsi que les « friches » et « broussailles » (un peu moins de 20 ha). Les très petites surfaces en friche (identifiées sur la minute par un « F »), qui correspondent pour la plupart à de gros pierriers qui existent toujours aujourd'hui, n'ont pas été comptées en zones boisées à cause de leur très petite superficie (quelques ares)³⁷³.

En 1940, la surface boisée a augmenté de quelques hectares par rapport à 1809, essentiellement au nord de la commune³⁷⁴ (planche XVLI, vignettes centrales). Le boisement en 1940 a été restitué d'après un cliché aérien historique de l'IGN géoréférencé (cliché `IGNF_PVA_1-0_1940-06-06_C3323-0101_1940_F3323_0035` IGN[®], géoréférencement C. Fruchart).

Entre 1940 et 2009, le boisement a encore progressé, mais de façon modérée. On remarque surtout le développement d'une parcelle boisée d'approximativement 4 hectares au centre-est de la commune ; elle est située dans le prolongement ouest du bois du Vernois (commune de Marchaux) qui existe déjà au début du 19^{ème} siècle, figuré

³⁷¹ Les limites communales ont très légèrement varié à l'est et au sud de la commune entre 1809 et aujourd'hui (limites avec Marchaux et Thise), mais la superficie de la commune peut être considérée comme constante.

³⁷² Le dépouillement des matrices du plan cadastral ancien n'a pas été réalisé pour cette thèse.

³⁷³ Ce choix a été fait car ces très petites surfaces arborées n'ont pas non plus été comptabilisées parmi les surfaces boisées pour les occupations du sol postérieures (*cf.* note méthodologique rédigée précédemment pour la zone 2, entités n° 6 à 9).

³⁷⁴ On remarque cependant une progression significative du boisement à l'est de Braillans, sur la commune de Marchaux. Mais cette dernière commune, située hors de la zone d'étude n'a pas été prise en compte pour cette thèse.

sur le plan cadastral napoléonien de Marchaux (plan de 1824 conservé aux Archives départementales du Doubs, cote 3P 1077). Au nord de Braillans, la surface forestière a en revanche légèrement diminué depuis 1940 (d'environ 5 hectares), essentiellement à cause de l'implantation de l'autoroute A36.

Globalement, entre 1809 et 2009, la progression de la couverture forestière est faible : environ 15 hectares, soit moins de 10 % de la surface communale, en deux siècles. La surface boisée passe d'environ 85 hectares au début du 19^{ème} siècle (42 % environ de la surface communale) à 100 hectares actuellement (50 %).

En revanche, l'occupation du sol non forestier a beaucoup changé.

En 1809 (figure 175), les 200 hectares de Braillans sont occupés de la façon suivante :

85 ha (environ) sont boisés à la périphérie nord et ouest du territoire de Braillans ; 85 autres hectares sont en terres labourées réparties sur toute la commune ; 22 hectares sont en prés, essentiellement localisés dans une zone de 800 m sur 400 m au centre de la commune ; 4,5 hectares au nord de Braillans sont occupés par des vignes, dans le bas des pentes du bois en côte, et 2 autres hectares de terres abritent des vergers, plantés près des habitations. La commune était desservie par une route principale qui forme encore aujourd'hui sa limite sud (route correspondant à l'axe de l'actuelle RD 486 et connue sur les plans anciens comme « Chemin du Roi », ou encore « Grand Chemin de Montbozon ») et par quelques rues au tracé sinueux raccordées à la route principale et aboutissant, après avoir donné accès aux quelques bâtiments du village, en forêt ou dans les zones agricoles. On comptait en 1809 une quinzaine de constructions³⁷⁵ dispersées sur la moitié sud de la commune. Un « chazal* » était à l'ouest du village, en bordure de forêt ; 5 bâtiments épars se situaient le long de la route principale, tout au sud de Braillans ; un groupe de 7 autres bâtiments était installé approximativement au centre de la commune ; les deux derniers édifices³⁷⁶, construits en vis-à-vis de part et d'autre de la rue les desservant, étaient placés à environ 150 m au nord du groupe central précédent.

³⁷⁵ Durant la première moitié du 19^{ème} siècle, on compte environ 90 habitants à Braillans occupant entre 10 et 15 maisons (Courtieu, 1983 p.507 et Laurens, 1833 p.40).

³⁷⁶ Peut-être une tuilerie, dont l'existence est attestée en 1751 par les archives (Courtieu, 1983 p.507) et à laquelle le toponyme « a la thuillerie » attribué aux parcelles situées juste à l'est des deux bâtiments figurés sur le plan de 1809 pourrait faire référence ; de même, la présence toute proche d'une « marnière » signalée sur la minute de 1806 (en rouge sur la figure 175) et bien détectable sur les données LiDAR pourrait être un autre indice lié à cette tuilerie.

En 2009, trois des bâtiments existant au début du 19^{ème} siècle ont totalement disparu (figure 176, en rouge) : le « chazal » ainsi que les deux édifices les plus au nord de la commune. Huit maisons occupent encore aujourd'hui l'emplacement de constructions signalées en 1809 (figure 176, en noir). Dans l'ensemble, la voirie actuelle reprend les tracés du début du 19^{ème} siècle ; seuls quatre tronçons ont disparu, au sud-ouest et au nord-est du village. Tout au nord de Braillans, l'autoroute A36 et une route forestière qui lui est sensiblement parallèle sont les seules deux nouvelles voies observables sur le territoire communal (figure 176, en bleu). En deux siècles, la population a presque doublé, passant d'environ 90 habitants en 1809 à 166 habitants recensés en 2009³⁷⁷. Le village, composé d'une quinzaine d'habitats dispersés en 1809 est à présent une zone d'habitat groupé comportant une soixantaine de maisons. L'habitat s'est développé dans la partie sud de la commune. Les vergers et les vignes mentionnés sur le plan cadastral ancien ont disparu (figure 175) ; la vigne a été remplacée par la forêt, et les vergers sont devenus des prés ou constituent à présent les jardins d'agrément autour des maisons individuelles. Les terres labourées ont presque toutes été transformées en prairies, et on remarque aussi la simplification du plan cadastral, probable conséquence du remembrement des années 1960-70 : les longues parcelles en bandes qui composaient le plan cadastral de 1809 n'existent plus, et une petite partie seulement du découpage parcellaire napoléonien est conservée, formant les limites parcellaires du cadastre actuel.

³⁷⁷ Données INSEE. Entre 1809 et 2009, la population a d'abord diminué pour atteindre seulement 26 habitants en 1962, avant de reprendre une croissance régulière. Depuis le relevé LiDAR de 2009, un petit lotissement de maisons individuelles s'est construit au sud-ouest du village, faisant encore augmenter la population : Braillans compte 199 habitants en 2013.

3.2.2 - Eléments de voirie qui bordent la partie sud du massif de Chailluz : un axe routier bimillénaire.

3.2.2.1 – Evolution de la voirie restituable à partir des documents anciens (figures 177 à 179 et planche XLVII)

La partie sud-est de la forêt de Chailluz est aujourd'hui traversée par la route départementale RD 486, qui dessert notamment Braillans et Marchaux depuis Besançon. Celle-ci, avant d'être déclassée en route départementale en 1973, était une route nationale depuis 1933 - la RN 486, également appelée « route de Besançon à Gérardmer »³⁷⁸ (tracé en rose sur la planche XLVII-d). Un autre tronçon routier actuel suit sensiblement le même axe que la RD 486 sur près de 3 km, mais légèrement plus à l'est, sur le territoire de la commune de Thise (tracé en bleu sur la planche XLVII-d). Cette deuxième voie également bitumée aujourd'hui, qui porte le nom de « Chemin du Roi », n'est pas ouverte à la circulation automobile : elle a été convertie en piste cyclable il y a quelques années.

Un plan ancien de la forêt de Chailluz daté de 1862 (plan conservé aux Archives municipales de Besançon, cote Gec Bes 317-1) montre que ces deux routes actuelles existaient déjà au milieu du 19^{ème} siècle (tracés violet et bleu sur la planche XLVII-c). Elles portaient alors le nom de « Route Départementale n° 7 de Besançon à Lure » (tracé en violet sur la planche) et d'« Ancienne Route » (tracé en bleu). La « Route n° 7 de Besançon à Lure » est déjà citée en 1830 dans une description récapitulative des routes départementales du Doubs (*Annuaire départemental du Doubs*, Laurens, 1830 p. 306) ; elle figure aussi sur le plan cadastral napoléonien de Besançon (plan conservé aux Archives départementales du Doubs, cote 3P 845 ; feuille A3 datée de 1833), avec le même nom de « Route départementale n° 7 de Besançon à Lure » (figure 177). La comparaison de la position des voies figurées sur le plan de 1862 (linéaments en violet et en bleu sur la figure 177 et sur la planche XLVII-c) avec celle de la route représentée sur le plan cadastral napoléonien de Besançon en 1833 montre que la « Route

³⁷⁸ Source http://routes.wikia.com/wiki/Route_nationale_francaise (lien valide au 1er juin 2014).

départementale n° 7 de Besançon à Lure » du cadastre de 1833 correspond en fait à « l'Ancienne route » du plan de 1862 : le nom de la voie a été conservé (« Route Départementale n° 7 de Besançon à Lure »), mais son cheminement a été modifié entre 1833 et 1862. Le tracé de l'actuelle RD 486 correspond (presque³⁷⁹) intégralement à la « Route départementale n° 7 » de 1862, tandis que celui de l'actuel « Chemin du Roi » (piste cyclable) correspond à la « Route départementale n° 7 » de 1833.

Le tracé de l'actuelle RD 486 a certainement été réalisé entre 1851 et 1862 : le plan de 1862 nous donne un *terminus ante quem* pour sa mise en place, et l'*Annuaire départemental du Doubs* nous informe que l'aménagement du tronçon actuel traversant la forêt de Chailluz (entre Palente et Marchaux) est encore alors à l'état de projet en 1850 et en 1851. En effet :

En 1850, « cette route³⁸⁰ s'embranchement sur la route nationale n° 73³⁸¹ près de Palente ; elle passe au-dessus de Thise, se dirige sur Marchaux, d'où elle suit les plaines de l'Ognon. (...) De Palente à Marchaux, une rectification est étudiée sur 9754 mètres d'étendue ; la dépense est appréciée à 80 000 francs. » (Laurens, 1851 p. 211) ;

Et, en 1851 :

« Route fréquentée médiocrement dans l'état actuel. On a compté cependant 83 colliers attelés par jour ; la rectification des nombreux mauvais pas qu'elle offre, augmenterait son intérêt et son importance. » (Laurens 1851 p. 334).

Cette « Ancienne route », ou « Chemin du Roi », qui « offre de nombreux mauvais pas » est représentée sur un plan de la forêt de Chailluz daté de 1738 (Archives municipales de Besançon, cote Yc M1 45, chemin en vert sur la planche XLVII-b) où elle porte alors le nom de « Grand Chemin de Monbozon ». Sur ce plan de 1738, un autre tronçon de voie est nommé « ancien Chemin de Monbozon » (chemin en jaune sur la planche XLVII-b). Ce tronçon encore plus ancien que la voie fréquentée en 1738 se raccorde sur cette dernière à environ 1 km au sud de la limite nord-est entre les communes de Besançon et Braillans.

³⁷⁹ Les deux virages les plus marqués du tracé de 1862, qui assuraient le franchissement de zones à la topographie particulièrement accidentée (groupes de dolines et fort dénivelé) ont été rectifiés depuis pour offrir aujourd'hui un tracé plus rectiligne et plus plat.

³⁸⁰ Il s'agit là de l'ancien tracé de la « Route départementale n° 7 de Besançon à Lure ».

³⁸¹ Il s'agit de la route dite « de Moulins à Bâle » passant dans le département du Doubs par Saint-Vit, Besançon, Baume-les-Dames, Clerval, et Pont-de-Roide ; route nommée RN 83 pendant le 20^{ème} siècle et déclassée en route départementale depuis (RD 673 actuellement).

La mise en place du « Grand Chemin de Monbozon » a vraisemblablement été réalisée peu avant le plan de 1738. En effet, moins de deux décennies plus tôt, la route représentée sur un plan de la forêt de Chailluz daté de 1720-21 (route en rouge sur la planche XLVII-a) suit un tracé sensiblement différent de celle figurée en 1738. La superposition des différents plans anciens géoréférencés sur SIG montre que la voie de 1720-21, qui porte alors le nom de « Grand Chemin tirant de Besançon à Marchaux » correspond à « l'ancien Chemin de Monbozon » de 1738 (figure 178). La mise en perspective des différents tracés figurés sur les plans de 1720-21, 1738 et 1862 avec les données LiDAR permet de restituer précisément les tracés réels des routes qui se sont succédé depuis le début du 18^{ème} siècle (figure 179, voies en rouge, bleu, violet et noir). On constate par ailleurs que le cheminement de la route de 1720-21 coïncide presque complètement avec l'actuelle limite entre les communes de Thise et de Besançon (trait pointillé blanc sur la figure 179).

C'est probablement cette voie du plan de 1720-21 qui est évoquée au début du 18^{ème} siècle dans un inventaire sur l'état des routes en Franche-Comté écrit par Nicolas Perrot, prévôt général de la maréchaussée du Comté de Bourgogne, et réalisé à la demande de l'administration française³⁸². Perrot indique ainsi que « *de Besançon à Montbozon le chemin est très mauvais ; il est étroit et rempli de pierres et de rochers ; il y a des montées et des descentes dangereuses ; en hiver et lors qu'il pleut, il est peu praticable.* » (cf. Lassus, 1997 p. 12 et Mandoul, 1926 p. 127-139). Observée sur le terrain au cours des prospections (la figure 180 précise les zones prospectées), cette voie du tracé de 1720-21 est, au voisinage de la forêt de Chailluz, un chemin empierré, très sinueux et plutôt large³⁸³ (7 à 10 mètres selon les endroits). Par endroits, il a été réalisé en entaillant la roche qui affleure de façon à assurer l'horizontalité de la chaussée sur toute sa largeur, ce qui a créé une arête verticale de quelques dizaines de centimètres de hauteur, bien marquée, sur un des bords de la route³⁸⁴.

³⁸² Cet inventaire s'inscrit certainement dans un processus de recensement des routes mené alors à l'échelle de la France, et notamment destiné à évaluer l'ampleur des travaux nécessaires à leur entretien et à leur remise en état (la consultation de Petot, 1958, ou Vignon, 1862 (<https://ia700500.us.archive.org/22/items/tudeshistoriqu02vign/tudeshistoriqu02vign.pdf>, lien valide au 1^{er} juin 2014) permet de connaître plus précisément les choix et les stratégies relatifs à l'aménagement du territoire au début du 18^{ème} siècle).

³⁸³ Cette observation faite sur le terrain contredit, semble-t-il, l'appréciation de Nicolas Perrot ; il est par conséquent probable que la largeur du tronçon qui longe la forêt de Chailluz n'est pas représentative de l'ensemble de la route de Besançon à Montbozon.

³⁸⁴ Cette particularité microtopographique a facilité la détection de ce tracé de voirie fossile sur le relevé LiDAR.

3.2.2.2 – La « Route de Besançon à Lure » selon le *Conducteur français* de Louis Denis (planche XLVIII et texte reproduit en *Annexe n° 6*)

La durée d'utilisation du tracé réalisé après celui de 1721³⁸⁵ - le tracé signalé en 1738 comme « Grand Chemin de Monbozon » - semble avoir été assez courte, pas plus d'un siècle et demi, entre le deuxième quart du 18^{ème} siècle et le troisième quart du 19^{ème} siècle. En effet, la documentation ancienne montre qu'il n'est pas antérieur à 1721, et le plan de 1862 atteste de son remplacement dès le milieu du 19^{ème} siècle. Au cours de cette période³⁸⁶, le géographe Louis Denis fait paraître dans un périodique intitulé *Le Conducteur français* un descriptif des « routes desservies par les nouvelles diligences, messageries et autres voitures publiques, avec un détail historique et topographique des endroits où elles passent, même de ceux qu'on peut apercevoir, des notes curieuses sur les chaînes de montagne qu'on rencontre, etc., enrichi de cartes topographiques dont les routes sont distinguées par une couleur, dressées et dessinées sur les lieux » (Lassus, 1997 p. 4).

La description de la « Route de Besançon à Lure », établie en 1779, a été partiellement reproduite ici pour la partie relative au tronçon reliant Besançon à Marchaux (la transcription originale est de F. Lassus : Lassus, 1997) ; le texte est reproduit en annexe n° 6 dans le volume *Annexes*. La plupart des éléments paysagers détaillés en 1779 entre Palente et Marchaux ont pu être replacés dans leur contexte topographique actuel, tels qu'ils sont encore observables aujourd'hui sur un modèle numérique issu des données LiDAR³⁸⁷. La planche XLVIII présente une vue 3D du parcours décrit par Louis Denis en localisant les étapes et les éléments paysagers qu'il évoque. Pour faciliter la mise en relation du texte transcrit en annexe avec les étapes figurées sur la planche XLVIII, les segments de texte correspondant aux 12 étapes indiquées sur la planche sont repérés par des numéros figurés en exposant sur la transcription (les numéros sont placés juste avant les segments concernés). Les segments de texte sont également mis en caractères gras et entre crochets.

³⁸⁵ Comme voie de circulation principale.

³⁸⁶ Entre 1779 et 1781 pour les routes de Franche-Comté.

³⁸⁷ Cf. annotations sur la planche XLVIII. Les éléments du bâti évoqués par L. Denis ont été localisés en recoupant les informations fournies par la carte de Cassini et par le plan cadastral napoléonien. Les indications topographiques (« pente douce », « côte raide », par exemple) ont été situées en observant à vue un modèle numérique 3D et en suivant en même temps le cheminement décrit par le texte de 1779.

3.2.2.3 – Voirie restituable à partir des données archéologiques (figures 179 à 186 et planches XLIX à LI)

Les données LiDAR ont également permis de détecter, sur ce même axe longeant la partie sud-est de la forêt de Chailluz, des tronçons de voie qui ne sont figurés sur aucun plan ancien. Ils totalisent une longueur d'environ 3,5 km et correspondent au tracé en jaune repéré par les numéros 1, 2, 4 et 5 sur la figure 179. Les artefacts découverts en prospection sur les tronçons 2 à 5 indiquent que ce tracé était actif durant l'Antiquité et le Moyen Âge³⁸⁸ (cf. Daval, Fruchart, 2010, 2011, 2012, 2013). L'extension des surfaces prospectées et la localisation des artefacts découverts sont indiquées sur la figure 180. La figure 181 donne un aperçu du mobilier antique collecté, objets découverts soit dans l'empierrement de la chaussée³⁸⁹, soit sur les bas-côtés immédiats de la voie.

3.2.2.3.1 – Partie sud-ouest du tracé : tronçons n° 1 et 2 (figure 179)

Dans sa partie sud-ouest (vers Palente) et sur une longueur approximative de 1,5 km (n° 1 et 2 sur la figure 179), le tracé antique est situé plus au nord que les segments modernes (l'écart maximal est d'environ 450 m). La route actuelle (tracés violet et noir), qui passe encore plus au nord que le tronçon antique, le recoupe, ce qui a probablement causé sa disparition sur une longueur totale d'environ 200 m, de part et d'autre de la RD 486. Malgré cette interruption, on peut restituer sans difficulté la continuité du tracé entre les tronçons n° 1 et n° 2. Une vue 3D montre ainsi que le tronçon n° 1 se situe sans ambiguïté dans le prolongement axial du tronçon n° 2, positionné dans son prolongement logique par rapport au relief environnant (vue 3D sur la planche XLIX).

Seul le tronçon n° 2 a été prospecté ; son usage au cours de la période romaine est notamment attesté par un fragment d'hipposandale découvert dans la chaussée, et sa

³⁸⁸ Roland Fiétier (Fiétier, 1973, p.142 et note 13, p. 160) signale que la route de Montbozon / route de Marchaux est déjà citée dans une archive en 1239 (Archives départementales du Doubs, cote G 1345) ainsi qu'en 1276 (Archives municipales de Besançon, cote 726, 31 r°).

³⁸⁹ En général, les fragments d'hipposandales sont découverts dans l'empierrement même des chaussées, donc en position primaire, ce qui atteste bien de l'usage de la voie prospectée à la période romaine.

fréquentation durant le Moyen Âge a été mise en évidence, par exemple, par un éperon en fer datable du 13^{ème} ou du 14^{ème} siècle (cf. Daval, Fruchart, 2013, p.135-145).

La divergence des tracés successifs dans cette zone est peut-être due à la configuration du relief naturel, particulièrement accidenté : une série de dolines accolées forme une longue et profonde dépression, substantiel obstacle au passage de la voie (zone entourée de pointillés verts sur la figure 182). Le tracé antique a contourné cette difficulté par le nord, en creusant la voie à flanc de colline. Le tracé suivant, très probablement tardo-médiéval³⁹⁰ (en rouge), a également contourné cette vaste dépression, mais par le sud ; le cheminement résultant est plus sinueux et aussi plus pentu que celui de la voie antique (cf. profils des voies sur la planche L : profil jaune et profil rouge aux alentours du « point bas 2 »). La comparaison des profils et des vues en plan et en 3D de ces deux voies (planche L et figure 179) indique que ce n'est vraisemblablement pas la création d'une route plus confortable qui a motivé l'aménagement du nouveau tracé vers la fin du Moyen Âge, puisque le nouveau tronçon ne raccourcit pas le trajet, tout en étant plus sinueux et plus pentu que le segment antique.

Le tronçon moderne postérieur (« Chemin du Roi », représenté en bleu sur les différentes figures) a supprimé les virages du tracé précédent en créant un chemin bien rectiligne qui traverse une doline partiellement comblée. Malgré ce remblai, ce nouveau tracé accuse un fort dénivelé, avec une pente un peu moins longue que celle de la route antérieure, mais encore plus marquée (cf. profils sur la planche L, comparaison entre le profil rouge et le profil bleu dans la zone du « point bas 2 »). Louis Denis qualifie en 1779 cet endroit de « route très élevée » et de « côte très rapide ». Le tracé suivant, réalisé au milieu du 19^{ème} siècle (en violet), a été implanté à 150 m au nord de la voie du 18^{ème} siècle. Il traverse la série de dolines à l'endroit où la dépression est la moins importante, entre deux

³⁹⁰ L'usage de ce nouveau tronçon à l'époque moderne est attesté par le mobilier découvert. Sa création est attribuée à la fin du Moyen Âge de manière hypothético-déductive : le mobilier découvert sur l'ancien tronçon antique et médiéval n'est pas postérieur au 15^{ème} siècle. D'autre part, on peut rapprocher ces tracés de l'archive évoquant un conflit entre Thise et Besançon au début du 16^{ème} siècle, au sujet de la limite communale qu'ils partagent vers la « Combe aux Agasses » (cf. DD 68 liasse 8 p. 3-6 (du 6 novembre 1513) in Muller, 1999, t. 2, p. 126). L'archive cite deux chemins – l'ancien et le nouveau – et chaque commune se réfère pour définir la limite au chemin qui lui attribue le territoire le plus étendu. Le nouveau chemin, appelé « grand chemin », existe déjà en 1513, « depuis dix ans, Besançon prétend posséder le bois jusqu'au Grand Chemin tirant a montbeliard. » Besançon a essarté et mis en culture la « Combe aux Agasses » considérée par les habitants de Thise comme leur propriété. On accède à cette combe par le « vieux chemin de Marchaux ». On identifierait volontiers ici le tracé antique comme « l'ancien chemin », et le tracé postérieur, qui se confond aujourd'hui avec la limite entre les communes de Thise et de Besançon, comme le nouveau tracé, le « Grand Chemin tirant a montbeliard. ». Enfin, la coïncidence de la « Combe aux Agasses » avec la série de dolines située à proximité des tronçons n° 1 et 2 est attestée par les indications figurant sur les plans forestiers du 18^{ème} siècle.

dolines (un remblai a néanmoins dû être rapporté pour rehausser la route). Le tracé du 19^{ème} siècle dessinait un grand virage permettant de minimiser la pente au passage du dénivelé naturel ; il a été supprimé plus tard³⁹¹ au profit d'une ligne droite (ultime segment correspondant à l'actuelle RD 486, en noir), ce qui a nécessité le creusement, sur une bonne centaine de mètres de longueur, de la roche affleurante. Le tracé actuel est, finalement, le plus rectiligne et celui qui présente les dénivelés les moins importants.

Les tracés successifs ont eu tendance à alterner leur choix d'aménagement : les courbes font suite à la ligne droite, et réciproquement. Du point de vue de ces paramètres – sinuosité et pente - le premier tracé (tracé antique, en jaune) est assez équilibré : la route antique recourt peu aux virages et préfère des segments rectilignes connectés entre eux par des angles bien ouverts. Les pentes sont minimisées en établissant la voie à flanc de colline. C'est – à l'heure actuelle – le cheminement qui a eu la plus longue existence : certainement plus d'un millénaire. La route suivante (tracé rouge) est en revanche très sinueuse ; ses dénivelés aussi sont plus marqués que ceux du tracé antique. Elle est remplacée après quelques siècles par une voie bien droite mais dotée d'un vrai raidillon (tracé bleu : profil sur la planche L). Après à peine plus d'un siècle, une nouvelle route est créée (tracé violet). Elle redessine des pentes raisonnables, en faisant notamment usage d'un grand virage, finalement lui aussi supprimé au profit du segment actuel, rectiligne (tracé noir).

3.2.2.3.2 – Tronçon n° 3 (figure 179)

Au nord-est du tronçon n° 2 (figure 179), le tronçon n° 3, long d'environ 1 km, est emprunté depuis la période romaine jusqu'au 18^{ème} siècle (tracé figuré en pointillés rouge et jaune sur la figure 179 et en trait plein jaune et rouge sur la figure 183). La durée d'utilisation de ce segment a été déduite du mobilier trouvé en prospection³⁹², qui s'échelonne du 1^{er} siècle de n. è.³⁹³ à la période moderne³⁹⁴. Cette portion de voie pourrait même dater de la fin de l'âge du Fer : en effet, on y a aussi découvert du mobilier probablement laténien (anneau moulé décoré en alliage cuivreux, fragments de timons de

³⁹¹ La date de cette transformation n'a pas été trouvée.

³⁹² Ce segment n° 3 a été prospecté sur une longueur d'environ 200 m.

³⁹³ As de Titus frappé entre 79 et 81, clous de *caligae* ; également, fragment d'hipposandale.

³⁹⁴ Fers à cheval, denier tournois moderne.

charrette, cf. Daval, Fruchart, 2012 p. 127 et 131). Des investigations supplémentaires seraient à mener pour vérifier cette hypothèse.

Ce tronçon n° 3 contourne par le sud une zone au relief particulièrement accidenté, où, parmi les dizaines de dépressions karstiques qui criblent le terrain, trois séries de dolines accolées forment trois profondes dépressions successives longues de plusieurs centaines de mètres chacune (zones en pointillés verts sur la figure 2-125). Le tronçon du 18^{ème} siècle (en bleu), qui a manifestement recherché en priorité un tracé rectiligne, a été contraint de passer nettement plus au sud afin de pouvoir traverser en ligne droite ce relief couvert de dolines. La route résultante présente un fort dénivelé (zone du point bas 1 sur la planche L). La voie du 19^{ème} siècle, qui décrit à nouveau un grand virage, passe plus au nord que les deux tronçons précédents. Le virage assure le franchissement de la première série de dolines accolées ; la deuxième dépression est traversée en remblayant partiellement la doline ; le troisième et dernier obstacle est contourné par le sud.

Vers 1975, à l'occasion de la construction de l'autoroute A36, une carrière a été creusée au voisinage du grand virage du 19^{ème} siècle³⁹⁵ (figure 184). Grâce à cette excavation, le terrain naturel a été aplani, de sorte qu'il a ensuite été possible de modifier le tracé de la route départementale en créant un segment routier presque rectiligne et bien horizontal (tracé noir sur la figure 183) à la place du virage taillé au 19^{ème} siècle à flanc de pente. La coupe [C,D] sur la planche XLIX donne un aperçu du tracé du 19^{ème} siècle et montre un profil de l'excavation occasionnée par la carrière des années 1970. La figure 184, réalisée à partir de deux orthophotographies de 1976 et 1984³⁹⁶, donne un aperçu de la carrière pendant son activité en 1976, puis de la même zone en 1984, quelques années après la réalisation de la rectification de la route départementale.

3.2.2.3.3 – Au sud-ouest de Braillans : tronçon n° 4 (figure 179)

Au nord-est du tronçon n° 3, presque à la limite communale entre Besançon et Braillans, le tronçon antique (tronçon jaune n° 4 sur les figures 179 et 185) est situé légèrement

³⁹⁵ Merci à Daniel Daval pour les informations relatives à la mise en place de cette carrière.

