



HAL
open science

Expérimentations et développements de "l'outil charbonnière" : approches anthracologiques et dendrochronologiques des forêts pyrénéennes

Léonel Fouédjeu Fomou

► **To cite this version:**

Léonel Fouédjeu Fomou. Expérimentations et développements de "l'outil charbonnière" : approches anthracologiques et dendrochronologiques des forêts pyrénéennes. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2022. Français. NNT : 2022TOU20104 . tel-04469309

HAL Id: tel-04469309

<https://theses.hal.science/tel-04469309>

Submitted on 20 Feb 2024

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

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



THÈSE

**En vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

Délivré par l'Université Toulouse 2 - Jean Jaurès

**Présentée et soutenue par
LEONEL FOUEDJEU FOUMOU**

Le 15 décembre 2022

**Expérimentations et développements de "l'outil charbonnière":
Approches anthracologiques et dendrochronologiques des forêts
pyrénéennes**

Ecole doctorale : **TESC - Temps, Espaces, Sociétés, Cultures**

Spécialité : **Géographie**

Unité de recherche :
GEODE - Géographie de l'Environnement

Thèse dirigée par
DIDIER GALOP et VANESSA PY-SARAGAGLIA

Jury

Mme ALEXA DUFRAISSE, Rapporteuse
Mme ALINE DURAND, Rapporteuse
M. OLIVIER GIRARD CLOS, Examineur
M. BERNARD DAVASSE, Examineur
M. OLIVER NELLE, Examineur
M. DIDIER GALOP, Directeur de thèse
Mme VANESSA PY-SARAGAGLIA, Co-directrice de thèse

A

Manette,

Ma'a Cha, Ma'a Gi et Ma'a Co.

Résumé

Depuis la fin des années 1980, la « mémoire des charbonnières » est appréhendée **comme un excellent moyen d'étudier et de reconstituer les paléo-peuplements forestiers**. Grâce à **l'étude de cette mémoire**, les travaux antérieurs ont caractérisé les différents temps forts **de l'histoire des peuplements** pyrénéens en lien avec les pratiques humaines.

Cette thèse **qui s'appuie sur la riche documentation issue de ces travaux pionniers, propose, grâce à une étude globale et interdisciplinaire de l'ancienne forêt charbonnée** de Bernadouze (Suc-et-Sentenac, Vicdessos, Pyrénées du Nord), de nouvelles démarches interdisciplinaires permettant de cerner plus finement la relation complexe entre les activités métallurgiques et les forêts.

Ce travail a permis **d'apporter un éclairage nouveau sur la pression réelle** de l'industrie du fer au charbon de bois sur le couvert forestier dans les Pyrénées françaises. En effet, la relecture des archives historiques, documentant les activités métallurgiques et les forêts, **combinée à l'analyse des charbonnières a permis de (re) caractériser** la chronologie et l'intensité du charbonnage et de mesurer son réel impact sur les forêts.

D'autre part, la séquence opérationnelle complète, **c'est-à-dire** les modes et modalités de collecte du bois et les systèmes sylvicoles associés au charbonnage, a été étudiée. Cette approche a permis de compléter nos connaissances sur les gestes techniques des charbonniers afin de mieux évaluer leur impact à long terme sur les écosystèmes forestiers et de mettre en lumière les héritages qui en résultent.

En **dernier**, **l'approche méthodologique inédite** conduite sur une charbonnière contemporaine a permis de saisir toute la complexité de la charbonnière. Cette étude a aussi permis de proposer une alternative sérieuse aux limites chronologiques imposées par les plateaux radiocarbones. Elle restitue avec une très haute résolution temporelle la durée de fonctionnement du replat et la chronologie des pratiques associées.

Mots clés : Industrie du fer, charbonnage, anthracologie, dendro-anthracologie, dendrochronologie, micromorphologie, histoire, gestion forestière, héritages, Pyrénées du Nord.

Abstract

Since the end of the 1980s, the memory of charcoal kilns has been understood as an excellent means of studying and reconstructing forest palaeo-stands. Through the study of this memory, previous works have characterized the main key moments in the history of the pyrenean stands in relation to human practices.

This thesis, which is based on the rich documentation resulting from this pioneering work, proposes, thanks to a global and interdisciplinary study of the ancient charcoal forest of Bernadouze (Suc-et-Sentenac, Vicdessos, Northern Pyrenees), new interdisciplinary approaches that allow to better understand more closely the complex relationship between metallurgical activities and the forests.

This work has reopened the debate on the supposed impact of the charcoal iron industry on forest cover in the French Pyrenees. Indeed, the review of historical archives, documenting metallurgical activities and forests, combined with the analysis of charcoal kilns has allowed to (re) characterize the chronology and intensity of charcoal production and its real impact on the forests.

On the other hand, the complete operational sequence, i.e., the modalities of wood collection and the silvicultural systems associated with charcoal burning, was studied. This approach allowed us to complete our knowledge of the technical gestures of charcoal burners in order to better evaluate their long-term impact on forest ecosystems and to highlight the resulting legacies.

Finally, the original methodological approach conducted on a contemporary charcoal kiln has allowed us to understand the complexity of the charcoal archive. This study also proposed a serious alternative to the chronological limits imposed by radiocarbon plateaus. It reconstructs, with a very high temporal resolution, the period of a terrace used and the chronology of associated practices.

Key words : charcoal iron industry, charcoal production, anthracology, dendro-anthracology, dendrochronology, micromorphology, history, forest management, legacies, Northern Pyrenees.

« Les tâtonnements de nos prédécesseurs nous apprennent à marcher avec plus de sûreté, et l'on ne sait jamais mieux conduire la science en avant que lorsqu'on sait le chemin qu'elle a parcouru jusqu'à nous »

J.P Rossignol, Des métaux dans l'antiquité

Remerciements

Au terme de cette aventure, je souhaite témoigner toute ma reconnaissance aux personnes ayant rendu ce projet possible. **J'exprime aussi** ma gratitude à celles et ceux qui ont joué une partition, aussi modeste soit-elle, à la conception de ce manuscrit.

Mes **remerciements vont tout d'abord à l'endroit de ma directrice** de thèse, Vanessa Py-Saragaglia, **l'initiatrice de ce projet**. Voici la fin **d'une aventure humaine** et professionnelle entamée, sur un simple coup du sort, au printemps 2014. Beaucoup de patience et **d'implication** de sa part ont été nécessaire à ma formation et susciter **l'envie** de développer les questions abordées en **stage dans le cadre d'une thèse**. Merci pour le suivi, **l'accompagnement sur le terrain**, les relectures. **Merci d'avoir fédéré** autour de moi une équipe interdisciplinaire et **bienveillante m'ayant permis** de mieux saisir la pertinence de mes résultats et de les valoriser dans des revues à audience internationale.

Je témoigne également ma gratitude à Didier Galop, co-directeur de la thèse qui a également suivi ce travail. Merci pour la relecture du manuscrit et **l'accompagnement** dans toutes les démarches administratives relatives aux stages, colloques, publications et autres financements nécessaires au bon déroulement du projet.

Je remercie aussi les membres de mon jury Aline Durand, Alexa Dufraisse, Oliver Nelle, Olivier Girardclos et Bernard Davasse qui ont bien voulu évaluer ce travail.

Cette thèse n'aurait pas été possible sans le soutien financier de l'Université Toulouse Jean Jaurès avec la bourse CDU, du laboratoire GEODE (CNRS, Université Toulouse Jean Jaurès) par le biais de ses différents projets dont le soutien financier a rendu possible les enquêtes de terrain, les recherches archivistiques et les datations radiocarbone. **Il s'agit des projets FODYNA (2013-2018) et TRANSYLVE (2019-2021)**, dirigés par Vanessa Py-Saragaglia et Sylvain Burri financés par l'OHM via le Labex DRIIHM, programme français "Investissements d'Avenir" (ANR-11-LABX-0010), qui est géré par l'ANR.

Merci au **laboratoire GEODE pour l'accueil** et les moyens techniques mis à disposition. Mille mercis à tous ses membres et surtout aux plus assidu.es : Emilie Lerigoleur pour les moments passés au labo et en dehors, les encouragements et la disponibilité pour le traitement de mes données, Hugues Barcet pour sa promptitude à toujours aider et encourager les doctorants **et les échanges sur le foot (l'unique sport qui soit)**, Cécile Brun, Magali Phillippe, Florence Mazier, Emilie Gil, Gilles Casonato et enfin, Jean-Paul Métaillié dont **les connaissances sur le charbonnage en Ariège ont été d'un réel apport** dans la maturation de ma réflexion.



Mes remerciements vont pareillement à Sandrine Paradis-Grenouillet qui a fait preuve de disponibilité, malgré ses multiples occupations, pour travailler avec moi sur les aspects dendro-anthracologiques. **Son ouverture d'esprit m'a permis de valoriser au mieux mes données. Je ne serai jamais assez reconnaissant pour les fois où elle m'a accueillie au sein de son labo et à son domicile. Merci à son époux Guillaume et leurs enfants, Maxime et Louise pour l'accueil.**

Merci à Mélanie Saulnier. Tu es là depuis le **début de l'aventure. Tu as su faire preuve** de beaucoup de patience et de pédagogie **pour m'initier à la dendrochronologie** et rendu possible mon stage à Prague. Merci pour le soutien, les conseils, les moments passés en salle anthraco, ton efficacité sur le terrain et le partage de ta passion pour la recherche ont été un réel appui.

Un grand merci à **Sylvain Burri qui a été d'une grande aide** dans le cadre de nos collaborations. Son grand apport sur les aspects historiques a permis de relever la qualité de ce **travail. Merci d'avoir contribué** à cette aventure aussi bien dans la valorisation des résultats que lors de **l'acquisition des données sur le terrain.**

Merci à Laurent Larrieu, chercheur expérimenté. Son recul et sa relecture attentive ont été décisifs pour améliorer la qualité des articles. **Merci d'avoir accepté de faire du terrain avec nous et d'avoir partagé** ton expérience notamment pour la prise en main **de l'outil IBP dont tu as assuré notre formation et piloter l'investigation de terrain.**

Je remercie aussi Vincent Labbas pour sa disponibilité lors de nos descentes sur le **terrain. Nos échanges m'ont permis d'avoir** un grand recul sur mes données

dendrochronologiques. Tu as su prendre le relai de mon initiation à la dendrochronologie et collaborer avec Mélanie Saulnier pour un bon rendu.

Merci à Sandrine Buscaino. Ma collègue ! Comment ne pas souligner ta bonne humeur par toute saison. **Merci pour les moments passés à la salle d'antraco**, pour ton appui technique et ton professionnalisme sur le terrain.

Je ne saurai oublier Marie-Claude Bal, directrice adjointe du labo et surtout co-voitureuse fun. Merci pour nos échanges constructifs et ta bonne humeur contagieuse lors de nos trajets Toulouse – Limoges.



Des remerciements particuliers sont adressés au Service Régional d'Archéologie d'Occitanie (SRA), dirigé par Didier Delhoume, qui a soutenu l'étude micromorphologique ; à l'Office National des Forêts (ONF) de l'Ariège et aux bûcherons qui ont participé à la collecte des rondelles de bois. Je remercie aussi le programme ARTEMIS (Centre de Datation par le RadioCarbone, UMR 5138 Archéométrie et Archéologie, Lyon) qui a permis de réaliser une grande partie des datations radiocarbone AMS.

Je remercie aussi le **laboratoire DYNAFOR qui a accepté de m'accueillir** dans ses locaux pendant la période de **blocage total de l'université**. Merci au Département d'écologie forestière de l'Université tchèque des sciences de la vie de Prague (République tchèque), dirigé par Mirolav Svoboda, pour **avoir accepté de m'accueillir dans le cadre d'un stage de deux mois** en écologie forestière. Merci à Martin **Dušátko qui m'accompagne durant ce stage** dans l'analyse dendrochronologique de mes data.

Merci à Franc Philippe pour son aide et ses connaissances sur la forêt de Bernadouze et ses environs, au menuisier de l'Université Toulouse Jean Jaurès, Henri Come, qui a aidé à préparer les pièces de bois pour les mesures dendrochronologiques.



Je voudrais remercier mes parents, Tagni Gaston et Magni Bernadette pour leurs prières et encouragements incessants, **je vous dois pleinement l'aboutissement de ce travail**. Merci à Charlie, Gisèle, Bobo, Petit, Fidèle, Eric, Colette, Freddy, Jordan,

Manuela, Bénito, Samira, Emmanuella, Cameron, Queen, Warren, Gaston, Nathan, Johanna, Paguiel, Winnie, David, Serge et Samson pour le soutien moral sans faille.

Mes remerciements vont aussi à tata Charlotte, tonton Etienne et à tonton Léopold pour **ses messages d'encouragement, la relecture** du manuscrit et la correction du français.

Je remercie mes mamans, Jacobine et Joseline. Merci à tonton Armand. Sans oublier ma maman Yvonne et mes petites soeurs Laurie et Johanna. Merci à maman Lucienne, à Robert et au Père Anaclet.

Les *potos*: Léon, Axel, Yannick, Didier, Joëlle, Jeff, Anaïs, Yolla, Thibault, Muriel, Florent, Céline, Adrien, Seydou, Sabina, Lionel, Jeanne, Loïc, Floriane, ma filleule Madaïa, Djilolé, Cindy, mon viel ami Almami. *“Alors, cette thèse, elle avance?”*
Maintenant, je pourrai répondre “Elle est terminée!”

Un grand merci aux *murs porteurs*, cette aventure ne serait jamais terminée sans leur solide soutien. Sont gravés à jamais les moments passés ensemble, au labo et (aussi) en dehors, les fou rires, les discussions autour de nos travaux (et pas uniquement!), de nos incertitudes et inquiétudes, de **l'après thèse**: un réconfort mutuel nous ayant **permis d'avancer**, chacun son rythme, mais conjointement. Mes cher.es collègues doctorant.es, auparavant **juste collègues, aujourd'hui** très bons ami.es: Romain, Clara, Maria, Alice, Céline, Franck, ainsi que les ainé.es, qui ont su montrer le chemin et conseiller: Mélodie, Président Yayé, Hugo, Johann, Tibi, Thierry, Raquel, Vale, recevez ici ma plus profonde gratitude.

Je remercie Viviane Carelle, LRDMC.

A **celles et ceux, que j'aurais involontairement** oublié.es de mentionner, un grand merci !