³⁹⁶ Clichés IGN : IGNF_PVA_1-0_1976-03-05_C3323-0161_1976_FR2745_0003 - IGN® et IGNF_PVA_1-0_1984-04-21_C3323-0041_1984_F3223-3423_0021 - IGN®. La topographie 3D est restituée à partir du relevé LiDAR de 2009.

plus au nord que celui qui lui a succédé (tronçon tardo-médiéval, en rouge sur les figures). La voie antique (tronçon jaune) est installée à flanc de pente, ce qui a d'ailleurs dû nécessiter d'importants travaux de terrassements pour sa mise en place : sur près de 400 m de long, la colline a été creusée sur une largeur de plusieurs mètres. La largeur totale de la voie, chaussée et bas-côtés inclus, atteint une dizaine de mètres (*cf.* Daval, Fruchart, 2011, p.78 *et sq.*). La largeur de la chaussée elle-même, qui était empierrée, ne dépasse cependant pas quelques mètres³⁹⁷. Observé sur le terrain, l'empierrement est enfoui actuellement sous à peine à 10 cm d'humus. Il est constitué d'un cailloutis compact, épais de plusieurs dizaines de centimètres, dans lequel a été trouvé un fragment d'hipposandale³⁹⁸ qui témoigne bien de l'usage de cette voie à la période romaine. Plusieurs fers à cheval médiévaux ont par ailleurs été découverts sur cette même chaussée, mais à sa surface, juste sous la couche d'humus, ce qui signale que ce tronçon était encore emprunté aux 13^{ème} - 14^{ème} siècles. L'absence totale d'artefacts de maréchalerie postérieurs au 14^{ème} siècle indique sa très probable désaffectation dès la fin du Moyen Âge, au profit du nouveau tronçon (tracé rouge) situé à quelques dizaines de mètres à peine plus au sud. Celui-ci dessine un tracé sinueux et sa bande de roulement, large de 8 à 10 m, a été partiellement creusée à même la roche.

La création de ce nouveau tronçon pourrait s'expliquer par la nécessité d'élargir la route, opération difficile à envisager sur la voie antique construite à flanc de colline. En effet, les travaux de terrassements à mettre en œuvre dans la pente auraient certainement été plus lourds que ceux qui ont été engagés plus au sud pour le tracé effectivement réalisé³⁹⁹. Ce pourrait être ce même besoin d'élargissement qui a motivé la création de l'autre segment tardo-médiéval à moderne à environ 2 km plus au sud-ouest (segment décrit dans les pages précédentes : tracé rouge au niveau des tronçons antiques n° 1 et 2, figure 182) ; là aussi, l'élargissement de la voie antique, qui est aménagée à flanc de colline sur une longueur de près d'un kilomètre, pose problème. La voie tardo-médiévale

³⁹⁷ *A priori* environ 4 m, mais pour confirmer cette dimension, il serait nécessaire de procéder à un sondage archéologique.

³⁹⁸ Et également plusieurs monnaies antiques.

³⁹⁹ En effet, on ne voit pas bien quelle autre raison aurait pu motiver la création de cette variante : le nouveau segment n'apporte pas d'amélioration au dénivelé, et sa sinuosité apparaît moins avantageuse que la relative rectitude du tracé antique. D'autre part, il est peu probable que la voie antique ait été abandonnée parce que, située à flanc de colline, elle était sujette au colluvionnement : plus d'un demi-millénaire après son abandon, la chaussée est enfouie sous 10 cm d'humus seulement. Enfin, un changement dû à une modification de l'occupation du sol (modification d'une limite territoriale, par exemple) paraît assez improbable aussi : aurait-on vraiment mis en œuvre la construction d'un tronçon routier long de presque 600 m et large d'une dizaine de mètres, simplement pour libérer un bout de terrain en pente de moins de quinze hectares ?

à moderne a été implantée dans une zone où il était effectivement possible d'installer une route de plus grand gabarit. Et l'examen des données LiDAR confirme que, partout où cette voie tardo-médiévale à moderne est encore observable, elle dispose bien d'une possible zone de roulement (partie plane) large de 7 à 8 m, alors que la voie antique paraît sensiblement plus étroite (sa chaussée ne dépasse *a priori* pas 4 m de largeur).

3.2.2.3.4 – Au sud et au sud-est de Braillans et en forêt de Thise : tronçons n° 5 et n° 6 (figure 179)

Au nord-est du tronçon n° 4 (figure 179, vers Braillans), les tracés antique et tardo-médiéval (tracé jaune, tracé rouge) disparaissent sous la RD 486⁴⁰⁰. Sur une distance d'environ 200 m, les anciennes voies passaient probablement au même endroit que la route actuelle.

Ensuite, le cheminement de la route tardo-médiévale reste à confirmer⁴⁰¹ ; les données LiDAR et le plan de 1720-21 semblent indiquer qu'elle était légèrement plus à l'ouest que la RD 486⁴⁰² (figure 186), passant juste devant un bâtiment actuel situé au sud de Braillans, une ferme isolée qui figure déjà sur la carte de Cassini au milieu du 18^{ème} siècle (figure 187-a). Cette route continuait peut-être ensuite vers le nord-est, approximativement là où passe la rue actuelle la plus méridionale de Braillans, déjà représentée en 1809 sur le plan cadastral napoléonien (figure 187-b). Ceci expliquerait l'existence de cette rue, qui ne dessert aucun espace particulier sur le cadastre ancien, et dont on peut supposer qu'elle est le vestige à peine remodelé d'une portion de la voie tardo-médiévale, déclassée après la mise en place du « Chemin du Roi ».

Au voisinage de Braillans, le tracé de la voie romaine est distinct de celui de la route tardo-médiévale : le tronçon antique (n° 5 sur les figures 179 et 185) est situé au sud-est de la RD 486. Il se confond au sud-ouest avec la RD 486 et se connecte au nord-est à une autre voie antique venant du sud (n° 6 sur la figure 179). Longue d'environ 2,5 km,

⁴⁰⁰ La route actuelle reprend ici le tracé de la voie du 18^{ème} siècle (« Chemin du Roi »).

⁴⁰¹ Le tronçon de voie envisagé et détecté sur le relevé LiDAR est situé sur un terrain privé, et aucune prospection au sol n'y a été menée pour venir confirmer sa réalité.

⁴⁰² La géométrie du plan de 1720-21 est peu fiable pour la zone située au nord-est de la forêt de Chailluz (Braillans, côte de Vieilley), c'est pourquoi les indications données pour le tracé de la « route de Monbozon » au voisinage de Braillans sont à considérer avec réserve.

cette voie n° 6 traverse tout le plateau surplombant l'actuel village de Thise (plateau karstique occupé par l'actuel « bois du Coutelot »).

Le tronçon n° 5 est composé de deux segments rectilignes d'environ 200 m et 300 m de longueur chacun. Ils sont raccordés suivant une inflexion dont l'angle avoisine 145°, à l'endroit où la voie passe entre deux dolines (en jaune sur la figure 186-a). A l'instar des segments précédents, cette portion de voie est datable de la période romaine par du mobilier découvert en prospection (entre autres, par la fibule présentée sur la figure 181). Sur le terrain, elle est facilement repérable au sud-ouest de la doline, avant l'inflexion, où le vestige bien visible de sa chaussée empierrée forme un long amas caillouteux. Entre les deux dolines, là où affleure un lapiaz, elle n'est pas repérable à l'œil nu sur une distance de 30 à 40 m, alors qu'elle est pourtant détectable sur le modèle LiDAR (figure 186-a). Après ce passage, elle est à nouveau bien visible, dessinant sur une longueur de 150 m un replat large de 5 m environ. La chaussée est enfouie sous 20 cm de terre limono-argileuse. Sur ses cent derniers mètres, on la repère seulement par intermittence, la zone étant perturbée par des chemins récents. Elle aboutit ensuite sur un carrefour en patte d'oie, où elle se raccorde à l'autre voie antique (tronçon n° 6) suivant un angle qui, mesuré au sud, vaut sensiblement 60°.

Après la patte d'oie, le segment routier résultant de la fusion des tronçons n° 5 et n° 6 se dirige vers le nord (voir figure 179). On peut le suivre sur une centaine de mètres en direction de Braillans, où il forme un large bombement rectiligne aisément repérable sur le terrain (l'empièrrement apparaît rapidement sous la couche de terre végétale). La voie, finalement, disparaît en se rapprochant de la RD 486.

De l'autre côté de la patte d'oie, le tronçon n° 6 se situe d'abord, sur une centaine de mètres, dans le prolongement en ligne droite, vers le sud, du tronçon commun précédent. Il traverse un terrain pentu et accidenté : partout dans la pente, sur une zone d'environ 100 m x 100 m, un lapiaz affleure. Ici, la chaussée n'est pas repérable au sol, mais la trace de la voie apparaît bien sur le modèle LiDAR, longue bande légèrement en creux large d'une quinzaine de mètres, preuve de son existence⁴⁰³. Le tronçon n° 6 dessine ensuite un très large virage en forme d'arc de cercle régulier le long duquel la chaussée empierrée, vue en prospection, est globalement bien conservée. Ce virage long d'environ

⁴⁰³ Les nombreux clous de *caligae* découverts dans les anfractuosités du lapiaz, précisément à l'emplacement du tracé visible sur le relevé LiDAR, signalent bien que cet endroit était au moins emprunté par des piétons à l'époque romaine.

550 m réoriente la voie en direction du sud-ouest. Dans le tournant, le terrain a été excavé à l'est de la chaussée sur une bande régulière large de 10 m environ. Cette bande excavée avait probablement pour fonction de prévenir un éventuel embourbement de la route : ici, le terrain argileux et assez épais surplombe nettement la chaussée du côté est, configuration certainement propice à un phénomène de colluvionnement. La voie continue ensuite son cheminement par un segment complètement rectiligne sur plus de 600 m, puis, sur un peu plus d'un kilomètre, par un tracé très légèrement courbe qui évite des dolines. Sur le segment rectiligne, la chaussée empierrée large d'environ 4 m est surélevée de plusieurs dizaines de centimètres. Elle apparaît bien conservée, à peine enfouie sous une fine couche d'humus. Deux fossés larges de quelques mètres chacun la bordent ; ils sont détectables sur le modèle LiDAR et on les reconnaît également sur le terrain par la légère dépression qu'ils forment dans le relief. Sur les 600 m suivants, la voie est conservée en partie seulement, partiellement détruite par des chemins forestiers qui la recourent. Au bout du plateau, elle descend dans un creux entre deux collines en empruntant un thalweg très pentu long de 200 m. Ici, la voie est creusée à même la roche. Sur ces 200 derniers mètres qui débouchent sur les hauteurs de l'actuel village de Thise, la voie a été agrémentée de deux ornières parallèles creusées dans le calcaire (aperçu photographique sur la planche LI-d). Elles sont distantes d'environ 1,10 m à l'entraxe ; les ornières ont une forme en U assez évasé et mesurent, approximativement, au plus 10 cm de largeur et 8 cm de profondeur⁴⁰⁴.

La datation antique de ce tronçon n° 6 a été attribuée par la découverte de mobilier d'époque romaine en plusieurs endroits (*cf.* figure 180 pour la localisation des zones prospectées) : près de 40 clous de *caligae** et plusieurs monnaies du Haut-Empire, notamment (*cf.* Daval, Fruchart, 2012, p. 133-167). Son utilisation au cours du Moyen Âge est probable (quelques fers à cheval et clous de maréchalerie ont été trouvés), mais reste quand même à confirmer par de nouvelles investigations sur le terrain : sur les zones prospectées, le mobilier médiéval est rare par rapport au nombre d'artefacts antiques⁴⁰⁵. C'est pourquoi il est possible que son usage pendant le Moyen Âge ait seulement été occasionnel.

⁴⁰⁴ Les dimensions données ici sont indicatives et correspondent à des mesures effectuées avec un simple mètre au cours des prospections. Le relevé métrique précis de cette portion de voie à ornières reste à faire.

⁴⁰⁵ A titre comparatif, la situation est inverse pour la voie qui longe la forêt de Chailluz, où le mobilier médiéval est plus abondant que les artefacts antiques.

3.2.2.3.5 – Remarques sur la topographie des tronçons n° 4, 5 et 6

L'examen, à partir des données LiDAR, de la topographie globale des tronçons n° 4, 5 et 6 permet de faire quelques hypothèses sur la fonction passée de ces segments viaires et sur la façon dont ils ont été aménagés.

D'un point de vue planimétrique, les tronçons n° 5 et 6 présentent une cohérence géométrique indiquant que ce sont peut-être des aménagements contemporains, ou au moins, réalisés à partir d'un plan commun. En effet :

La partie courbe du tronçon n° 6 épouse le périmètre d'un cercle d'un diamètre avoisinant 710 m⁴⁰⁶ (cf. cercle en pointillés noirs sur la planche LI-c). Le centre de ce cercle se trouve au milieu d'une des nombreuses dolines du Bois du Coutelot. Le tronçon n° 5 se situe à l'opposé du cercle par rapport au tronçon n° 6. En prolongeant le segment rectiligne sud-ouest du tronçon n° 5 (celui qui disparaît sous la RD 486 : trait pointillé noir n° 1 sur la planche), on constate que son axe est tangent au cercle, approximativement là où la voie antique disparaît sous la RD 486.

On trace ensuite le diamètre du cercle perpendiculaire à cette tangente* (trait pointillé rouge). Il aboutit à l'opposé du point tangent à l'endroit où s'amorce précisément la partie curviligne du tronçon n° 6 - chaussée et bande de terrain excavée large de 10 m sur son côté est. En ce même point, on trace une nouvelle tangente (trait pointillé noir n° 2), parallèle à la tangente n° 1. L'axe de la tangente n° 2 coïncide avec la partie rectiligne du tronçon n° 6 située dans le prolongement sud du virage. Plus au sud-ouest, le tracé s'écarte de cette ligne droite pour éviter deux dolines qui font obstacle. Au débouché de la voie, en contrebas du plateau, le point B se situe lui aussi sur la tangente n° 2.

Ces coïncidences géométriques pourraient témoigner des techniques d'arpentage mises en œuvre pour dessiner sur le terrain les tracés des tronçons n° 5 et n° 6, qui ont peut-être été réalisés au même moment. Celle-ci pourrait remonter aux premières décennies de

⁴⁰⁶ L'évaluation de cette dimension est tributaire de la précision maximale qu'on peut obtenir en appréciant ce diamètre à partir du modèle numérique observé sur SIG et avec les outils vectoriels de mesurage disponibles. Le diamètre de l'arc de la chaussée correspond ainsi à un cercle d'un diamètre compris entre 707 m au moins et 711 m au plus. Ce diamètre, dont la longueur est voisine de 20 *actus*, a été considéré comme un indice supplémentaire que les tronçons n° 5 et 6 ont été aménagés à la période romaine.

l'occupation romaine, si on se fonde sur la datation tardo-républicaine de la petite quarantaine de clous de *caligae* découverts sur les parties prospectées du tronçon n° 6⁴⁰⁷.

La configuration du carrefour en patte d'oie entre les tronçons n° 5 et n° 6 (fusion des deux segments suivant un angle proche de 60°) indique que ces deux voies – celle qui longe la forêt de Chailluz et celle qui traverse la forêt de Thise – sont probablement deux variantes, ou deux voies secondaires, d'un même axe de circulation qui provient de Besançon (ou de sa proche périphérie) et se dirige vers le nord-est. En effet, l'angle du carrefour en patte d'oie est tel qu'il est improbable qu'il a été aménagé pour assurer une communication entre le tronçon n° 5 et le tronçon n° 6. Celle-ci est évidemment possible, mais le virage assurant cette communication est très inconfortable : l'angle entre les deux voies est trop fermé. Comme rien sur le terrain ne fait obstacle à la réalisation d'un carrefour à angle droit, on en a déduit que le choix d'un angle de 60° a été intentionnel, et que, par conséquent, ce carrefour n'a pas eu pour objectif la communication entre les tronçons n° 5 et 6 ; il assurait la réunion des tronçons n° 5 et 6 en une seule voie se dirigeant vers le nord-est. Ou encore, si on considère le trajet dans l'autre sens, il permettait de distribuer sur deux voies séparées le trafic venant depuis une unique voie du nord-est en direction de Besançon.

L'angle de 60° observé au carrefour est celui qui offre un confort optimal pour bifurquer du segment commun vers le tronçon n° 5 ou n° 6, et réciproquement. Le tronçon n° 6 est même avantage, puisque son cheminement est complètement rectiligne au niveau de la patte d'oie, alors que le tronçon n° 5 doit décrire un virage.

Pourquoi avoir réalisé ces variantes ?

On a vu dans les pages précédentes que le profil de la voie antique qui longe la forêt de Chailluz (tronçons n° 1 à 5) offre des pentes modérées. Elle comporte des virages, sans toutefois être exagérément sinueuse. Ces caractéristiques évoquent une route adaptée au transport de charges, même lourdes (mais d'un volume raisonnable : la chaussée n'est pas très large). En rappel, le profil de cette route pour la partie relative aux tronçons n° 4 et 5 est figuré en pointillés noirs sur la planche LI-b.

Le tronçon n° 6 (profil en jaune sur la planche LI-b) présente en revanche deux forts dénivelés : le premier, une pente marquée longue de plusieurs centaines de mètres, traverse

⁴⁰⁷ Pour la datation des clous de *caligae* : Demierre *et al.*, à paraître ; Martin-Kilcher, 2011 ; Reddé, Von Schnürbein, 2001 (vol. 2).

le lapiaz au sud du carrefour en patte d'oie (non loin du point A figuré sur la planche LI). Le deuxième, du côté opposé (point B), est un raidillon d'une bonne centaine de mètres au passage de la portion de voie à ornières. Le tronçon n° 6, avec ses pentes raides, est manifestement moins adapté au transport de charges lourdes. Sa topographie – un long segment bien droit assorti d'un large virage – fait en revanche penser à une voie rapide. Le trajet ne semble cependant pas plus court, en distance, par rapport à celui qu'offre la route qui longe la forêt de Chailluz ; mais comme on ignore où ces voies se poursuivaient exactement vers le sud-ouest, la comparaison de leurs longueurs respectives est un critère trop aléatoire pour être retenu ici.

Ces deux variantes pourraient avoir été réalisées pour répondre à des usages distincts : une route pour le transport de charges, et une autre pour le transport rapide. Les nombreux clous de *caligae* découverts sur le tronçon n° 6 ainsi que la géométrie particulière de ce tracé évoquent une possible voie postale (cf. Van Tilburg, 2007, sur les voies postales antiques), ce qui expliquerait l'existence de deux routes.

3.2.2.5.6 – Synthèse des résultats relatifs au faisceau de voies dessinant l'axe de circulation Besançon – Marchaux (actuelle RD 486).

En conclusion des observations sur l'axe de voirie bordant la partie sud-est de la forêt de Chailluz, voici une proposition, en synthèse, de l'évolution du faisceau de voies :

On suppose qu'une partie du tracé de la voie antique le long de la forêt de Chailluz existait déjà à la fin de l'âge du Fer (tronçons n° 3 et 4 sur la figure 179⁴⁰⁸). Cette hypothèse découle de la découverte, en plusieurs endroits, d'artefacts épars attribués à cette période non loin de la voie, et même, ponctuellement, sur sa chaussée (non loin de la voie en deux endroits distincts vers le tronçon n° 4 et sur la voie pour le tronçon n° 3)⁴⁰⁹. Ce tracé,

⁴⁰⁸ Pour les tronçons n° 1 et 2, il faudrait poursuivre les investigations sur le terrain afin de préciser leur datation.

⁴⁰⁹ Cf. Daval, Fruchart, 2012, p.124-132 ; Daval, Fruchart, 2011 p.93-108 et fiche SRA établie par J.C. Mottaz en 2005 (anneaux en bronze laténiens et potin séquane découverts à proximité du tronçon n° 4).

globalement orienté sud-ouest / nord-est, passait certainement à proximité du centre urbain de Besançon⁴¹⁰, ou se rendait peut-être dans la boucle elle-même.

Dans les décennies qui ont suivi l'occupation romaine, le tronçon n° 6 – peut-être une voie postale - a été réalisé et, à cette occasion, le tracé préexistant (tronçons n° 3 et 4) a été rectifié vers l'actuel village de Braillans, pour créer le tronçon n° 5 qui aboutit sur le carrefour en patte d'oie. Les deux voies, parallèles sur près de 2 km et distantes d'environ 700 m, sont sans doute destinées à des usages différents : une voie adaptée au transport de charges et une voie rapide. Leur largeur modérée (4 m environ) indique qu'il s'agit vraisemblablement de voies secondaires.

On ignore quand le tronçon n° 6 cesse d'être utilisé (pendant l'Antiquité ? Au cours du Moyen Âge ?). La route qui longe la forêt de Chailluz continue en revanche à être empruntée en conservant le même tracé jusqu'à une période avancée du Moyen Âge – *a priori* jusqu'au 14^{ème} siècle.

A la fin du Moyen Âge, cette route est trop étroite et sa chaussée doit être élargie. De nouveaux segments sont alors réalisés en adoptant un autre tracé dans les zones où l'élargissement de la voie antique était trop complexe, ou trop coûteux, à mettre en œuvre (segments antiques aménagés à flanc de colline). La nécessité d'augmenter le gabarit de la voie peut avoir eu plusieurs raisons :

Une augmentation du trafic ou des charges transportées a pu nécessiter l'élargissement de la voie, notamment pour faciliter le croisement de chariots. Cette explication ferait écho à des données sur l'histoire économique de Besançon : la ville connaît un développement notable de ses activités commerciales à partir de la fin du 14^{ème} siècle (*cf.* Fohlen, 1981, p. 471-489).

Une mutation des moyens de transport peut aussi expliquer la chaussée plus large : si on considère uniquement les transports par voie terrestre, une généralisation des attelages à plusieurs bovins de front, par exemple, à la place du transport à dos de mulet, justifierait l'élargissement de la chaussée pour permettre le croisement des attelages. D'autre part, si on considère le transport de charges ou marchandises dans sa globalité, le développement du flottage de bois sur le Doubs (le port au bois de Rivotte existe déjà au début du 15^{ème}

⁴¹⁰ L'antique Vesontio est déjà un centre urbain à la fin de l'âge du Fer, qualifiée par César de « oppidum maximum Sequanorum », soit la capitale des Séquanes (César, *De Bello Gallico*, [I, 38]).

siècle) a pu restreindre ou empêcher le transport des charges lourdes ou volumineuses par voie d'eau, nécessitant la mise en place d'une voie terrestre au gabarit adapté.

Ce nouveau tracé sinueux avec des dénivelés assez marqués est en usage à partir de la fin du Moyen Âge et pendant une bonne partie de la période moderne. Après 3 à 4 siècles, au début du 18^{ème} siècle, une nouvelle voie est réalisée (« Chemin du Roi ») ; il s'agit probablement là d'une action qui s'inscrit dans le mouvement historiquement bien connu d'aménagement - ou de réaménagement - du territoire mené à l'échelle de la France, et notamment celui du réseau routier confié aux ingénieurs des Ponts et Chaussées, dont le corps a été créé en 1716 (*cf.* Arbellot, 1973 ; Petot, 1958, par exemple). Les raisons qui ont motivé la mise en place de ce nouveau tracé, aménagé légèrement au sud-est de la voie tardo-médiévale et moderne restent à préciser. Cette nouvelle route, qui a été construite dans le deuxième quart du 18^{ème} siècle, était composée de longs segments bien rectilignes ; mais elle comportait plusieurs longues pentes très marquées, ce qui a certainement rebuté nombre d'usagers, de sorte que, à peine un siècle plus tard, on envisageait déjà la création d'une nouvelle route pour rectifier les « nombreux mauvais pas » de la voie existante, notamment pour « augmenter son intérêt et son importance. » (Laurens, 1851, p. 334).

Cette nouvelle route, qui correspond presque complètement à l'actuelle RD 486, a été réalisée au milieu du 19^{ème} siècle. Depuis sa mise en place, quelques rectifications mineures ont été apportées afin de rendre son tracé encore plus rectiligne. Après avoir été pendant quelques décennies du 20^{ème} siècle une route nationale, elle a été déclassée en route départementale et a rejoint le réseau des routes secondaires sensiblement au même moment que celui de la construction de l'autoroute A36, quelques kilomètres plus au nord.

3.3

Résultats des prospections et interprétation des données : exploitation des ressources naturelles (charbonnières, fours à chaux et carrières).

3.3.1 - Les plateformes de charbonnier : un témoignage de l'utilisation passée du bois – énergie.

3.3.1.1 – Remarques générales

La fabrication de charbon de bois sur des plateformes - espaces plans circulaires de quelques mètres de diamètre - est attestée par des découvertes archéologiques dès le premier Moyen Âge ; son usage est encore répandu au 19^{ème} siècle (Malepeyre, 1836 ; Bouchey, 1969 ; Bonhôte, Vernet, 1988 ; Izard, 1999 ; Davasse, 2000 ; Allée *et al.*, 2010), et même jusqu'au début du 20^{ème} siècle dans certaines régions de France (en Corse, notamment). A la fin du 19^{ème} siècle, l'usage de la plateforme a été remplacé par celui d'un équipement mobile : le four à carboniser, sorte de grosse cuve métallique fermée de 2 à 3 m de diamètre (voir figure 188-a)⁴¹¹.

Les usages du charbon de bois étaient divers et, pour cette raison, les essences employées pour sa fabrication variaient en fonction de sa destination (*cf.* pages consacrées au charbon de bois dans la première partie) : bois durs pour servir de combustible pour la métallurgie, bois légers pour la poudre à canon, essences spécifiques pour la fabrication d'ustensiles de dessin, par exemple. Le charbon de bois a aussi été utilisé dans les gazogènes pendant la Deuxième Guerre mondiale, ou comme agent de filtration et de conservation. Sa destination principale a sans aucun doute été la métallurgie du fer : jusqu'au début du 19^{ème} siècle, il était l'unique combustible, utilisé en quantités industrielles dans les hauts-fourneaux, pour la fonte du minerai de fer. A partir du deuxième quart du 19^{ème} siècle, pour des raisons économiques et en l'espace de quelques décennies, l'usage du charbon de bois a été quasiment abandonné sur l'ensemble du territoire français au profit du charbon minier, moins coûteux (le charbon minier était exploité au Royaume - Uni dès la fin du 17^{ème} siècle ; *cf.* Nef, 1964, par exemple).

D'un point de vue archéologique, les forêts ont conservé les traces de la production de ce combustible et, grâce au LiDAR, les vestiges de plateformes de charbonniers, témoins de

⁴¹¹ Un ouvrage réalisé par la FAO en 1983-84 (FAO, 1984) et accessible sur internet (<http://www.fao.org/docrep/x5328f/x5328f00.htm>, lien valide au 1^{er} juin 2014) donne un aperçu des techniques et des équipements utilisés pour la production de charbon de bois dans le monde aujourd'hui.

l'ampleur de l'utilisation passée de cette source d'énergie, peuvent être détectés. On est ainsi en mesure de dénombrer les plateformes dans les forêts actuelles, d'évaluer leur fréquence et leur distribution spatiale ; des datations radiocarbone permettent de cerner leurs périodes d'utilisation.

La mise en perspective des quelque mille plateformes de charbonniers observées sur le massif de Chailluz avec des données historiques ou environnementales - notamment avec les travaux historiques publiés sur l'utilisation et l'exploitation passées des forêts autour de Besançon (Muller, 1999 ; Vion-Delphin, 1987, 1991, en particulier) - amène quelques questions.

Les plateformes de Chailluz résultent-elles d'un usage habituel, pratiqué sur une longue durée qui dépasse peut-être le millénaire ou, au contraire, s'agit-il d'une exploitation intensive et de courte durée de la ressource en bois ? Témoignent-elles ainsi du développement de l'industrie métallurgique à partir du 18^{ème} siècle, ou sont-elles les vestiges d'usages pluriséculaires ?

D'un point de vue historique, avec quelles sources, quels textes d'archive, ou autres, peut-on mettre ces entités en corrélation ? Pour la zone d'étude de Chailluz, les recherches historiques sur l'approvisionnement en bois de Besançon au 18^{ème} siècle (Vion-Delphin, 1991) établissent que, tout au long de ce siècle, les dirigeants bisontins ont empêché l'installation de hauts-fourneaux sur le territoire bisontin pour éviter une forte augmentation du prix du bois (les forêts de 244 communes, représentant une surface d'environ 36 000 ha, fournissaient annuellement le bois de chauffage de Besançon au milieu du 18^{ème} siècle). Le millier de plateformes observé témoigne-t-il uniquement de l'exploitation liée au bois de chauffage ? Ou rend-il également compte d'un autre type d'exploitation, avec une abondante production de charbon de bois, et si tel est le cas, pour quel usage ?

Toujours d'un point de vue historique et en référence à des recherches sur les relations entre les moines et la métallurgie au Moyen Âge (Benoit, Cailleaux, 1991), on peut s'interroger sur l'importance de la forêt comme source de combustible pour des établissements monastiques au cours du Moyen Âge. Dans cette perspective, la proximité d'un vaste massif forestier a-t-elle pu être un facteur d'attraction dans le choix d'implantation de certains établissements, non pas pour une conversion en terres agricoles, mais pour la ressource en bois elle-même ?