Sommaire

Résumé	3
Abstract.....	4
Remerciements.....	7
Sommaire	12
Introduction générale.....	18
Chapitre I : Matériel et méthode.....	36
1. Cadrages de l'étude	36
1.1. Cadrage géographique et physique de la vallée de Suc-et-Sentenac	36
1.1.1. Localisation du terrain d'étude	36
1.1.2. Géologie et géomorphologie.....	37
1.1.3. Climat	38
1.1.4. Pédologie	38
1.2. Bref historique de l'histoire Holocène de la végétation de la forêt de Bernadouze par les études paléocologiques	39
1.3. Cadrage scientifique et technique	41
2. La nécessaire interdisciplinarité	43
3. Investigations archéologiques.....	45
3.1. Prospections pédestres, détection des charbonnières et échantillonnage	45
3.2. Jeu d'échelles	47
4. Du charbon de bois à la gestion forestière en passant par les pratiques humaines associées au charbonnage	49
4.1. Reconstituer le diamètre initial minimal du bois et la physionomie des forêts exploitées.....	49
4.2. Entrer au cœur des pratiques	50
4.3. Quid des héritages des pratiques sur les peuplements actuels ?	50

5. De la mémoire des sols à la mémoire des cernes: étude d'une charbonnière	
contemporaine pour dater et caractériser à haute résolution son histoire.....	53
Chapitre II : L'industrie sidérurgique à base de charbon de bois a-t-elle réellement	
entraînée le déclin du couvert forestier dans les Pyrénées septentrionales ?.....	59
Introduction	63
1. Material and methods.....	66
1.1. Study area	66
1.2. Historical approach	66
1.3. Archaeological investigations.....	67
1.4. Laboratory analyses	68
2. Results	69
2.1. Variation of iron industry intensity according to historical data	69
2.2. Archaeological evidences	75
2.3. Results of charcoal analysis for the focus area	79
3. Discussion.....	81
3.1. Fuel consumption for the iron industry and woodland management strategies	
over time	81
3.2. Long-term forest evolution driven by human practices.....	85
Conclusion	89
Chapitre III : Les héritages socio-écologiques des pratiques séculaires de charbonnage	
dans une forêt de montagne des Pyrénées septentrionales.....	92
Introduction	97
1. Materials and methods	101
1.1. The survey area	101
1.2. Archaeological survey, CK selection and sampling strategy	101
1.3. Analysis of the charcoal dataset	102
1.4. Assessment of current stand capacity to host biodiversity	105
2. Results	105

2.1. Chronology of charcoal making activity.....	105
2.2. Wood selection for charcoal production	106
2.2.1. Selected tree species and seasonality of logging	106
2.2.2. Wood diameter reconstruction, number of rings and the minimum age of the charred wood	108
2.2.3. State of wood before carbonization	108
2.3. Current stand capacity to host biodiversity.....	110
3. Discussion.....	111
3.1. General trends in the historical charcoal manufacturing practices at Bernadouze	111
3.1.1. Mono- or multi-species CKs depend on wood availability and economic strategies.....	111
3.1.2. The use of well-calibrated pieces of woods harvested between the end of the growing season and vegetative recovery	112
3.1.3. Wood moderately seasoned before the burning season to obtain quality charcoal.....	113
3.2. Some insights about silvicultural practices over time.....	114
3.3. The long-term legacy of historical human practices	116
3.3.1. An ancient but immature forest, with weak tree-species diversity and hosting capacity	116
3.3.2. Ensuring collective memory and cultural heritage.....	118
4. Conclusion and recommendations for the Bernadouze forest	119
Chapitre IV: Reconstruction à haute résolution de la production de charbon de bois d'une charbonnière moderne des Pyrénées françaises: approche intégrée combinant dendrochronologie, micromorphologie et anthracologie	122
Introduction	125
2. Material and methods	128
2.1. Study area	128
2.2. Sampling strategies.....	130

2.2.1. Archaeological survey and charcoal sampling	130
2.2.2 Micromorphological sampling	131
2.2.3 Dendrochronological sampling	132
2.3 Laboratory Analysis	133
2.3.1 Anthracological analysis	133
2.3.2. Micromorphological analysis	133
2.3.3. Dendrochronological analysis	133
3. Results	135
3.1. Archeological evidence and charcoal features	135
3.2. Microstratigraphic features	136
3.3. Felled trees master chronology.....	140
3.4. Charcoal kiln master chronology	141
4. Discussion.....	144
4.1. Characterisation of the CK record.....	144
4.2. Accuracy of the CK master chronology.....	146
4.3. High-temporal chronological reconstruction of charcoal production activity on the target CK terrace	147
4.3.1. A non-intensive initial phase of charcoal making	147
4.3.2 The second phase of use of the CK terrace.....	150
4.3.3 Some insights about charcoal burner practices and seasonality.....	151
Conclusion	152
Chapitre V : Synthèse générale	155
1. Affiner la chronologie du charbonnage dans l'espace-temps	155
1.1. L'approche globale du site de Bernadouze	155
1.2. Vers une meilleure connaissance des pratiques de charbonnage et de la complexité de l'archive "charbonnière"	160
2. Diffusion spatiale de la pratique de charbonnage et régularisation des pratiques à partir de la fin du Moyen Âge.....	161

3. De la forêt charbonnée à la forêt <i>cellulose</i>	164
4. Forges et forêts	165
4.1. Histoire de l'environnement et de l'industrie du fer	165
4.2. Pratiques sociales et héritages.....	169
5. Conclusion générale	175
6. Perspectives	177
Bibliographie	180
Table des illustrations de la thèse	234
Liste des figures de la thèse.....	234
Liste des tableaux de la thèse.....	238
Annexes	239
Annexe 1 : Détail des archives étudiés.....	239
Annexe 2 : Liste et pourcentages des taxons identifiés.....	280
Annexe 3 : Le protocole dendro-anthracologique.....	283
1. Detailed of the three-step methodology to retrieve wood diameters used in CKs	283
2. Évaluation de la représentativité des échantillons de hêtre et de sapin en fonction des courbes effort/rendement	287
3. Table detailed the 405 mathematical simulation used to detect the potential diversity of wood supply strategies	288
Annexe 4 :	298
Annexe 5:.....	307
Table des illustrations des annexes.....	310
Liste des figures des annexes	310
Liste des tableaux des annexes	311

Introduction générale

Du déterminisme, où les sociétés humaines prélevaient uniquement le surplus offert par la nature pour leur survie (économie de subsistance) (Beaune, 2007), au **possibilisme, pouvant être incarné par le rêve de R. Descartes de devenir “maître et possesseur de la nature”** (Descartes, 1637), les relations sociétés humaines et environnement ont beaucoup évolué (Smith, 1984; Barreteau et al., 1997; Gargani and Jouannic, 2015). Les premiers indices fiables **d’anthropisation remontent au Néolithique** où, animées par l’ambition de se sédentariser, les sociétés humaines défrichent, cultivent, transforment et façonnent leur milieu (Riera et al., 2007; Mazoyer and Roudart, 2017; Demoule, 2019). **Cette action s’accroît durant la Protohistoire**, en particulier avec le développement des sociétés pastorales (Davasse et al., 1997; Braemer and Sapin, 2001; Rendu et al., 2016). **L’intensification de la pression humaine sur les ressources naturelles est souvent associée à l’apparition** et au développement de la métallurgie (Devèze, 1964; Métailié and Jalut, 1991; Mather, 1992). **L’Antiquité est perçue comme une période au cours de laquelle les forêts, et en particulier les forêts de montagne, sont constamment exploitées pour l’approvisionnement en bois d’œuvre des centres urbains** (Chevalier, 1985; Béal, 1995). **Considérées par les historiens de l’environnement comme de véritables espaces multifonctionnels**, les forêts sont également nourricières car elles apportent des ressources végétales et animales (chasse, cueillette, affouage, élevage, fourrage etc.) **indispensables à la vie quotidienne, jouant ainsi un rôle majeur dans l’économie aussi bien rurale qu’urbaine** (Paradis-Grenouillet et al., 2018b; Beck and Guizard, 2019).

Un peu partout dans la “vieille Europe” et dans les milieux montagnards en particulier qui regorgent d’un sous-sol riche en minerais (fer, cuivre, plomb, argent, or, etc.) (Métailié and Jalut, 1991; Ploquin et al., 2010; Oillic, 2011; Oury, 2020), **s’est développée une activité métallurgique liée à l’extraction et à la transformation des minerais** dont le maintien et le développement dépendent étroitement de **l’approvisionnement en bois et en charbon de bois dans les forêts avoisinantes voire plus lointaines** (Arnould, 1978; Belhoste, 1990; Woronoff, 1990; Davasse, 2000; Py, 2009; Allée et al., 2010). De la dégradation à la déforestation, en passant par les déprédations, les forêts ont longtemps été décrites comme ruinées par les exploitations minières, les ateliers métallurgiques et les forges (Arnould, 1978; Houzard, 1980;

1983; Woronoff, 1984; Métailié and Jalut, 1991; Bonhôte, 1998). Ces activités qui ont été parfois pendant plusieurs siècles de véritables poumons économiques, ont laissé des traces importantes dans **l'environnement et les paysages** (Hart et al., 2008; Ludemann, 2010; Dupin et al., 2017; Benatti et al., 2018; De Oliveira and Scheel-Ybert, 2018; Patzlaff et al., 2018). De la sorte, dans les anciennes vallées minières, les paysages forestiers ou ouverts actuels sont le résultat de plusieurs siècles de pression, tantôt abusive, tantôt régulée (Davasse, 1989).

Ces anciennes forêts dites métallurgiques (Houzard, 1980; Houzard et al., 1983; Paradis-Grenouillet, 2012) ou charbonnées (Métailié and Jalut, 1991), constituent aujourd'hui des archives de **l'histoire des peuplements et des pratiques humaines** (Davasse, 2000; Paradis-Grenouillet et al., 2015; Dupin et al., 2017; Py-Saragaglia et al., 2017b). Cette histoire est également perçue au travers de **l'étude des sources écrites** (archives et rapports forestiers, cahiers des gardes forestiers, rapports des activités métallurgiques, etc.), même si ces dernières demeurent souvent incomplètes et **discontinues et ne permettent pas toujours d'éclairer les temps médiévaux et plus anciens. D'autres archives peuvent être étudiées telles que les nombreux vestiges** archéologiques plus ou moins bien conservés (charbonnières, fours, forges, ateliers métallurgiques, crassiers etc.) liés à ces activités (Woronoff, 1990; Bonhôte, 1993; 1998; Bonhôte et al., 2002; Ludemann and Nelle, 2002; Máliš et al., 2021).

Forges et forêts

Les premières recherches sur l'histoire des forêts et des activités métallurgiques ont longtemps été cloisonnées, c'est-à-dire disciplinaires. Ces dernières étaient principalement basées sur **l'étude des sources historiques** documentant l'approvisionnement en combustible des forges, étroitement lié à la disponibilité des ressources en bois (Levainville, 1922; Chevalier, 1956; Devèze, 1973). **C'est dans les années 1990** que se développent pour la première fois, dans les hauts lieux de production de fer sur le versant nord des Pyrénées françaises (Ariège et Pyrénées orientales), de nombreuses études croisées, impliquant des chercheur.e.s de **disciplines différentes. Ces études s'appuyaient sur l'analyse des traces** archéologiques - charbonnières, fours, forges, ateliers métallurgiques, crassiers etc. - liées à la **métallurgie pour mieux comprendre la pression "préindustrielle" ou "protoindustrielle" sur les ressources et le fonctionnement des écosystèmes forestiers**

(Bonhôte and Vernet, 1988; Bonhôte, 1993). Le but était de retracer l'histoire et l'évolution de ces forêts au travers du poids des activités humaines, et en particulier de l'économie du fer. Les travaux sur les protoindustries se sont appuyés sur une démarche similaire à celle initiée un peu plus tôt dans les monts polonais (Bielenin, 1974; 1992). Les recherches françaises se sont déroulées dans le cadre du projet interdisciplinaire PIREN¹ intitulé "La forêt charbonnée"² regroupant des historiens, archéologues, géographes, archéobotanistes et paléoenvironnementalistes (Métaillié and Jalut, 1991).

Ces recherches ont été à l'origine des premiers débats interdisciplinaires menés à l'occasion de plusieurs colloques internationaux, où des réflexions autour des questions portant sur l'histoire des forêts en lien avec l'essor et le développement des activités métallurgiques ont été longuement discutées (Woronoff, 1990; Métaillié, 1992; Barrué-Pastor and Bertrand, 2000). En suivant, plusieurs articles scientifiques (Bonhôte and Vernet, 1988; Davasse and Galop, 1990; Dubois et al., 1996; Dubois, 2000; Dubois and Métaillié, 2001; Bonhôte et al., 2002) et thèses de doctorat (Bonhôte, 1993; Galop, 1997; Davasse, 1998; Izard, 1999) portant sur les forêts et la végétation ariégeoises ont été publiés. Au regard de ces premiers résultats, le cadre géographique a par la suite été étendu de l'Ariège aux Pyrénées méditerranéennes et orientales, ceci afin d'affiner les connaissances sur les phénomènes d'anthropisation à l'échelle de la chaîne et de mesurer leurs impacts sur le couvert végétal. Ainsi, par l'entremise de la datation par le radiocarbone de certains corpus anthracologiques et polliniques (macro-restes végétaux associés), les temps forts de la dynamique de la végétation des Pyrénées ariégeoises et méditerranéennes ont pu être restitués (Bonhôte, 1993; 1998; Davasse and Galop, 1994; Izard, 1994; 1995; 1999; Davasse, 1998; 2000; 2006; Galop, 1998; 2005; Bonhôte et al., 2000; Galop et al., 2013). Ces travaux ont notamment mis en évidence la relation dynamique entre le hêtre européen (*Fagus sylvatica* L.) et le sapin blanc (*Abies alba* Mill.) qui ont subi des perturbations anthropiques successives dues au développement des activités agropastorales (Kenla

¹ Le Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement (PIREN) a été lancé par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en 1978. Cette approche inédite regroupant plusieurs chercheurs de domaines scientifiques différents a permis et facilité la mise en place d'importantes investigations scientifiques sur l'histoire de l'environnement en France et dans le monde.

² Histoire des forêts et impact de la métallurgie dans les Pyrénées ariégeoises au cours des deux derniers millénaires dirigé par J.-P Métaillié et Guy Jalut.

and Jalut, 1979; Jalut et al., 1982; 1988; Jalut, 1984; 1988; Galop and Jalut, 1994; Galop, 1997; 1998; 2000; 2005), minières, de la métallurgie du fer et du charbonnage (Davasse, 2000; Dubois and Métailié, 2001; Bonhôte et al., 2002). Ces premières reconstitutions reposaient également sur les résultats acquis par les recherches historiques portant sur la sidérurgie médiévale menées plus tôt par C. Verna (Verna, 1994).