Cette question mérite d'être considérée sachant que la capitale comtoise est le siège de l'archidiocèse de Besançon dès la fin de l'Antiquité et durant le Moyen Âge⁴¹². De ce fait, Besançon comptait au cours du second Moyen Âge de nombreux établissements religieux⁴¹³, représentant la plupart des ordres, sur son territoire ou à proximité (cf. Fiétier, 1978 ; de Vrégille, 1981 ; Fohlen, 1981, notamment). Dans ces conditions, on peut se demander si l'accès aux ressources du massif de Chailluz a pu être un facteur d'attraction dans l'implantation de certains établissements, par exemple celle des granges de Braillans et, non loin, celle de Champoux par les moines cisterciens de l'abbaye de Bellevaux, dont on sait par des recherches d'historiens qu'ils ont exercé une activité métallurgique au Moyen Âge (Chauvin, 1991). En écho à ces questions, voici quelques lignes extraites de la publication *Moines et métallurgie dans la France médiévale* (Benoit, Cailleaux, 1991) : « *Doit-on remplacer le mythe du moine défricheur par celui du moine forgeron? (...) Bertrand Gille posait qu'à partir de 1140, environ, les moines, et plus particulièrement les cisterciens, avaient développé une sidérurgie d'un type particulier. (...) La production monastique aurait dominé la sidérurgie jusqu'à la crise du milieu du XIV^e siècle.* »

Enfin, d'un point de vue environnemental, selon le type d'exploitation considéré, plus ou moins durable ou plus ou moins intense, on peut se demander quel impact cela a eu sur la production de charbon de bois au cours des derniers siècles sur l'écosystème forestier. Cela a-t-il eu une influence durable sur les peuplements forestiers (variété et santé des espèces représentées, potentialité* des parcelles, considérée sur une longue durée, par exemple⁴¹⁴) ? Cette production a-t-elle entraîné une modification de la composition chimique des sols ? A une échelle beaucoup plus large, la production de charbon de bois a-t-elle eu des conséquences climatiques⁴¹⁵ ? La mise en évidence par l'archéologie des

⁴¹² Besançon est probablement un siège épiscopal dès le 4^{ème} siècle de n. è. (Griffé, 1947 ; Moysse, 1973 ; Fohlen, 1981). Pour les questions relatives à l'histoire religieuse de Besançon au Moyen Âge, on peut se reporter aux thèses de B. de Vrégille (de Vrégille, 1976) et de R. Fiétier (Fiétier, 1978) et également pour le premier Moyen Âge à un ouvrage de G. Moysse (Moysse, 1973).

⁴¹³ En ce qui concerne les relations entre Besançon et les moines cisterciens, on peut citer B. de Vrégille : « Le nom de Cluny fut dès les origines de la célèbre abbaye lié à l'histoire religieuse de Besançon. (...) Le fondateur de l'abbaye et ses premiers moines (...) étaient venus (...) du diocèse de Besançon, et les archevêques de ce diocèse étaient traditionnellement invités à bénir les nouveaux abbés. » (de Vrégille, 1981, p. 29).

⁴¹⁴ Sur la question de la potentialité, on peut par exemple se reporter à Simon, 1999 (article consultable sur internet : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1999_num_108_609_2072 lien valide au 1er juin 2014).

⁴¹⁵ Une récente étude (Painter *et al*, 2013) a montré que l'exploitation à échelle industrielle du charbon minier à partir du milieu du 19^{ème} siècle a pu provoquer en Europe un réchauffement sensible des températures en favorisant le retrait des glaciers alpins par le dépôt à leur surface d'une couche de particules volatiles de couleur sombre, issues de la combustion du charbon minier. Ce dépôt a empêché la réflexion des rayons solaires normalement occasionnée par la blancheur de la glace, et a au contraire entraîné un réchauffement

plateformes de charbonnier conservées dans les forêts actuelles peut-elle contribuer à l'évaluation de cet éventuel impact ? Toujours à large échelle, dans quelle mesure la production de charbon de bois a-t-elle pu modeler, ou modifier, la couverture forestière d'une région entière ?

3.3.1.2 – La plateforme de charbonnier : un microrelief facilement identifiable à partir de données LiDAR.

Les plateformes de charbonniers du massif de Chailluz se présentent toutes sous la forme d'aménagements bien plans, circulaires ou légèrement ovalaires, de 6 à 12 mètres de diamètre. Ce type de place à charbon semble être celui qu'on rencontre le plus communément dans les forêts documentées par un relevé LiDAR⁴¹⁶. La figure 189 montre quelques exemples de groupes de structures du même type observés sur des relevés LiDAR provenant de différents pays. Ce modèle de charbonnière n'est cependant pas unique : il existe par exemple des plateformes de dimensions nettement supérieures (entités de plusieurs dizaines de mètres de diamètre, connues par exemple en Norvège), ou encore des charbonnières circulaires de quelques mètres de diamètre dont la périphérie est bordée par un bourrelet (observées notamment en Poitou-Charentes)⁴¹⁷. On sait également que le charbon de bois peut se fabriquer dans des fosses (Mangin, 2004) ; ce type d'entité, qui est indétectable à partir du relevé LiDAR, ne peut être pris en compte ici.

En prospection sur le massif de Chailluz, on reconnaît les charbonnières par le substrat très noir, bien caractéristique, qui affleure à la surface du sol et dans lequel on observe généralement des fragments de charbon de bois, présents en concentrations variables

des glaciers provoquant leur retrait (voir <http://www.pnas.org/content/110/38/15216.full>, lien vers l'article valide au 1^{er} juin 2014). Mis en perspective avec ces observations, peut-on établir, sur la base d'une enquête archéologique et historique, l'impact éventuel de la production de charbon de bois sur le climat au cours des décennies ou des siècles précédents ?

⁴¹⁶ C'est ce que montre, *a priori*, la comparaison de la « signature LiDAR » des charbonnières du massif de Chailluz (ainsi que les observations faites sur le terrain) avec les données (souvent non publiées actuellement) dont disposent les archéologues dans d'autres régions françaises ou ailleurs en Europe (Allemagne, Belgique, Norvège, Royaume-Uni, notamment).

⁴¹⁷ Information Graziella Rassat – UMR 6042 GEOLAB.

(figure 188-b)⁴¹⁸. Les plateformes de charbonniers se repèrent facilement sur les sols en pente grâce aux terrassements, parfois assis sur un empierrement, réalisés afin d'obtenir le disque plan du diamètre approprié à la mise en place de la meule à carboniser (*cf.* cliché d'une charbonnière dans une pente sur la figure 74).

Les charbonnières du massif de Chailluz sont des entités dont la morphologie observée à partir des données LiDAR est caractéristique ; on peut difficilement les confondre avec un microrelief d'une autre origine, anthropique ou naturelle. Aucune confusion n'est par exemple possible avec les marques occasionnées par un chablis, microrelief qui, observé sur le terrain, semble être la forme la plus voisine de celle d'une place à charbon. La charbonnière est un disque plat ; le chablis forme en revanche un léger cratère et ses contours sont irréguliers. Le diamètre d'une charbonnière vaut au moins 6 m ; celui d'un chablis est plutôt de l'ordre de 2 à 3 m. La planche LII donne un aperçu comparatif de ces deux types de microreliefs vus par LiDAR.

3.3.1.3 – Datations radiocarbone : choix de l'emplacement des structures à dater et indications sur la méthodologie mise en œuvre pour la datation.

25 datations radiocarbone ont été effectuées à partir d'échantillons de charbon de bois prélevés sur des plateformes de charbonnier du massif de Chailluz (figure 190). Etant donné le nombre total de structures détectées sur la zone d'étude (plus de 1000 entités), les résultats obtenus renseignent ponctuellement sur la période d'utilisation de ces entités, et sont juste susceptibles d'indiquer une tendance éventuelle. Les individus datés sont, à l'heure actuelle, en effectif très insuffisant pour former un échantillon représentatif de l'ensemble des charbonnières du massif.

Les prélèvements ont été effectués sur des structures implantées dans la partie nord du massif, sur les pentes du bois en côte. Cette zone a été choisie pour sa relative uniformité topographique, qui permet de considérer que les charbonnières prélevées ne présentent pas

⁴¹⁸ En illustration, on peut se reporter à <http://www.highweald.org/look-after/archaeology/woodland-archaeology/1862-identifying-charcoal-hearths.html> (lien valide au 1er juin 2014 ; vidéo d'une durée de 2' exposant en anglais les caractéristiques d'une plateforme de charbonnier).

de différences fondamentales du point de vue de leur détectabilité, de leurs conditions de conservation et du contexte de leur mise en place : le relief est partout en pente et suit une orientation globalement constante, d'exposition sud-est. Cette zone est aussi celle où la concentration de plateformes est la plus grande sur une vaste étendue ; on a supposé qu'on avait là une plus forte probabilité de mettre en évidence une large fourchette de datations en cas de production de charbon sur une longue durée. On a ainsi fait l'hypothèse que cette zone était la plus favorable pour indiquer une tendance générale, fournir les premiers indices d'une activité de faible ampleur étalée dans le temps, ou plutôt d'une production intensive et ponctuelle⁴¹⁹.

Par ailleurs, les prélèvements ont été effectués pour que l'échantillon de plateformes daté soit constitué d'individus numériquement en rapport avec les densités de distribution spatiale observées. Celles-ci ont préalablement été exprimées en polygones de Thiessen* (figure 191). Ces derniers ont été calculés en prenant en compte l'ensemble des charbonnières détectées sur la moitié nord du relevé LiDAR de Besançon (donc au-delà de la zone d'étude), ce qui représente un effectif total d'environ 1500 individus (1000 individus seulement, environ, pour le massif de Chailluz). La surface totale considérée pour le calcul des polygones correspond aux zones sous couvert forestier. Les zones ouvertes ont donc été exclues du calcul ; néanmoins, le réseau routier qui traverse les zones boisées (A36, RD 486, en particulier) a été inclus dans la surface de calcul des polygones⁴²⁰.

Les polygones résultants représentent ainsi l'aire (théorique) allouée à chaque place à charbon. 45 % environ de l'effectif total (700 plateformes, polygones en rouge sombre sur la figure 191) disposent d'une surface inférieure à 1 ha ; 1/3 de l'effectif (500 individus) bénéficie d'une aire comprise entre 1 et 3 ha⁴²¹ ; 20 % seulement des plateformes disposent d'une surface de plus de 3 ha⁴²². Les 25 prélèvements ont été effectués en essayant de

⁴¹⁹ On peut considérer que la datation d'une centaine d'individus constituerait un échantillon statistiquement exploitable. La prochaine datation de 10 nouvelles charbonnières situées plus au sud dans la partie centrale de la forêt de Chailluz (groupe 2 sur la figure 91) permettra une première mise en perspective des fourchettes de datations obtenues à partir de la série présentée ici.

⁴²⁰ Ceci a probablement légèrement faussé l'estimation des surfaces des polygones situés au voisinage des voies, notamment à proximité de l'A36. Ce possible biais ne modifie cependant pas la tendance générale observée dans la distribution spatiale des entités.

⁴²¹ 350 plateformes environ (23% de l'effectif total) disposent d'une surface comprise entre 1 et 2 ha et 150 (10%) d'une surface comprise entre 2 et 3 ha.

⁴²² Cette distribution spatiale théorique ne tient évidemment pas compte de la durée d'utilisation des plateformes ; en l'absence d'indices de datation, on ne peut par conséquent tirer aucune conclusion solide sur la surface de bois potentiellement exploitée par charbonnière.

respecter cette distribution spatiale inégale : 4 plateformes (16 % des 25 individus datés) sont situées dans des polygones de plus de 3 ha. 4 autres entités sont dans des polygones occupant 1 à 3 ha. On a fait le choix de surreprésenter la catégorie des polygones de moins de 1 ha (17 individus, soit 2/3 des 25 individus datés, au lieu de 45 % pour le cas général)⁴²³, pour tenir compte d'un éventuel cumul de plateformes causé par des installations qui se seraient succédé dans le temps, ce qui aurait eu pour conséquence de réduire la surface initialement disponible par plateforme. Un phénomène de cumul sur la durée pourrait aussi expliquer l'irrégularité constatée dans la distribution spatiale des plateformes, et le fait qu'un grand nombre de charbonnières dispose seulement d'une aire de moins de 1 ha.

Les prélèvements ont été répartis de la manière suivante :

Trois groupes d'individus répartis sur la zone de prélèvement ont d'abord été déterminés. Un petit groupe de 3 charbonnières (CH1, CH2, CH4) est situé au sud-ouest du massif, à la limite entre le bois de la Lave et l'ancien quart de réserve de la forêt de Chailluz. Un deuxième groupe de 13 individus (CH8, CH16 à CH21, CH23 à CH28) occupe une position centrale dans le bois en côte, toujours dans le périmètre du quart de réserve. Les charbonnières prélevées dans ce groupe sont réparties sur une surface d'environ 1 km² et couvrent toute la côte, depuis la crête au nord jusqu'au plateau karstique au sud. Le troisième groupe est positionné à l'est de la zone d'étude. Composé de 5 individus (CH11 à CH15), il est situé sur le territoire de la commune de Mérey-Vieilley, dans une zone où la concentration de structures est particulièrement importante. Là, 25 plateformes sont inégalement réparties sur une surface d'environ 5 hectares ; elles ont des états de conservation avec de sensibles variations, et leurs diamètres diffèrent, ce qui a fait supposer qu'elles pourraient se rattacher à différentes périodes d'utilisation. Ces 5 plateformes appartiennent au groupe n° 3 de charbonnières décrit dans la partie 2 (figure 91, partie 2.2.2.2 : « Caractérisation de la distribution spatiale des entités sur la zone d'étude »)⁴²⁴. Les 4 derniers prélèvements (CH3, CH5, CH9, CH10) ont été effectués sur des structures réparties sur l'ensemble de la côte, plutôt vers le sommet, et situées dans des positions bien distinctes de celles des trois groupes précédents. Ces quelques entités ont été

⁴²³ Globalement, la proportion observée pour les 1500 charbonnières est respectée dans l'échantillon de 25 individus : 80 % de l'effectif dans des polygones de moins de 3 ha, 20 % dans des polygones de plus de 3 ha.

⁴²⁴ Ce groupe n° 3 a la singularité d'être à cheval sur plusieurs communes et présente une densité de charbonnières particulièrement forte.

choisies ponctuellement pour compléter l'information apportée par les trois groupes précédents.

On a constaté partout le même type de séquence stratigraphique. Dans la plupart des cas, une couche de terre bien noire et charbonneuse affleure dès la surface. Parfois, elle est recouverte d'une pellicule de terre humifère ou argilo-limoneuse (branchages décomposés, colluvion, par exemple). A chaque fois, la couche de terre noire charbonneuse observée, vestige de l'opération de carbonisation, est continue et épaisse de 20 à 30 cm. Aucune stratification qui témoignerait d'une succession d'unités stratigraphiques, et donc d'un réemploi de la charbonnière à des moments distincts, n'a été perçue au cours des prélèvements⁴²⁵. L'abondance et la fragmentation du charbon de bois varient selon les structures. Sous la strate charbonneuse, toutes les entités sondées sont composées d'un substrat argilo-limoneux dont la nature correspond sans ambiguïté au sol observable localement à l'extérieur de la plateforme, dans son voisinage direct. Ce substrat correspond manifestement au lit horizontal et sans aspérités aménagé préalablement par les charbonniers sur (et avec) le sol naturel pour une bonne assise de la meule à carboniser. Occasionnellement, dans des zones où le sol naturel est particulièrement peu épais, on a atteint en sondant la roche calcaire en place.

Dans tous les cas, il semble exclu que ces plateformes présentent plusieurs niveaux de terre charbonneuse qui témoigneraient d'utilisations successives des structures. Chaque entité sur laquelle un prélèvement a été réalisé renvoie bien à un usage unique. L'utilisation répétée et à différentes périodes de certaines plateformes ne peut être exclue, mais si tel est le cas, la technique employée ici pour la fabrication du charbon a été accompagnée d'un curage préalable du sol avant la mise en place de la meule de bois, effaçant les traces d'une utilisation antérieure.

Les échantillons ont tous été prélevés à la base de la couche charbonneuse, ce qui garantit – au cas (improbable) où une séquence stratigraphique n'aurait pas été détectée au cours du prélèvement – que le charbon de bois à dater provient bien de l'épisode de carbonisation le

⁴²⁵ Aucune charbonnière n'a cependant fait l'objet d'une véritable fouille. Les prélèvements, effectués par les archéologues en charge des prospections sur le terrain, ont consisté à sonder, si possible dans une position centrale sur la structure, une surface d'au plus 50 cm de diamètre sur une épaisseur suffisante pour atteindre le sol naturel sous la couche charbonneuse (en général, environ 30 cm).

plus ancien dont témoigne la plateforme. Les échantillons ont ensuite été conditionnés et préparés en respectant les « règles de l'art »⁴²⁶.

On a fait l'hypothèse, sur la base de la documentation technique historique consultée (Duhamel de Monceau, 1774 ; Malepeyre, 1836 ; Bouchey, 1969, Charnoz, 2004), que le charbon prélevé pour les datations provient essentiellement de bois jeune (tiges issues de cépées*, branches) plutôt que de fûts* âgés, ce qui pourrait fausser la datation du moment où a eu lieu la carbonisation, lié à l'âge de l'arbre⁴²⁷. En effet, l'utilisation de quartiers de fûts pour la fabrication du charbon de bois paraît improbable : la résistance mécanique du charbon issu de bois fendu est insuffisante (trop friable) pour un emploi en haut-fourneau, destination en principe majoritaire de ce produit. Le bois à carboniser idéal semble être, d'après la littérature technique, une tige bien droite (pour limiter les vides dans la meule) de 7 à 10 cm de diamètre provenant d'un bois à fort pouvoir calorifique (hêtre, chêne, charme, en particulier)⁴²⁸.

3.3.1.1 – Datations des plateformes : résultats obtenus et interprétation

Les datations radiocarbone ont été réalisées par un seul laboratoire (Poznan Radiocarbon Laboratory, Pologne), avec le même protocole (propre au laboratoire d'analyse) et au moyen du même spectromètre. Les datations ont été effectuées suivant le procédé AMS* (Accelerator Mass Spectrometry)⁴²⁹, qui fait appel à la technique de la spectrométrie de masse, méthode de mesure des rapports « masse sur charge » de molécules individuelles

⁴²⁶ Ces macrorestes n'ont pas nécessité de tri au microscope. Les échantillons ont été nettoyés à l'eau déminéralisée et séchés avant d'être pesés, conditionnés sous plastique et étiquetés avant enregistrement sur le site du laboratoire et envoi postal.

⁴²⁷ Dans le cas d'un arbre, l'âge radiocarbone qu'on mesure correspond à celui des cernes où le prélèvement a été effectué, et non à celui de la mort de l'arbre proprement dite. En effet, pour un arbre, le processus de désintégration du ¹⁴C débute dans les cernes dès la fin de leur formation. Par conséquent, une datation issue des cernes du cœur d'un arbre date le moment de l'abattage plus l'âge de l'arbre.

⁴²⁸ Merci à Jean-Claude Charnoz pour les explications techniques relatives à la fabrication du charbon de bois, données durant l'été 2011 à l'occasion d'une démonstration de carbonisation sur meule et en fourneau réalisée en forêt de Chaux (Jura). Merci également à Bernard Arnoult pour tout le temps qu'il a consacré à expliquer, commenter et illustrer les divers usages des arbres par les différents métiers du bois au cours des derniers siècles.

⁴²⁹ Pour une description détaillée des équipements et de la méthodologie utilisés, on peut consulter le site internet du laboratoire <http://radiocarbon.pl/> (lien valide au 1^{er} juin 2014). Le spectromètre de masse par accélération utilisé pour le comptage des isotopes* du carbone est 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 ¹⁴C/¹²C et ¹⁴C/¹³C, le spectromètre mesure simultanément les atomes de ¹²C, ¹³C et ¹⁴C produits par l'échantillon analysé.

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. La technique consiste d'abord, à partir de l'échantillon de matière à analyser, à séparer les molécules les unes des autres (passage à l'état gazeux) avant de les ioniser pour les charger électriquement. On mesure ensuite les rapports de masse moléculaire m/z (où m correspond à la masse d'une molécule et z à sa charge électrique). A l'aide d'un équipement appelé « analyseur », on effectue le tri des différents isotopes issus des molécules de l'échantillon (les isotopes d'un même élément chimique ont la particularité d'avoir des masses différentes ; dans le cas de la datation radiocarbone, on compte les isotopes du carbone ^{12}C , ^{13}C et ^{14}C). Il existe différents types d'analyseurs qui permettent d'obtenir un tri plus ou moins précis des isotopes. Dans tous les cas, les rapports isotopiques obtenus sont donnés avec une marge d'erreur qui influe directement sur les fourchettes de datation qui en découlent.

La datation radiocarbone (isotopes ^{14}C du carbone) mesure la radioactivité résiduelle présente dans un échantillon de matière organique. Le carbone est un élément chimique assimilé par les organismes vivants, qui le transforment par oxydation en CO_2 ; il cesse d'être absorbé à leur mort. Le taux de radiocarbone présent dans l'organisme au moment de la mort décroît ensuite régulièrement en suivant les règles de désintégration des éléments radioactifs (la période* ou demi-vie du ^{14}C est de 5730 ans +/- 40 ans : Godwin, 1962⁴³⁰). Le principe fondamental de la datation radiocarbone consiste à mesurer la différence entre la teneur en ^{14}C présente dans un échantillon aujourd'hui et celle que ce même échantillon avait au moment de sa formation (mort de l'organisme). On déduit à partir de la quantité de ^{14}C manquante le temps qui s'est écoulé pour permettre la désintégration des atomes radioactifs. On détermine ainsi une date T_i qui est exprimée en années écoulées depuis une date de référence 0 ; par convention, il s'agit de l'année 1950 – datation dite « non calibrée » et « Before Present » (BP). On intègre au résultat l'incertitude du mesurage du taux de ^{14}C présent dans l'échantillon analysé (mesure AMS). La datation non calibrée au moment (i) peut s'écrire de la manière suivante : date BP = $T_i \pm \delta T_i$ ou T_i est la date non calibrée calculée (année comptée à rebours depuis 1950) et δT_i est la marge d'erreur cumulée (exprimée en années) des incertitudes des mesurages successifs.

⁴³⁰ Mais par convention adoptée à l'échelle internationale, la période réellement utilisée pour la datation vaut 5568 +/- 30 ans ; il s'agit de la période qui avait été calculée en 1951 par Willard Libby, le premier scientifique à prouver l'existence du radiocarbone naturel en 1946.

Par ailleurs, on doit tenir compte, à partir de ce résultat, de la variabilité naturelle du taux de ^{14}C : en effet, la proportion de radiocarbone naturellement présent dans l'atmosphère n'obéit pas à une courbe linéaire et connaît de nettes variations au cours du temps (Taylor 1987 ; Reimer *et al.* 2013, par exemple – aperçu de ces variations sur la figure 192). C'est pourquoi le taux de radiocarbone mesuré dépend non seulement du temps écoulé depuis la mort de l'organisme, mais également de sa proportion dans l'atmosphère au même moment. La transcription en courbe de ces valeurs corrigées est représentée sur la figure 192 par une bande d'épaisseur variable (épaisseur des courbes en bleu). Cette épaisseur traduit le fait que ces valeurs corrigées sont des valeurs estimées et situées dans une fourchette temporelle.

La datation finale est ainsi nécessairement assortie d'une marge d'incertitude substantielle. La figure 192 donne un aperçu de la courbe de variation du taux de ^{14}C atmosphérique au cours des deux derniers millénaires. Sur cette figure, les dates en abscisse correspondent aux années calendaires (AD), et les dates en ordonnée représentent le nombre d'années écoulées par rapport à la date 0 de référence : l'année 1950 (BP). Les dates en abscisse sont indiquées en chronologie croissante (AD : de l'an 1 à l'an 1900) et les dates en ordonnée sont données en reculant dans le temps (BP : de 0 année avant 1950 à 2000 années avant 1950).

A cause de la variabilité de la courbe de variation du taux de radiocarbone atmosphérique, très éloignée d'une droite, les dates calibrées (calAD ou calBC) peuvent s'avérer sensiblement différentes de la date non calibrée (BP) initialement calculée à partir du mesurage du taux de ^{14}C dans un échantillon. Par conséquent, une unique date BP peut correspondre à plusieurs dates calibrées ; si on tient compte de la marge d'erreur qu'il convient d'affecter au taux de ^{14}C mesuré, on obtient souvent, pour une date BP = $T_i \pm \delta T_i$, plusieurs fourchettes de dates calibrées.

Les 25 datations radiocarbone de charbonnières du massif de Chailluz ont permis de déterminer pour chacune d'elles des séries de fourchettes de datations calibrées (calAD⁴³¹, dates en années calendaires). La figure 193 présente ces datations sous la forme d'un tableau récapitulatif. Pour chaque plateforme, la date BP non calibrée (colonne 3 du tableau) correspond à l'âge théorique qu'aurait l'échantillon si le taux de ^{14}C atmosphérique avait une valeur constante égale au taux de référence de l'année 1950, et les dates calibrées calAD (colonnes 4 et 5 du tableau) sont des valeurs corrigées, tenant compte des variations au cours

⁴³¹ CalAD se rapporte aux dates à partir du 1^{er} siècle de notre ère. Pour les dates à partir du 1^{er} siècle avant notre ère et antérieures, on note calBC.

du temps du taux de ^{14}C dans l'atmosphère. Les dates d'existence effective des plateformes sont comprises dans les intervalles temporels listés dans les colonnes 4 et 5, dans la limite des taux de probabilité (conventionnels) prédéterminés : écart type à 1σ (68,2 % de probabilité que la date soit comprise dans ces intervalles – colonne 5) ou à 2σ (95,4 % - colonne 4).

A partir des datations BP non calibrées $T_i \pm \delta T_i$ délivrées par le laboratoire de Poznan, on a calculé les intervalles de dates calibrées à 1σ et à 2σ ⁴³² 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 1^{er} juin 2014)). 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). Pour la période 1600-1950, les variations du taux de ^{14}C atmosphérique sont importantes, ce qui a pour conséquence d'allonger la durée des intervalles de datations.

Pour les 25 charbonnières analysées sur le massif de Chailluz, les dates calibrées calAD, calculés avec OxCal v. 4.2.3, sont présentées sur les figures 194 à 196 sous la forme de diagrammes récapitulatifs.

Par ailleurs, afin d'avoir un point de vue synthétique sur les dates calibrées de ces 25 charbonnières, on a réalisé un tableau présenté sur la planche LIII. Sur celui-ci, le graphique a (lignes en vert) donne les dates calibrées à 2σ et le graphique b (lignes en orange) les dates calibrées à 1σ . Par choix et sur la base des connaissances historiques attestées notamment par des documents d'archives consultés (*livrets journaliers pour les préposés des Eaux et Forêts* qui rendent compte des activités forestières sur le massif de Chailluz entre la dernière décennie du 19^{ème} siècle et la Deuxième Guerre mondiale⁴³³), on a exclu le 20^{ème} siècle des datations calibrées : on sait que dès la fin du 19^{ème} siècle, la production de charbon de bois est occasionnelle et réalisée dans des fours à carboniser (« fauldes ») et non sur des plateformes.

Sur les deux graphiques, des carrés bleus indiquent les possibles débuts de fourchettes de datation pour chaque charbonnière (TPQ*) et des carrés rouges les fins de fourchettes retenues (TAQ*). Les intervalles temporels indiqués en abscisse valent 5 ans ; en ordonnée, les charbonnières sont placées dans l'ordre de leur numérotation. D'autre part, on a indiqué en bas

⁴³² Ce sont les valeurs d'écart-types conventionnelles (68,2 % et 95,4 %) utilisées pour calculer la dispersion des résultats possibles (intervalles de dates) autour de la valeur mesurée (date BP).

⁴³³ Ces livrets, qui concernent le massif de Chailluz ainsi que d'autres forêts autour de Besançon ont été lus et numérisés. Malheureusement, il n'a pas été possible de les intégrer dans les recherches pour cette thèse, faute de temps.

de chaque graphique le nombre potentiel maximal de plateformes ayant pu coexister par tranche de 5 ans. Les différences de concentrations de structures sont également soulignées visuellement par des tons de violet clairs pour les valeurs faibles devenant de plus en plus foncés au fur et à mesure que le nombre de structures ayant potentiellement coexisté augmente (les nuances de violet sont reportées en haut des graphiques pour mettre en évidence les correspondances possibles de concentrations d'entités avec les tranches temporelles).

Plusieurs observations peuvent être déduites de ces graphiques.

On remarque que, sur les 25 charbonnières, une seule est antérieure à la deuxième moitié du 17^{ème} siècle. Cette entité CH 17, dont l'existence se situe entre le dernier quart du 15^{ème} siècle et le premier quart du 17^{ème} siècle, est implantée dans la partie est du groupe de 13 charbonnières ayant fait l'objet de prélèvements au centre du bois en côte (*cf.* figure 190). Toutes les autres structures sont datables dans une fourchette comprise entre le milieu du 17^{ème} siècle et la fin du 19^{ème} siècle. Ceci indique qu'on serait plutôt en présence d'une production intensive et ponctuelle que d'une activité de faible ampleur sur une durée pluriséculaire. Bien qu'on ne puisse attribuer à l'échantillon daté une valeur représentative, la modernité systématique, à une exception près, des entités datées peut difficilement être mise sur le compte du hasard, et indique plus vraisemblablement une production de charbon attribuable à la période moderne dans cette partie nord du massif de Chailluz.

La présence d'une structure franchement antérieure aux autres signale néanmoins la probabilité d'une succession d'implantation de plateformes à des périodes distinctes. Ceci pourrait indiquer que la plus forte concentration d'entités par hectare constatée dans cette zone du bois en côte (*cf.* notamment la distribution en polygones de Thiessen sur la figure 191) renvoie effectivement à une succession d'épisodes de production de charbon de bois. On pourrait avoir ici le cumul de deux phénomènes : une production (peut-être) intense de charbon de bois à la fin de la période moderne aurait succédé à une fabrication de moindre ampleur dont l'étalement dans le temps reste à déterminer.

Le tableau récapitulatif de la planche LIII apporte quelques informations sur la distribution des dates entre le 17^{ème} et le 19^{ème} siècle. Peu de structures sont éventuellement datables de la fin du 18^{ème} siècle : moins du tiers de l'effectif total à 2σ . Cela signale, par exemple, qu'une production intensive de charbon de bois sur le massif de Chailluz dans les décennies qui ont suivi la Révolution française est peu probable.

Par ailleurs, si on considère les données à 1σ , les répartitions d'intervalles de datations font apparaître qu'environ un tiers des structures datées est assurément antérieur au 19^{ème} siècle. Toujours à 1σ , toute la période 1730–1800 apparaît potentiellement bien moins active que l'ensemble du 19^{ème} siècle ou que la période 1680–1720.

Ainsi, les coupes extraordinaires du quart de réserve en 1738-39 et à la fin du 18^{ème} siècle (entre 1770 et 1784) n'ont probablement pas été des moments privilégiés de production de charbon de bois (on se souvient également que la production de charbon de bois a été interdite en forêt de Chailluz à partir de 1763 : Dianin, 1995).

Une importante production de charbon de bois au 19^{ème} siècle est possible ; elle reste à confirmer par des recherches historiques. Il apparaît néanmoins certain que ce siècle ne peut pas être la seule période de production de charbon de bois en forêt de Chailluz (*cf.* planche LIII : les *terminus ante quem* de plusieurs dates 14C se situent vers 1800, même à 2σ). La période 1680-1720 renvoie à moment historique bien particulier pour la forêt de Chailluz, et pour Besançon en général. On sait que, après avoir été assiégée par les troupes de Louis XIV, Besançon devient française en 1674. Parallèlement, l'ordonnance de Colbert publiée en 1669 redéfinit à l'échelle nationale la gestion des forêts françaises. Sa mise en application à Besançon est concrétisée, non sans mal, dans les premières décennies du 18^{ème} siècle (Dianin, 1995, notamment) : la délimitation de la forêt de Chailluz fait l'objet de discussions entre 1699 et 1738 (au moins quatre états successifs de délimitation et de parcellisation du massif de Chailluz sont connus, ce qui a probablement motivé la réalisation de plans forestiers qui se sont succédé à brève échéance : en 1699, 1704, 1720-21 et 1738-39). Il est possible qu'au cours de ces décennies, où le statut et la propriété de la forêt ont dû être incertains plus d'une fois, on ait assisté à une augmentation de la production de charbon de bois. Il faudrait, là encore, pour le confirmer, une étude historique complémentaire.

D'une manière générale, il reste beaucoup à faire pour comprendre l'organisation spatio-temporelle des plateformes de charbonniers du massif de Chailluz. Les datations réalisées ici apportent quelques indications ; il faudrait développer les investigations transdisciplinaires pour mieux appréhender le fonctionnement de cet ensemble : de nouvelles datations radiocarbone, des analyses anthracologiques et pédologiques, une analyse détaillée des peuplements forestiers (étage dominant et sous-étage), et des recherches historiques apparaissent nécessaires pour une bonne mise en perspective de l'ensemble des données (notamment l'étude des archives des Eaux et Forêts et de la comptabilité de la ville de Besançon).

3.3.2 - Exploitation de la pierre calcaire : fours à chaux et carrières de laves.

3.3.2.1 - Les fours à chaux

3.3.2.1.1 – Remarques générales

Environ deux cents fours à chaux ont été détectés sur l'ensemble de la fenêtre LiDAR de Besançon, en grande partie dans le massif de Chailluz. Ces derniers ont une forme bien identifiable : ce sont des dépressions circulaires profondes en leur centre d'un mètre environ, larges de plusieurs mètres⁴³⁴ et bordées d'un bourrelet circulaire en terre, large d'environ deux mètres et haut de quelques dizaines de centimètres. Ce bourrelet contient de nombreux fragments de terre rubéfiée, témoins de l'élévation de la température pendant la cuisson. Dans la dépression centrale, des résidus de chaux indiquent sans ambiguïté que ces fours ont servi à sa fabrication (voir figure 74). La figure 197 donne un aperçu du microrelief typique que forment les vestiges des fours à chaux du massif de Chailluz.

On voit souvent une petite carrière à proximité de ces fours, ouverte pour fournir la pierre à transformer en chaux (figure 197). Cette pratique est d'ailleurs documentée par des encyclopédies techniques des 18-19^{ème} siècles (Bastien, 1805, p.34, par exemple). Lorsque les fours sont situés dans des dolines, la carrière a été creusée sur un flanc de la dépression karstique : la pierre calcaire y est facilement accessible.

L'usage de la chaux est attesté dès l'âge du Fer (Coutelas, 2010 détaille les divers types de chaux qui existent et leurs différents usages ; voir aussi Fourcroy de Ramecourt, 1776). Le four à chaux est une structure artisanale fréquemment découverte au cours de fouilles archéologiques, aussi bien en milieu urbain que rural - entités datables de l'Antiquité, du Moyen Âge ou de l'époque moderne (*cf.*, par exemple, Othenin-Girard, 2007 ; la documentation en ligne du site de l'INRAP

⁴³⁴ Les fours les plus petits ont un diamètre extérieur de 6 m environ ; le diamètre des plus grands mesure une douzaine de mètres.

<http://dolia.inrap.fr/inrapgestdoc/servlet/LoginServlet> (lien valide au 1er juin 2014) donne également un aperçu de la variété des fours découverts en fouilles préventives). Autour de Besançon, on peut encore observer *in situ* les vestiges de fours à chaux du 19^{ème} siècle : les structures conservées à Chalezeule, par exemple, sont typiques des grands fours bâtis au 19^{ème} siècle⁴³⁵. Pour les périodes antérieures, plusieurs fours à chaux antiques, médiévaux et modernes ont été mis au jour à Besançon et dans sa périphérie dans le cadre de fouilles préventives (fouilles îlot Pasteur, Palais de Justice, notamment : *cf.* fiche Inrap <http://www.inrap.fr/archeologie-preventive/Sites-archeologiques/p-13862-Ilot-Pasteur.htm> (lien valide au 1er juin 2014) et Vaxelaire *et al.*, 2003). Par ailleurs, des textes des Archives municipales évoquent la fabrication de chaux en divers lieudits autour de Besançon – notamment en forêt de Chailluz - dès la fin du 15^{ème} siècle, et également aux 17-18^{ème} siècles (*cf.* Muller, 1999, t. 1, p. 143-145).

D'une manière générale, la typologie des fours à chaux est diversifiée, de la simple fosse creusée à même le sol pour un usage unique à la structure maçonnée de grande taille et soigneusement construite. Des morphologies très différentes de celle observée sur le massif de Chailluz sont documentées par LiDAR, par exemple en Lorraine (figure 198-c). Une unique structure du même type existe peut-être en forêt de Chailluz : il s'agit, vu sur le terrain, d'un grand tas d'épierrement conique au sommet tronqué. Il est situé dans la partie ouest du massif, au bord de la route forestière menant aux « Petites Baraques » (figure 198-b). Un sondage archéologique permettrait de confirmer sa fonction de four à chaux.

Les structures observées en forêt de Chailluz sont sans aucun doute de petits fours, destinés à la production de petites quantités de chaux par fournée, mais leur type reste à préciser : il faudrait procéder à une fouille pour déterminer si ce sont des fours cylindriques ou coniques, à fonctionnement continu ou à usage unique⁴³⁶, et savoir si ces entités sont dotées d'un parement ou sont de simples fosses creusées dans le sol. La connaissance du type de four apporterait des indices sur le combustible utilisé pour cuire la pierre calcaire : en effet, les encyclopédies techniques des 18-19^{ème} siècles préconisent des combustibles différents en fonction du modèle de four - usage de bois à brûler pour certains, de charbon

⁴³⁵ On peut avoir un aperçu de cette structure sur Wikipédia (lien valide au 1^{er} juin 2014) : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fours_%C3%A0_chaux_de_Chalezeule.

⁴³⁶ A tailles de fours égales, on peut en effet produire des quantités de chaux bien plus importantes avec un four à fonctionnement continu, qui est rechargé en pierres à calciner au fur et à mesure de la cuisson (la chaux est vidangée par le bas du four), qu'avec un four à usage unique, qui peut seulement être réemployé un nombre limité de fois.

minier pour d'autres, ou encore de charbon de bois (*cf.* Fourcroy de Ramecourt, 1776, et aussi De Felice, 1771 ; Bastien, 1805 ; Biston, 1828)⁴³⁷.

3.3.2.1.2 – Fours à chaux datés en forêt de Chailluz

4 fours, parmi près de 200 entités détectées sur la zone d'étude, ont fait l'objet d'une datation radiocarbone (*cf.* Daval, Fruchart, 2011, p. 68-69). Leur localisation est précisée sur la figure 199. Les datations obtenues donnent des fourchettes indicatives sur leur période d'utilisation : l'époque moderne (figure 200). Le nombre d'individus datés est néanmoins très insuffisant pour constituer un échantillon représentatif.

Historiquement, cette période correspond à une importante phase de construction et d'expansion du bâti à Besançon – entre le 16^{ème} et le 18^{ème} siècle. On sait également qu'après un incendie ayant causé de gros dommages au centre-ville (30 juin 1452), on a privilégié les constructions en pierre. Dès le milieu du 15^{ème} siècle, l'usage du chaume pour les toitures a été proscrit au profit d'une couverture en tuiles ou en laves (Fohlen, 1981, p. 534). La préférence donnée à la pierre à bâtir explique le besoin de grandes quantités de chaux, et les fours fossilisés sous la forêt actuelle en sont certainement des témoins.

Les fours datés ont été choisis dans la partie nord-ouest de la forêt, où on constate une concentration significative de ces structures (*cf.* groupe n° 1 de fours à chaux défini dans la partie 2.2.2.2, pages relatives à la distribution spatiale des entités et figure 94). Les prélèvements ont été effectués à la tarière à main et ont atteint à chaque fois une profondeur d'environ 1,20 m.

Les fours n° 1 et n° 2 sont situés dans une même doline. Une prospection au sol à cet endroit avait mis en évidence la présence de mobilier d'époque moderne, voire du début du 19^{ème} siècle (*cf.* Daval, Fruchart, 2010⁴³⁸). Le four n° 1 est formé d'une dépression circulaire de 4 à 5 m de diamètre, profonde de près d'un mètre en son centre et entourée d'un large bourrelet de terre mêlée d'argile rubéfiée. Le diamètre extérieur total de la

⁴³⁷ Tous ces ouvrages sont consultables sur internet, sur <http://gallica.bnf.fr/> ou sur <http://books.google.fr/>, selon les ouvrages.

⁴³⁸ Lot de 37 monnaies de faible valeur datées de la dernière décennie du 18^{ème} siècle – probablement un porte-monnaie perdu – ainsi qu'un bouton, une agrafe de vêtement et une boucle de chaussures d'époque moderne.

structure est voisin de 9 m. Le four n° 2 est plus petit ; son diamètre extérieur total est proche de 7 m. Sa dépression centrale mesure environ 2 m de diamètre, et elle est moins profonde que celle du four n° 1. Le four n° 2 est également entouré d'un bourrelet en terre avec argile rubéfiée.

La technique de prélèvement (tarière à main) a permis d'observer une simple ébauche de stratigraphie (figure 201). On constate ainsi la séquence suivante dans le four n° 1 (le prélèvement a été réalisé au centre du four, au point le plus bas de la dépression) :

De 0 à - 0,20 m : terre végétale humifère ;

De - 0,20 m à - 0,90 m : couche compacte de cailloux, correspondant probablement au remblaiement du four après son utilisation ;

De - 0,90 m à - 1 m : couche essentiellement constituée de chaux mélangée à un peu d'argile, et contenant de plus en plus de charbon à mesure qu'on descend en profondeur ;

De - 1 m à - 1,20 m : couche très charbonneuse dans laquelle ont été prélevés les charbons analysés. La datation non calibrée BP obtenue est 210 ± 30 BP⁴³⁹ ;

A partir de - 1,20 m : couche d'argile jaune bien plastique, correspondant vraisemblablement au sol naturel.

La stratigraphie observée dans le four n° 2 est la suivante (prélèvement au centre de l'entité, comme pour le four n° 1) :

De 0 à - 0,20 m : terre végétale humifère ;

De - 0,20 m à - 0,75 m : couche argileuse brun-jaune contenant quelques cailloux et de nombreuses traces de chaux ;

De - 0,75 m à - 1 m : couche essentiellement constituée de chaux mêlée avec un peu d'argile et de plus en plus de traces de charbon, au fur et à mesure qu'on descend en profondeur ;

De - 1 m à - 1,10 m : couche très charbonneuse dans laquelle ont été prélevés les charbons analysés. La datation non calibrée obtenue est 234 ± 30 BP ;

A partir de - 1,10 m : couche d'argile jaune bien plastique, correspondant vraisemblablement au sol naturel.

⁴³⁹ Les dates radiocarbone ont été réalisées par le même laboratoire que pour les charbonnières (Poznan) et en suivant le même protocole. Au cours des prélèvements (réalisés par les mêmes personnes que pour les charbonnières), on a veillé à sélectionner des macrorestes de charbon de bois sans contact direct avec la chaux, pour limiter les problèmes de contamination éventuelle du carbone par des composés carbonatés de la pierre.

La datation radiocarbone situe ces fours n° 1 et 2 sensiblement dans la deuxième moitié du 17^{ème} siècle ou dans la deuxième moitié du 18^{ème} siècle. Il est impossible de savoir s'ils sont presque contemporains ou s'ils renvoient chacun à l'une des deux fourchettes possibles, correspondant ainsi à deux phases de fabrication de chaux bien distinctes. Il est néanmoins probable, étant donné le mobilier trouvé à proximité en prospection, que l'un des deux fours au moins ait été en activité à la toute fin du 18^{ème} siècle.

Le four n° 3 est situé le long du fossé qui définit la limite entre les communes de Châtillon-le-Duc et de Besançon. Il est à quelques dizaines de mètres de la crête, non loin d'un vieux tilleul bornier tricentenaire, rejeton de l'arbre qui marquait déjà une limite de la forêt de Chailluz en 1442. Ce four n° 3 a une morphologie un peu différente de celle observée pour les fours n° 1 et n° 2 ; il semble en effet composé de deux parties distinctes qui forment deux dépressions distantes d'un mètre environ, bien visibles sur le terrain et sur les données LiDAR. Les observations faites au cours du prélèvement évoquent plutôt un four à fonctionnement continu, alors que les fours n° 1 et 2 seraient plus volontiers des fours à usage unique. Sur le terrain, qui est en pente vers le four n° 3, la dépression la plus basse, qui est également la plus petite et la moins profonde (diamètre 3 m environ), est remplie de cailloux et de chaux. On n'y trouve aucune trace de charbon. L'ensemble forme, sous une première couche d'une vingtaine de centimètres d'humus, une masse compacte très difficile à traverser à la tarière, épaisse d'une cinquantaine de centimètres. La stratigraphie de cette dépression est la suivante :

- De 0 à - 0,20 m : terre végétale de surface ;
- De - 0,20 m à - 0,70 m : lit compact de cailloux rubéfiés ;
- De - 0,70 m à - 0,90 m : couche de chaux sans charbon ;
- A partir de - 0,90 m : argile contenant des cailloux.

Cette dépression correspond certainement à une fosse de vidange de la chaux après cuisson. Cette position en contrebas du four est d'ailleurs une caractéristique de ces fosses de vidange décrites dans les ouvrages techniques anciens : cet endroit servait à la fois à enfourner le bois avant cuisson, et à défourner la chaux après cuisson, la position en contrebas facilitant le défournement.

La dépression la plus haute, qui est le laboratoire du four à chaux, a des dimensions extérieures comparables au four n° 1. Son remplissage est le suivant :

De 0 à – 0,20 m : terre végétale de surface ;
De – 0,20 m à – 0,50 m : lit de pierres plates ;
De – 0,50 m à – 0,60/0,70 m : cailloux et chaux ;
De – 0,60/0,70 m à – 1 m : couche de chaux devenant au fur et à mesure une couche de charbon (le prélèvement de charbon a été fait à – 1 m). La datation non calibrée BP obtenue est 295 ± 30 BP ;
A partir de – 1 m : couche d'argile rougeâtre.

Entre la dépression haute et la dépression basse, il est probable qu'on ait une gueule de four en pierres, ce qui forme un léger bombement perceptible en surface sur le terrain, entre les deux dépressions. La datation radiocarbone du four n° 3 indique une utilisation au cours du 16^{ème} siècle, et donc une antériorité d'un siècle environ de cette structure par rapport aux fours n° 1 et 2.

Le four n° 4 est situé dans le bois de la Lave, dans une doline, juste à l'est de la pointe sud du territoire de la commune de Châtillon-le-Duc. Ses caractéristiques et son remplissage sont très comparables à ceux du four n° 2 décrit plus haut. Sa datation radiocarbone est d'ailleurs très proche de celle obtenue pour le four n° 2 (234 ± 30 BP pour le four n° 3 et 245 ± 30 BP pour le four n° 4). Il y a ainsi de bonnes chances que les fours n° 2 et 4 soient contemporains.

La comparaison des fourchettes de datation des fours à chaux (planche LIII) avec celles des plateformes de charbonniers indique que ces structures ont certainement fonctionné en alternance au cours de l'époque moderne. En effet, on voit, en comparant les différents tableaux, que les périodes d'utilisation possibles des fours à chaux correspondent plutôt - même à 2σ - aux moments de faible activité des charbonnières. Ces observations déduites des datations radiocarbone peuvent être mises en perspective avec l'analyse de la distribution spatiale des fours à chaux et des charbonnières, faite précédemment dans le texte (partie 2.2.2.2, pages relatives à la distribution spatiale des entités) : la superposition de la carte de concentration des plateformes de charbonniers avec celle de la densité des fours à chaux (figure 95) montrait un faible chevauchement spatial des deux types d'entités, sauf dans la partie ouest du massif, où se situent les fours n° 1 à 4, et où les fours à chaux et les charbonnières se partagent le même espace. Ainsi, cette concentration et superposition singulière des deux types d'entités dans la partie occidentale du massif traduit probablement le fait que les productions de charbon et de chaux se sont succédé, ou ont fonctionné en alternance, au cours d'un intervalle temporel assez court – trois siècles au plus durant l'époque moderne.

3.2.2.2 - Les carrières de laves

Une douzaine de carrières de laves ont été localisées en divers endroits de la forêt de Chailluz (figure 202-a). Deux d'entre elles, parmi les plus étendues (près de 2 ha pour l'une et 2,5 ha pour l'autre), sont situées dans la partie ouest de la forêt, en lisière de bois, à proximité de l'actuel lieudit « Dessus de Chailluz ». Les autres sont implantées au cœur du massif, sur le plateau karstique ; elles s'étendent en longueur sur un peu plus de 2 km en suivant sensiblement un axe nord / sud, à l'est des Grandes Baraques. D'un point de vue géologique, les laves sont extraites de calcaires appartenant au Bajocien supérieur (figure 203, couche n° 91 de la carte harmonisée de 2008 à l'échelle 1 / 150 000, notée J1b sur la carte géologique à l'échelle 1 / 50 000).

La carrière la plus septentrionale, la plus étendue du massif (plus de 3 ha), a certainement été recoupée par l'autoroute. Les carrières les plus méridionales, parmi ces lavières situées à l'est des Grandes Baraques, forment une série de petites zones d'extraction (quelques dizaines d'ares au plus chacune), distantes les unes des autres de 100 à 200 m. Considérées dans leur totalité, les carrières de laves de la forêt de Chailluz occupent une surface voisine de 12 ha.

Ces zones d'extraction sont formées par le prélèvement de pierre en surface ; elles apparaissent sur le terrain et sur les modèles LiDAR comme une zone au relief perturbé (vue du dessus sur la figure 202-b et vue 3D sur la figure 204), composé d'une succession de tertres de formes irrégulières et de dépressions oblongues de quelques mètres de largeur, agglomérés les uns aux autres. Les dépressions sont des fronts de taille peu élevés, qui témoignent du prélèvement de matériau calcaire en surface, et les tertres correspondent manifestement aux déchets de taille laissés sur place lors du façonnage des laves : les observations sur le terrain ont montré qu'ils sont composés de fragments de laves. On a également pu observer, non loin d'une carrière proche des Grandes Baraques, les probables vestiges d'une pile de laves encore en place, où les pierres, déposées à proximité d'un chemin (ligne sommière partageant la forêt de Chailluz dans sa longueur du sud-ouest au nord-est), avaient certainement été empilées pour former un parallélépipède long d'une dizaine de mètres, qu'on devine encore, malgré l'affaissement de la pile.

L'extraction de laves en forêt de Chailluz, ou dans son voisinage, est attestée par des textes d'archives dès la fin du 14^{ème} siècle : le manuscrit DD 105 de 1390-91 relatif au « procès des

fourches patibulaires » (Bépoix, 2010) évoque les « Laivieres de Besançon » à proximité de Valentin et de la forêt de Chailluz. Quelques décennies plus tard, d'autres textes citent le prélèvement de laves en forêt de Chailluz : un texte daté du 15 mai 1446 est une autorisation, donnée aux habitants de Vaire, de prendre des laves au « bois de Chailluz » pour couvrir des toits (maisons particulières et réparation du château du comte d'Orange). Une vingtaine d'années plus tard, en mai 1468, la ville de Besançon accorde une concession de laves, à prélever en forêt de Chailluz, pour la couverture de l'église St Jean l'Evangeliste⁴⁴⁰.

Quelques-unes de ces carrières ont fait l'objet de prospections au sol, aussi bien à l'ouest de la forêt que plus à l'est, au cœur du massif, sans parvenir à y trouver du mobilier datant.

Il semble en revanche très probable, à partir de constats effectués sur le terrain lors de prospections en deux endroits où aucune extraction de laves n'avait été préalablement décelée à partir des données LiDAR, que les indices laissés en surface par un certain nombre de ces extractions anciennes de pierre calcaire soient parfois trop ténus pour être détectables à partir du relevé LiDAR de 2009. On a ainsi constaté, lors de ces prospections sur le terrain et avec des conditions d'observation optimales (végétation au sol réduite au minimum, en tout début de printemps), que les irrégularités du sol occasionnées là par les extractions avaient presque totalement disparu, du fait de l'érosion ou d'un remplissage des creux (colluvion dans la zone en pente, accumulation d'humus dans les dépressions pour l'autre zone). L'une de ces probables anciennes zones d'extraction de laves (de petite surface) est située dans les pentes du bois en côte, à une centaine de mètres au sud / sud-ouest du site de Saint-Gengoul ; l'autre est sur le plateau karstique, à environ 350 m à l'ouest des petites carrières formant la partie méridionale de la série de carrières la plus orientale, au cœur du massif (Daval, Fruchart, 2011, p. 51 *et sq.*). Cette deuxième probable carrière vue en prospection est située entre deux dolines et occupe une surface d'environ 200 ares. On remarque à proximité, de part et d'autre de la carrière, quelques amas de pierres ; rien ne permet cependant de conclure qu'ils sont en lien avec l'extraction de laves. La carrière, qui est apparue fortement colmatée sur le terrain, n'est pas visible sur les données LiDAR. Elle pourrait être médiévale : on y a en effet découvert un fragment de fer à cheval datable du 13^{ème} siècle, qui semble appartenir à un chemin contemporain ou postérieur à la carrière.

⁴⁴⁰ Merci à Jean-Pierre Josseron (ONF) pour la communication de ces renseignements concernant l'utilisation de laves pour la couverture de toits en 1446 et en 1468 (source : Archives municipales de Besançon – cotes des documents non spécifiées).

Conclusion

Les recherches menées pour cette thèse apportent un regard sur la diversité du patrimoine archéologique et historique de la forêt de Chailluz. Au terme de près de cinq ans de recherches – collecte documentaire, analyse des données, investigations sur le terrain –, on a seulement étudié une partie de ce vaste champ d’investigation et du potentiel archéologique de ce massif forestier de plusieurs milliers d’hectares, dont l’exploitation du relevé LiDAR de 2009 a grandement contribué à donner la mesure. Il y a encore beaucoup à faire pour compléter l’étude : nouvelles prospections, recherches historiques complémentaires, datations de structures, analyses physico-chimiques des sols, relevés botaniques, etc. Il faudrait également développer de nouvelles approches et stratégies de recherche pour mettre en évidence les éventuelles traces attribuables à la Préhistoire ou à la Protohistoire : effectuer des prospections géophysiques sur les sites qui n’ont pas livré de mobilier au cours des investigations déjà menées et, peut-être, entreprendre des sondages archéologiques sur les sites de crête. Des sondages permettraient aussi de documenter l’histoire du site médiéval de Saint-Gengoul et de mieux cerner la nature et la durée de l’occupation antique sur le massif de Chailluz. Et, parallèlement à des relevés floristiques ou sylvicoles, déjà en cours sur le massif de Chailluz, le regard spécialiste de géologues apporterait des informations utiles à l’étude des vestiges de l’exploitation des ressources minérales, non seulement sur la zone d’étude, mais également tout autour de Besançon (ressources en pierre calcaire, argiles et marnes, fer, gypse, sel).

La partie centrale de la forêt de Chailluz reste largement à prospecter ; des recherches sur le terrain dans cette zone sont encore nécessaires pour mieux comprendre l’occupation passée de cette partie du massif, où une moindre quantité de vestiges archéologiques a été détectée à partir du relevé LiDAR. Il faudrait confirmer par des observations suffisamment étendues et approfondies sur le terrain, la réalité de l’absence de vestiges liés à des structures agropastorales, en complétant éventuellement les prospections à vue par des analyses physico-chimiques des sols. Des recherches supplémentaires apporteraient peut-être des éléments nouveaux susceptibles de renforcer l’hypothèse avancée dans cette thèse d’une présence ininterrompue de la forêt dans la partie centrale du massif depuis la période romaine.

D’autre part, l’occupation de la zone d’étude au premier Moyen Âge est encore à définir : les prospections au sol ont montré que les indices se rapportant à cette période sont très rares sur le terrain, mais il faudrait pousser plus loin les investigations pour confirmer une absence réelle de structures. En outre, il serait utile pour une étude plus

approfondie d'asseoir les recherches sur une synthèse renouvelée des données historiques relatives à Besançon et ses environs, intégrant les connaissances acquises au cours des dernières décennies, et prenant en compte aussi bien les résultats d'opérations archéologiques que de nouvelles données sur l'histoire laïque et religieuse de Besançon. Ceci permettrait peut-être de mieux cerner les transformations de la zone d'étude entre la fin de l'Antiquité et le second Moyen Âge : les surfaces cultivées à la période romaine sont-elles rapidement devenues un espace forestier, ou s'agit-il d'un processus graduel résultant d'une déprise progressive de l'espace agricole ? Ce fait est-il dû à un abandon de la zone concernée, ou à un changement de mode d'exploitation des sols ? D'autre part, peut-on retracer historiquement la mise en place du « Bois de l'Archevêque » et, parallèlement, est-il possible de savoir en vertu de quels usages ou règles le « Bois de Chailluz » est une propriété communale ? Peut-on faire remonter ce fait au premier Moyen Âge ? Pourquoi par ailleurs la chapelle Saint-Gengoul de Tallenay se situe-t-elle sur la crête de Chailluz, et depuis quand y-a-t-il un établissement religieux à cet endroit ? De nouvelles investigations, aussi bien historiques qu'archéologiques, sont indispensables, pour trouver une éventuelle réponse à ces questions.

Malgré les lacunes dans les connaissances historiques, l'ancienneté de la forêt de Chailluz est certaine : son existence est établie dès la première moitié du 13^{ème} siècle (cf. partie 1.1.2.2.3). On peut aussi souligner la singularité de son statut de bois communal, attesté dès la même période et conservé jusqu'à aujourd'hui.

Les vestiges archéologiques que cette forêt abrite ne sont pas spectaculaires. Suffisamment discrets dans le paysage actuel, ils sont passés inaperçus jusqu'à leur mise en évidence par l'analyse des données LiDAR. Protégés par leur situation en zone boisée, on peut les observer encore aujourd'hui, affleurant à la surface du sol, même après deux millénaires : jusqu'à une date récente, l'exploitation du milieu forestier faisait en effet peu appel à des moyens mécaniques destructeurs. Dans les zones ouvertes, où de tels vestiges ont certainement aussi existé, ils ont été définitivement effacés en surface par les labours répétés et par l'artificialisation des sols. Ces vestiges, ce sont les traces laissées par des aménagements parcellaires, par des tronçons viaires de tailles et de statuts divers, par de petites constructions qui n'ont pas attiré l'attention après leur ruine ; ce sont aussi des microstructures artisanales (charbonnières, fours à chaux, petites carrières), rarement étudiées bien qu'elles se comptent par dizaines ou même par centaines dans les forêts actuelles. Tous ces vestiges témoignent du cadre de vie de sociétés passées : activités

quotidiennes, vie économique, notamment. Ce sont des éléments documentaires essentiels à la restitution de paysages anciens et, plus globalement, à la mise en évidence de dynamiques paysagères qui se perçoivent dans la longue durée et qui ont participé à la construction du paysage actuel, issu de transformations, d'ajouts et de disparitions qui se produisent parfois sur une durée de plusieurs siècles, et peut-être même de millénaires.