Par la suite et sur la base des acquis du projet PIREN, le Programme Collectif de Recherche (PCR) : Mines, métallurgie et forêts dans les Pyrénées ariégeoises de **l'Antiquité au Moyen Age**³, a été élaboré pour relayer l'étude sur la forêt charbonnée. Ce PCR interdisciplinaire en archéologie forestière devait combiner les méthodes archéologique, biogéographique, archéométrique, minéralogique et géochimique pour **dater la genèse des activités minières dans la haute Ariège et étudier l'évolution technique des activités métallurgiques**. En suivant, des recherches similaires (aux projets PIREN et au PCR) ont été menées sur le versant sud des Pyrénées (Euba, 2008; Pèlachs et al., 2009; Euba Rementeria and Palet-Martinez, 2010) ainsi que dans d'autres régions forestières en France (Fabre, 1996; Vernet, 1997; Py, 2009; Ploquin et al., 2010; Paradis-Grenouillet, 2012; Rouaud, 2013; Dupin, 2018), et ailleurs dans **d'autres pays d'Europe comme l'Allemagne** (Backer et al., 1992; Ludemann, 2002; 2006; 2010; Ludemann and Nelle, 2002; Nelle, 2002; 2003), **l'Italie** (Montanari et al., 2000; 2002; Pescini, 2013), **l'Angleterre** (Pott et al., 1992; Gale, 2003; Bond, 2007) ou encore la Belgique (Hardy and Dufey, 2012a; 2012b).

« *La mémoire des charbonnières* » (Bonhôte and Vernet, 1988)

La charbonnière désigne **d'abord** le tas de bois qui est réduit en charbon, ensuite le lieu où il a été installé (Furetière, 1690; Bonhôte, 1998). **On l'appelle aussi "replat" ou "plateforme" de charbonnage. La charbonnière est donc une place où étaient dressés un ou plusieurs tas de bois pour la production de charbon.** Dans les milieux montagnards, **comme c'est le cas de notre terrain d'étude, les charbonnières étaient généralement installées sur des replats topographiques plus ou moins aménagés** (Bonhôte, 1998; Davasse, 2000; Pèlachs et al., 2009).

³ Mines, métallurgie et forêts dans les Pyrénées ariégeoises de l'Antiquité au Moyen Age : des Hommes, des arbres et du métal piloté par Cl. Dubois et J.-P. Métailié.

Deux grandes catégories de charbonnières sont les plus couramment rencontrées : les charbonnières en meule et en fosse.

Les charbonnières en meule sont définies comme des “lieux en forme pyramidale remplis de branchages et couverts de terre, où on allume un feu et où on laisse petit à petit le bois se convertir en charbon” (Furetière, 1690). Ce sont les plus utilisées pour la fabrication du charbon de bois et elles sont les plus répandues sur notre terrain d'étude. **Contrairement aux charbonnières en meule, les charbonnières en fosse ou en terre, utilisent les parois du sol comme isolant.** Cette technique de charbonnage privilégie les sols meubles (profond, limoneux et bien drainés) donc facile à creuser (Bourquin-Mignot et al., 1999). **Les charbonniers creusent dans le sol des fosses d'une dimension relative à la quantité de charbon à produire : grande fosse d'un volume pouvant atteindre 30 m³, ou petites fosses généralement entre 1 et 5 m³ (FAO⁴, 1983).** **Ensuite, après avoir rangé le bois à l'intérieur, l'ensemble est recouvert de feuillage sec et de terre pour éviter que la charbonnière ne s'enflamme.**

Plusieurs sources historiques font mention jusqu'au XIX^e siècle de charbonnières en fosses (principalement de petites fosses) dans les Pyrénées françaises (vallée de Gourbit, Pays de Sault) et catalanes (Bonhôte and Fruhauf, 1990b; Izard, 1999; Bonhôte et al., 2002). Mais leur mode de fonctionnement reste peu connu puisqu'aucun site en fosse, n'a pour l'instant été “officiellement” retrouvé et fouillé (Bonhôte et al., 2002). Toutefois la découverte de certaines charbonnières atteignant jusqu'à 80 cm (Bonhôte et al., 2002), voire 120 cm de profondeur (cas d'une charbonnière de notre terrain d'étude), pouvant correspondre à des charbonnières en fosse, laisse croire en leur présence.

Dans les Pyrénées comme dans d'autres régions européennes, la charbonnière a d'abord été utilisée par les scientifiques comme un outil géographique permettant de restituer l'étendue spatiale et la variation des limites supérieures des anciennes forêts charbonnées (Bonhôte and Vernet, 1988; Davasse and Galop, 1990; Groenewoudt, 2005; Groenewoudt and Spek, 2016), puis comme une archive paléobotanique, permettant de reconstituer leur composition floristique (Bonhôte and Vernet, 1988; Davasse, 1989). **L'analyse de la répartition spatiale des charbonnières, combinée à leur**

⁴ Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

étude typologique (forme, structure, dimensions, conservation etc.) a permis de mettre en évidence (i) le rôle prégnant des sociétés humaines dans les dynamiques forestières, **(ii) d'émettre des hypothèses sur les aires d'approvisionnement en bois et (iii) de cartographier l'emplacement des anciennes forêts charbonnées** (Bonhôte and Vernet, 1988; Davasse, 1989; 2000; Davasse and Galop, 1990; Izard, 1992; Dubois et al., 1996; Foard, 2001; Ludemann and Nelle, 2002; Groenewoudt, 2005; Paradis-Grenouillet, 2012; Knapp et al., 2013; Raab et al., 2015; Groenewoudt and Spek, 2016; Krebs et al., 2017; Deforce et al., 2020). **L'étude des charbons de bois retrouvés dans les charbonnières et leur datation radiocarbone ont conduit, dans une perspective diachronique, à combler les carences des sources écrites et à une réinterprétation biogéographique et paléoécologique des anciennes forêts charbonnées** (Davasse, 2000). Elles ont mis en évidence des paysages forestiers parfois profondément transformés au fil des siècles par les pratiques humaines (Davasse and Galop, 1990). **Aujourd'hui, grâce notamment aux acquis européens, la charbonnière s'est imposée à l'échelle internationale comme un objet de recherche pertinent pour étudier les changements socio-environnementaux et la dynamique des paysages forestiers sur le temps long** (Foley, 1986; Bhattarai, 1998; Chidumayo and Gumbo, 2013; Rueda et al., 2015; De Oliveira and Scheel-Ybert, 2018; Durand et al., 2018; Patzlaff et al., 2018; Lisboa et al., 2020), **mais elle s'est avérée être également une archive complexe à décrypter.**

De la complexité de l'étude des charbonnières

La réutilisation des replats de charbonnage est couramment mentionnée dans les traités techniques modernes (Duhamel Du Monceau, 1761; Marié de L'Isle, 1835; Malepeyre, 1836; Percy, 1864; Huffel, 1926) et les études ethnobotaniques (Lepoivre, 1940; Battesti, 1992; Lugli and Pracchia, 1995; Lugli, 2013; Vaschalde, 2018). Cette pratique était motivée par des contraintes à la fois topographiques (disponibilité des zones planes notamment en zone de montagne, épaisseur du sol, disponibilité en eau, protection contre le vent etc.) et technique (chaîne opératoire en amont de la carbonisation) (Bonhôte, 1998; Krebs et al., 2017). Avant chaque nouvelle utilisation, la charbonnière était généralement nettoyée et la terre issue de la précédente carbonisation était recyclée pour recouvrir la nouvelle meule de bois (Poggi and Métailié, 1998; Burri, 2008). Ces processus de réutilisation, qui demeurent encore très **complexes à appréhender à partir de l'archive archéologique, entraînent**

nécessairement une perturbation du profil stratigraphique de la charbonnière après chaque carbonisation, conduisant ainsi au mélange de charbons issus des anciennes et nouvelles carbonisations.

La récurrence, voire la pérennité de la pratique de charbonnage sur un même replat, implique donc que la **couche résiduelle de charbon, prélevée au moment de l'étude, ne** représente en réalité que la synthèse lissée de plusieurs années, voire siècles **d'activités. Un constat qui soulève un problème récurrent à l'étude des charbonnières,** celui de la représentativité des données anthracologiques, dans la mesure où de tels procédés peuvent compromettre les diagrammes anthracologiques (Izard, 1992). Par exemple, la mise en évidence de successions végétales contradictoires, montrant un schéma d'évolution n'obéissant pas à une dynamique forestière cohérente (Izard, 1992; Davasse, 2000). En plus de la contrainte liée à la réutilisation du replat, **l'essentiel des connaissances sur le charbonnage, impliquant les gestes techniques du charbonnier, c'est-à-dire** la construction de la meule, le choix du combustible, la conduite de la carbonisation, le défournement, le ramassage du charbon etc., est le **plus souvent transmis aux chercheur.e.s par le biais d'un processus mémoriel déformant** ne permettant pas de bien cerner la pratique (Cantelaube, 2005; Krebs et al., 2017; Dupin, 2018; Paradis-Grenouillet et al., 2018a). En effet, comme le soulignent Paradis-Grenouillet et al. (2018a), ces activités **“ne laissent dans les sources écrites comme archéologiques que des traces fugaces en raison à la fois de la mobilité de ses acteurs et de la transmission orale de ses savoir-faire”**.

Généralement, une charbonnière montre une couche noire et épaisse de charbons **mélangés à un sol très noir et homogène, dont l'épaisseur varie en fonction du replat** et de sa localisation. Des cas de charbonnières avec une « couche stérile » intercalée dans la couche charbonneuse ont aussi été constatés (Dubois et al., 1996; Izard, 1999; Montanari et al., 2000; Nelle, 2003; Raab et al., 2017; Hirsch et al., 2018). Elles demeurent toutefois plus rares contrairement aux couches noires et homogènes (Dupin et al., 2019). **Certaines couches noires peuvent atteindre jusqu'à 120 cm d'épaisseur comme nous avons pu l'observer dans une charbonnière** de notre terrain **d'étude**. De telles charbonnières avec un niveau charbonneux profond restent exceptionnelles, car sur la plupart des replats observés sur différents sites européens, **l'épaisseur de la couche noire varie** entre 5 et 30 cm (Dupin et al., 2019).

En l'absence de stratigraphie visible à l'œil nue, les chercheur.e.s ont opté pour des prélèvements de la surface vers la profondeur, de sorte à déceler une quelconque succession des fréquences des taxons. Cette succession est souvent interprétée comme le reflet de l'évolution des pratiques où les charbons accumulés dans le fond du replat rendent compte des premiers charbonnages et ceux de surface, des charbonnages plus récents (Davasse, 1989).

Plusieurs méthodes d'échantillonnage ont été testées. Tout d'abord, l'échantillonnage par unités stratigraphiques - les unités étant appréhendées par la fouille stratigraphique, le plus souvent à l'intérieur d'un sondage -, couramment usité par les archéo-métallurgistes (Davasse, 1989; Dubois et al., 1996; Dubois and Métaillé, 2001). Même si cette méthode permet un échantillonnage exhaustif d'un replat, elle s'avère chronophage et n'autorise pas l'analyse de nombreux replats dans le temps imparti à une étude (Davasse, 2000). Or, l'efficacité de l'anthracologie des charbonnières repose à la fois sur la dimension spatiale et temporelle et celle-ci ne peut être pertinente qu'en développant une approche globale, c'est-à-dire l'étude de plusieurs replats à l'échelle d'une forêt, d'un versant voire d'une vallée.

Le mode de prélèvement par fosse de 50 cm sur 50 cm de côté, positionnée de préférence sur la partie la plus profonde du replat, c'est-à-dire à proximité directe du centre, a ensuite été testé puis adopté (Davasse, 2000). Dans ce cas, l'échantillonnage de la zone sélectionnée est réalisé par décapages successifs, tous les cinq centimètre environ (le choix de l'épaisseur des niveaux décapés est souvent variable d'une étude à l'autre), jusqu'au substrat ou tout du moins jusqu'aux horizons minéraux "non anthropisés", c'est-à-dire sans charbons de bois visibles, sans tenir compte de la stratigraphie puisqu'elle n'est pas visible. Cette méthode a l'avantage d'être beaucoup moins chronophage que la précédente, et donc de permettre l'échantillonnage de plusieurs charbonnières tout en recueillant suffisamment de charbons de bois à analyser. C'est encore aujourd'hui, la méthode la plus couramment utilisée (Ludemann and Nelle, 2002; Paradis-Grenouillet, 2012; Dupin et al., 2017; Gocel-Chalté et al., 2020; Máliš et al., 2021). Plus récemment, Py-Saragaglia et al. (2017) ont optés pour une méthode encore plus rapide et tout aussi efficace, auparavant testée par B. Davasse dans sa thèse (Davasse, 1998). Il s'agit de l'échantillonnage par tarière pédologique, par passe de 20 cm (correspondant à la hauteur de la tête de la tarière) jusqu'aux horizons minéraux (substrat). A la différence des autres modes de

prélèvements, **plusieurs points d'échantillonnages sont requis pour appréhender toute** la surface du replat et recueillir suffisamment de charbons de bois.

Limites méthodologiques et défis de la thèse

En dépit des premiers **résultats ayant permis une restitution diachronique de l'histoire** de la forêt ariégeoise, **notamment de l'Antiquité au Moyen Age, et de mesurer l'impact** des activités métallurgiques sur le couvert forestier, certaines limites méthodologiques, constituant de **véritables freins à l'expansion de nouvelles réflexions** sur les forêts métallurgiques pyrénéennes ont été enregistrées (Davasse, 2000).

La prospection en montagne pour la recherche des replats de charbonnage a rarement été **extensive et exhaustive**. L'enquête étant à ses débuts, elle a été très exploratoire. Elle portait sur **de nombreux terrains d'étude** (Bonhôte et al., 2000; 2002) aux dépens d'une approche globale à l'échelle d'un versant ou d'une vallée. Ensuite, la recherche s'est focalisée sur la limite supérieure de la forêt et les fluctuations de cette dernière (Davasse, 2000; Py-Saragaglia et al., 2019). Les charbonnières situées en marge de la limite supérieure de la forêt actuelle ou dans la zone supraforestière ont été principalement ciblées (Bonhôte and Vernet, 1988; Davasse and Galop, 1994; Davasse, 2000).