Bien qu'il reste, à l'issue de cette thèse, beaucoup à faire pour documenter l'ensemble des entités archéologiques, on peut dresser une première carte synthétique par périodes du patrimoine archéologique de la forêt de Chailluz et de ses abords immédiats (planches LIV et LVIII) et suggérer, en résumé, quelques cartes de l'occupation du sol (planche LV), pour l'Antiquité, le Moyen Âge et l'époque moderne ou contemporaine. Elles couvrent partiellement ou totalement la zone d'étude selon les périodes considérées, et constituent une synthèse des hypothèses d'occupation du sol exposées précédemment, au fil des pages. On propose également sur la planche LVI quelques états du réseau viaire pour les mêmes périodes, tel qu'il peut être restitué actuellement. Les périodes auxquelles appartiennent les entités sont indiquées par différentes couleurs sur la planche LIV : le noir pour les aménagements de la période romaine, le violet pour ceux du second Moyen Âge, le vert pour ceux de l'époque moderne et du 19^{ème} siècle. Les entités en rouge sont celles qui ne sont pas datées actuellement : on ne peut les rattacher à aucune période spécifique faute d'élément datant, souvent parce qu'elles n'ont pas encore fait l'objet de prospections au sol.

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 : surfaces en orange sur la figure 205) des surfaces à présent boisées de la zone d'étude (environ 2730 ha : surfaces en vert et en orange sur la figure 205).

Les vestiges rattachés à la période romaine (en noir sur la planche LIV) sont situés à l'ouest du massif de Chailluz et correspondent à une zone à usage agropastoral d'environ 200 hectares (zone en beige sur la planche LV-a), qui contenait quelques petits bâtiments dispersés sur l'ensemble de la zone concernée et qu'on pourrait interpréter comme de modestes fermes (étoiles rouges sur la planche LV-a). Il s'agit également, au sud / sud-est de la zone d'étude, de deux voies antiques provenant probablement de Besançon et qui se rejoignent au niveau de Braillans (en orange sur la planche LVI-a). Pour la période antique, une grande partie du réseau viaire reste à documenter, notamment par de

nouvelles prospections à mener dans la partie centrale du massif qui, à cause de l'absence de traces d'une utilisation agropastorale, peut être considérée comme une surface forestière dès la période romaine (zone en vert sur la planche LV-a). Les surfaces pour lesquelles aucune occupation du sol durant l'Antiquité n'a pu être proposée (essentiellement, cela concerne les zones actuellement ouvertes) ont été laissées en blanc.

A partir de ces données pour la période antique, déduites du relevé LiDAR et des résultats de prospections sur le terrain, on propose une évocation en image du paysage tel qu'il a pu être à un moment donné de l'époque romaine, dans cette partie ouest du massif de Chailluz (planche LVII-b). Cette représentation résulte de choix opérés pour rendre compte d'une occupation du sol possible ; on reste évidemment dans le domaine de l'hypothétique, loin d'une restitution certaine du paysage antique. Cette évocation respecte néanmoins le relief et la microtopographie réels : configuration des zones encloses et position des constructions, agencement des limites parcellaires et des terrasses, tels qu'ils ont été lus sur le relevé LiDAR. Par choix, les dolines et les zones fortement déclives ont été représentées boisées ou en broussailles ; on a envisagé des prairies ou des cultures céréalières ou légumineuses pour les surfaces encloses non terrassées et sans tas d'épierrements ; les limites d'enclos et les empierrements bordant les chemins ou séparant des parcelles, conservés aujourd'hui sous forme de talus en pierres sèches, ont été soulignés par des haies ; les surfaces aménagées en terrasses ont été attribuées à des vergers ou des vignes ; les zones situées au-delà des limites supposées de cet espace agropastoral antique sont figurées boisées. L'ensemble évoque un paysage très différent de l'état actuel (planche LVII-a), et restitue un espace dédié à la polyculture et au pastoralisme où quelques habitats dispersés sont implantés sur un terrain dont le relief accidenté a pu motiver l'irrégularité du découpage parcellaire ; à moins que cette irrégularité résulte de remaniements du parcellaire opérés dès l'Antiquité, et dont les différentes étapes ayant conduit à l'état observable aujourd'hui nous échappent encore, malgré les recherches menées.

Les entités qui sont estimées du second Moyen Âge (en violet sur la planche LIV) composent, dans la partie centre-ouest du massif, une zone d'environ 200 ha (zone en brun sur la planche LV-b), distincte des vestiges agropastoraux antiques précédents. Cet espace sensiblement triangulaire, possible zone d'essartage à cause d'une typologie particulière des marques agropastorales fossiles (marques assez irrégulières évoquant plutôt des rideaux de culture que des terrasses permanentes), est circonscrit à l'ouest et à

l'est par deux faisceaux de chemins (en violet sur la planche LVI) dont l'usage est attesté au second Moyen Âge par les prospections et les textes d'archive⁴⁴¹. Au nord, il touche le site de la chapelle Saint-Gengoul (étoile rouge sur la crête de la forêt de Chailluz, au centre de la zone d'étude sur la planche LV-b) qui comportait probablement à cette période, outre l'établissement religieux et le cimetière de la paroisse de Tallenay, quelques habitats édifiés dans sa périphérie immédiate et vraisemblablement aussi, quelques dizaines d'hectares de surfaces à vocation agropastorale qu'on suppose permanente plutôt que temporaire (en particulier, à cause de la présence d'une parcelle très fertile, aux sols bien hydratés, et d'excellente exposition où l'on observe une concentration particulièrement importante de tas d'épierrement : zone en beige clair à l'ouest de Saint-Gengoul).

D'autres séries d'épaulements qui forment, sur une centaine d'hectares dans la partie nord-est de la zone d'étude, d'étroites terrasses étagées sur le haut des pentes au nord-est du massif de Chailluz ont été également attribuées à la période médiévale (en beige sur la planche LV). Ces séries de terrasses, dont la vocation agropastorale est très probable, sont assurément antérieures à la période moderne (*cf.* textes et plans forestiers anciens), et l'absence totale de mobilier antique dans les zones prospectées à l'est du massif incite à exclure leur utilisation à la période romaine. On a fait l'hypothèse que cette zone nord-est était exploitée à des fins agropastorales par des communes situées au nord du massif de Chailluz : Mérey et Vieilley, peut-être aussi Bonnay. Un usage de cette partie du massif par ces villages riverains pourrait se justifier par le besoin d'étendre leur territoire agricole au-delà de la crête de Chailluz, une bonne partie des terres proches des villages ayant pu être occupée par des vignes ; on sait en effet par les textes d'archive que le vignoble de Mérey et Vieilley, qui devait être assez étendu, produisait au second Moyen Âge, pour le compte de l'archevêché de Besançon, un vin réputé (Courtieu, 1987). Dans l'hypothèse d'un usage des pentes du massif de Chailluz depuis le Moyen Âge par Mérey et Vieilley, ce fait a pu jouer un rôle dans les revendications territoriales qu'ont émises ces communes lors du partage du massif et de la mise en place des limites de la forêt de Chailluz au début du 18^{ème} siècle, partage qui s'est finalement traduit par l'attribution d'une portion de bois en côte à chacune des deux communes.

⁴⁴¹ Le chemin de Vieilley, à l'est de la zone agropastorale, qui est attesté dès le 13^{ème} siècle par des textes, est néanmoins restitué sur la planche LVI sous la forme d'une ligne en pointillés schématique : les prospections au sol pour mettre en évidence les différents segments se rapportant effectivement à la voie médiévale sont encore à effectuer.

On a également figuré en beige sur la planche LV-b les aménagements parcellaires fossiles situés sur Braillans (est de la zone d'étude) et sur Valentin (ouest de la zone d'étude). Une grange cistercienne était établie à Braillans dès le milieu du 11^{ème} siècle ; elle existait encore au cours du 16^{ème} siècle (elle figure sur les plans anciens). L'emplacement exact de cette grange reste à découvrir, mais il est assez probable qu'elle ait été située dans le périmètre du village actuel. Ceci est une déduction par défaut : aucun indice se rattachant potentiellement à cet établissement n'a été détecté à partir du LiDAR, ce qui laisse supposer que les vestiges de la grange ont été détruits, ou sont masqués, par le village actuel. Il paraît en effet peu vraisemblable que les ruines d'un tel établissement, qui existait encore au 16^{ème} siècle, soient passées inaperçues si elles avaient été localisées hors du village : à titre de comparaison, à quelques kilomètres de Braillans, les vestiges de la grange de Champoux, contemporaine de celle de Braillans et rattachée comme celle-ci à l'abbaye de Bellevaux, sont encore très visibles aujourd'hui dans la forêt de Champoux. C'est pourquoi on a placé, hypothétiquement, la grange de Braillans dans le village (étoile rouge à l'est de la zone d'étude) et estimé que les vestiges parcellaires fossilisés sur cette zone avaient de bonnes chances d'être contemporains de cette grange, et donc de dater du second Moyen Âge.

L'emplacement de la grange de Valentin⁴⁴² est connu, à l'ouest de la zone d'étude (troisième étoile rouge sur la planche 55, b). On a supposé que les aménagements parcellaires fossilisés dans la partie ouest du massif forestier étaient à rattacher à cette occupation médiévale de Valentin (zone en beige à l'ouest de la zone d'étude sur la planche LV-b). Par hypothèse, on a également restitué une couverture forestière dans la partie sud-ouest de la zone d'étude (en vert sur la planche LV-b). Ceci est justifié par la présence, connue au second Moyen Âge à cet endroit, du « Bois de l'Archevêque ».

Par ailleurs, au sud du massif de Chailluz, le chemin correspondant à l'actuel axe routier Besançon – Marchaux, utilisé dès la période romaine, est toujours fréquenté au second Moyen Âge ; la voie a cependant été en partie remaniée depuis l'Antiquité (en violet sur la planche LVI-b). Comme pour la période antique, la connaissance du réseau viaire médiéval est lacunaire et reste encore largement à restituer. Il ne fait guère de doute que des prospections menées dans la partie centrale du massif livreront de nouveaux tronçons viaires médiévaux.

⁴⁴² Valentin était aussi un village durant le second Moyen Âge.

Les entités de couleur verte sur la planche LIV se rapportent à l'époque moderne et au 19^{ème} siècle. Elles comprennent deux types de structures : des aménagements d'origine militaire (fort de Chailluz, tranchées, batteries à canons, etc., mis en place après la guerre de 1870) et des marques de limites parcellaires qui sont presque toutes identifiables sur le plan cadastral napoléonien. On a fait le choix sur la planche LV-c de reproduire l'occupation du sol telle qu'elle est donnée par la carte d'état-major de 1834-35, qui a été estimée de bonne fiabilité après avoir comparé l'occupation du sol qu'elle indique avec celle figurée sur les plans du cadastre napoléonien, sensiblement contemporains. Les marques parcellaires fossiles détectées par l'analyse des données LiDAR et correspondant aux limites figurées sur le plan cadastral napoléonien sont représentées en noir sur la planche LV-c. Les surfaces boisées sont en vert (2493 ha, soit 69,4 % de la zone d'étude), les zones ouvertes (labours, prairies, vergers et vignes) sont en beige (1084 ha, soit 30,2 % de la zone d'étude), et les zones d'habitat en rouge (13 ha, soit 0,4 % de la zone d'étude). Les aménagements militaires, malgré un décalage temporel de leur mise en place de plusieurs décennies par rapport à la carte d'état-major, ont été représentés en violet sur la vignette LV-c. Ils sont situés dans la partie centre-est de la zone d'étude, depuis le Bois du Coutelot au sud (aménagements sur la commune de Thise) jusqu'à l'extrémité nord-est de la forêt de Chailluz (fort de Chailluz sur la commune de Besançon). On compte également, à environ 2 km au sud-ouest du fort de Chailluz, quelques ouvrages légers (batteries à canons) installés sur la crête, à la jonction des territoires des communes de Besançon, Bonnay et Tallenay.

La vignette d sur la planche LV représente l'état actuel de l'occupation du sol, selon les données Corine Land Cover 2006. On remarque, par rapport à l'état précédent du 19^{ème} siècle, un reboisement conséquent des zones situées au nord-est de la zone d'étude, une diminution significative des surfaces cultivées ou cultivables sur l'ensemble de la zone, et, parallèlement, 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. 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.

Pour mieux saisir cette dernière évolution de l'occupation du sol, on a fait appel à une cartographie plus précise que la couverture Corine Land Cover (figure 206), en se référant à la carte du boisement produite par l'IFN-IGN (BD FORET[®], données de 2003) ; on a par ailleurs examiné l'extension du bâti en prenant uniquement en compte les constructions (données extraites du relevé LiDAR de 2009) et les tronçons de voirie référencés par l'IGN (BD CARTO[®], données de 2009). On constate ainsi la multiplication des bâtiments (en noir sur la figure 206) autour des zones déjà construites en 1834-35 (surfaces en rouge sur la figure 206), principalement au détriment des sols cultivables (zones laissées en blanc sur la figure). On remarque néanmoins une exception au sud-est de la zone d'étude, sur la commune de Thise, où une douzaine d'hectares boisés en 1834-35 sont à présent ouverts (surface en rose) et ont cédé la place à une centaine de constructions. *A contrario*, l'habitat s'est peu développé à l'emplacement de l'ancien « Bois de l'Archevêque » (lieudit actuel « Fonds de Chailluz »), défriché et converti en surfaces agricoles au début du 18^{ème} siècle et déjà occupé par quelques bâtiments (« granges ») aux 18^{ème} et 19^{ème} siècles ; on note même dans cette zone une légère reprise de la forêt (partie est des « Fonds de Chailluz » : surfaces en vert sur la figure). Et, à l'inverse du développement urbain à l'ouest et au sud, aucune construction n'occupe aujourd'hui le nord-est de la zone d'étude (Bonnay, Mérey-Vieilley et Vieilley), un espace largement conquis par la forêt depuis 1834-35. On observe aussi au nord-est une nette rétraction du réseau viaire par rapport à 1834-35 (planche LV, vignettes c et d), peut-être à cause de l'abandon des surfaces agricoles dans cette partie du massif aux sols ingrats et sujette aux glissements de terrains, dont l'un a impacté une surface de 40 ha en 1983 sur la commune de Bonnay. L'obstacle au cheminement nord-sud dans le massif, dû à la mise en place vers 1976 de l'autoroute A36, a pu également contribuer à l'abandon de certains sentiers ; et la piétonisation presque complète de la forêt de Chailluz, effective depuis une vingtaine d'années, participe probablement à une moindre fréquentation de la partie nord-est du massif, la plus éloignée de Besançon, ce qui mènera peut-être à terme à l'abandon de chemins qui s'y trouvent.

Le temps a manqué pour tenter une restitution détaillée de l'évolution de l'occupation du sol entre la fin du 17^{ème} siècle et le début du 20^{ème} siècle. Celle-ci est sans doute réalisable, étant donné la quantité d'informations (plans, textes conservés en archives)

existante. Ce travail, pour être mené de façon rigoureuse et pour bien cerner les différentes étapes des modifications du paysage, dans leur ensemble, demande un recoupement préalable des sources, un travail de contextualisation et de mise en perspectives des données qui aurait pris trop de temps pour pouvoir être terminé dans les délais de cette rédaction. On aurait pu ainsi, par exemple, tenter une reconstitution de l'évolution du bornage de la forêt de Chailluz, notamment celui de sa limite avec Châtaillon-le-Duc ; ou documenter le processus de déboisement du Bois de l'Archevêque ; ou encore analyser en détail, pour toute la zone d'étude, les fluctuations de l'occupation du sol entre la fin du 17^{ème} siècle et le début du 20^{ème} siècle qui, si on se réfère aux plans anciens et aux données textuelles, a pu connaître des variations significatives sur des laps de temps assez courts. On aurait également pu tenter une évocation en image du paysage forestier au cours du 18^{ème} siècle. En effet, on peut se demander quel était l'aspect de la forêt de Chailluz vers 1750, après l'exploitation intégrale du quart de réserve durant la décennie précédente, et après une rotation complète des assiettes (30 ans) ; il serait intéressant aussi de documenter ces années d'exploitation à partir des archives qui s'y rapportent – comptabilité et gestion des coupes -, ce qui permettrait peut-être de mesurer la valeur économique de cette forêt pour Besançon à une période où le bois constitue encore la ressource énergétique principale en France.

La planche LVIII présente la carte de localisation des plateformes de charbonniers, des fours à chaux et des extractions de laves. L'étude et la datation de ces structures a seulement été ébauchée dans cette thèse. Il reste beaucoup à faire pour documenter et caractériser l'exploitation passée des ressources naturelles en bois et en pierre : nouvelles datations radiocarbone pour mieux saisir les dynamiques de fonctionnement des plateformes de charbonnier et des fours à chaux, analyses anthracologiques pour préciser les espèces sylvicoles exploitées, relevés floristiques pour apprécier l'éventuel impact à long terme de ces activités de production sur la forêt, nouvelles recherches en archives (archives sur la gestion sylvicole du massif par les Eaux et Forêts, archives relatives aux comptes de la ville de Besançon, impact de la présence militaire à Besançon sur l'exploitation des ressources en bois et en pierre, en particulier) pour mettre en perspective l'exploitation passée du bois et de la pierre avec des données historiques et économiques.

Une étude historique et archéologique des surfaces actuellement boisées, non seulement autour de Besançon mais, plus généralement, dans des zones où l'anthropisation est

ancienne, offre probablement une opportunité sans équivalent de collecter des informations nouvelles sur les paysages qui ont constitué le cadre de vie quotidien des sociétés passées et qui se sont succédé au fil des siècles en laissant leur empreinte, encore lisible aujourd'hui à la surface des sols forestiers. Une exploration attentive de ces sols, effectuée selon une démarche transdisciplinaire, permet d'acquérir des connaissances inédites sur ces paysages passés qui nous sont encore largement inconnus aujourd'hui. Cette exploration nous donne également l'opportunité de saisir des dynamiques paysagères, de mettre en évidence des changements ou, au contraire, des invariances, qui sont uniquement perceptibles avec un recul de plusieurs siècles. Certaines informations recueillies à partir de telles recherches archéologiques peuvent s'avérer utiles pour mesurer les conséquences à moyen ou à long terme de pratiques ou de choix opérés par des sociétés passées : faciliter, par exemple, la détection d'exploitations anciennes de ressources naturelles ayant pu générer des pollutions longtemps après leur disparition, ou localiser des zones à risques particuliers (mouvements de terrain, inondations) susceptibles de se produire à cause d'activités anthropiques passées, très longtemps après leur abandon. Une meilleure connaissance des paysages passés et de leur dynamique d'évolution est certainement aussi un atout pour mieux comprendre des phénomènes de résilience paysagère et peut constituer l'un des appuis pour prévoir les effets possibles de pratiques actuelles sur des paysages futurs.

Bibliographie

ACOVITSIOTI-HAMEAU A., 2003. *Le bois, la meule et la cabane. Supplément n°10 au Cahier de l'ASER.*

ACOVITSIOTI-HAMEAU A., 2003. *Parcours de pierres. La pierre sèche, expression et dynamique des territoires ruraux. Supplément n°11 au Cahier de l'ASER.*

AERODATA, 2009. *Acquisition et prétraitement de données altimétriques par laser aéroporté sur les secteurs de Besançon et Mandeure-Mathay. Rapport de synthèse, Lille : Aerodata - MSHE C.N. Ledoux.*

ALLEE P., PARADIS S., BOUMEDIENE F. & ROUAUD R., 2010. L'exploitation médiévale du plomb argentifère sur le Mont Lozère. *Archéosciences* 34, p. 177-186.

AMIGUES S., 2002. *Etudes de botanique antique.* Paris : Institut de France.

AMIGUES S., 2010. *Théophraste. Recherches sur les plantes.* Paris : Belin.

ANONYME, 1876. Aucunes choses mémorables lesquelles se sont passées anciennement rière la cité de Besançon. *In : Mémoires et documents inédits pour servir à l'histoire de la Franche-Comté. Tome 7.* Besançon : Dodivers, p. 253-284.

ANSON R. W. & ORMELING F. J., 1996. *Basic cartography for students and technicians. Volume 3.* Oxford : Butterworth-Heinemann.

ARBELLOT, G., 1973. La grande mutation des routes de France au XVIII^e siècle. *Annales Economies, Sociétés, Civilisations, 28^e année, n° 3,* p. 765-791.

ARNOULD P., 1994. *La forêt française. Entre nature et culture.* Thèse de Doctorat. Paris : Université Paris Sorbonne.

ARNOULD P. & CORVOL A., 1991. Forêts : nouvelles forêts et vieilles forêts. *In : CORVOL A. (dir.). La forêt. 113^e Congrès national des Sociétés savantes. Strasbourg, 1988.* Paris : éditions du CTHS, p. 13-30.

ARTES F. & HUTTON J., 2005. GPS and Inertial Navigation - Delivering. *GEOconnexion International Magazine,* p. 52-53. Lien valide le 20 septembre 2014 : http://www.applanix.com/media/downloads/articles_papers/POSAV_2005_09_Geoconnexion.pdf

ASSOCIATION DES INGENIEURS DU GENIE RURAL, DES EAUX ET DES FORETS, 2002. *Des officiers royaux aux ingénieurs d'Etat dans la France rurale. 1219-1965. Histoire des corps des Eaux et forêts, Haras, Génie rural, Services agricoles*. Paris : Lavoisier.

BADRE L., 1983. *Histoire de la forêt française*. Paris : Arthaud.

BARCON J.-C. & JACCOTTEY L., 1999. Sur les traces de l'aqueduc romain de Besançon. *Archéologia* 355, p. 34-39.

BARRAL P. & VAXELAIRE L., 2003. Besançon : de l'oppidum à la ville romaine. In : REDDE M., DUBOIS L., LAVAGNE H. & QUEYREL F., *La naissance de la ville dans l'Antiquité. Actes des conférences données à l'Ecole pratique des hautes études. IV^e section*. Paris : De Boccard, p. 239-261.

BASTIEN J.-F., 1805. *La nouvelle maison rustique, ou Economie rurale, pratique et générale de tous les biens de campagne. Nouvelle édition, tome premier*. Paris : Chez Deterville, libraire. Lien valide le 20 septembre 2014 : http://books.google.fr/books/about/La_nouvelle_maison_rustique_ou_Economie.html?id=jh1EAAAAYAAJ&redir_esc=y

BEAL J.-C., 1995. *L'arbre et la forêt, le bois dans l'Antiquité*. Paris : De Boccard.

BEAUFILS T. & BAILLY G., 1998. *Catalogue synthétique des stations forestières des plateaux calcaires franc-comtois à l'étage feuillu*. Thise : ONF - Société Forestière de Franche-Comté.

BECHMANN R., 1984. *Des arbres et des hommes. La forêt au Moyen Âge*. Paris : Flammarion.

BELHOSTE J.-F., 1989. Forges et forêts en révolution. In : WORONOFF D. (dir.). *Révolution et espaces forestiers*. Paris : L'Harmattan, p. 127-136.

BELHOSTE J.-F., 1990. Une sylviculture pour les forges, XVI^e - XIX^e siècles. In : WORONOFF D. (dir.). *Forges et forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois*. Paris : EHESS, p. 219-262.

BENNETT R., WELHAM K., HILL R. A. & FORD A., 2011. Making the most of airborne remote sensing techniques for archaeological survey and interpretation. In :

COWLEY D. (éd.). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. Bruxelles : EAC, AARG, p. 99-106.

BENOIT P. & CAILLEAUX, D. 1991. *Moines et métallurgie dans la France médiévale*. Paris : Picard A.E.D.E.H.

BEPOIX S., 2010. *Une cité et son territoire. 1391. L'affaire des fourches patibulaires. Besançon. Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté n° 871*. PUFC.

BERALDIN J.-A., BLAIS F. & LOHR U., 2010. Laser Scanning Technology. In : VOSSSELMAN G. & MAAS H. G. *Airborne and terrestrial laser scanning*. Dunbeath : Whittles Publishing, p. 1-42.

BERGERON M., 1992. *Vocabulaire de la géomatique. Volume 76 de Cahiers de l'Office de la langue française*. Québec : Ministère des Communications - Office de la langue française.

BERGOUNIOUX M., 2008. *Quelques méthodes mathématiques pour le traitement d'image. Cours de Master 2*. Lien valide le 20 septembre 2014 : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/58/68/PDF/Coursimage07.pdf>

BERNARDI P. & BOISSEUIL D., Des "prouffitz champêtres" à la gestion des ressources naturelles. *Médiévales n° 53*, p. 5-10.

BERTRAND G., 1975. Pour une histoire écologique de la France rurale. In : *Histoire de la France rurale. Tome 1. La formation des campagnes françaises des origines à 1340*. Paris : Seuil, p. 34-113.

BERTRAND G., 1980. Ecologie et forêt : recherche d'une ouverture sociale. *Revue Forestière Française, N° spécial Forêt et Société*, p. 16-19. Lien valide le 20 septembre 2014 : http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/21454/RFF_1980_S_16.pdf?sequence=1

BERTRAND G. & BERTRAND C., 1991. La mémoire des terroirs. In : GUILAINE J. (dir.). *Pour une archéologie agraire*. Paris : Armand Colin, p. 11-17.

BERTRAND J.-E., 1776. *Descriptions des Arts et Métiers faites ou approuvées par Messieurs de l'Académie Royale des Sciences de Paris. Tome IV*. Neuchâtel : Imprimerie de la Société Typographique. Lien valide le 20 septembre 2014 :

http://books.google.fr/books/about/Descriptions_des_arts_et_m%C3%A9tiers_faites.html?id=mwr50c543FoC&redir_esc=y

BEWLEY R. H., CRUTCHLEY S. P. & SHELL C. A., 2005. New light on ancient landscape : lidar survey in the Stonehenge world heritage site. *Antiquity* 79-305, p. 636-647.

BICHET V. & CAMPY M., 2008. *Montagnes du Jura. Géologie et paysages*. Besançon : NEO Editions.

BISTON V., 1828. *Manuel théorique et pratique du chafournier*. Paris : Roret, libraire. Lien valide le 20 septembre 2014 : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6276552x>

BLANCHEMANCHE P., 1990. *Bâisseurs de paysages. Terrassement, épierrement et petite hydraulique agricole en Europe. XVII^e - XIX^e siècle*. Paris : Maison des Sciences de l'Homme.

BOFINGER J. & HESSE R., 2011. As far as the laser can reach. Laminar analysis of LiDAR detected structures as powerful instrument for archaeological heritage management in Baden-Württemberg, Germany. In : COWLEY D. (éd.). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. Bruxelles : EAC, AARG, p. 161-171.

BOIS R., 1997. *Besançon, place forte de première classe*. Besançon : à compte d'auteur.

BOITEUX A., 1929-1930. La prébende et les prébendiers de Tallenay. *Bulletin de l'Académie de Besançon*, p. 145-172.

BOLDO D., 2003. *Fabrication de vraies ortho-images et correction des ombres*. Lien valide le 20 septembre 2014 : http://recherche.ign.fr/doc/BI74/B02_74_BOLDO.pdf

BOLLANDSAS O. M., RIBSOL O., ENE L. T., NESBAKKEN A., GOBAKKEN T. & NAESSET E., 2013. Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests : an experimental study of the effects of pulse density and DTM smoothing. *Journal of Archaeological Science* 39-8, p. 2733-2743.

BONHOTE J., 1998. *Forges et forêts dans les Pyrénées ariégeoises. Pour une histoire de l'environnement*. Toulouse : Universatim.

BONHOTE J. & VERNET J.-L., 1988. La mémoire des charbonnières. Essai de reconstitution des milieux forestiers dans une vallée marquée par la métallurgie (Aston, Haute-Ariège). *Revue Forestière Française* 40-3, p. 197-212. Lien valide le 20 septembre 2014 : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/25884>

BOUCHEY E., 1969. *Le charbonnier dans les bois. N° spécial du Folklore Comtois.*

BOURGENOT L., 1981. La politique navale en France sous l'Ancien Régime et les bois de marine. *Revue Forestière Française* 33-4, p. 319-329. Lien valide le 20 septembre 2014 : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/21518>

BOUSQUET - BRESSOLIER, C., 2004 (éd). *François de Dainville S.J. (1909 - 1971). Pionnier de l'histoire de la cartographie et de l'éducation. Actes du colloque international organisé par l'UMR 8586 PRODIG à Paris, les 6 et 7 juin 2002.* Paris : Ecole des Chartes.

BRENNER C., 2010. Building Extraction. In : VOSELMAN G. & MAAS H. G. (éds.). *Airborne and terrestrial laser scanning.* Caithness : Whittles Publishing, p. 169-212.

BRETAR F., 2006. *Couplage de Données Laser Aéroporté et Photogrammétriques pour l'Analyse de Scènes Tridimensionnelles.* Thèse de Doctorat. Paris : Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://recherche.ign.fr/labos/matis/pdf/theses/these_bretar.pdf

BRGM-n°113, 1970. *Carte géologique à 1 / 50 000. Gy. XXXIII - 22.* Orléans : BRGM - Service Géologique National.

BRGM-n°126, 1934. *Carte géologique de la France à 1 / 50 000. Besançon 3323.* Orléans : BRGM - Service Géologique National.