Du fait de son caractère onéreux et de **son exigence d'une quantité de charbons** importante, la datation par le radiocarbone (méthode classique par scintillation) pour **obtenir une chronologie des pratiques n'a pas été systématique sur toutes les** charbonnières. Cette approche non exhaustive couplée à **l'impossibilité de multiplier les datations force à certaines limites d'interprétation en partie liée à un manque de** repères chronologiques (Davasse, 1989). Dans les Pyrénées, en ce moment, seul le site **de la forêt royale de Lercoul a fait l'objet d'une approche extensive avec au moins une** vingtaine de charbonnières étudiées et datées (Dubois and Métailié, 2001).

Un autre problème majeur est celui des limites chronologiques imposées par **l'imprécision des courbes d'étalonnage des dates radiocarbones, notamment sur la** période moderne et contemporaine (XVII^e - XX^e siècles). **Ce plafond de verre, qui n'est pas l'apanage des études conduites sur les forêts pyrénéennes, est bien connu des** anthracologues (Davasse, 2000; Strachan, 2011; Strachan et al., 2013; Py-Saragaglia et al., 2017b; Deforce et al., 2020; Karimi Moayed et al., 2020). Il empêche de situer

avec précision les événements dans le temps, ce qui limite les interprétations des résultats et la perception à haute résolution spatio-temporelle des changements de la dynamique forestière, pouvant être rapides (par exemple les changements induits par une ouverture de la canopée), en particulier pendant la période moderne connaissant **un développement important du charbonnage dans l'hémisphère nord** dont ont fait écho les précédentes études (Davasse, 2000; Allée et al., 2010; Ludemann, 2010; Strachan et al., 2013; Raab et al., 2015; Dupin et al., 2017; Karimi Moayed et al., 2020).

Un autre aspect, lié aux limites de l'analyse anthracologique, est l'absence d'étude sur la morphologie et la structure verticale des forêts exploitées pour le charbonnage. En effet, la plupart des recherches, **fondées sur l'identification taxonomique** des charbons, étaient consacrées à la restitution des peuplements anciens et à la dynamique interspécifique naturelle et/ou influencée par les activités humaines des taxons majeurs (chêne -*Quercus*-, hêtre, sapin et pin -*Pinus*-). Seules quelques hypothèses **fondées d'une part sur l'observation de la courbure des cernes des fragments ayant conservé leur écorce, et d'autre part sur** la documentation historique, ont été émises sur leur physionomie et les modes de gestion historiques. En effet, les données **permettant de caractériser l'évolution des pratiques sylvicoles induite par l'essor et le développement de l'industrie** du fer et du charbonnage et leur impact sur les écosystèmes forestiers, sont maigres. Enfin, la caractérisation des pratiques et des usages de la forêt et du bois par les charbonniers est également demeurée très limitée. Les questions traitant de la chaîne opératoire technique pluriséculaire **du charbonnage, de l'approvisionnement en bois (choix des espèces, du calibre du bois, de l'état physiologique du bois, etc.) à la carbonisation** (qualité du charbon) et de la temporalité des pratiques (saisonnalité des coupes, de la carbonisation, rotation des coupes, etc.) ont été peu abordées. Les informations disponibles reposent principalement sur des enquêtes ethnographiques (Acovitsioti-Hameau, 2001a; Hanus, 2007; Burri, 2008; Burri et al., 2010) ou des expérimentations (Poggi and Métailié, 1998; Fregni and Maccaferri, 2010; Paradis-Grenouillet, 2012).

De nouvelles perspectives de recherche

Aujourd'hui, l'étude des charbonnières a pris une nouvelle dimension sous l'impulsion des développements méthodologiques et technologiques importants de l'archéologie forestière et de l'anthracologie. Nous pouvons citer le recours, devenu presque

systématique à la technologie LiDAR (Light Detection and Ranging) qui, depuis ces deux dernières décennies, a contribué à **un regain d'intérêt pour l'étude des charbonnières**. En effet, le LiDAR facilite **la découverte rapide et l'étude typologique** et spatiale des replats sur de grandes surfaces où les prospections pédestres seraient chronophages (Doneus et al., 2008; Ludemann, 2012; Zutautas, 2017; Rassat et al., 2018; Oliveira et al., 2021; Trier et al., 2021).

Malgré les apports du LiDAR, il faut noter que c'est surtout le développement de la dendro-anthracologie qui a été déterminant. Cette branche de **l'anthracologie s'appuie sur l'étude des cernes et de la croissance de l'arbre pour appréhender les modes de collecte du bois et les techniques de gestion forestière au prisme des pratiques humaines et des changements environnementaux** (Dufraisse and Coubray, 2018; Dufraisse et al., 2018). Croisement entre la dendrologie et **l'anthracologie, elle a été initiée** dans les années 1940 par E.J. Salisbury et F.W. Jane (Salisbury and Jane, 1940) puis dans les années 1990 par D. Marguerie (Marguerie, 1991). Cette nouvelle **approche a permis aux anthracologues d'aborder de nouvelles questions notamment**, les diamètres de bois employés ou encore, les conditions de croissance des peuplements exploités par les sociétés anciennes (Dufraisse, 2006). Depuis 2010, des **recherches sur le diamètre du bois à partir de l'analyse des fragments de charbon** se poursuivent dans le cadre de programmes de recherche comme le PCR Lozère (Paradis-Grenouillet et al., 2010; 2018c) et le projet ANR DENDRAC⁵ (Dufraisse et al., 2018; 2020). Ce dernier, piloté par A. Dufraisse, a développé très récemment de nouveaux outils dendrométriques utilisables en routine sur des assemblages de charbons de bois archéologiques (Dufraisse and Coubray, 2018; Alcolea et al., 2021; Francis and Dufraisse, 2021; Picornell-Gelabert et al., 2021; Dufraisse et al., 2022).

Ces outils permettent d'aborder des problématiques aussi diverses que les pratiques de collecte du bois, les formes de gestions forestières, les choix technico-économiques, leur effet spécifique sur l'environnement et les paysages passés, ou encore l'impact d'événements climatiques (Dufraisse and García-Martínez, 2011; Théry-Parisot et al., 2011; Out et al., 2013; Paradis-Grenouillet et al., 2013; Dufraisse et al., 2018; Dufraisse and Coubray, 2018; Girardclos et al., 2018; Kabukcu, 2018a; Picornell-Gelabert and

⁵ Développements d'outils dendrométriques appliqués à l'anthracologie : études des relations hommes-ressources-environnements (piloté par A. Dufraisse).

Dufraisse, 2018; Dufraisse et al., 2020). Ces travaux s'appuient sur les acquis précédents dont les résultats ont permis de faire avancer la méthode, notamment sur **l'étude de la courbure des cernes** (Marguerie and Hunot, 2007; Marguerie et al., 2010) et de la mesure du rayon de courbure (Ludemann and Nelle, 2002; Nelle, 2002; Chrzavzez, 2006; Ludemann, 2006; Paradis-Grenouillet et al., 2010; Paradis-Grenouillet, 2012). Ces dernières années de recherche ont vu naître de nombreux modèles destinées à améliorer la qualité des mesures du rayon de courbure intégrant de nouveaux paramètres, comme le retrait du bois (perte du volume) pendant la carbonisation (Dufraisse and García-Martínez, 2011). Ces avancées méthodologiques **qui ont été rendues possibles grâce à la multiplication d'expérimentations sur des bois** fraîchement abattus (chêne, châtaignier etc.), ont permis avec une grande fiabilité de se rapprocher du diamètre initial du bois carbonisé par les charbonniers (Paradis-Grenouillet, 2012; Paradis-Grenouillet and Dufraisse, 2018).

Dans les années 2000, l'observation de certains éléments anatomiques (écorce, moelle etc.), des déformations et anomalies (fentes radiales de retrait, bois de réaction, vitrification, effondrement cellulaire, thyllés etc.) et des attaques parasitaires ou leurs traces (hyphes -mycélium de champignons de pourriture du bois-) a également été pleinement intégrée aux études anthracologiques (Théry-Parisot, 2001; Marguerie and Hunot, 2007; Marguerie et al., 2010). Cette démarche a été initiée dans les années 1990 par D. Marguerie (Marguerie, 1991) et développée plus tard par I. Théry-Parisot et son équipe (Théry-Parisot et al., 2008; 2016; Théry-Parisot and Henry, 2012; Henry and Théry-Parisot, 2014b; 2014a). Elle **apporte des renseignements sur l'état** physiologique et phénologique du bois (jouant sur les propriétés combustibles et mécanique du bois) *ante* carbonisation. Ces indicateurs, qui fournissent des informations ethnobotaniques appréciables à la compréhension des rapports humain-végétaux, **reposent sur un examen minutieux des charbons de bois à l'échelle du cerne** de croissance et de la cellule. Ils sont par ailleurs adossés (i) à la création de référentiels expérimentaux réalisés en laboratoire dans des conditions contrôlées, (ii) à **l'observation** et la caractérisation - origine et signification - des signatures anatomiques et plus récemment, isotopiques (Prior and Alvin, 1986; Prior and Gasson, 1993; Braadbaart and Poole, 2008; McParland et al., 2010; Moskal-del Hoyo et al., 2010; Théry-Parisot and Henry, 2012; Théry-Parisot et al., 2016; Audiard et al., 2020; Courty et al., 2020). **Cette "anthracologie expérimentale" a permis d'appréhender les**

charbons comme des objets ethnobotaniques dont l'analyse peut offrir des pistes de réflexion sur la chaîne opératoire technique, allant de collecte à la carbonisation du bois (Heiss and Oeggli, 2008; Théry-Parisot et al., 2016; Py-Saragaglia et al., 2017b; Vidal-Matutano et al., 2017; Kabukcu, 2018a; Vidal-Matutano et al., 2019; Saulnier et al., 2020).

Depuis les années 2010, les chercheur.e.s développent également de nouvelles solutions innovantes pour pallier aux limites chronologiques imposées par les plateaux radiocarbone, parmi lesquelles la méthode OSL (Optically Stimulated Luminescence) ou datation par thermoluminescence (Karimi Moayed et al., 2020; Tolksdorf et al., 2020). Toutefois, la méthode ayant connue le plus de développements méthodologiques est la dendrochronologie sur charbon de bois. En effet, grâce à la **mise en place d'un protocole de préparation rigoureux des échantillons** (Marguerie et al., 2010; Blondel et al., 2018; Brossier and Poirier, 2018), dans lequel, seuls les plus **gros fragments avec de nombreux anneaux de croissance (c'est-à-dire >30)** sont sélectionnés, certains chercheur.e.s ont mobilisé, avec succès, le potentiel dendrochronologique des charbons de bois à des fins de datation (Backmeroff and Di Pasquale, 2001; Backmeroff et al., 2001; Pichler et al., 2010; 2013; Eschenlohr, 2011; Fermé and Villalba, 2011; Blondel et al., 2018; Gmińska-Nowak et al., 2021). Ces **avancées méthodologiques ont ouvert de nouvelles perspectives scientifiques à l'étude dendrochronologique des charbonnières** (Strachan, 2011; Strachan et al., 2013; Raab et al., 2015).

De récentes études interdisciplinaires s'appuient également sur une approche innovante impliquant l'étude micromorphologique des charbonnières pour mieux saisir leur fonctionnement (Gebhardt, 2007b; 2007a; Hirsch et al., 2018; Dupin et al., 2019; Tolksdorf et al., 2020). La micromorphologie est une branche de la pédologie qui permet l'étude précise, à une échelle très fine, de l'organisation et de la hiérarchisation stratigraphique et microscopique des couches archéologiques à l'intérieur des paléosols ou des horizons de sols (Courty-Fedoroff, 1983). Cette approche encore peu appliquée à l'étude des charbonnières permet de mieux appréhender la mémoire des sols des charbonnières et d'apporter des informations complémentaires à leur étude (Gebhardt, 2007b; 2007a). Par exemple, la caractérisation des micro-**stratigraphies invisibles à l'œil nu et la mise en évidence des** différentes réutilisations du replat qui restent encore difficilement décelables par

l'archéologie et l'anthracologie (Dupin et al., 2019; Tolksdorf et al., 2020). Actuellement, un projet interdisciplinaire intégrant la micromorphologie est en cours **au sein de l'OHM du Pays de Bitche**⁶, pour étudier les héritages des anciennes activités de charbonnage sur les sols forestiers dans les Vosges du Nord (Poszwa et al., 2018; 2019; 2021, communications scientifiques).

Si ces avancées méthodologiques se sont révélées d'une certaine efficacité pour appréhender les dynamiques forestières, elles présentent toutefois encore quelques limites face aux défis explicités plus haut. **Notamment l'exploitation de tout le potentiel des charbonnières, c'est-à-dire la mise en lumière de toute la riche information accumulée au fil des siècles.** Par exemple, il demeure encore difficile de déceler à haute résolution spatiale et temporelle, tous les changements et l'enchaînement des pratiques liées au charbonnage à **l'échelle d'un replat ou d'une vallée charbonnée.** **L'homogénéité couramment rencontrée des couches charbonneuses** limite encore la caractérisation des pratiques humaines, tant sur la **durée que dans l'espace**, et leurs temporalités (**phases d'intensification** et de relâchement, saisonnalité, etc).

Les objectifs de cette thèse étaient donc de proposer une démarche interdisciplinaire, **intégrée et intégrative de l'étude des charbonnières afin de mieux appréhender leur complexité.** Ce travail ambitionne également de caractériser les variations sur la longue durée de l'intensité et la chronologie de la production du charbon en lien avec les activités minières et métallurgiques, et leur pression réelle sur les forêts. Plus précisément, il était question de caractériser **l'histoire forestière de Bernadouze et de sa gestion pendant le charbonnage, d'étudier comment la structure forestière a pu être modifiée par cette pratique et de mieux appréhender la chronologie de la production moderne de charbon de bois.**

Le choix du terrain d'étude

Il a été nécessaire de trouver un terrain d'étude favorable aux ambitions du projet. **Notre choix s'est porté** la forêt de Bernadouze (Suc-et-Sentenac, Ariège, Pyrénées du Nord), composée de la parcelle forestière (n°106) de la tourbière du même nom (3,81

⁶ Activités anciennes de charbonnage : Quels héritages pour les sols forestiers du Pays de Bitche ? (projet piloté par Anne Poszwa).

ha) et de sa **zone tampon d'environ 90 ha**. Nous avons fait le choix de cette dition pour plusieurs raisons :

1. Cette dernière est située à proximité du Port de Lers qui a notamment été **emprunté pour les besoins de l'échange fer-charbon** entre les vallées du Vicdessos et du Couserans au Moyen-Age. La forêt de Bernadouze se trouvait **donc dans le voisinage direct d'un des passages** stratégique de ce trafic historique, ce qui **constitue un excellent cas d'école pour étudier la pression du charbonnage** historique sur cette forêt.
2. Il s'agit d'un **ancien territoire agropastoral** (présence d'orris et de vestiges liés à cette pratique) **caractérisé par plusieurs siècles d'exploitation forestière** pour le charbonnage (charbonnières), **la production de bois d'oeuvre et l'affouage des communautés**.
3. Depuis 2011, la tourbière de Bernadouze est devenue un site instrumenté en **écologie globale (SIEG) dans le cadre de l'Observatoire Homme-Milieu (OHM)** du Haut Vicdessos⁷. L'instrumentation de la tourbière ambitionne **d'acquérir** des données de base sur son fonctionnement avant et après la coupe forestière réalisée par **l'Office National des Forêts (ONF)** en 2016. **C'est également sur la base de cette coupe programmée qu'une partie de ce projet a été construit** car **elle a rendu possible l'échantillonnage** des rondelles de bois indispensable à **l'étude** dendrochronologique.
4. **En dehors de l'étude des anciennes charbonnières** dans le cadre de cette thèse, la forêt de Bernadouze est également investie par plusieurs programmes scientifiques par les chercheurs de **l'observatoire**.

Pour conclure, de part sa position stratégique, cette forêt est représentative de la plupart des forêts de montagne des Pyrénées du Nord réputées avoir une longue histoire de charbonnage en lien avec les activités minières et métallurgiques.

⁷ Les Observatoire Homme-Milieu (OHM) sont un outil de promotion de l'interdisciplinarité, chargé de favoriser et d'organiser, autour d'un objet d'étude commun, les interactions entre les différentes sciences de l'environnement. Les OHM ont aussi pour fonction d'assurer le stockage, l'interopérabilité et la pérennité des données produites dans son cadre ou disponibles pour celui-ci. Créé en 2009, l'OHM Haut-Vicdessos, étudie les derniers 6000 ans d'anthropisation du Haut-Vicdessos et le poids des héritages des pratiques anciennes sur les évolutions en cours et futures, dirigé par D. Galop.

Plan de la thèse

La thèse se décline en cinq principaux chapitres.

Le premier chapitre présente les différentes disciplines sollicitées par notre approche interdisciplinaire, leurs objectifs et méthodes. Il est également montré comment leur **association avec l'étude des charbonnières apporte des perspectives de recherche** et des éléments de réponse solides aux **objectifs de ce travail. C'est pourquoi** chaque combinaison de disciplines est présentée succinctement en fonction des objectifs visés.

Le deuxième chapitre quant à lui, présenté sous forme d'article (publié dans la revue internationale *Anthropocene*), propose à travers une étude globale et intégrée de reconsidérer l'histoire de l'industrie du fer et du charbon de bois, son approvisionnement et son impact sur la couverture forestière dans le consulat du Haut-Videssos. **Dans ce chapitre, nous mettons en perspective l'histoire du charbonnage à Bernadouze avec celui du Haut-Videssos en croisant l'étude anthracologique de notre terrain d'étude et les données issues de l'analyse des archives historiques avec les résultats issues des études des autres vallées.** En filigrane, nous proposons une nouvelle chronologie des activités métallurgiques dans le consulat et ré-évaluons nos connaissances **sur sa déforestation "supposée" en lien avec l'essor et** le développement des activités minières et métallurgiques.

Le troisième chapitre, qui est également présenté sous forme d'article (publié dans la revue internationale *Forest Ecology and Management*), recentre notre travail sur les charbonnières de Bernadouze. **L'objectif ici est** de reconstituer la chaîne opératoire technique du charbonnage, la structure forestière et la gestion sylvicole historique au moment du charbonnage **ainsi que l'héritage des pratiques humaines dans le paysage forestier actuel.** **D'un point de vue méthodologique,** ce chapitre tient également **compte du filtre des pratiques, à travers les différentes stratégies d'acquisition, de sélection du bois et de son usage final, comme biais possible à l'analyse des assemblages anthracologiques.**

Le quatrième chapitre, **également présenté sous la forme d'article (publié** dans la revue internationale *Quaternary International* dans les actes du colloque de Liverpool) est recentré sur une unique charbonnière. Il propose une étude à haute résolution temporelle de cette dernière, de son utilisation et de son fonctionnement. Plus

précisément, grâce à une approche méthodologique novatrice, nous avons tenté de dater - de façon absolue - une charbonnière moderne afin de proposer une alternative solide aux limites liées au plateau radiocarbone. Cette étude a également permis de détecter, de dater et de caractériser les différentes phases et épisodes potentiels de production de charbon de bois sur le replat. Aussi, il a également été possible **d'identifier les indices de réutilisation du replat et de caractériser l'intensité de la pratique de charbonnage.**

Le chapitre cinq, intitulé « *synthèse générale* », propose une synthèse des différents acquis des chapitres avec en sus, quelques pistes de réflexion pour nourrir des perspectives de recherches futures.

Chapitre I : Matériel et méthode

1. Cadrages de l'étude

1.1. Cadrage géographique et physique de la vallée de Suc-et-Sentenac

1.1.1. Localisation **du terrain d'étude**

La forêt de Bernadouze est localisée à 1500 m d'altitude dans la forêt domaniale de Suc-et-Sentenac (versant nord des Pyrénées, dans la haute vallée du Vicdessos), à l'ouest de la commune du même nom (Figure 1). Elle est située sur d'anciens dépôts glaciaires et est surplombée au nord par le pic des Trois Seigneurs (2199 m). Au sud, elle est délimitée par le pic d'Engral (1326 m), à l'est par celui de Boucarle (1984 m), et à l'ouest par le pic de Girante (2088 m) (Jalut et al., 1982; Izard, 1989; Saulnier et al., 2020) (Figure 1). La forêt de Bernadouze se trouve à la croisée de plusieurs petits ruisseaux notamment, l'Arbu, le ruisseau de Freychinède et de Sentenac. Il est limitrophe à la Tourbière de Bernadouze classée réserve biologique dirigée (RBD) par les services de l'État depuis 1983.

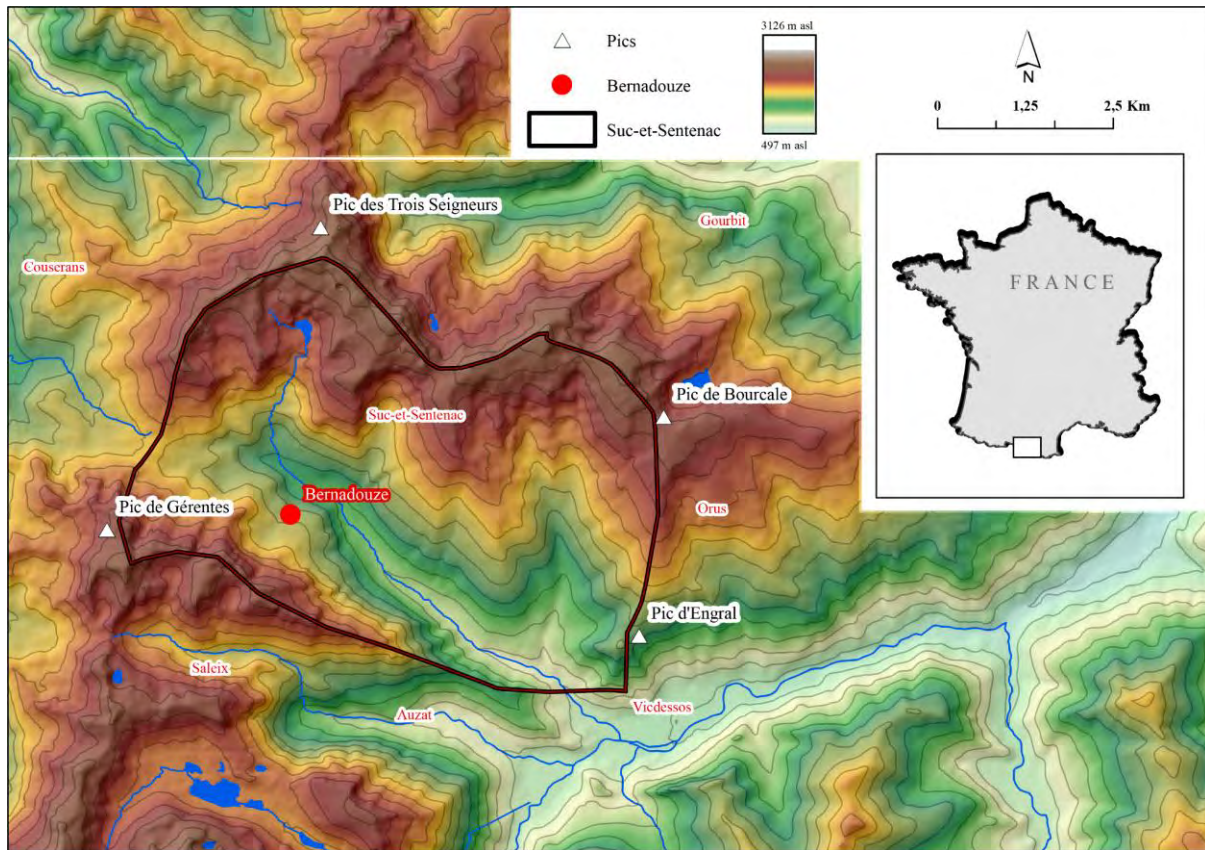


Figure 1: localisation générale **du terrain d'étude** et ses environs

1.1.2. Géologie et géomorphologie

La vallée est caractérisée par un fond de vallée en auge, d'importantes terrasses alluviales et des roches moutonnées. Les pentes sont faibles en soulane et très fortes en ombrée (parfois supérieures à 50°) (Izard, 1989). Le relief actuel est le résultat de la double action d'érosions glaciaire, nivale et périglaciaire (Jalut et al., 1982). La vallée est située à la rencontre de quatre formations géologiques principales : les granites au nord, les dolomies jurassiques au sud, les migmatites à l'ouest et les calcaires à l'est. La superposition de calcaires et de lherzolites confère à la vallée un caractère géomorphologique particulier. Comme de nombreuses vallées des versants nord ou sud de la chaîne pyrénéenne, Suc-et-Sentenac était recouverte de glaciers pendant le dernier maximum glaciaire (Kenla and Jalut, 1979; Jalut et al., 1982; Delmas et al., 2012; Jomelli et al., 2020). Par la suite, la modification des paramètres orbitaux et l'élévation des températures a entraîné le retrait des glaciers occasionnant une phase d'érosion glaciaire et une pédogénèse importante (Jalut et al., 1982; René, 2011; Delmas et al., 2012; Delmas, 2015; Jomelli et al., 2020). C'est ce processus qui va remodeler le paysage par les avalanches et contribuer à la mise en place des systèmes

d'éboulis et des cônes de déjection, aujourd'hui stabilisés et recouverts de végétation (Jalut et al., 1982; ONF⁸, 2008; Saulnier et al., 2020).

1.1.3. Climat

La vallée de Suc-et-Sentenac est soumise aux influences climatiques **méditerranéennes en soulane et atlantiques en ombrée**. **L'altitude, l'orientation (ouest/nord-ouest et est/sud-est) et l'exposition de ce dernier lui confèrent un climat** de type montagnard avec des pluies conséquentes durant la période hivernale (Izard, 1989; ONF, 2008; Rosset et al., 2019). La température moyenne de la vallée de Suc-et-Sentenac sur l'année est estimée à **9,4°C avec en moyenne 933 mm de précipitations** sur la même période. A une échelle plus fine, **les données issues de l'instrumentation** de la tourbière de Bernadouze et ses alentours, montrent que sur la période 2015 à 2017, les précipitations et la température annuelle moyenne ont été respectivement de $1\,718 \pm 127 \text{ mm an}^{-1}$ et $8,2 \pm 0,6 \text{ °C}$ (Rosset et al., 2019).

1.1.4. Pédologie

Les sols⁹ de la forêt de Bernadouze **sont formés sur d'anciennes roches calcaires recristallisées provenant d'une altération chimique importante favorisée par l'accumulation** permanente du manteau neigeux. Ils sont, selon le World Reference Base for Soil Resources, classés comme Leptosols, car peu profonds et comprenant des matériaux très graveleux ou très calcaires (Rosset et al., 2019). Ils sont composés principalement de rendisol (majoritairement), de calcisol et de brunisol. **L'altération chimique du calcaire favorise aussi la production massive d'un matériau totalement décalcifié**. Ce dernier a contribué à donner au sol forestier une texture limoneuse à argileuse voire argilo-limoneuse. Leur couleur, caractéristique des régions tempérées forestières, est brune avec des variantes brun foncé ou noir en fonction de la profondeur (Saulnier et al., 2020).

⁸ Office National des Forêts. Il s'agit du document d'objectifs (DOCOB) de la Zone Spéciale de Conservation « Mont Ceint, Mont Béas, tourbière de Bernadouze ».

⁹ Les données sur la pédologie sont connues grâce aux travaux menés sur le site par L. Gandois dans le cadre du projet MOHAV (Modélisations Holocène et Actuelle des transferts en éléments traces métalliques dans le bassin versant du Vicdessos II : Caractérisation des exportations actuelles de Matière organique dissoute et de métaux traces).

1.2. Bref historique **de l'histoire** Holocène de la végétation de la forêt de Bernadouze par les études paléocologiques

L'étude palynologique conduite sur la tourbière de Bernadouze par G. Jalut montre que **c'est** le pin (*Pinus*), associé à des herbacées, qui a été le premier ligneux à coloniser la vallée autour de 22000 BP (Jalut et al., 1982; ONF, 2008). Par la suite, la pédogénèse enclenchée durant la période postglaciaire a mis en place des conditions climatiques favorables au développement des forêts (Jalut et al., 1982). Ainsi, au pin **viennent s'associer d'autres espèces pionnières comme le bouleau (*Betula*), l'orme (*Ulmus*), le noisetier (*Corylus*), le chêne (*Quercus*) ou encore l'aulne (*Alnus*)** à partir de 12542 ± 182 Cal BP (Jalut et al., 1982; ONF, 2008). La pluie pollinique montre que la propagation du sapin a commencé autour de 7856 ± 128 Cal BP, et son pic maximum est daté autour de 5905 ± 143 Cal BP, c'est-à-dire plus tard que dans les Pyrénées méditerranéennes mais plus tôt que dans les parties centrales et occidentales de la chaîne (Jalut et al., 1988; Cunill et al., 2015). **Le hêtre qui est l'espèce dominante aujourd'hui ne fait son apparition qu'au tout début du néolithique** (Jalut et al., 1982). **Cette apparition, facilitée par l'introduction des activités agro-pastorales et la présence d'un climat frais et humide, favorable à son épanouissement et son développement** (Kenla and Jalut, 1979; Jalut et al., 1982; 1988; Jalut, 1984; 1988; Davasse and Galop, 1994; Galop and Jalut, 1994; Galop, 2005), **se situe d'après les données polliniques de la tourbière de Bernadouze vers 4547 ± 219 Cal BP** (Jalut et al., 1982).