BRIESE C., 2010. Extraction of Digital Terrain Models. In : VOSELMAN G. & MAAS H. G. (éds.). *Airborne and terrestrial laser scanning.* Caithness : Whittles Publishing, p. 135-167.

BRIESE C., PFEIFER N. & DORNINGER P., 2002. Applications of the robust interpolation for DTM determination. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34, p. 55-61. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/Briese_Pfeifer_Dorninger.pdf

BRU-MALGRAS C., 2002. Le savoir-faire ecclésiastique et monastique en matière de vignes et de forêts. In : CORVOL A. (éd.). *Forêt et vigne, bois et vin*. Paris : L'Harmattan, p. 185-204.

BRUNET R., FERRAS R. & THERY H., 1993. *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique. 3^e édition revue et augmentée*. Montpellier, Paris : RECLUS, La Documentation française.

BRUNNER G., 2007. Eine Typologie von Hufnägeln als Mittel für Datierungen. *Mittelalter Zeitschrift des Schweizerischen Burgenvereins, 12-1*, p. 1-10.

BURGER K., 2007. Impact des anciennes formes d'utilisation sur les sols forestiers dans les Vosges et en Forêt Noire. In : DUPOUEY J.-L., DAMBRINE E., DARDIGNAC C. & GEORGES-LEROY M. (éds.). *La mémoire des forêts. Actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement »*. 14 - 16 décembre 2004. Nancy : ONF, INRA, DRAC Lorraine, p. 175-180.

BURNOUF J., 2008. *Archéologie médiévale en France : le second Moyen Âge*. Paris : La Découverte.

BURNOUF J., CHOUQUER G. & BRAVARD J.-P., 1997. *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes. Actes des rencontres d'Antibes les 19, 20, 21 oct. 1996*. Antibes : APDCA.

CABOURDIN G. & VIARD G., 2005. *Lexique historique de la France d'Ancien Régime*. Paris : Armand Colin (3^{ème} éd.).

CAMPANA S., 2009. Archaeological site detection and mapping : Some thoughts on differing scales of detail and archaeological 'non-visibility'. In : CAMPANA S. & PIRO S. (éd.s). *Seeing the Unseen : Geophysics and Landscape Archaeology*. London : CRC Press, p. 5-26.

CAMPANA S., BIANCHI G., FICHERA A., LAI L. & SORDINI M., 2012. 3D Recordings and Total Archaeology : From Landscapes to Historical Buildings. *International Journal of Heritage in the Digital Era 1-3*, p. 443-460.

- CAMPANA S. & FORTE M., 2006. *From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. British Archaeological Records International Series 1568*. Oxford, Archaeopress.
- CARLETON W. C., CONOLLY J. & IANONNE G., 2012. A locally-adaptive model of archaeological potential (LAMAP). *Journal of Archaeological Science* 39-11, p. 3371-3385.
- CASSINI DE THURY C.-F., 1783. *Description géométrique de la France*. Paris : Imprimerie Desaint. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://books.google.fr/books/about/Description_g%C3%A9om%C3%A9trique_de_la_France.html?id=DVMVAAAAQAAJ
- CASTAN A., 1858. *Origines de la commune de Besançon*. Besançon : Dodivers.
- CASTAN A., 1865. *Notice sur l'hôpital du Saint-Esprit de Besançon*. Besançon : Jacquin.
- CASTAN A., 1887. *Besançon et ses environs*. Besançon : Dodivers.
- CASTAN A., 1898. *Notes sur l'histoire municipale de Besançon*. Besançon : Dodivers.
- CASTAN A. & PINGAUD L., 1901. *Besançon et ses environs. Nouvelle édition complétée et mise à jour*. Besançon : Paul Jacquin.
- CATTEDDU I., 2009. *Archéologie médiévale en France. Le premier Moyen Âge (V^e - XI^e siècle)*. Paris : La Découverte.
- CHABIN J.-P. (dir.), 2005. *La forêt dans tous ses états : de la Préhistoire à nos jours. Actes du colloque de l'Association interuniversitaire de l'Est. Dijon (16-17 novembre 2001). Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté, 785. Série "Historiques", n°24*. Besançon : PUFC.
- CHALLIS K., 2006. Airborne laser altimetry in alluviated landscapes. *Archaeological Prospection* 13-2, p. 102-127.
- CHALLIS K., CAREY C., KINCEY M. & HOWARD A. J., 2011. Assessing the preservation potential of temperate, lowland alluvial sediments using airborne lidar intensity. *Journal of Archaeological Science* 38-2, p. 301-311.

- CHALLIS K., FORLIN P. & KINCEY M., 2011. A Generic Toolkit for the Visualization of Archaeological Features on Airborne LiDAR Elevation Data. *Archaeological Prospection* 18-4, p. 279-289.
- CHALLIS K., KOKALJ Z., KINCEY M., MOSCROP D. & HOWARD A.J., 2008. Airborne lidar and historic environment records. *Antiquity* 82-318, p. 1055-1064.
- CHALVET M., 2011. *Une histoire de la forêt*. Paris : Seuil.
- CHARNOZ J.-C., 2004. *De la forêt à la forge. Forge de Baudin. Du charbon de bois à la fonte*. Edition à compte d'auteur.
- CHASE A.F., CHASE D.Z., FISHER C.T., LEISZ S.J. & WEISHAMPEL J.F., 2012. Geospatial revolution and remote sensing LiDAR in Mesoamerican archaeology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109-32, p. 12916-12921.
- CHASE A.F., CHASE D.Z., WEISHAMPEL J.F., DRAKE J.B., SHRESTHA R.L., SLATTON K.C., AWE J.J. & CARTER W.E., 2011. Airborne LiDAR, archaeology and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science* 38-2, p. 387-398.
- CHAUVIN B., 1991. Les archives cisterciennes antérieures à 1350 des Comté et Duché de Bourgogne et leurs apports à l'histoire de la métallurgie. In : BENOIT P. & CAILLEAUX D. (éds.). *Moines et métallurgie dans la France médiévale*. Paris : Picard A.E.D.E.H., p. 143-177.
- CHAZETTE P. et al., 2012. Eyjafjallajökull ash concentrations derived from both lidar and modeling. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres* 117-D20. DOI: 10.1029/2011JD015755
- CHEVALIER M. & SCHERRER J.-J., 1955. *Documents sur le développement urbain de Besançon entre 1840 et 1940. Annales littéraires de l'Université de Besançon vol.18*. Paris : Les Belles Lettres.
- CHEVALLIER R. (dir.), 1986. *Caesarodunum XXI. Actes du colloque « Le bois en Gaule et dans les provinces voisines »*. Paris : Errance.
- CHIFFLET J.-J. & GIRARDOT, J., 1618 et 1988. *Vesontio*. Besançon : Cêtre.

CHORVOT G. (dir.), 1991. *Inventaire spéléologique du Doubs. Tome 2. Partie Nord-Ouest*. Baume-les-Dames : Comité départemental de spéléologie du Doubs.

CHOUQUER G., 1993. *Entre Bourgogne et Franche-Comté. Histoire d'un paysage, de l'époque gauloise à nos jours*. Paris : Errance.

CHOUQUER G., 1994. Le plan de la ville antique et de la ville médiévale de Besançon. *Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est* 45-2, p. 361-407.

CHOUQUER G., 1996. *Les formes du paysage. Tome 1. Etudes sur les parcellaires. Actes du colloque d'Orléans*. Paris : Errance.

CHOUQUER G., 1996. *Les formes du paysage. Tome 2. Archéologie des parcellaires*. Paris : Errance.

CHOUQUER G., 1997. *Les formes du paysage. Tome 3. L'analyse des systèmes spatiaux*. Paris : Errance.

CHOUQUER G., 2008. *Traité d'archéogéographie. La crise des récits géohistoriques*. Paris : Errance.

CLERC E., 1838. Une bourgade romaine et un camp romain encore inconnus. *Bulletin de l'Académie des Sciences et Belles Lettres et Arts de Besançon*, p. 57-73.

CLERC E., 1847. *La Franche-Comté à l'époque romaine représentée par ses ruines*. Besançon : Dodiviers.

CLOPPET C., 1996. *Le système routier gallo-romain entre Rhône, Loire et Rhin. Traces, structure, monuments*. Thèse de doctorat. Strasbourg : Université des Sciences Humaines de Strasbourg.

COLARDELLE M., 1996. *L'homme et la nature au Moyen Âge. Actes du V^e Congrès International d'Archéologie Médiévale tenu à Grenoble (6-9 octobre 1993)*. Paris : Errance.

COLLECTIF, 1977. *Eléments d'histoire.... Revue Forestière Française XXIX. N° Spécial*.
Permalien <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/19946>

- COLLECTIF, 1983. *Connaissance de la Franche-Comté. L'homme et la forêt en Franche-Comté*. Besançon : Centre Universitaire d'Etudes Régionales - Université de Franche-Comté.
- COLLECTIF, 2004. *Plans et vues de Besançon. Implantation et évolution de la ville jusqu'à la Révolution. Les cahiers de la Renaissance du Vieux Besançon n° 6*. Besançon : Renaissance du Vieux Besançon.
- COLLECTIF, 2012. *Inventaire spéléologique du Doubs. Tome 5*. Ornans : GIPEK - Comité départemental de spéléologie du Doubs.
- COLLINS E. J. T., 1992. Woodlands and woodland industries in Great-Britain during and after the charcoal iron era. In : METAILIE J. (éd.). *Protoindustrie et histoire des forêts. Cahiers de l'ISARD n° 3. Actes du colloque tenu à la Maison de la forêt, Loubières, Ariège, les 10-13 octobre 1990*. Toulouse : GDR ISARD-CNRS - Université Toulouse-Le Mirail, p. 109-120.
- CONSTANTIN E. & SCHNELL A., 1996. *Spectrométrie de masse. Principes et applications*. Paris : TEC et DOC, Lavoisier (2^{ème} éd.).
- CONTRERAS D. A., 2009. Reconstructing landscape at Chavin de Huantar, Peru : A GIS based approach. *Journal of Archaeological Science* n°36-4, p. 1006-1017.
- CORNS A. & SHAW R., 2009. , High resolution 3-dimensional documentation of archaeological monuments & landscapes using airborne LiDAR. *Journal of Cultural Heritage* 10-1, p. 72-77.
- CORVOL A. (dir.), 1991. *La Forêt. Actes du 113^e Congrès National des Sociétés Savantes (Strasbourg, 1988)*. Paris : Editions du CTHS.
- CORVOL A. (dir.), 2002. *Forêt et vigne, bois et vin. XVI^e - XX^e siècle*. Paris : L'Harmattan.
- CORVOL A. (dir.), 2007. *Forêt et eau. XIII^e - XXI^e siècle*. Paris : L'Harmattan.
- CORVOL A., 1984. *L'homme et l'arbre sous l'Ancien Régime*. Paris : Economica.
- CORVOL A., 1987. *L'Homme aux Bois. Histoire des relations de l'homme et de la forêt XVII^e - XX^e siècle*. Paris : Fayard.

- CORVOL A. & RICHEFORT, I., 1995. *Nature, paysage et environnement. L'Héritage révolutionnaire*. Paris : L'Harmattan.
- COULON G., 2007. *Les voies romaines en Gaule*. Paris : Errance.
- COURTIEU J., 1982. *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Tome 1. Abbans-Dessous - Bouverans*. Besançon : Cêtre.
- COURTIEU J., 1983. *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Tome 2. Braillans - Dasle*. Besançon : Cêtre.
- COURTIEU J., 1984. *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Tome 3. Deluz - L'Hôpital-Saint-Lieffroy*. Besançon : Cêtre.
- COURTIEU J., 1985. *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Tome 4. Les Hôpitaux-Neufs - Myon*. Besançon : Cêtre.
- COURTIEU J., 1986. *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Tome 5. Naisey - Sainte-Suzanne*. Besançon : Cêtre.
- COURTIEU J., 1987. *Dictionnaire des communes du département du Doubs. Tome 6. Saint-Vit - Vyt-les-Belvoir*. Besançon : Cêtre.
- COURTIEU J. & LOCATELLI R., 2002. *Héritage, Lumières Cisterciennes. Le modèle franc-comtois. Annales littéraires de l'université vol. 739. Cahiers d'études comtoises n° 65*. Besançon : PUFC (DVD).
- COUTELAS A. (dir.), 2009. *Le mortier de chaux*. Paris : Errance - Collection « Archéologiques ».
- COWLEY D. C., 2011. *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. Proceedings of the 11th EAC Heritage Management Symposium. Reykjavik, Iceland, 25-27 March 2010. EAC Occasional Paper N° 5*. Bruxelles : EAC - Europae Archaeologia Consilium, Aerial Archaeology research Group.
- CROW P., BENHAM S., DEVEREUX B. J. & AMABLE G. S., 2007. Woodland vegetation and its implication for archaeological survey using LiDAR. *Forestry* 80-3, p. 241-252. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://forestry.oxfordjournals.org/content/80/3/241.full.pdf>

CRUBEZY E., MASSET C., LORANS E., PERRIN F. & TRANOY L., 2007. *Archéologie funéraire*. Paris : Errance. Collection « Archéologiques ».

CRUTCHLEY S., 2009. Shedding light on the past: Using airborne LIDAR to understand ancient landscapes. In : VASSILOPOULOS A., EVELPIDOU N., BENDER O. & KREK A. (éds.). *Geoinformation Technologies for Geo-Cultural Landscapes : European Perspectives*. London : Taylor & Francis, p. 87-105.

CRUTCHLEY S. & CROW P., 2010. *The Light Fantastic : Using Airborne Laser Scanning in Archaeological Survey*. Swindon : English Heritage. (consulté le 19 09 2014) <https://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/>

DABAS M., DELETANG H., FERDIERE A., JUNG C. & ZIMMERMANN W. H., 2006. *La prospection*. Paris : Errance. Collection « Archéologiques ».

DAUGAS J.-P., PETREQUIN P. & PININGRE J.-F., 1971. La station néolithique de la Roche d'Or à Besançon (Doubs). *Bulletin de la Société Préhistorique Française, tome 68. Etudes et travaux, fasc. 1*, p. 386-397. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bspf_0249-7638_1971_hos_68_1_4279

DAVAL D., 2004. *Rapport de prospections archéologiques*, Besançon : SRA.

DAVAL D. & FRUCHART C., 2010. *Besançon et environs (25). Prospection et validation de données LiDAR*, Besançon : SRA.

DAVAL D. & FRUCHART C., 2011. *Besançon et environs (25). Prospection et validation de données LiDAR*, Besançon : SRA.

DAVAL, D. & FRUCHART, C., 2012. *Besançon et environs (25). Prospection et validation de données LiDAR*, Besançon : SRA.

DAVAL D. & FRUCHART C., 2013. *Besançon et environs (25). Prospection et validation de données LiDAR*, Besançon : SRA.

DAVASSE B., 1992. Anthracologie et espaces forestiers charbonnés. Quelques exemples dans la moitié orientale des Pyrénées. *Bulletin de la société botanique de France n° 139*, p. 597-608.

DAVASSE B., 1998. *La forêt du charbonnier et les forêts des paysans dans l'espace des Pyrénées de l'Est (Moyen Age à nos jours)*. Thèse de Doctorat. Toulouse : Université de Toulouse Le Mirail.

DAVASSE B., 2000. *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.

De BEAUVILLE V., 1881. *Recueil de documents inédits concernant la Picardie, Volume 4*. Paris : Imprimerie Impériale.

De DAINVILLE F., 1955. La carte de Cassini et son intérêt géographique. *Bulletin de l'Association des géographes français*, p. 138-147.

De DAINVILLE F., 1958. Grandeur et population des villes au XVIII^e siècle. *Population, tome XIII*, p. 459-480.

De DAINVILLE F., 2002. *Le langage des géographes*. Paris : Picard (rééd. : 1^{ère} éd. 1964).

De FELICE F. B., 1771. *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des connoissances humaines. Tome VII*. Yverdon : De Felice éditeur. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://books.google.fr/books/about/Encyclop%C3%A9die_ou_Dictionnaire_universel.html?id=bz8VAAAAQAAJ&redir_esc=y

De JOINVILLE O., SAUR S. & BRETAR F., 2003. Le levé laser aéroporté : techniques, applications et recherche. *Bulletin d'Information de l'IGN n°74*, p. 37-52. (consulté le 19 09 2014) http://recherche.ign.fr/doc/BI74/B03_74_JOINVILLE.pdf

De REU J., BOURGEOIS J., De SMEDT P., ZWERTVAEGHER A., ANTROP M., BATS M., De MAEYER P., FINKE P., Van MEIRVENNE M., VERNIERS J. & CROMBE Philippe., 2011. Measuring the relative topographic position of archaeological sites in the landscape, a case study on the Bronze Age barrows in northwest Belgium. *Journal of Archaeological Science* 38-12, p. 3435-3446.

De VREGILLE B., 1976. *Hugues de Salins. Archevêque de Besançon. 1031 - 1066*. Thèse de Doctorat. Besançon – Lille : Atelier de reproduction des thèses de l'Université de Lille.

De VREGILLE B., 1981. *Hugues de Salins. Archevêque de Besançon 1031-1066*. Besançon : Cêtre.

DEEGAN A., 2013. *Cumbria Terrestrial Mineral Resource. Air Photo and Lidar Mapping and Interpretation*. Leeds : Oxford Archaeology North and English Heritage. (consulté le 19 09 2014) http://www.english-heritage.org.uk/publications/cumbria-terrestrial-mineral-resource-assessment/CTMR_NMP_Summary_Report.pdf

DEFORCE K., BOEREN I., ADRIAENSSENS S., BASTIAENS J., De KEERSMAEKER L., HANECA Kr., TYS D. & VANDEKERKHOVE K., 2013. Selective woodland exploitation for charcoal production. A detailed analysis of charcoal kiln remains (ca. 1300 - 1900 AD) from Zoersel (northern Belgium). *Journal of Archaeological Science* 40-1, p. 681-689.

DELETANG H. (dir.), 1999. *L'archéologie aérienne en France. Le passé vu du ciel*. Paris : Errance.

DELOBETTE L., 2010. *Trois mille curés au Moyen Âge. Les paroisses du diocèse de Besançon. XIII^e - XV^e siècles*. Besançon : Cêtre.

DELOBETTE L. & DELSALLE P., 2003. *La Franche-Comté à la charnière du Moyen Âge et de la Renaissance. 1450-1550. Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté n° 759*. Besançon : PUFC.

DELSALLE P., 2003. Les faubourgs des villes comtoises et ceux de Poligny en particulier à l'époque de Charles Quint. In : BISCHOFF G. (dir.). *La Franche-Comté à la charnière du Moyen Âge et de la Renaissance. 1450-1550*. Besançon : PUFC, p. 243-266.

DELSALLE P., 2004. *Lexique pour l'étude de la Franche-Comté à l'époque des Habsbourg. 1493-1674*. Besançon : Burs.

DELSALLE P., 2006. *Vivre en Franche-Comté au siècle d'Or. XVI^e - XVII^e siècles*. Besançon : Cêtre.

DELSALLE P., 2007. *Vocabulaire historique de la France moderne : XVI^e - XVII^e - XVIII^e siècles*. Paris : Armand Colin.

DEMIERRE M., LUGINBUHL T. & MONTANDON M., (à paraître). *Militaria tardo-républicains au Col des Etroits (Jura vaudois, Suisse) : données et essai d'analyse*.

DEMOULE J.-P., GILIGNY F., Lehörff A. & SCHNAPP A., 2005. *Guide des méthodes de l'archéologie*. Paris : La Découverte.

Des GAGNIERS J., 1994. *Charlevoix : Pays enchanté*. Laval : Presses de l'Université de Laval.

DESPOTOT P., 1876. Description de Besançon en 1608. In : *Mémoires et documents inédits pour servir à l'histoire de la Franche-Comté publiés par l'académie de Besançon. Tome 7*. Besançon : Dodivers, p. 217-252.

DESPOTOT P., 1876. Recueil de plusieurs choses mémorables appartenant à la cité selon le temps qu'elles sont arrivées. In : *Mémoires et documents inédits pour servir à l'histoire de la Franche-Comté, publié par l'Académie de Besançon. Tome 7*. Besançon : Dodivers, p. 285-322.

DEUTSCH J., 2007. *Les soins aux chevaux*. Paris : Losange / Editions Artémis.

DEVEREUX B. J., AMABLE G. S. & CROW P., 2008. Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity vol. 82-316*, p. 470-479.

DEVEREUX B. J., AMABLE G. S., CROW P. & CLIFF A. D., 2005. The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies. *Antiquity 79-305*, p. 648-660.

DEVEZE M., 1961. *La vie de la forêt française au XVI^e siècle*. Paris: SEVPEN (2 volumes).

DEVEZE M., 1962. *La Grande Réformation des forêts sous Colbert (1660-1680). Thèse de doctorat ès Lettres (1954). Extraits des Annales de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts. Tome XIX fasc. 1-2*. Nancy : Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

DEVEZE M., 1965. *Histoire des forêts*. Paris : PUF.

DIANIN S., 1995. *Les forêts de Besançon au XVIII^{ème} siècle*. Mémoire de Maîtrise. Besançon : Université de Franche-Comté.

DIDEROT D. & D'ALEMBERT J.-R., 1751. *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Tome second*. Permalien <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k50534p>

DIDEROT D. & D'ALEMBERT J.-R., 1757. *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Tome septième*. (consulté le 19 09 2014)

http://books.google.fr/books/about/Encyclop%C3%A9die_ou_dictionnaire_raisonn%C3%A9.html?id=4uVTAAAYAAJ&redir_esc=y

DIDIER M., 1990. *Utilité et valeur de l'information géographique*. Paris : Economica.

DION R., 1990. *Le paysage et la vigne. Essai de géographie historique*. Paris : Payot.

DION R., 1991. *Essai sur la formation du paysage rural français*. Paris : Flammarion (rééd. : 1^{ère} éd. 1934).

DOISE J., 1992. *Politique étrangère de la France : diplomatie et outil militaire 1871-1991*. Paris : Editions du Seuil - Points Histoire.

DONADIEU P., 2007. Le paysage. Un paradigme de médiation entre l'espace et la société? *Economie rurale* 297, p. 5-9.

DONEUS M. & BRIESE C., 2006. Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laserscanning. In : IOANNIDES M., ARNOLD D. B., NICCOLUCCI F. & MANIA K. (éds.). *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage - VAST (2006)*. Nicosie : The Eurographics Association, p. 155-162.

DONEUS M. & BRIESE C., 2011. Airborne Laser Scanning in forested areas - potential and limitations of an archaeological prospection technique. In : COWLEY D. (éd.). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. Bruxelles : EAC, AARG, p. 59-76.

DONEUS M., BRIESE C., FERA M., FORNWAGNER U., GRIEBL M., JANNER M. & ZINGERLE M.-C., 2007. Documentation and Analysis of Archaeological Sites using Aerial Reconnaissance and Airborne Laser Scanning. In : *21st CIPA Symposium, Anticipating the Future of the Cultural Past. ISPRS Archives - Volume XXXVI-5/C53*. Athènes : CIPA Heritage Documentation, p. 275-280. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/5-c53/papers/FP054.pdf>

DONEUS M., BRIESE C., FERA M. & JANNER M., 2008. Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science* 35-3, p. 648-660.

- DORSHOW W. B., 2012. Modeling agricultural potential in Chaco Canyon during the Bonito phase : a predictive geospatial approach. *Journal of Archaeological Science* 39-7, p. 2098-2115.
- DOYEN B., DECOCQ G. & THUILLIER P., 2004. Archéologie des milieux boisés en Picardie. *Revue Archéologique de Picardie n°1/2*, p. 149-164.
- DROZ S., 1856. *Recherches historiques sur la ville de Besançon. Fontaines publiques*. Paris : Chez Turbergue, éditeur.
- DRUOT (Abbé), 1903-1904. La voie romaine du Rhin et ses stations dans les cantons de Baume-les-Dames et de Clerval (Doubs). *Mémoires de la Société d'Emulation du Doubs vol. VIII, série 7*, p. 47-67.
- DUBOIS H., 2011. *Petit dictionnaire d'un forestier*. Dole : à compte d'auteur. (4^{ème} édition).
- DUCEPPE-LAMARRE F., 2006. *Chasse et pâturage dans les forêts du Nord de la France. Pour une archéologie du paysage sylvestre (XI^e-XVI^e siècles)*. Paris : L'Harmattan.
- DUHAMEL DE MONCEAU H. L., 1761-1774. *Description des Arts et Métiers, faits ou approuvés par Messieurs de l'Académie royale des Sciences. Art du charbonnier*. Paris : Desaint & Saillant.
- DUPOUEY J.-L., DAMBRINE E., LAFFITE J.-D. & MOARES C., 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology* 83, nov., p. 2978-2984.
- DUPOUEY J.-L., BACHACOU J., COSSERAT R., ABERDAM S., VALLAURI D., CHAPPART G. & CORVISIER DE VILLELE M.-A., 2007. Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. *Bulletin du Comité Français de Cartographie n° 191*, p. 85-98.
- DUPOUEY J.-L., DAMBRINE E., DARDIGNAC C. & GEORGES-LEROY M., 2007. *La mémoire des forêts. Actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement »*. 14-16 décembre 2004. Nancy: ONF, INRA, DRAC de Lorraine.
- DUPRAZ C. & LIAGRE F., 2008. *Agroforesterie*. Paris : France Agricole.

DURAND-DASTES F., FAVORY F., FICHES J.-L., MATHIAN H., PUMAIN D., RAYNAUD C., SANDERS L. & VAN DER LEEUW S., 1998. *Archaeomedes. Des oppida aux métropoles*. Paris : Anthropos, Economica.

DUTRIEZ R., 1981. *Besançon ville fortifiée. De Vauban à Séré de Rivières*. Besançon : Cêtre.

ELBAHHAR F. & RIVENQ A., 2012. *New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*. Rijeka. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.intechopen.com/books/new-approach-of-indoor-and-outdoor-localization-systems>

ESTIENNE, R., 1549. *Dictionnaire François latin, autrement dict Les mots François, avec les manieres d'user d'iceulx, tournez en Latin*. Paris : imprimerie de Robert Estienne Imprimeur du Roy. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://data.bnf.fr/12571148/robert_estienne_dictionnaire_francais-latin/

EUBA REMENTERIA I. & PALET-MARTINEZ J. M., 2010. L'exploitation des ressources végétales dans les Pyrénées Orientales durant l'Holocène : analyse anthracologique des structures d'élevage, de fours et de charbonnières dans l'Alt Urgell (Chaîne du Cadi) et la vallée de Madriu (Andorre). *Quaternaire 21*, p. 305-316.

EVANS D. H. FLETCHER R. J., POTTIER C., CHEVANCE J.-B., SOUTIF D., SUY TAN B., IM S., EA D., KIM S., CROMARTY C. *et al.*, 2013. Uncovering archaeological landscapes at Angkor using lidar. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 110-31*, p. 12595-12600.

EVANS J. S. & HUDAK A. K., 2007. A Progressive Curvature Filter for Identifying Ground Returns from Discrete Return Lidar un Forested Environments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 45*, p. 1029-1038.

FAIRCLOUGH G., 2003. "The long chain" : Archaeology, historical landscape characterization and time depth in the landscape. *In* : PALANG H. & FRY G. (éds.). *Landscape interfaces*. Kluwer Academic Publishers, p. 295-318.

FAO, 1984. *Techniques simples de carbonisation. Etudes FAO : forêts. 41*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation l'agriculture.

FAVROD J., 1997. *Histoire politique du Royaume burgonde (443-534)*. Bibliothèque historique vaudoise 113. Lausanne : Chabloz.

FERDIERE A., 1993. *Monde des morts, monde des vivants en Gaule romaine. Actes du colloque Archea/Ager. Orléans, 7-9 février 1992. Revue archéologique du centre de la France. Supplément n° 6*. Tours : FERACF.

FERDIERE A. & ZADORA-RIO E., 1986. *La prospection archéologique : paysage et peuplement. Actes de la table ronde des 14-15 mai 1982. DAF n° 3*. Paris : Maison des Sciences de l'Homme.

FIETIER R., 1973. *Recherches sur la banlieue de Besançon au Moyen Âge*. Paris : Les Belles Lettres.

FIETIER R., 1978. *La cité de Besançon de la fin du XII^e siècle au milieu du XIV^e siècle. Etude d'une société urbaine*. Thèse de Doctorat. Lille – Paris : Université de Lille III, Atelier de reproduction des thèses - Librairie Honoré Champion.

FIETIER R. & BRELOT C. I. (dir.), 1977. *Histoire de la Franche-Comté*. Toulouse : Privat.

FILIN S., ABO AKEL N., KREMEIKE K., SESTER M. & DOYTSHER Y., 2007. Interpretation and Generalization of 3D Landscapes from LiDAR Data. *Cartography and Geographic Information Systems* 34, p. 231-243.

FOHLEN C. (dir.), 1981. *Histoire de Besançon. Tome 1. Des origines à la fin du XVI^e siècle*. Besançon : Cêtre. (nouvelle édition : 1^{ère} éd. 1964)

FOHLEN C. (dir.), 1982. *Histoire de Besançon. Tome 2. De la conquête française à nos jours*. Besançon : Cêtre. (nouvelle édition : 1^{ère} éd. 1964)

FORD D. C. & WILLIAMS P., 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Londres : Chapman & Hall.

FORLIN P., 2012. *Remote Sensing Analysis e Archeologia dei Paesaggi nel Trentino orientale: la Valsugana, la Val di Cembra e l'Altopiano di Pinè tra l'epoca tardo antica e il medioevo*. Thèse de Doctorat. Trente : Università degli studi di Trento.

FOUCAULT A. & RAOULT J.-F., 2008. *Dictionnaire de Géologie*. Paris : Dunod.

FOURCROY DE RAMECOURT, C.-R., 1766. *L'Art du Chauffournier*. Paris : Saillant et Nyon. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6276552x>

FREZOULS E., 1988. *Les villes antiques de la France. II. Germanie supérieure, 1. Besançon, Dijon, Langres, Mandeuire*. Strasbourg: AECR.

FRIJNS M., MALCHAIR L., MOULINS J.-J. & PUELINCKX J., 2008. *Index de la fortification française 1874 - 1914*. A compte d'auteur. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.fortiff.be/iff/>

FRUCHART C., 2011. 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*. Besançon : PUFC, p. 49-64.

FRUCHART C., LAPLAIGE C., OPITZ R. & NUNINGER L., 2011. The LIEPPEC Project: Using LiDAR for the study of long term landscape change. *Antiquity Project Gallery* 85-327. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://antiquity.ac.uk/projgall/opitz327/>

GAIFFE M., 1972. *Contribution à l'étude écologique des hêtraies du Doubs*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.

GALOP D., 1998. *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6 000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. Toulouse: GEODE. Laboratoire d'Ecologie Terrestre. FRAMESPA.

GARNIER E., 2000. *Les forêts des Vosges méridionales à l'époque moderne : des espaces forestiers éclatés et convoités*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.

GARNIER E., 2004. *Terre de conquêtes : la forêt vosgienne sous l'Ancien Régime*. Paris : Fayard.

GASTON C., 2002. Données récentes sur l'architecture antique à Besançon (Doubs). *Archéopages* n° 8, p. 28-35.

GAUTHIER E., 2001. *Evolution de l'impact de l'homme sur la végétation du massif jurassien au cours des quatre derniers millénaires. Nouvelles données polliniques. Besançon*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.

GAUTHIER E., 2004. *Forêts et agriculteurs du Jura. Les quatre derniers millénaires. Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté, volume 765*. Besançon : PUFC.

GAUTHIER E. & RICHARD H., 2008. L'anthropisation du massif jurassien. Bilan des données palynologiques. *Collection EDYTEM n° 6. Cahiers de Paléoenvironnement*, p. 273-280.

GAUZENTE B., 2009. *Les abbayes et les couvents de Besançon à la fin du Moyen Âge (1350 - 1500), des établissements urbains entre crises et renaissance. Implantations, organisations et relations extérieures*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.

GAY J.-C., 2004. *Les discontinuités spatiales*. Paris: Economica. (2^{ème} éd.).

GEORGES-LEROY M., 2011. Airborne Laser Scanning for the management of archaeological sites in Lorraine (France). In : D. COWLEY (Ed.). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. Bruxelles : EAC, AARG, p. 229-234.

GEORGES-LEROY M., BOCK J., DAMBRINE E. & DUPOUEY J.-L., 2008. L'apport du laser scanneur aéroporté à l'étude des parcellaires gallo-romains du massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle). *AGER. Bulletin de liaison n° 18*, p. 8-11.

GEORGES-LEROY M., BOCK J., DAMBRINE E. & DUPOUEY J.-L., 2009. Le massif forestier, objet pertinent pour la recherche archéologique. L'exemple du massif forestier de Haye (Meurthe-et-Moselle). *Revue Géographique de l'Est 49-2*, p. 2-16. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://rge.revues.org/1931>

GERBER C., PORTMANN M., KUNDIG C., 2002. *Fours à chaux, four à fer et charbonnières dans le Jura bernois : vestiges archéologiques médiévaux et modernes découverts entre Moutier et Roches sur le tracé de l'autoroute A 16, 1995-1997. Publications périodiques de la Direction de l'instruction publique du Canton de Berne*. Berne : Haupt.

GHOZZI F., DAVTIAN G. & THOMASSIN P., 2004. Apport d'un SIG à l'étude d'un cadastre dit "napoléonien". *Géomatique expert n° 38, nov.*, p. 33-38.

GIARDINO M. J., 2011. A history of NASA remote sensing contributions to archeology. *Journal of Archaeological Science 38-9*, p. 2003-2009.

GIBERT A., 1933. Notes au sujet de l'ancien flottage du bois sur le Doubs. *Revue de géographie alpine* 21-2, p. 433-446. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035-1121_1933_num_21_2_5361

GIZARD S., 1999. *Bonnay (Doubs), chemin de la source, rue Saint-Lazare. Rapport de sauvetage urgent*. Besançon : Service Régional de l'Archéologie.

GODEFROY F., 1881-1902. *Dictionnaire de l'ancienne langue française et de tous ses dialectes du IX^e au XV^e siècle*. Paris : Vieweg, Libraire-éditeur (10 tomes). Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k50634z>

GODWIN H., 1962. Half-life of Radiocarbon. *Nature* 195-4845, p. 984.

GOGUEY D., PAUTRAT Y., GUILLAUMET J.-P., THEVENOT J.-P & POPOVITCH L., 2010. Dix ans d'archéologie forestière dans le Châtillonnais (Côte-d'Or) : enclos, habitats, parcellaires. *Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est* 59-1, p. 99-207. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://rae.revues.org/6108>

GOLLUT L. 1592 et 1978. *Les Mémoires historiques de la République séquanoise et des princes de la Franche-Comté de Bourgogne*. Roanne : Horvath (1^{ère} éd. : 1592 et rééd. 1978).

GONZALES R. C. & WOODS R. E., 2002. *Digital Image Processing*. Upper Saddle River : Prentice Hall (2^{ème} éd.).

GOULLET M., 2002. Les Vies de saint Gengoul, époux et martyr. In : M. LAUWERS, (Ed.). *Guerriers et moines. Conversion et sainteté aristocratiques dans l'Occident médiéval (IX^e - XII^e siècles)*. Collection d'Etudes médiévales 4. Nice : CEPAM, p. 235-263.

GOY C., 2009. Geneuille (Doubs). Un petit établissement rural de l'Antiquité. In : *Archéologie en Franche-Comté. Fouilles archéologiques de la LGV Rhin-Rhône : les résultats*. Besançon : DRAC Franche-Comté / Service Régional de l'Archéologie, p. 32.

GRESSER P., 1999. Les donations de bois en Franche-Comté sous Marguerite de France (1361-1382). *Mémoires de la Société pour l'Histoire du Droit et des Institutions des anciens pays bourguignons, comtois et romands*, p. 63-105.

GRESSER P., 2004. *La gruerie du Comté de Bourgogne aux XIV^e et XV^e siècles*. Thèse de Doctorat. Turnhout : Brépols.

- GRESSER P., 2008. *Calamités et maux naturels en Franche-Comté aux XIV^e et XV^e siècles*. Besançon : Cêtre.
- GRESSER P., ROBERT A., ROYER C. & VION-DELPHIN F., 1990. *Les hommes et la forêt en Franche-Comté*. Paris : Bonneton.
- GRIFFE E., 1947. *La Gaule chrétienne à l'époque romaine. I. Des origines chrétiennes à la fin du IV^e siècle*. Paris : Picard.
- GUENTHER G. C., CUNNINGHAM A. G., LAROQUE P. E. & REID D. J., 2000. Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry. In : *Proceedings of EARLSeL-SIG-Workshop LIDAR*. Dresden. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.eproceedings.org/static/vol01_1/01_1_guenther1.pdf
- GUILAINE J. (dir.), 1991. *Pour une archéologie agraire. A la croisée des sciences de l'Homme et de la Nature*. Paris : Armand Colin.
- GUILHOT J.-O., 1995. L'archéologie à Besançon de 1985 à 1995 ; considérer à nouveau la ville comme un site. In : RICHARD A., MUNIER C. (éds.). *Eclats d'Histoire. 25 000 ans d'héritages. 10 ans d'archéologie en Franche-Comté*. Besançon : Cêtre, p. 188-192.
- GUILHOT J.-O. & GOY C., 1990. *Document d'évaluation du patrimoine archéologique urbain. Besançon*. Tours : Centre National d'Archéologie Urbaine.
- HARMON J. M., LEONE M. P., PRINCE S. D. & SNYDER M., 2006. Lidar for archaeological landscape analysis : a case study of two eighteenth century Maryland plantation sites. *Antiquity* 71-3, p. 649-670.
- HARRIS W. V., 2011. Bois et déboisement dans la Méditerranée antique. *Annales Histoire, Sciences Sociales*. Editions de l'E.H.E.S.S., p. 105-140.
- HAUDRICOURT A. & BRUNHES DELAMARRE M., 1986. *L'homme et la charrue à travers le monde*. Lyon : La Manufacture.
- HAUSER J.-F., 2012. Dossier : Chailluz, la forêt des Bisontins. *La Presse Bisontine* n° 134, p. 19-23.
- HERITAGE G. & LARGE A., 2009. *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Oxford : John Wiley & Sons.

- HERITAGE G. L. & LARGE A. R. G., 2009. *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Chichester : Wiley-Blackwell.
- HERRING P. C., 2009. Framing Perceptions of the Historic Landscape : Historic Landscape Characterisation (HLC) and Historic Land-Use Assessment (HLA). *Scottish Geographical Journal* 125-1, p. 61-77.
- HESSE R., 2009. LiDAR-derived Local Relief Models - a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection* 17-2, p. 67-72.
- HESSE R., 2010. Extraction of archaeological features from high-resolution LIDAR data. In : BÖRNER W. & UHLIRZ S., (éds.). *Proceedings of the 14th International Congress "Cultural Heritage and New Technologies" held in Vienna, Austria November 2009*. Vienne: Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie, p. 636-642.
- HESSE R., 2013. The changing picture of archaeological landscapes: lidar prospection over very large areas as part of a cultural heritage strategy. In : OPITZ R. S. & COWLEY D., (éds.). *Interpreting archaeological topography: 3d Data, Observation and Visualization*. Oxford : Oxbow Books Limited, p. 171-183.
- HIGOUNET C., 1966. Les forêts de l'Europe occidentale du V^e au XI^e siècle. *Settimane di Studio del Centro Italiano di Studi sull'Alto Medioevo* 13. *Agricoltura e mondo rurale in Occidente nell'alto Medioevo*, p. 343-398.
- HODGSON M. & BRENAHAN P., 2004. Accuracy of airborne lidar-derived elevation : empirical assesment and error budget. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70, p. 331-340.
- HOLLAUS M., WAGNER W., EBERHOFER C. & KAREL W., 2006. Accuracy of large-scale canopy heights derived from lidar data under operational constraints in a complex alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60-5, p. 323-338.
- HORNE P. & COWLEY D., 2011. The English Heritage National Mapping Programme. In : COWLEY D (éd.). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. Bruxelles : EAC, AARG, p. 143-151.

- HORT A., 1916. *Theophrastus enquiry into plants and minor works on odour and weather signs. With an English translation*. London : William Heinemann.
- HUGUENIN M., 1948. *Historique de la cartographie de la nouvelle carte de la France*. Paris : Publications techniques de l'Institut Géographique National.
- HUMME A., LINDENBERGH R. & SUEUR C., 2006. Revealing celtic fields from LiDAR using kriging based filtering. Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium. Vol. XXXVI. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part5/>
- HUSSON J.-P., 1995. *Les forêts françaises*. Nancy : Presses Universitaires de Nancy. Collection géographie et environnement.
- HUTCHINSON M. F., 2008. Adding the z dimension. In : *The Handbook of Geographic Information Science*. Oxford : Blackwell Publishing, p. 144-168.
- HU Y., 2003. *Automated extraction of digital terrain models, roads and buildings using airborne LiDAR data*. Thèse de Doctorat. Calgary : University of Calgary. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/CVT/03.20187.YongHu.pdf
- HWANG S. N. & WEHRLI F. W., 2002. Subvoxel processing : a method for reducing partial volume blurring with application in vivo MR images of trabecular bone. *Magnetic Resonance in Medicine* 47-5, p. 948-957.
- HYENNE S., 1862. *De la corvée en France et en particulier dans l'ancienne province de Franche-Comté*. Besançon : J. Jacquin imprimeur-libraire.
- IGN, 2012. Dossier « Les couloirs du temps ». *Magazine n° 67, juil.-sept.*, p. 6-12. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.ign.fr/institut/ign-magazine/ign-magazine-ndeg67>
- IMHOF U., 2004. Die Chronologie der Hufeisen aus Schweizer Fundstellen. *Schweiz. Arch. Tierheilk* 146-1, p. 17-25.
- IMHOF U., 2010. Die Geschichte des Hufbeschlags. *Schweiz. Arch. Tierheilk* 152-1, p. 21-29.

IZARD V., 1992. L'art du charbonnier : contributions ethno-botanique et géographico-historique à l'étude des paysages métallurgiques d'après l'anthracologie des charbonnières. *Bulletin de la Société Botanique de France* n°139, p. 587-596.

IZARD V., 1999. *Les montagnes du fer. Eco-histoire de la métallurgie des forêts dans les Pyrénées méditerranéennes (de l'Antiquité à nos jours). Pour une histoire de l'environnement*. Thèse de Doctorat. Toulouse : Université de Toulouse 2.

JACCOTTEY L., 1998. *Carte archéologique. Besançon « hors Boucle »*. Besançon : SRA de Franche-Comté.

JACCOTTEY L. BRUNET-GASTON, V., HUMBERT, S., MAZIMANN, J.-P. & SORDOILLET, D., 2003. *Roche-lez-Beaupré (25). « Prés Chalot ». Rapport de diagnostic*. Dijon : INRAP.

JACOB J.-P. & MANGIN M., 1990. *De la mine à la forge en Franche-Comté. Des origines au XIX^e siècle. Annales littéraires de l'Université de Besançon*. Besançon : Les Belles Lettres.

JOAN L., 2003. *Carte archéologique de la Gaule. Le Doubs et le Territoire de Belfort. 25 et 90*. Paris : Académie des Inscription et Belles Lettres.

KAMINSKI A. Z., 1991. Res Publica, Res Privata. *International Political Science Review* 12-4, p. 337-351.

KAO D. L., KRAMER M. G., LOVE A. L., DUNGAN J. L. & PANG A. T., 2005. Visualizing distributions from multi-return lidar data to understand forest structure. *The Cartographic Journal* 42, p. 35-47.

KOKALJ Z., ZAKSEK K. & OSTIR K., 2008. The application of laser scanning in the study of past cultural landscapes - Kobarid case study. In : PERKO D. (éd.). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008*. Ljubljana, p. 321-329.

KOKALJ Z., ZAKSEK K. & OSTIR K., 2010. Advancement of Relief Interpretation with Sky-view Factor. Archaeological Application of an Advanced Visualization Technique Based on Diffuse Illumination. In : 30th *EARSeL Symposium : Remote Sensing for Science, Education and Culture. Conference abstracts*. Paris, p. 201.

- KOKALJ Z., ZAKSEK K. & OSTIR K., 2011. Application of sky-view factor for the visualization of historic landscapes features in the lidar-derived relief models. *Antiquity* 85-1, p. 263-273.
- KONG X., LIU L. & RYU H.-G., 2012. Activity-Artifact Flow of GPS/INS Integration for Positioning Error De-Correlation.. *In : New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*. Rijeka : lien valide le 20 septembre 2014 : <http://www.intechopen.com/books/new-approach-of-indoor-and-outdoor-localization-systems>
- KRAUS K. & PFEIFER N., 2002. Advanced DTM generation from LiDAR data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34, p. 23-30. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/np_annapolis_2001.pdf
- KRISSIAN K. & WESTIN C. F., 2005. Fast Sub-Voxel Re-initialization of distance Map for Level Set Methods. *Pattern Recognition Letters* 26, p. 1532-1546.
- LACROIX J.-P., 2006. *Bois de tonnellerie : de la forêt à la vigne et au vin*. Paris : Editions du Gerfaut.
- LAFARGE F. & MALLET C., 2012. Creating large-scale city models from 3D-point clouds : a robust approach with hybrid representation. *International Journal of Computer Vision* n°99-1, p. 69-85.
- LAGACHERIE M., 2007. De quelles essences parle-t-on? *In : Actes du séminaire du 7 juin 2007 à Montpellier*, p 5-7. Lien valida au 20 septembre 2014 : http://www.crpfr.com/telechargement/Tecnomed/Actes_tecnomed_bois_1-30.pdf
- LAGARDE M., 1984. *Un droit domanial spécial : le régime forestier*. Thèse de Doctorat. Toulouse : Université des Sciences Sociales.
- LAGIE B. & NAGEL J.-L., 2008. *Carte géologique harmonisée du département du Doubs*. BRGM/RP - 55929-FR. Orléans : BRGM - Centre scientifique et technique.
- LAPLAIGE C., 2012. *Comparaison de signaux (géophysique, LiDAR) utilisés dans l'étude des dynamiques anthropiques et naturelles*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.
- LAPLAIGE C., FRUCHART C., BOSSUET G. & OPITZ R., 2011. Apport des prospections aériennes, pédestres, microtopographiques et magnétiques à l'étude d'un

quartier artisanal antique : l'exemple de l'Essarté à Mathay (Doubs, France). *Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est* 60, p. 523-535. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://rae.revues.org/6706>

LASSURE C., 1997. *L'architecture en pierre sèche de la France : bibliographie chronologique (1521-1997). Etudes et recherches d'architecture vernaculaire n°17*. Paris : CERAV.

LASSUS F., 1993. Les forges comtoises au XVIII^{ème} siècle : une métallurgie traditionnelle liée au bois. In : *Annales Littéraires de l'Université de Besançon 487. Série CREHU 1. La Révolution industrielle en Europe*, p. p. 12-27.

LASSUS F., 1997. *Le Conducteur français publié par Louis Denis de 1779 à 1781. Itinéraires franc-comtois. Document de travail*. Laboratoire des Sciences Historiques - Institut d'Etudes Comtoises et Jurassiennes (non publié).

LAURENS A., 1830. *Annuaire statistique et historique du Doubs, pour l'année 1830*. Besançon : Imprimerie de Charles Deis.

LAURENS A., 1833. *Annuaire statistique et historique du Doubs, pour l'Année 1833*. Besançon : Librairie de Bintot.

LAURENS P., 1851. *Annuaire départemental du Doubs pour 1851. 39^e année*. Besançon : Imprimerie d'Outhenin Chalandre Fils.

LAURINI R. & MILLERET-RAFFORT F., 1993. *Les bases de données en géomatique*. Paris: Hermes Science Publications.

LEBEAU R., 2004. *Les grands types de structure agraire dans le monde*. Paris: Armand Colin (7^e éd.; 1^{ère} éd. 1969).

LEFEVRE S., 1977. Un entrepreneur de défrichements au XII^e siècle : David de la Forest. *Bulletin de la Société historique et archéologique de Corbeil, d'Etampes et du Hurepoix*, p. 77-83.

LEFORT J., 2004. *L'aventure cartographique*. Paris : Belin collection « Pour la Science ».

LENNON B. & CROW P., 2009. LiDAR and its role in understanding the historic landscape of Savernake Forest. *Wiltshire Archeological & Natural History Magazine* 102, p. 245-261. (consulté le 19 09 2014) : http://services.english-heritage.org.uk/ResearchReportsPdfs/029_2009_WEB.pdf

LEONARD J.-P., 1999. *Contribution à la typologie des principaux systèmes forestiers. Essai de classification de forêts à partir de facteurs sociétaux générateurs*. Thèse de Géographie de l'Université de Bordeaux III. Lille : Presses Universitaires du Septentrion.

LEONARD J.-P., 2005. *Forêt vivante ou désert boisé? La forêt française à la croisée des chemins*. Paris : L'Harmattan.

LERAT L. & WALTER H., 1990. *Besançon antique*. Paris : Imprimerie Nationale.

LETURCQ S., 2004. *La vie rurale en France au Moyen Age. X^e XV^e siècle*. Paris : Armand Colin.

LEVEAU P. & MORNET E., 1997. L'archéologie des paysages aux époques historiques : les grands aménagements agraires et leur signature dans le paysage (anthropisation des milieux et complexité des sociétés). In : *Milieux naturels, espaces sociaux. Etudes offertes à Robert Delort*. Paris : Publications de la Sorbonne, p. 71-84.

LEWUILLON S., 1991. Les murs de pierre sèche en milieu rural. In : GUILAINE J. (dir.). *Pour une archéologie agraire*. Paris : Armand Colin, p. 165-223.

LIAGRE J., 1997. *La forêt et le droit. Droit forestier et Droit général applicables à tous bois et forêts*. La Baule : Editions La Baule.

LING F. XIAO F., DU Y., XUE H. P. & REN X. Y., 2008. Waterline mapping at the subpixel scale from remote sensing imagery with high-resolution digital elevation models. *International Journal of Remote Sensing* 29-6, p. 1809-1815.

LOCATELLI R., 1987. *Bellevaux. De l'abbaye au château*. Cirey-les-Bellevaux : Centre d'Animation Régional de Bellevaux.

LOCATELLI R., 1992. Un siècle d'agitations urbaines. In : LOCATELLI, R. & RICHARD, H. (éds.). *Besançon. 1290-1990*. Besançon : Cêtre - Les Belles Lettres, p. 23-37.

- LOCATELLI R. & RICHARD H., 1992. *Besançon. 1290-1990. Actes du colloque organisé par l'Association du Septième Centenaire des Franchises de Besançon. Besançon, septembre 1990.* Besançon : Cêtre - Les Belles Lettres.
- LOMENIE N., 2001. *Interprétation de nuage de points : application à la modélisation d'environnements 3D en robotique mobile.* Thèse de Doctorat. Paris : Université René Descartes - Paris V.
- LUGINBÜHL Y., 2007. Pour un paysage du paysage. *Economie rurale* n°297-298, p. 23-40.
- MACINNES L., 2004. Historic Landscape Characterization. In : BISHOP K. & PHILLIPS A. (éds.). *Countryside Planning.* London : Earthscan, p. 155-169.
- MAGNY M., 1995. *Une histoire du climat. Des derniers mammoths au siècle de l'automobile.* Paris : Errance.
- MALEPEYRE Aîné F., 1836. *Maison rustique du XIX^e siècle. Encyclopédie d'Agriculture pratique. Tome quatrième. Agriculture forestière, législation et administration rurale.* Paris : Au Bureau. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://books.google.fr/books/about/Maison_rustique_du_XIXe_si%C3%A8cle.html?id=pntBAAAAcAAJ&redir_esc=y
- MALLET, C., 2010. *Analyse de données lidar à retour d'onde complète pour la classification en milieu urbain.* Thèse de Doctorat. Paris : Telecom Paris Tech. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00566992>
- MANDOUL P., 1925. Les routes de Franche-Comté au début du XVIII^e siècle. *Mémoires de la Société d'Emulation du Doubs*, p. 127-139.
- MANGIN M., 2004. *Le fer.* Paris : Errance.
- MARTIN-KILCHER S., 2011. Römer und gentes Alpinae im Konflikt – archäologische und historische Zeugnisse des 1. Jahrhunderts v. Chr. *Osnabrücker Forschungen zu Altertum und Antike-Rezeption* 14, p. 27-62.
- MARY M.-C., 1994. *Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France. Commission régionale de Franche-Comté. La métallurgie comtoise. XV^e - XIX^e siècles.* Besançon : Direction Régionale des Affaires Culturelles.

- MATHIEU D. & PRAICHEUX J., 1983. La fréquentation de loisir de la forêt de Chailluz (Besançon). *Cahiers de Géographie de Besançon. Séminaires et notes de recherches n° 26. Travaux du laboratoire de Géographie humaine n° 2*, p. 107-121.
- Mc COY M. D., ASNER G. P. & GRAVES M. W., 2011. Airborne lidar survey of irrigated agricultural landscapes : an application of the slope contrast method. *Journal of Archaeological Science* 38-9, p. 2141-2154.
- MERIAUX S., 1988. *Le tassement des sols agricoles : problèmes actuels et perspectives. Académie d'Agriculture de France. Compte-rendu 74-1*. Paris : Académie d'Agriculture de France.
- MEYNET F., 2004. *Sous-série 7 Mp. Agriculture et Eaux-et-forêts. Administration des Eaux-et-forêts. Fonds des inspections de Besançon. Répertoire numérique provisoire*. Besançon : Archives Départementales du Doubs. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://recherche.archives.doubs.fr/accounts/mnesys_ad25/datas/medias/Fichiers_pdf/10_M/M_Niv6_Inspection_des_eaux_et_fo_rets_de_besancon.pdf
- MILLARD K., BURKE C., STIFF D. & REDDEN A., 2009. Detection of a Low-Relief 18th-Century British Siege Trench Using LiDAR Vegetation Penetration Capabilities at Fort Beauséjour–Fort Cumberland National Historic Site, Canada. *Geoarchaeology : An International Journal* 24-5, p. 576-588.
- MILLS J. & ANDREWS D., 2011. *3D Laser Scanning for Heritage (second edition). Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. Swindon : English Heritage Publishing. Lien valide au 20 septembre 2014 : <https://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/>
- MLEKUZ D., 2013. Messy landscapes : lidar and the practices of landscaping. *In* : OPITZ R. S. & COWLEY D. (éds.). *Interpreting Archaeological Topography: 3D Data, Visualisation and Observation*. Oxford : Oxbow Books Limited, p. 90-101.
- MOIRIAT D., 2002. *Inventaire départemental des mouvements de terrain, département du Doubs. Rapport d'avancement. BRGM/RP - 51946-FR*. Dijon : BRGM - Service des actions régionales.

- MOIRIAT D. & LONGET A., 2003. *Inventaire départemental des cavités souterraines du Doubs (25). Rapport final. BRGM/RP - 52476-FR*. Orléans : BRGM - Centre scientifique et technique.
- MOLLIN J., 1960. Une région de contact entre Préalpes et avant-pays, et de frontière entre Savoie et France : la plaine de Saint-Laurent-du-Pont - Les Echelles sous l'Ancien Régime. *Revue de géographie alpine* 48-3, p. 481-510. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035-1121_1960_num_48_3_1877
- MOMMSEN T. & MEYER P. M., 1905. *Codex Theodosianus*. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.thelatinlibrary.com/theodosius.html>
- MONTEIL M. & TRANOY L., 2008. *La France gallo-romaine*. Paris : La Découverte.
- MOREAU R. S. R.-A., 1990. *La forêt comtoise. Centenaire de la Société Forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est*. Besançon : Société Forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est.
- MOUGIN V., 2002. *Forêt et métallurgie en Pays basque nord. Analyses anthracologiques et dendrochronologiques des charbonnières du massif d'Iraty*. Mémoire de Maîtrise. Besançon : Université de Franche-Comté.
- MOUGIN V., 2004. *Exploitation des ressources forestières au Pays basque nord. Approche anthracologique et dendrochronologique*. Mémoire de DEA. Besançon: Université de Franche-Comté.
- MOYSE G., 1973. *Les origines du monachisme dans le diocèse de Besançon. V^e - X^e siècles*. Paris : Bibliothèque de l'Ecole des Chartes. Tome CXXXI. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bec_0373-6237_1973_num_131_2_449960
- MOYSE G., 1992. La charte des Franchises de Besançon (1290). Présentation diplomatique du document. In : LOCATELLI, R. & RICHARD, H. (dir.). *Besançon. 1290-1990*. Besançon : Cêtre - Les Belles Lettres, p. 85-91.
- MULLER C., 1999. *La forêt de Chailluz. 1500-1674*. Mémoire de Maîtrise. Besançon : Université de Franche-Comté.

NAWRAT A., JEDRASIAK K., DANIEC K. & KOTERAS R., 2012. Inertial Navigation Systems and Its Practical Applications. In : *New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://www.intechopen.com/books/new-approach-of-indoor-and-outdoor-localization-systems>

NEF J. U., 1964. *Les fondements culturels de la civilisation industrielle*. Paris : Payot.

NEMOZ-RAJOT H., 1998. Le Régime forestier : une mosaïque moderne et évolutive. *Revue Forestière Française* 50-1, p. 10-19. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/5508>

NICOD J., 1994. Plateaux karstiques sous couverture en France. *Annales de Géographie* 103-576, p. 170-194.

NISARD D., 1864. *Les agronomes latins. Caton, Varron, Columelle, Palladius. Avec la traduction en français*. Paris : Firmin Didot.

NUNINGER L., 2002. *Peuplement et territoires protohistoriques du VIII^e au I^{er} siècle av. J.-C. en Languedoc oriental (Gard - Hérault)*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.

NUNINGER L., FRUCHART C. & OPITZ R., 2010. LiDAR : quel apport pour l'analyse des paysages? *Bulletin AGER* 20, p. 34-43.

NUNINGER L., OSTIR K., KOKALJ Z. & MARSETIC A., 2008. *Lidor. Acquisition, traitement et analyse d'images LiDAR pour la modélisation des paléo-reliefs de la plaine littorale du Languedoc oriental*. Besançon / Dijon / Ljubljana : CNRS / Université de Franche-Comté / Université de Bourgogne / ZRC SAZU.

NUNINGER L. & SANDERS L., 2006. La modélisation des réseaux d'habitat en archéologie : trois expériences. *Mappemonde* n° 83. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://mappemonde.mgm.fr/num11/articles/art06302.html>

OPITZ, R., 2009. Integrating lidar and geophysical surveys at Falerii Novi and Vignale, Falerii Veteres (Viterbo, IT). *Papers of the British School at Rome* 77, p. 1-27 et 335-343.