En complément, **l'étude des charbons de bois du sol (pédoanthracologie)** réalisée par Saulnier et al. (2020) **révèle, la présence de l'if (*Taxus baccata* L.)** comme un taxon majeur de la forêt associé au sapin à partir de l'âge du Bronze (1300-900 BC). **A l'heure actuelle, l'histoire holocène de l'if dans les pyrénées reste encore peu connue et sa présence abondante dans les charbons du sol de Bernadouze interroge alors qu'aucune étude palynologique n'a identifiée une telle formation par le passé** (Jalut et al., 1982; 1988; Reille and Lowe, 1993; Galop and Jalut, 1994). Une étude est actuellement en cours, au sein du laboratoire GEODE pour caractériser les trajectoires Holocènes de ce taxon et reconstruire son aire de distribution passée¹⁰. Les données des charbons révèlent aussi l'ouverture de la canopée et l'expansion progressive du hêtre au tournant du bronze ancien. Entre l'Antiquité gallo-romaine tardive (137-347 AD) et l'ère

¹⁰ TAXUS / Histoire holocène d'une espèce relique dans les Pyrénées (TAXUS baccata, L.), piloté par V. Py-Saragaglia et M. Saulnier

carolingienne (610-722 AD), l'augmentation des activités agro-sylvo-pastorales entraîne la raréfaction de l'if et l'installation de la hêtraie-sapinière. On observe ensuite une croissance exponentielle du hêtre au détriment du sapin, notamment **pendant l'époque médiévale, qui est maintenue par l'action humaine à travers le développement du pastoralisme et de la métallurgie** (Davasse, 2000; Bonhôte et al., 2002; Py-Saragaglia et al., 2018; 2019).

La végétation ligneuse actuelle est presque exclusivement composée de hêtre. Sur la **couronne de la tourbière se succèdent des futaies issues de la conversion d'anciens taillis**, une colonne de taillis rabougris aux abords de tourbière et du taillis vieillis (Figure 2). Quelques jeunes pieds de sapins en régénération sous les taillis de hêtre ont été repérés (Figure 2). **Les campagnes de terrain ont permis de repérer d'autres espèces**, non uniformément réparties et notamment disséminées dans les zones de marges avec les espaces ouverts, comme le sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.), **l'alisier blanc** (*Sorbus aria* L.), le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.), des chênes (*Quercus petraea* Liebl. et *Q. robur* L.), le saule roux (*Salix atrocinerea* Brot.), des bouleaux (*Betula pendula* L. et *B. pubescens* L.), des pins (*Pinus uncinata* Mill. et *P. sylvestris* L.), le merisier (*Prunus avium/cerasus* L.). Les escarpements rocheux qui surplombent la futaie de hêtre sont occupés par des bouquets de pins (Figure 2). En sous-bois, on trouve le rhododendron ferrugineux (*Rhododendron ferrugineum* L.) et des fougères aigles.

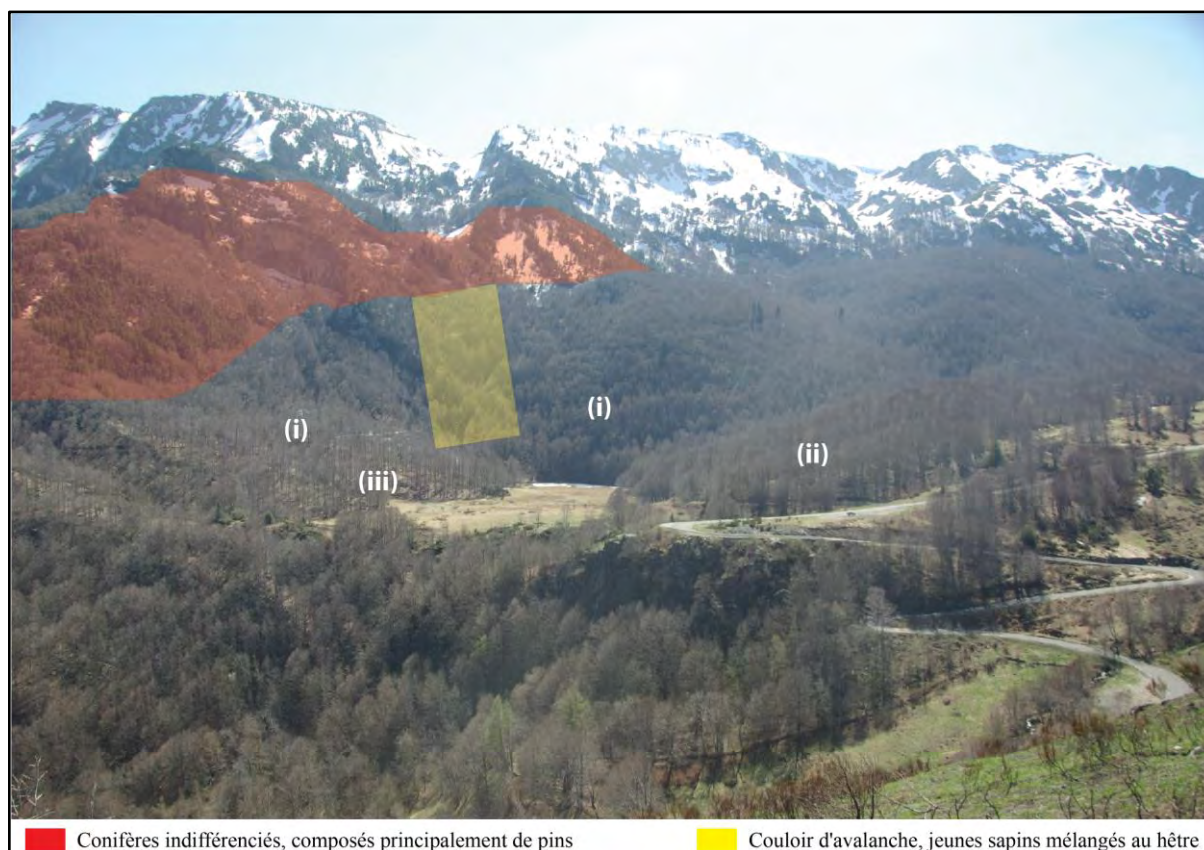


Figure 2: Peuplement actuel de la forêt de Bernadouze. (i) Futaie jardinée issue de la conversion d'anciens taillis fureté. (ii) Taillis vieillis issue de l'abandon du taillis fureté. (iii) Taillis rabougris. Au centre, la tourbière de Bernadouze

1.3. Cadrage scientifique et technique

La création de l'Observatoire Homme-Milieu du Haut-Vicdessos (OHM) en 2009 a permis de relancer les études sur les phénomènes d'anthropisation sur le temps long dans les Pyrénées du nord. L'OHM est un programme basé sur l'interdisciplinarité pour étudier les derniers 6000 ans d'anthropisation du Haut-Vicdessos et le poids des héritages des pratiques anciennes sur les évolutions en cours et futures. L'OHM est financé par le Labex DRIIHM (Dispositif de recherche interdisciplinaire sur les interactions Hommes-Milieus) de l'INEE (Institut Ecologie et Environnement).

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de l'OHM et principalement des projets FODYNA¹¹ (2013-2018) et TRANSYLVE¹² (2019-2022) financés par ce dernier. Ces projets

¹¹ Forêts passées, dynamiques et processus de recolonisation à travers l'étude des activités minières et métallurgiques historiques du Haut-Vicdessos et le Couserans (2013-2018), dirigé par V. Py-saragaglia.

¹² Trajectoires et dynamiques forestières du Haut-Vicdessos à travers l'étude interdisciplinaire des peuplements, de leur gestion et des prélèvements de bois historiques (depuis 2019), dirigé par V. Py-Saragaglia et S. Burri.

s'appuient sur les acquis des recherches précédentes pour reprendre, renouveler et **affiner l'histoire des activités minières et métallurgiques et du charbonnage historique** dans le Haut-Vicdessos afin de mieux (re)apprécier leur essor et leur évolution (Py-Saragaglia et al., 2017b; 2018). Ils visent également à cerner leurs rapports avec les dynamiques spatiales forestières, la morphologie et la composition des forêts, leur **évolution, leur gestion et à mesurer l'impact conjugué du climat et des pratiques sur la dynamique des peuplements grâce à l'étude des cernes de croissance** (Py-Saragaglia et al., 2020, communication scientifique).

Depuis leur lancement en 2013, plusieurs rapports d'opérations archéologiques (Py et al., 2013b; Fouédjeu et al., 2020), posters scientifiques (Py et al., 2015a; Fouédjeu et al., 2017a; 2018; 2019b; 2019a), communications dans des colloques et séminaires nationaux et internationaux (Py-Saragaglia et al., 2014; 2017c; 2017a; 2020; Py et al., 2015b; Cunill Artigas et al., 2017; Fouédjeu et al., 2017b; 2019c; Saulnier et al., 2017b; 2017a) et articles interdisciplinaires (Py-Saragaglia et al., 2017b; 2018; 2019; Saulnier et al., 2020; Fouédjeu et al., 2021a; 2021b; 2022) ont été publiés, et cette thèse a été **conçue au sein de ces projets. Elle s'appuie également sur les** acquis de deux stages de master, dont les résultats préliminaires ont mis en lumière les principaux temps forts et ruptures des socio-systèmes étudiés, caractérisés par des relations parfois fortes et complexes, en réponse à des phases de pression majeures notamment aux époques médiévale et moderne (Fouédjeu, 2015; 2016). Ces acquis ont permis de dessiner les contours scientifiques de la thèse et de recadrer les **recherches sur l'histoire d'une micro fenêtre d'étude, à savoir l'ancienne forêt charbonnée de Bernadouze.**

Cette thèse a également pu bénéficier d'un cadre scientifique et technique nécessaire à sa réalisation depuis son commencement en 2016, à l'issue des deux premiers stages. La plateforme technique du laboratoire GEODE¹³ a **facilité l'acquisition et le** traitement de la majorité des données (anthracologique, dendrochronologique, dendro-anthracologique). L'**OHM et ses programmes de financement** ont apporté un appui financier pour les datations radiocarbone, les campagnes de terrain, la participation à des colloques et séminaires ou encore la publication des résultats dans

¹³ Géographie de l'environnement, laboratoire UMR 5602 du CNRS de l'université Toulouse II Jean-Jaurès.

des revues scientifiques. **L'obtention d'une bourse AMID¹⁴ co-financée par l'Université de Toulouse Jean-Jaurès et le laboratoire GEODE a permis la réalisation d'un stage international de deux mois en dendrochronologie au sein du département d'écologie forestière de la faculté de foresterie et des sciences du bois de l'Université des sciences de la vie de Prague (République Tchèque).**

2. La nécessaire interdisciplinarité

La combinaison des limites méthodologiques évoquées précédemment avec la **complexité de l'étude des charbonnières a conduit ce travail à s'inscrire dans une démarche interdisciplinaire rarement mise en œuvre autour de l'objet charbonnière. L'interdisciplinarité** entendue ici, selon le **mot de N. Reveyaz (professeure d'histoire-géographie) désigne “une démarche dans laquelle deux - ou plusieurs - disciplines vont croiser leurs compétences, leurs savoir-faire, vont interagir pour permettre de comprendre une notion ou un objet d'étude. C'est comme si on est dans une vision binoculaire permettant d'accéder à une vision en relief”**. Pour [Bühlera et al. \(2006\)](#), l'objectif de l'interdisciplinarité est d'élargir les perspectives de la recherche, d'étoffer les moyens d'y répondre et d'aiguiser le sens critique. C'est décloisonner les disciplines dans une perspective commune, en vue de résoudre un problème particulier selon [Valade \(2018\)](#). D'après [Davasse \(2006\)](#) “c'est intégrer des données hétérogènes qui proviennent de différentes disciplines, relevant aussi bien des sciences de la vie que des sciences de l'homme et de la société”. De ces définitions, il en ressort que **l'interdisciplinarité favorise le repositionnement des problématiques initialement inscrite dans une démarche disciplinaire** ([Bühlera et al., 2006](#)).

L'interdisciplinarité appliquée à l'étude des charbonnières permettra donc de mieux saisir toute sa complexité et de compléter nos connaissances autour de son fonctionnement. De plus, la charbonnière qui est un outil favorisant la connexion de plusieurs disciplines (ex. anthropologie, ethnographie, histoire, archéologie, paléoécologie, écologie historique), créé d'office, un cadre propice à une telle démarche ([Ludemann and Nelle, 2017](#); [Paradis-Grenouillet et al., 2018a](#); [Asouti and Kabukcu, 2021](#)). Cette démarche s'inscrit également dans une tendance qui prévaut ces dernières années, portée par le développement d'approches multi-proxy et

¹⁴ Aide à la Mobilité Internationale des Doctorant.es (AMID).

interdisciplinaires des charbons de bois sur des fenêtres d'étude bien délimitées. Les résultats obtenus ont rendu possible une meilleure restitution des liens étroits entre les activités humaines et leur impact sur les forêts (Knapp et al., 2013, p. 2013; Py et al., 2014; Raab et al., 2015; Ludemann and Nelle, 2017; Kabukcu, 2018a; 2018b; Paradis-Grenouillet et al., 2018b; 2018a; Dupin et al., 2019; Tolksdorf et al., 2020; Asouti and Kabukcu, 2021; Máliš et al., 2021). Ces approches ont permis d'extraire de nouvelles informations susceptibles d'éclairer sur le fonctionnement des socio-écosystèmes et les conditions environnementales passées. Elles permettent aussi aux chercheurs d'innover dans les croisements des approches.

C'est dans cette optique et sur la base des résultats intéressants obtenus par ces travaux précurseurs que plusieurs collaborations interdisciplinaires ont été nouées afin de répondre aux attentes de notre étude. Ces collaborations font appel à différentes disciplines et collaborations parmi lesquelles, l'archéologie, l'histoire (S. Burri, TRACES¹⁵), la dendro-anthracologie (S. Paradis-Grenouillet, EVEHA¹⁶ et GEOLAB¹⁷), l'écologie (L. Larrieu, DYNAFOR¹⁸ et CNPF-CRPF¹⁹), la micromorphologie (M. Lejay, GéoArchéon²⁰ et TRACES) et la dendrochronologie (M. Saulnier - GEODE -, V. Labbas - GEODE -, et M. Dušátko - Université des sciences de la vie de Prague -), en fonction de la problématique posée et des hypothèses de travail soulevées, avec toujours comme dénominateur commun, la charbonnière.

¹⁵ Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces et les Sociétés, laboratoire UMR 5608 du CNRS de l'université Toulouse II Jean-Jaurès.

¹⁶ Études et valorisations archéologiques, bureau d'études archéologiques.

¹⁷ Géographie Physique et Environnementale, laboratoire UMR 6042 du CNRS de l'université de Limoges.

¹⁸ Dynamiques et Écologie des Paysages Agriforestiers UMR 1201, INRA INP Toulouse.

¹⁹ Centre Régional de la Propriété Forestière d'Occitanie.

²⁰ Géoarchéologie et Paléoenvironnements : Conseil, Études et Recherche, bureau d'études archéologiques.

3. Investigations archéologiques

3.1. Prospections pédestres, détection des charbonnières et échantillonnage

“L’étude, même exhaustive d’une seule charbonnière (c’est-à-dire fouillée en plan selon une stratigraphie) donne une information ponctuelle (...) il est [donc] impossible d’en tirer une vision spatiale” (Davasse, 2000). Cette citation résume la raison pour laquelle nous avons priorisé une stratégie reposant sur l’approche extensive. Elle consiste en une prospection pédestre systématique et minutieuse de la zone étudiée afin de repérer et localiser le maximum de replats possible. La prospection débute à proximité des chemins, des sentiers anciens et/ou récents ou des sources d’eau pérennes. Depuis les axes de circulation ou les points d’eau, on scrute et parcourt les versants à la recherche d’anomalies topographiques, en particulier les replats et les zones de légère dépression. Lorsqu’un replat suspect est repéré, il fait l’objet d’un sondage préliminaire (test) au moyen de la tarière pédologique afin de confirmer - ou pas - la présence d’un niveau carbonisé. Si le test est positif, on procède à l’échantillonnage proprement dit (Figure 3).

L’échantillonnage proprement dit est réalisé à l’aide de la tarière pédologique (Py-Saragaglia et al., 2017b; 2018) car elle permet - contrairement aux autres types de prélèvements (cf. supra) - d’échantillonner avec une relative facilité et rapidité, toutes les charbonnières détectées. Avant de procéder au carottage, les points d’échantillonnage sont débarrassés de la litière avec une truelle. Ces points sont prioritairement choisis autour de la zone centrale du replat correspondant à l’emplacement où la couche carbonisée est la mieux préservée (Davasse, 2000). Le carottage est conditionné par la taille de la tarière pédologique, c’est-à-dire par passe de 20 cm de profondeur, jusqu’à atteindre le niveau de sol ocre qui correspond au niveau d’altération du substrat (Figure 3B). On veille toutefois à nettoyer le trou de la tarière avant un nouveau prélèvement afin d’éviter toute pollution.

De manière à obtenir une quantité suffisante de charbons de bois pour les analyses anthracologiques et dendro-anthracologiques, mais aussi pour évaluer une éventuelle variabilité de la répartition des taxons au sein d’un même replat, au moins six prélèvements par charbonnière sont nécessaires (Figure 3C). En fonction de leur richesse en charbons de bois, des carottes supplémentaires peuvent être envisagées.

Les carottes sont ensuite transférées dans des sachets minigrip sur lesquels sont inscrits la date de prélèvement, le numéro de la charbonnière et du point d'échantillonnage ainsi que la profondeur du prélèvement. Les prélèvements sont ensuite ramenés et stockés en chambre froide au laboratoire avant d'être tamisés et analysés.

Parallèlement à l'échantillonnage, on procède à la description du replat. Cette dernière se fait à l'aide d'une fiche d'enregistrement où sont consignées les données concernant la topographie (longueur, largeur, pente, aménagement, localisation) et la pédologie. Un inventaire sommaire de la végétation actuelle est également réalisé. L'altitude et les coordonnées géographiques de la charbonnière sont enregistrées avec un GPS différentiel bi-constellation. Les points géoréférencés servent à cartographier les charbonnières. Ensuite, un croquis détaillé à l'échelle est réalisé sur le verso de la fiche de relevé de terrain. L'ensemble des différents points d'échantillonnages y sont représentés ainsi que les différents aménagements encore visibles sur et autour du replat (Figure 3C).

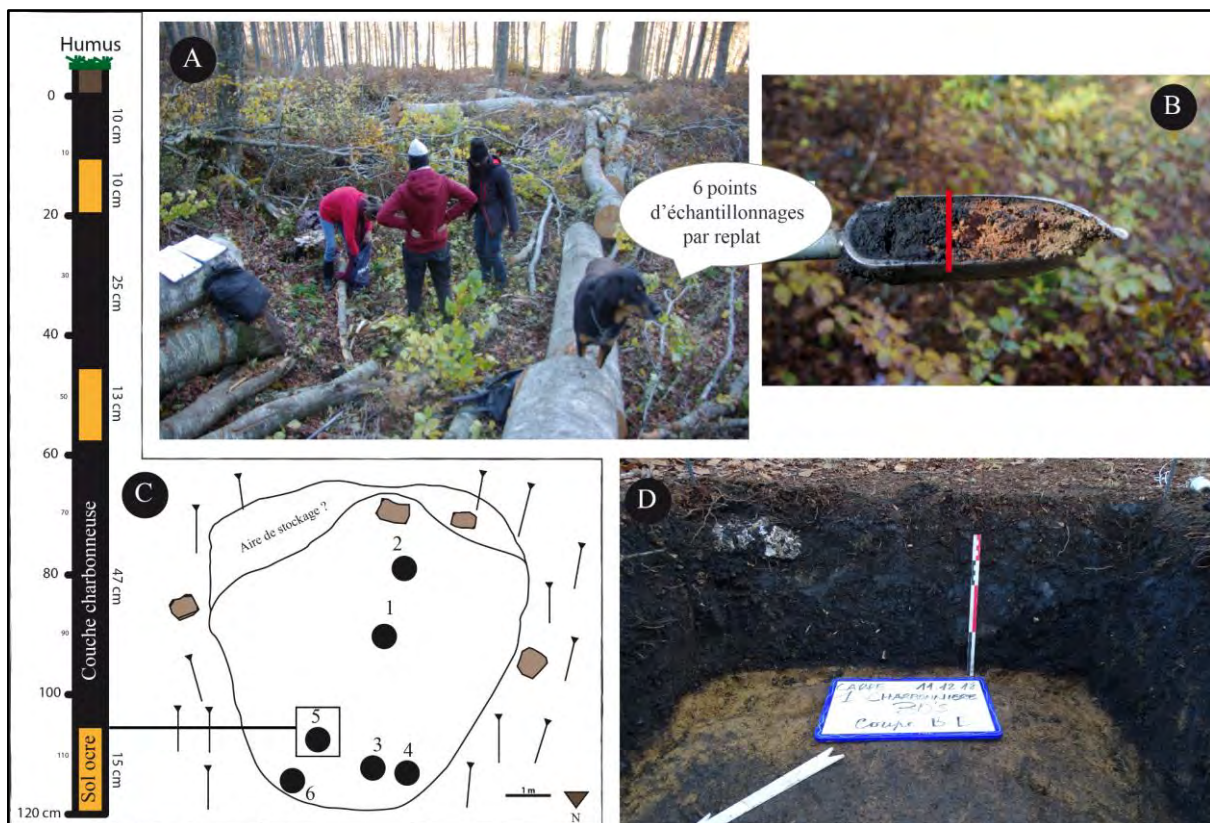


Figure 3: Échantillonnage. (A) localisation de la charbonnière 17. (B) Échantillonnage avec la tarière pédologique montrant la succession couche charbonneuse-sol ocre. (C) Profil de la couche charbonneuse de la charbonnière 17 montrant des successions de sol riche en charbons et de terre ocre

(gauche) et croquis illustrant le replat et les points d'échantillonnage (droite). (D) Profil stratigraphique d'une charbonnière fouillée montrant une couche charbonneuse homogène du sommet à la base du replat

3.2. Jeu d'échelles

B. Davasse propose une approche basée sur l'emboîtement de plusieurs échelles d'analyse (multi-scalaire), à l'image de poupées russes, pour mieux cerner les processus en œuvre sur un site étudié (Davasse, 2000; 2006). La première échelle, très globale, peut-être tout ou partie d'une chaîne de montagne, à l'instar des Pyrénées de l'est. La deuxième est la vallée (estimée en dizaines de km²), considérée ici comme une entité socio-économique, physique et biogéographique à forte identité historique. L'espace d'utilisation collectif est à la fois pastoral et forestier. La troisième échelle d'analyse est l'unité de végétation ou d'exploitation qui représente tout ou partie de l'espace forestier actuel délimité sur plusieurs dizaines d'hectares. Elle est caractérisée par des pratiques sociales successives plus ou moins intenses comme le type de gestion forestière (taillis, futaie, taillis-sous-futaie). Cette échelle d'analyse renvoie également à la notion de site charbonné qui désigne "l'étude de plusieurs charbonnières dans un espace homogène tant d'un point de vue biogéographique que topo-climatique. La détermination des différents sites charbonnés dans une même vallée d'étude dépend de plusieurs paramètres : exposition, gradient altitudinal etc. Si, par exemple, le facteur exposition est sélectionné, on retiendra deux sites localisés sur des versants en vis-à-vis, dans la même tranche altitudinale" (Davasse, 2000).

Aujourd'hui, afin d'améliorer notre perception des continuités et des changements parfois très rapides en milieu forestier montagnard, il est nécessaire de réfléchir à une nouvelle échelle d'analyse. Dans le cadre de cette thèse, nous proposons une nouvelle approche caractérisée par la fragmentation de l'unité de végétation/site charbonné en petites unités géographiques que nous appellerons : unités spatiales d'analyse (USA). L'échelle d'analyse est de fait réduite de plusieurs hectares à quelques dizaines et/ou centaines de mètre carré. La démarche se veut sectorielle, localisée, car il s'agit de mettre en évidence l'hétérogénéité topographique et physionomique de l'unité d'exploitation d'une part, et de spatialiser dans l'espace et le temps, les processus singuliers à l'œuvre dans chaque USA, d'autre part. Le glissement vers la caractérisation sectorielle de l'espace vise à nuancer et/ou compléter, les schémas trop souvent globaux identifiés dans les autres échelles d'étude. Il doit permettre

d'améliorer notre compréhension des interactions, des pratiques, des changements et **de mieux saisir leur complexité et leur spécificité au sein de l'espace géographique** traité. Cette approche²¹ **n'a pas pour objectif d'atteindre une représentativité** immuable des phénomènes, mais de comprendre les processus qui ne sont pas toujours détectables aux échelles plus grandes (**unité d'exploitation, vallée ou chaîne de montagne**) mais qui participent pour autant, à la construction du schéma global.

Le découpage de l'unité d'exploitation en différentes unités spatiales d'analyse se fait suivant plusieurs critères dont celui de la topographie. Selon ce critère, on tiendra compte de la présence des anomalies du relief tel **qu'un talus, un couloir d'avalanche, une zone escarpée ou un cours d'eau pérenne, favorisant de micro unités topographiques au sein d'un même ensemble.** On tient également compte de la **physionomie de la végétation actuelle, que l'on soit sous couvert forestier ou non, de la diversité des peuplements au sein de l'unité d'exploitation (taillis, futaie, taillis-sous-futaie, taillis vieillis etc.), et surtout de la repartition spatiale des charbonnières à l'issue des prospections. Ce dernier point est très important car il témoigne déjà de l'intensité du charbonnage dans chaque placette et cela permet de valider ou d'invalider les différentes USA retenues.**

Les prospections pédestres étant exhaustives, **minutieuses et l'échantillonnage systématique, il est presque toujours impossible d'étudier toutes les charbonnières** découvertes avec le temps imparti pour une étude. Cependant, nous avons étudié un **nombre de charbonnières pouvant être représentatif de l'ensemble des replats** échantillonnés. Les replats en question ont été sélectionnés sur des critères issus de l'analyse spatiale, des observations de terrain (dimensions des replats, profondeur de la couche charbonneuse, richesse en charbons de bois etc.) ou encore de la topographie globale du site. **Afin d'avoir une image significative de la forêt passée, nous avons étudié environ le tiers de charbonnières échantillonnées dans chaque USA.**

A la suite, l'histoire de l'ancienne forêt charbonnée de Bernadouze déduite de l'étude des charbonnières a été replacée dans un cadre géographique et historique plus large **à savoir l'ancien consulat du Haut-Vicdessos (deuxième échelle d'analyse de B. Davasse).** En regroupant les données anthracologiques publiées dans des précédentes

²¹ En quelques points semblables à la microhistoire qui prône la réduction d'échelle afin d'examiner les phénomènes à la loupe.

études (Métailié and Jalut, 1991; Davasse, 2000), nous avons entrepris une révision **de l'histoire de la forêt du consulat et de la chronologie des activités métallurgiques**. Cette dernière a été possible grâce à la relecture attentive des données archivistiques **médiévales et post médiévales par l'historien et archéologue S. Burri** dans le cadre du projet TRANSYLVE. Ce travail, dont les détails méthodologiques sont présentés dans **le chapitre II, a permis de renouveler notre regard sur l'essor et l'intensification des activités minières et métallurgiques et sur leur impact réel sur les forêts du consulat**.

4. Du charbon de bois à la gestion forestière en passant par les pratiques humaines associées au charbonnage

4.1. Reconstituer le diamètre initial minimal du bois et la physionomie des forêts exploitées

Pour cette étude, nous avons utilisé AnthracoloJ, un outil destiné à la mesure automatique du rayon de courbure (Paradis-Grenouillet et al., 2010). **L'outil permet d'enregistrer une image obtenue par une caméra reliée à un microscope et à un ordinateur (équipé de deux écrans) (Figure 4A)**. Le matériel utilisé au laboratoire est un microscope Leica Z6 APO, une caméra Leica MC170 HD et les images sont traitées avec l'application Leica Application Suite (LAS) version V4.4.0 de Leica. Ayant montré **ses preuves dans plusieurs cas d'études en contexte de charbonnage (Paradis-Grenouillet et al., 2015; 2018c; Paradis-Grenouillet and Bazan, 2018)**, cet outil a été choisi dans cette thèse pour étudier le diamètre des bois utilisés par les charbonniers. **Cette démarche s'inscrit également dans la continuité d'une collaboration nouée avec S. Paradis-Grenouillet depuis 2015 au cours de laquelle j'ai été initié à la dendro-anthracologie**.