OPITZ R. & NUNINGER, L., 2014. Point Clouds Segmentation of Mixed Scenes with Archaeological Standing Remains : A Multi-Criteria and Multi-Scale Iterative Approach. *International Journal of Heritage in the Digital Era* 3-2, p. 287-304.

- OPITZ R., NUNINGER L. & FRUCHART C., 2012. Thinking topographically about the landscape around Besançon (Doubs, France). In : KLUIVING S. & GUTTMANN-BOND E. (éds.). *Landscape Archaeology between Art and Science. From a Multi- to an Interdisciplinary Approach*. Amsterdam : Amsterdam University Press, p. 395-412.
- OPITZ R. S., 2008. *Lidar Survey for Archaeology*. Thèse de Doctorat. Cambridge : University of Cambridge.
- OPITZ R. S. & COWLEY D., 2013. *Interpreting Archaeological Topography : 3d Data, Observation and Visualization*. Oxford : Oxbow Books Limited.
- ORTHOLAN H., 2003. *Le général Séré de Rivières : le Vauban de la Revanche*. Paris : B. Giovanangeli.
- OSTERMANN R., 2002. Taillis et vignoble dans les collines sous-vosgiennes : leurs liens jusqu'à la fin du XIX^e siècle. In : A. CORVOL, (Ed.). *Forêt et vigne, bois et vin. XVI^e-XX^e siècle*. Paris : L'Harmattan, p. 89-104.
- OSTIR K. & NUNINGER L., 2006. Paleorelief detection and modelling : a case study in eastern Languedoc (France). In : S. CAMPANA, (Ed.). *From space to place : proceedings of the 2nd international workshop*. Oxford : Archaeopres, p. 553-558.
- OTHENIN-GIRARD B., 2007. Les fours à chaux de Boncourt Grands'Combes (Jura, CH) : époque romaine, haut Moyen Âge, XVIII^e siècle. In : *Premières Journées Archéologiques Frontalières de l'Arc Jurassien*. Besançon-Porrentruy : PUFC, p. 229-237.
- PAINTER T. H., FLANNER M. G., KASER G., MARZEION B., VAN CUREN R. A. & ABDALATI W., 2013. End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial black carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110-38, p. 15216-15221.
- PAQUETTE S., 2007. Les enjeux du paysage au Québec entre logiques de préservation et de développement. *Economie rurale n°297-298*, p. 41-54.
- PAQUIER M., 1986. *La vallée du Doubs et son environnement archéologique de Besançon à, Mandeure (exclus) à l'époque romaine*. Mémoire de Maîtrise. Besançon : Université de Franche-Comté.

- PAQUIER M., 1989. La "voie romaine du Rhin" entre Besançon et Mandeure (Doubs) : bilan des recherches récentes. *Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est* 40-155, p. 31-45.
- PASSARD F., GIZARD S., URLACHER J.-P. & RICHARD A. (dir.), 2003. *Burgondes, Alamans, Francs, Romains dans l'est de la France, le sud-ouest de l'Allemagne et la Suisse. V^e-VII^e siècle après J.-C. Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté n° 892*. Besançon : PUFC.
- PELEG S., KEREN D. & SCHWEITZER L., 1987. Improving image resolution using subpixel motion. *Pattern Recognition Letters* 5, p. 223-226.
- PELLETIER M., 1990. *La carte de Cassini*. Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- PERRY D. A., 1994. *Forest ecosystems*. Baltimore : John Hopkins University Press.
- PETOT J., 1958. *Histoire de l'administration des ponts et chaussées. 1599-1815*. Paris : Librairie Marcel Rivière et Cie.
- PETREQUIN P., 2008. Une architecture liée à l'exploitation de la forêt : la baraque de charbonnier. *Barbizier. Revue régionale d'ethnologie franc-comtoise* n°32, p. 13-32.
- PEYRE J.-F. A., 1855. *Lois des Bourguignons, vulgairement nommée Loi Gombette*. Lyon : A. Brun. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k111330n.item>
- PHARR, C., 1952. *The Theodosian Code and Novels and the Sirmondian Constitutions*. Princeton : Princeton University Press.
- PIERRET P., 1985. *Saint Gengoux patron des mal mariés*. Paris : Le Sorbier.
- PITTE J.-R., 2011. *Histoire du paysage français*. Paris : Tallandier. (rééd.)
- PLAISANCE G., 1962. La toponymie des défrichements et déboisements. *Revue Géographique de l'Est* n° 3, p. 221-232.
- PLAISANCE G., 1979. *La forêt française. Ses visages, ses richesses, son avenir*. Paris : Denoël.

PLINE l'ancien & LITTRE, E., 1848. *Histoire naturelle de Pline avec la traduction en français. Tome premier. Livres I à XIX*. Paris : Dubochet. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2820810>

PLINE l'ancien & LITTRE, E., 1850. *Histoire naturelle de Pline avec la traduction en français. Tome second. Livres XX à XXXVII*. Paris : Dubochet. Lien valide au 20 septembre 2014 : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k282082c>

PLOQUIN A. ALLEE P., BAILLY-MAITRE M.-C., BARON S., DE BEAULIEU J.-L., CARIGNAN J., LAURENT S., LAVOIE M., MAHE LE CARLIER C., PARADIS S. *et al.*, 2010. PCR - Le Plomb argentifère ancien du Mont Lozère (Lozère). À la recherche des mines, des minerais et des ateliers, des paysages et des hommes. *Archéosciences* 34, p. 99-114.

POIRIER N., 2010. *Un espace rural à la loupe. Paysage, peuplement et territoires en Berry de la Préhistoire à nos jours*. Tours : Presses Universitaires François Rabelais. Coll. Perspectives historiques.

PORNON H., 2011. *SIG. La dimension géographique du système d'information*. Paris : Dunod.

PRAICHEUX J., 1972. Un exemple d'aménagement périurbain : la forêt de Chailluz à Besançon. *Revue Géographique de l'Est* 12-1, p. 399-405.

PRANZINI E., 2007. Airborne LIDAR survey applied to the analysis of historical evolution at the Arno River delta (Italy). *Journal of Coastal Research* 50, p. 400-409.

PUMAIN D. & SAINT-JULIEN T., 1997. *L'analyse spatiale*. Paris : Armand Colin.

PUMAIN D. & SAINT-JULIEN T., 2001. *Les interactions spatiales*. Paris : Armand Colin.

PUMAIN D. & SAINT-JULIEN T., 2010. *Analyse spatiale. Les localisations*. Paris : Armand Colin. (2^{ème} éd.)

RACINET P., SCHWERDROFFER J. (dir.), 2004. *Méthodes et initiations d'histoire et d'archéologie*. Nantes : Editions du Temps.

- RAMEAU J.-C., MANSION, D. & DUME, G., 1994. *Flore forestière française. Guide écologique illustré. 2. Montagnes*. Paris : IDF.
- RANDALL A. R., 2014. LiDAR-aided reconnaissance and reconstruction of lost landscapes: An example of freshwater shell mounds (ca. 7500–500 cal b.p.) in northeastern Florida. *Journal of Field Archaeology* 39-2, p. 162-179.
- RAYNAUD C., 2003. Les systèmes agraires antiques : quelle approche archéologique? *Revue Archéologique de Picardie n° 1-2*, p. 281-298.
- REDDE M. & Von SCHNURBEIN S., 2001. *Alésia. Fouille et recherches franco-allemandes sur les travaux militaires autour du Mont Auxois (1991-1997). Mémoires de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, t. XXII*. Paris : De Boccard. (3 vol.).
- REIMER P. J., BARD E., BAYLISS A., BECK J. W., BLACKWELL P. G., BRONK RAMSEY C., BUCK C. E., CHENG H., EDWARDS R L., *et al.*, 2013. IntCAL13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55-4, p. 1869-1887. Lien valide au 20 septembre 2014 : <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/view/16947>
- RENFREW C. & BAHN P., 2000. *Archaeology : Theory, Methods, and Practice*. London : Thames & Hudson.
- RICHARD A. & MUNIER C., 1995. *Eclats d'Histoire. 25 000 ans d'héritages. 10 ans d'archéologie en Franche-Comté*. Besançon : Cêtre.
- RICHARD H., 2000. L'introduction de l'agriculture sur la montagne jurassienne : plus d'un millénaire de succès et d'échecs apparents. *Etudes Rurales* 153-154. *La très longue durée*, p. 115-125.
- RIO B., 2001. *L'arbre philosophique*. Lausanne : L'Age d'Homme. Collection Antaios.
- RISBOL O., GJERTSEN A. & SKARE K., 2006. Airborne laser scanning of cultural remains in forests: some preliminary results from a Norwegian project. *In* : CAMPANA S. & FORTE M. (éds.). *From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. BAR International Series 1568*. Oxford : Archaeopress, p. 107-112.
- ROBERT S., 2003. Comment les formes du passé se transmettent-elles? *Etudes Rurales* 167-168, p. 115-131.

ROBERT S., 2003. *L'analyse morphologique des paysages entre archéologie, urbanisme et aménagement du territoire : exemples d'études de formes urbaines et rurales dans le Val d'Oise*. Thèse de Doctorat. Paris : Université de Paris I.

ROBERT S., 2006. La résilience des réseaux routiers : l'exemple du Val d'Oise. *Bulletin AGER n° 15*, p. 8-14.

ROBERT S., 2011. *Sources et techniques de l'archéogéographie. Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté 895. Série Environnement, sociétés et archéologie 15*. Besançon : Presses Universitaires de Franche-Comté.

ROBERT S. & VERDIER N., 2009. *Du sentier à la route. Une archéologie des réseaux viaires. Les Nouvelles de l'archéologie n° 115*. Paris : Maison des Sciences de l'Homme, Errance.

RODIER X. BARGE O., SALIGNY L., NUNINGER L., & BERTONCELLO F., 2011. *Information spatiale et archéologie*. Paris : Errance.

ROSENTHAL P., 1990. Les ressources minières de Franche-Comté : minerais métalliques. *In : De la mine à la forge en Franche-Comté. Des origines au XIX^e siècle*. Besançon : Les Belles Lettres, p. 13-48.

ROUAUD R., 2011. Impact du charbonnage sur le paysage forestier de la haute vallée de la Dordogne. *Cahiers d'Etudes, forêt environnement et société XVI^e-XX^e siècles. Groupe d'Histoire des Forêts Françaises*, p. 76-88.

ROWLANDS A. & SARRIS A., 2007. Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing. *Journal of Archaeological Science* 34-5, p. 795-803.

ROYALL C., 2011. The National Mapping Programme. South Dorset Ridgeway Mapping Project. Results of NMP Mapping. Truro : Cornwall Council. Lien valide au 20 septembre 2014 : https://www.english-heritage.org.uk/publications/nmp-south-dorset-ridgeway/South_Dorset_Ridgeway_NMP_web.pdf

ROYER C., CHEVAL F. & LASSUS F. (dir.), 1988. *Gamay noir et savagnin ou les vignobles de Franche-Comté considérés sous le rapport de l'histoire, de la géographie et de l'ethnologie*. Belfort : Editions France Régions.

ROYER J.-P., 2003. La vie de Saint Gengoul. *Annales de Bourgogne* 75-299, p. 351-373.

SALOMON J.-N., 2006. *Précis de karstologie*. Bordeaux : PUB. (2^{ème} édition).

SCHELLBERG G., SITTLER B., HERING S., WATTENDORF P. & KONOLD W., 2010. Airborne Laser Scanning in der Kulturlandschaftsforschung. *Natur und Landschaft* 85, p. 199-205.

SCHMITHÜSEN F. & KAZEMI Y., 1995. Analyse des rapports entre les attitudes des gens envers la forêt et leurs attitudes envers la gestion forestière. *Journal Forestier Suisse* 146-4, p. 247-264.

SCOTT R., 2010. *Removing mountains : extracting nature and identity in the Appalachian Coalfields*. Minneapolis : University of Minnesota Press.

SERMAN W. & BERTAUD J.-P., 1998. *Nouvelle histoire militaire de la France, 1789-1919*. Paris : Fayard.

SHAW J., 2012. *Preliminary notes on the marine geology off southwest Newfoundland, based on a merged multibeam/LiDAR data set*. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M183-2-6977-eng.pdf

SHAW R. & CORNS A., 2011. High resolution LiDAR specifically for archaeology : are we fully exploiting this valuable resource?. In : COWLEY D. (éd.). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. Bruxelles : EAC, AARG, p. 77-86.

SHIH P. T. Y., CHEN Y. H. & CHEN J. C., 2014. Historic Shipwreck Study in Dongsha Atoll with Bathymetric LiDAR. *Archaeological Prospection* 21-2, p. 139-146.

SILLIERES P., 1983. Ornières et voies romaines. *Caesarodunum n° XVIII. Actes du colloque « Voies anciennes en Gaule »*. Tours : Université de Tours, p. 37-45.

SIMON L., 1999. Potentialités forestières et production de bois : de l'approche naturaliste à l'approche géographique. *Annales de Géographie* 108-609/610, p. 635-647.

SITHOLE G. & VOSSSELMAN G., 2004. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare Earth Extraction From Airborne Laser Scanning Point Clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58-3/4, p. 85-101.

- SITHOLE G. & VOSSELMAN G., 2005. Filtering of airborne laser scanner data based on segmented point clouds. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, p. 66-71.
- SITTLER B., 2004. Revealing historical landscapes by using airborne laser scanning. A 3-D model of ridge and furrow in forests near Rastatt (Germany). *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 26, p. 258-261.
- SITTLER B., HAUGER, K. & RIEDINGER R., 2007. Les champs bombés de Rastatt en Pays de Bade. In : R. BOURRIGAUD & F. SIGAUT, (Eds.). *Nous labourons*. Nantes : Centre d'histoire du travail, p. 97-105.
- SITTLER B., WEINACKER H., GÜTLINGER M. & KOUPALIANZ L., 2007. The potential of Lidar assessing elements of cultural hidden under forests. In : *New Developments in Remote Sensing*. Rotterdam : Millpress, p. 539-548.
- SMULLIN L. D. & FIOCCO G., 1962. Optical echoes from the moon. *Nature* 194, p. 1267.
- STAHL G., HOLM S., GREGOIRE T. G, GOBAKKEN T., NAESSET E. & NELSON R., 2011. Model-based inference for biomass estimation in a LiDAR sample survey in Hedmark County, Norway. *Canadian journal of forest research* 41, p. 83-95.
- STOULLIG C. (éd.), 2006. *De Vesontio à Besançon*. Besançon : Musée des Beaux-Arts et d'Archéologie. CHAMAN Edition.
- STULAR B., 2011. The use of lidar-derived relief models in archaeological topography. The Kobarid region (Slovenia) case study. *Arheološki vestnik* 62, p. 393-432.
- STULAR B., KOKALJ Ziga, OSTIR Kristof & NUNINGER L., 2012. Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science* 39-11, p. 3354-3360.
- SZABO P., 2009. Open woodland in Europe in the Mesolithic and in the Middle Ages : Can there be a connection? *Forest Ecology and Management* 257, p. 2327-2330.
- TADDEI J.-C., 2009. Une nouvelle lecture du territoire par la limite. *Les Cahiers du GRANEM*. Université d'Angers, p. 1-20.

- TAINTER J. A., 2006. Archaeology of Overshoot and Collapse. *Annual Review of Anthropology* 35, p. 59-74.
- TAYLOR R. E., 1987. *Radiocarbon Dating. An archaeological perspective*. London : Academic Press Inc. Ltd.
- THEOPHRASTE & HORT, A., 1999. *Theophrastus. Enquiry into plants. Books I-V. With an English translation by Arthur Hort*. Londres : Harvard University Press. (1^{ère} éd. 1916).
- THIRGOOD J. V., 1981. *Man and the Mediterranean forest : a history of resource depletion*. Londres : Academic Press.
- THOMAS J., 2012. Archaeologies of Place and Landscape. In : I. HODDER, (Ed.). *Archaeological theory today. Second edition*. Cambridge : Polity Press, p. 167-186.
- TINETTE R., 1981. *Etude de cheminements d'eau souterraine par traceurs. Mise en évidence de liaisons autoroute-captages à Besançon. Bulletin de liaison du laboratoire de physique et chimie 113*. Autun : Laboratoire régional des Ponts et Chaussées.
- ULRICH R. B., 2007. *Roman woodworking*. London : Yale University Press.
- VALLAURI D., GRELL, A., GRANIER, Evelyne & DUPOUEY, J.-L., 2012. *Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles*. Marseille : WWF/INRA. Lien valide au 20 septembre 2014 : http://www.foretsanciennes.fr/wp-content/uploads/Vallauri_et_al_2012.pdf
- Van TILBURG C., 2007. *Traffic and Congestion in the Roman Empire*. Abingdon : Routledge.
- VAXELAIRE L., MUNIER C. & GASTON C., 2003. *Besançon - Palais de Justice. Doubs (25). Opération archéologique préventive (15 mai 2000 - 01 mars 2001). Document Final de Synthèse*. Besançon : Inrap - DRAC - SRA. (2 volumes)
- VERHAEGEN P. & DRAGUT L., 2012. Object-based landform delineation and classification from DEMs for archaeological predictive mapping. *Journal of Archaeological Science* 39-3, p. 698-703.
- VERHULST A., 2002. *The Carolingian Economy*. Cambridge : Cambridge University Press.

VERNET J.-L., 1997. *L'homme et la forêt méditerranéenne, de la Préhistoire à nos jours*. Paris : Errance.

VIGNON E., 1862-1880. *Etudes historiques sur l'administration des voies publiques en France avant 1790*. Paris : Dunod (4 volumes).

VION-DELPHIN F., 1980. Forêts et politique forestière en Franche-Comté du rattachement à la Révolution. *Univers et Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle du Doubs. Numéro spécial*, p. 12-29.

VION-DELPHIN F., 1983. L'homme et la forêt en Franche-Comté aux XVII^e et XVIII^e siècles. Mutations et conflits. In : GRESSER P., ROBERT A., ROYER C. & VION-DELPHIN F., *Les hommes et la forêt en Franche-Comté*. Besançon : Centre Universitaire d'Etudes Régionales. Université de Franche-Comté, p. 69-101.

VION-DELPHIN F., 1987. La lutte pour la forêt à Besançon au XVIII^e siècle. *Bulletin de la Société d'Emulation du Doubs*, p. 111-136.

VION-DELPHIN F., 1991. L'approvisionnement en bois de chauffage d'une capitale provinciale au XVIII^e siècle : le cas de Besançon. In : BIGET J.-L., BOISSIERE J. & HERVE J.-C. (éds.). *Le bois et la ville du Moyen Âge au XX^e siècle. Colloque de Saint-Cloud. 18-19 novembre 1988. Cahiers de Fontenay. Hors collection*. Fontenay-aux-Roses : ENS Fontenay Saint-Cloud, p. 51-74.

VION-DELPHIN F., 1994. La consommation militaire en bois franc-comtois (XVIII^e s.). In : CORVOL A. (dir). *Forêt et guerre*. Paris : L'Harmattan, p. 117-126.

VION-DELPHIN F., 1995. *La forêt comtoise de la conquête française à la révolution (1674 - fin du XVIII^{ème} siècle)*. Thèse de Doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.

VION-DELPHIN F., 1999. L'exploitation des bois de marine, facteur d'intégration au royaume? La Franche-Comté au XVIII^e s. In : CORVOL A. (dir). *Forêt et marine*. Paris : L'Harmattan, pp. 213-224.

VION-DELPHIN F., 2002. La forêt et la vigne en Franche-Comté : adaptation, variété et tensions au XVIII^e siècle. In : CORVOL A. (éd.). *Forêt et vigne, bois et vin. XVI^e-XX^e siècle*. Paris : L'Harmattan, p. 123-134.

- VION-DELPHIN F., 2003. La législation forestière à la charnière des XV^e et XVI^e siècles. *In* : DELOBETTE L., DELSALLE P. (dir). *La Franche-Comté à la charnière du Moyen Âge et de la Renaissance. 1450-1550*. Besançon : PUFC, p. 267-282.
- VISCUSI-SIMONIN V., 1998. *Approche documentaire du cadre urbain de 1350 à 1500. Inventaire du fonds des Archives Municipales*. Mémoire de DEA. Besançon : Université de Franche-Comté.
- VOSSelman G. MAAS. H.-G. (éds.), 2010. *Airborne and terrestrial laser scanning*. Caithness : Whittles Publishing.
- VUAILLAT D., 1987. *La paléoméallurgie de la Franche-Comté. Age du Bronze et âge du Fer. Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté. Série archéologie n°36*. Paris : Les Belles Lettres.
- VUILLEMENOT M., 2004. *Les forêts de pente des collines bisontines : cartographie, identification des enjeux de conservation et proposition d'un réseau écologique*. Mémoire de stage de Maîtrise. Besançon : Université de Franche-Comté, DIREN.
- WALTER H. & BARCON J.-C., 2004. *Vesontio Besançon*. Lyon : Presses Universitaires de Lyon.
- WANG Y., SARTELET K. N., BOCQUET M. & CHAZETTE P., 2013. Assimilation of ground versus lidar observations for PM10 forecasting. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13, p. 269-283.
- WEGMAN E. J. & SOLKA J. L., 2005. Statistical Data Mining. *Handbook of statistics* 24, p. 1-46.
- WEHR A. & LOHR U., 1999. Airborne laser scanning - an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, p. 68-82.
- WELLER O., DUFRAISSE A. & PETREQUIN P., 2008. *Sel, eau et forêt, d'hier à aujourd'hui. Cahiers de la MSHE Ledoux n°1*. Besançon : PUFC.
- WERBROUCK I., ANTROP M., VAN EETVELDE V., STAL C., DE MAEYER P., BATS M., BOURGEOIS J., COURT-PICON M., CROMBE P., DE REU J., *et al.*, 2011. Digital elevation model generation for historical landscape analysis based on LiDAR data, a case study in Flanders (Belgium). *Expert Systems with Applications* 38-7, p. 8173-8185.

WHITE W., 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. New York : Oxford University Press.

WICKHAM C., 1990. European Forests in the Early Middle Ages : Landscape and Land Clearance. In : *L'ambiente vegetale nell'alto medioevo, Tomo Secondo. Settimane di studio del CISAM XXXVII*. Spoleto : Presso La Sede del Centro, p. 479-545.

WILLEMSE M., 1997. *Le vocabulaire du défrichement dans la toponymie wallonne. Volume I*. Liège : Bibliothèque de la Faculté de Philosophie et Lettres de l'Université de Liège.

WILLIAMS M., 2000. Dark ages and dark areas : global deforestation in the deep past. *Journal of Historical Geography* 26-1, p. 28-46.

WILSON J. P. & FOTHERINGHAM, A. S., 2008. *The Handbook of Geographic Information Science*. Oxford : Blackwell Publishing.

WORONOFF D. (dir.), 1990. *Forges et forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois*. Paris : EHESS.

WORONOFF D. (dir.), 1989. *Révolution et espaces forestiers. Colloque des 3 et 4 juin 1987. Groupe d'histoire des forêts françaises*. Paris: L'Harmattan.

WULDER M. A., WHITE J. C., NELSON R. F., NAESSET E., ORKA H. O., COOPS N. C., HILKER T., BATER C. W. & GOBAKKEN T., 2012. Lidar sampling for large-area forest characterization : A review. *Remote Sensing of Environment* 121, p. 196-209.

ZAKSEK K., OSTIR K. & KOKALJ Z., 2011. Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sensing* 3-2, p. 398-415.

ZAVYALOV V. V., BINGHAM G. E., WOJCIK M., JOHNSON H. & STRUTHERS M., 2009. Application of principal component analysis to LiDAR data filtering and analysis. In : SINGH U. & PAPPALARDO G. (éds.). *Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing V. Proceedings of SPIE Vol. 7479*. Bellingham : SPIE Digital Library.

ZLINSZKY A., TOTH V., POMOGYI P. & TIMAR G., 2011. Initial report of the Aimwetlab Project : simultaneous airborne hyperspectral, lidar and photogrammetric survey of the full shoreline of Lake Balaton, Hungary. *Geographia Technica No. 1*, p. 101-117.

Résumé :

Mots-clés : archéologie, forêt, LiDAR, analyse spatiale, paysage, Besançon

Besançon est en France métropolitaine la ville de plus de 100 000 habitants avec le plus fort taux d'espaces verts par habitant. La forêt de Chailluz, qui existe depuis plus de six siècles, forme près des 3/4 de sa surface forestière. Aucune recherche scientifique ne rendait encore compte de la nature et de la valeur de son patrimoine archéologique. Un des objectifs de cette étude est de détecter, identifier et documenter le patrimoine historique et archéologique de la forêt de Chailluz pour permettre *in fine* sa valorisation auprès du grand public. Cette thèse contribue aussi à la réflexion collective menée dans divers programmes de recherche (LIEPPEC, ODIT - MSHE C.N. Ledoux ; LEA ModelTER), qui visent à développer des méthodes de traitement de données altimétriques à haute résolution pour une analyse des paysages dans la longue durée (LIEPPEC), à conduire des recherches avancées en termes de concepts et de méthodes sur les dynamiques socio-environnementales dans la longue durée (ModelTER) et à étudier des dynamiques territoriales à l'échelle régionale pour diffuser les connaissances élaborées auprès des acteurs locaux et aider à la prise de décision, à l'innovation et à la mise en place de politiques de développement durable (ODIT). Dans ce cadre collectif, ma thèse contribue à caractériser l'occupation et l'exploitation du massif de Chailluz au cours des siècles passés pour mieux comprendre son histoire et son évolution. Elle vient enrichir le développement de méthodes et de connaissances pour une meilleure compréhension des interactions entre l'homme et son environnement dans la longue durée. Les recherches, qui ont été conduites selon une démarche transdisciplinaire associant archéologie, histoire, géographie et foresterie, reposent sur une collecte d'archives et de documents planimétriques et photographiques, sur un bilan des travaux universitaires, sur un recensement d'informations relatives à la forêt en général, sur des observations de terrain et sur l'analyse de données LiDAR. Le mémoire fournit une perspective historique sur la forêt en général et sur les usages du bois et de ses dérivés attestés par des textes anciens ou par l'archéologie. Il tente de rendre compte de la diversité des points de vue existant sur la forêt, transformations de ses usages successifs ou pluralité des appréciations et concepts qu'on lui attribue aujourd'hui. Il expose les données historiques spécifiques à la forêt de Chailluz et détaille la documentation actuelle : données archéologiques préalablement connues, informations géographiques et environnementales. Il se consacre ensuite à la méthodologie des recherches et évoque les principales étapes de traitement des données LiDAR puis s'intéresse, pour procéder à une analyse spatiale, aux facteurs influençant les conditions d'observation et de conservation des microreliefs à la surface du sol. Il décrit la méthode de prospection au sol élaborée, les choix opérés pour enregistrer les données et la méthodologie de géoréférencement de plans forestiers anciens. Le mémoire détaille ensuite les résultats obtenus grâce aux recherches sur le terrain et propose des synthèses interprétatives expliquant la présence, l'organisation et la fonction des structures relevées en prospection (aménagements agropastoraux, établissements, voirie, plateformes de charbonniers, fours à chaux et carrières). Une synthèse interprétative globale de l'occupation du sol par périodes conclut le mémoire.

Abstract:

Keywords: archaeology, woodland, LiDAR, spatial analysis, landscape, Besancon

Today Besancon has the highest percentage of green space per inhabitant among France's largest cities. 3/4 of it are made up by the Forêt de Chailluz, a large forest which has maintained its present day extents for over six centuries. Scientific research reporting on the nature and value of its heritage was still to do. One objective of this thesis is to detect, identify and document the history and heritage of this forest, ultimately aiming to its preservation and to inform a large audience about its value. This thesis is also a contribution to a collective thinking worked out in several research programs that develop methods for processing high-resolution altimetry data (LiDAR) to analyze landscape changes over the long term (LIEPPEC), that develop advanced concepts and methods for a better knowledge of socio-environmental dynamics over the long term (ModelTER) and that explore territorial dynamics at regional scale to transmit results and knowledge to local stakeholders, giving advice on innovative and sustainable actions to support (ODIT). Within this collective framework, my PhD research is a contribution to the development of methods and knowledge for a better understanding of long term interactions between man and its environment. My interdisciplinary study combines archeology, history, geography and forestry and consists in analyzing LiDAR datasets and collecting and synthesizing written and graphical historical archives and recent documents. It also involved extended archaeological field surveys. Thesis provides a global historic perspective on the forest and on the use of wood, as attested by ancient texts or archeological evidence. It exposes diverse viewpoints and concepts carried out about woodland – diversity of uses through time and diversity of viewpoints about forest today. It also outlines specific historic data relating to the Forêt de Chailluz and details the current literature: previously known archaeological data, geographical and environmental information. It describes methodologies chosen to process the research and the main steps of LiDAR data analysis. Study focuses then on a spatial analysis of archeological features that includes factors influencing conservation and visibility of features to the soil surface. Thesis describes the method used for field surveys and methodology for georeferencing ancient maps. Eventually, results obtained are detailed, features organization and functions identified (features relating to cultivation and inhabitation, roads and tracks, charcoal burning platforms, limekilns and quarries). Dissertation ends with an interpretive synthesis of Forêt de Chailluz land use over time (Roman, Medieval and Modern periods).