Le protocole dendro-anthracologique - détaillé dans le chapitre III **et dans l'annexe 3** - pour restituer le diamètre des bois, est celui présenté dans **Paradis-Grenouillet et al. (2015)**. **Il s'opère en trois étapes** : (1) la mesure rayon de courbure avec AnthracoloJ **sur des charbons de bois ayant au moins trois cernes, et une section transversale ≥ 3 mm** ; (2) la reconstitution des différents diamètres des bûches composant le tas de bois utilisé par les charbonniers. Cette étape est basée sur la comparaison entre les données archéologiques et les simulations mathématiques (Paradis-Grenouillet, 2012; Paradis-Grenouillet et al., 2015) ; (3) le tas de bois reconstitué est comparé à des références de

tas de bois établies dans les peuplements actuels afin de caractériser la forme/morphologie des peuplements exploités (c'est-à-dire les différents types de taillis, futaie etc.).

4.2. Entrer au **cœur** des pratiques

Les précédents travaux conduits sur l'étude des comportements socio-économiques des sociétés pré-, proto-, et historiques, ont montré l'importance de définir des indicateurs pour caractériser l'état du bois avant la carbonisation (cf. supra). Sur cette base, un protocole similaire, adapté à l'étude des charbonnières a été établi. Ce dernier s'inspire des travaux dont l'analyse des indicateurs a permis d'entrer au cœur du métier de charbonnier, des gestes techniques et des usages du bois, mettant en relief le cycle annuel du charbonnage (Py-Saragaglia et al., 2017b; 2018; Fouédjeu et al., 2019a). Le protocole s'appuie sur l'observation, l'enregistrement et l'analyse des anomalies et déformations fréquemment retrouvés dans les charbons étudiés en contexte de charbonnage dont l'origine et la caractérisation sont connus. Ces indicateurs sont enregistrés pendant l'antraco-analyse (détermination taxinomique) (Figure 4B). Ce sont : les fentes radiales de retrait qui peuvent apporter des renseignements sur l'état hygrométrique (sec ou humide) du bois avant la carbonisation (Théry-Parisot and Henry, 2012) ; les effondrements cellulaires et la présence et la fréquence d'hyphes carbonisés dans les cellules du bois (mycélium de champignons de pourriture du bois) qui donnent des informations sur l'état sanitaire (sain, dégradé ou pourris) du bois utilisé par les charbonniers (Théry-Parisot, 2001; Marguerie and Hunot, 2007; Moskal-del Hoyo et al., 2010; Théry-Parisot et al., 2016). A cela s'ajoute l'étude des saisons d'abattage du bois, déterminées par l'enregistrement systématique de la progression de la formation du dernier cerne de croissance sur les charbons ayant conservé l'écorce (Py et al., 2015c; Py-Saragaglia et al., 2017b; 2018), et la mesure de l'âge minimal du bois (portion de tige ou de branche) employé par le décompte du nombre de cernes conservés sur les charbons étudiés. Voir le chapitre III pour plus de détails.

4.3. Quid des héritages des pratiques sur les peuplements actuels ?

Les réflexions autour de l'histoire de la forêt de Bernadouze et des pratiques associées ont progressivement soulevé un certain nombre de questions, notamment sur l'état de

sa biodiversité actuelle. Plusieurs interrogations ont retenu notre attention : quel impact les choix des modes de gestion et de prélèvements des ressources forestières pour répondre aux besoins économique et culturel des communautés ont eu sur les **paysages d'aujourd'hui ? Ces pratiques multiséculaires ont-elles enrichi ou appauvri la biodiversité de la forêt ? Afin d'évaluer l'héritage et la qualité paysagère liés à l'histoire forestière de Bernadouze, nous avons entrepris de calculer son Indice de Biodiversité Potentiel (IBP) (Larrieu and Gonin, 2008). L'IBP est un outil simple de prise en main (en règle générale, une journée de formation est suffisante pour être opérationnel) qui permet d'évaluer rapidement la biodiversité taxonomique ordinaire potentielle d'un peuplement forestier et d'obtenir des données sur sa capacité d'accueil en espèces et en communautés en lien avec sa structure, sa composition et son ancienneté (Emberger et al., 2016). Son intégration dans une démarche d'écologie forestière historique permet de déterminer les points d'amélioration possibles dans le cadre des interventions sylvicoles futures. Voir le chapitre III.**

L'acquisition des données pour l'IBP a été réalisée autour de l'expertise de L. Larrieu (co-créateur de l'outil) qui a piloté les relevés sur le terrain. Des plots d'un hectare ont été générés automatiquement sur l'ensemble de la zone d'étude grâce au logiciel Arcgis version 10.4. Par la suite, les 13 meilleurs plots, c'est-à-dire ceux dans lesquels étaient majoritairement localisées les charbonnières ont été prioritairement sélectionnés pour le diagnostic. Le diagnostic IBP, consiste au sein de chaque plot, à “parcourir le peuplement par une succession de virées en se détournant pour aller voir et relever les éléments remarquables comme les clairières, les talwegs, les dépressions, les plans d'eau, les rochers, les très gros arbres, les dendro-microhabitats etc.” (Larrieu and Gonin, 2008) (Figure 4C). La diversité des situations rencontrées est ensuite consignée dans une grille de relevé et de notation au sein des 10 facteurs suivants : richesse en essences forestières autochtones, structure verticale de la végétation, bois morts sur pied et au sol, bois de grosse circonférence, très gros bois vivant, arbres vivants porteurs de microhabitats, milieux ouverts, ancienneté de l'état boisé, habitats aquatiques et milieux rocheux. Ces relevés de terrain permettent enfin d'attribuer un score variant de 0 à 5 pour chacun des 10 facteurs, et la somme de ces scores indique l'indice de capacité d'accueil du peuplement (Larrieu and Gonin, 2008; Emberger et al., 2016) (Annexe 4. Tableau 1).

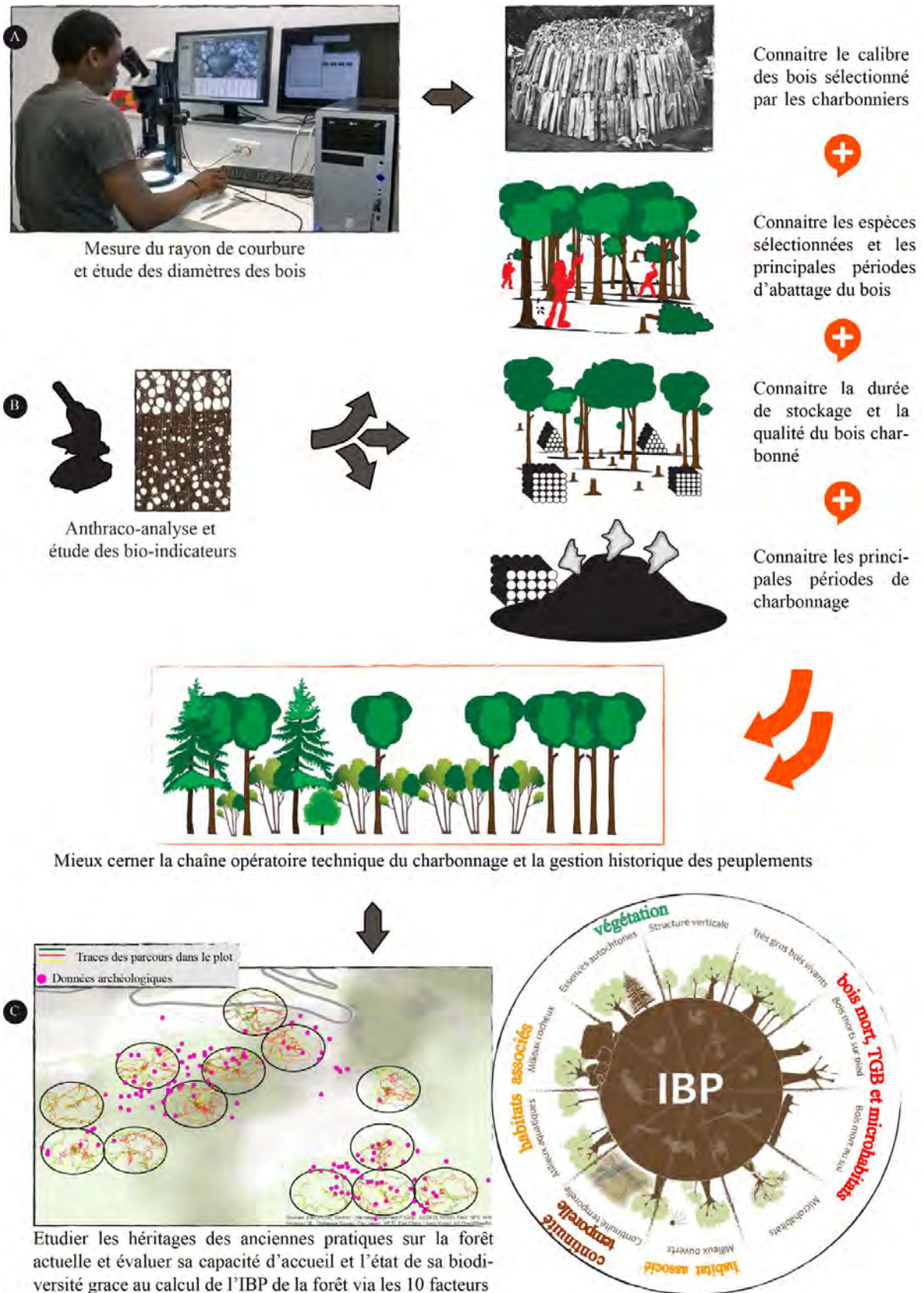


Figure 4: Protocole pour restituer la gestion historique des forêts et la saisonnalité des pratiques liées au charbonnage et leur héritage sur le peuplement actuel. (A) Mesure du rayon de courbure. (B) Analyse des bio-indicateurs. (C) Indice de Biodiversité Potentiel (IBP)

5. De la mémoire des sols à la mémoire des cernes: étude **d'une** charbonnière contemporaine pour dater et caractériser à haute résolution son histoire

Jusqu'ici et comme expliqué en introduction, l'un des principaux enjeux de la recherche actuelle sur les anciennes forêts charbonnées pyrénéennes est la caractérisation à haute précision chronologique et temporelle des évènements, notamment ceux qui se sont déroulés aux époques modernes et « sub-contemporaines », correspondant au plateau radiocarbone (XVII^e - XX^e siècles). **C'est la raison pour laquelle, nous avons décidé de réfléchir à un protocole permettant d'une** part, de pallier aux biais liés à l'imprécision de la datation radiocarbone et d'autre part, **de caractériser à haute résolution les pratiques humaines (durée d'exploitation, phases d'intensification et/ou de relâchement etc.) sur une charbonnière. Le protocole développé s'inspire pour beaucoup** des travaux récents, notamment ceux portant sur la dendrochronologie et la micromorphologie appliquées aux charbonnières (*cf. supra*). L'analyse de ces travaux ont montré que ces disciplines pourraient être complémentaires et que, les combiner autour **d'un seul objet d'étude serait une** excellente approche pour tester nos hypothèses : la dendrochronologie pour améliorer la résolution temporelle et la micromorphologie pour la caractérisation et la précision **des pratiques grâce à l'analyse fine de l'archive** archéologique. A ce jour, une telle démarche n'a jamais été conduite et nous avons décidé de la tester sur une charbonnière de notre terrain d'étude (Figure 5) (voir le chapitre IV).

La mise en place d'un tel protocole implique une méthodologie rigoureuse. Tout d'abord, il était nécessaire de trouver une charbonnière correspondant à la période cible, c'est-à-dire ayant fonctionné sur les périodes récentes (plateau radiocarbone) et pouvant être dendrochronologiquement datée avec le peuplement actuel de la forêt. Un tel replat a été localisé et daté de mémoire d'homme à la fin des années 1930 grâce au témoignage du petit-neveu d'un des derniers charbonniers de Bernadouze. Cette charbonnière a par la suite fait l'objet d'une fouille archéologique pour desceller les différentes unités stratigraphiques et recueillir les charbons avec suffisamment de cernes pour l'étude dendrochronologique (Figure 5C). A l'issue de la fouille et de l'échantillonnage archéologique, des prélèvements de sol pour l'étude micromorphologique ont été réalisés sur le profil de la charbonnière (Figure 5B). Le prélèvement et l'analyse micromorphologique ont été réalisés par M. Lejay, dont le

travail a été rendu possible grâce au financement et au soutien obtenu auprès du Service Régionale de l'**Archéologie (SRA) d'Occitanie**.

Les références dendrochronologiques sur bois vivant dans les Pyrénées étant rares (Bourquin-Mignot and Girardclos, 2001; Galván et al., 2015; Büntgen et al., 2017; Cavin and Jump, 2017), **il était impératif d'en construire une inédite** sur notre site. Avant cette thèse, seule le massif d'Iraty, au Pays basque français, a fait l'objet d'une étude dendrochronologique après quoi une chronologie de bois vivant de hêtre a été publiée (Bourquin-Mignot and Girardclos, 2001). Pour pallier au manque de **références, la méthodologie dendrochronologique s'est faite en trois étapes (Figure 5A)** : (1) la construction **d'une** chronologie de référence sur bois vivant de la forêt de Bernadouze. Cette étape a été grandement facilitée par la coupe forestière réalisée en **octobre 2016 par l'Office National de la Forêt (ONF) qui a permis le prélèvement des** échantillons de bois sous forme de rondelles directement sur la souche des arbres abattus ; (2) la construction d'une chronologie de référence de la charbonnière grâce **à l'analyse des charbons prélevés pendant la** fouille archéologique du replat ; (3) **l'interdatation des deux chronologies** de références (bois et charbons) pour obtenir la période (datation absolue) de fonctionnement de la charbonnière. Cette étude dendrochronologique a été rendue possible grâce au soutien et à mon initiation à la dendrochronologie par M. Saulnier et V. Labbas, et à mon stage en République **Tchèque (supervisé par M. Dušátko, doctorant en dendrochronologie) sans lesquels,** je n'aurais pu acquérir et traiter ces données.

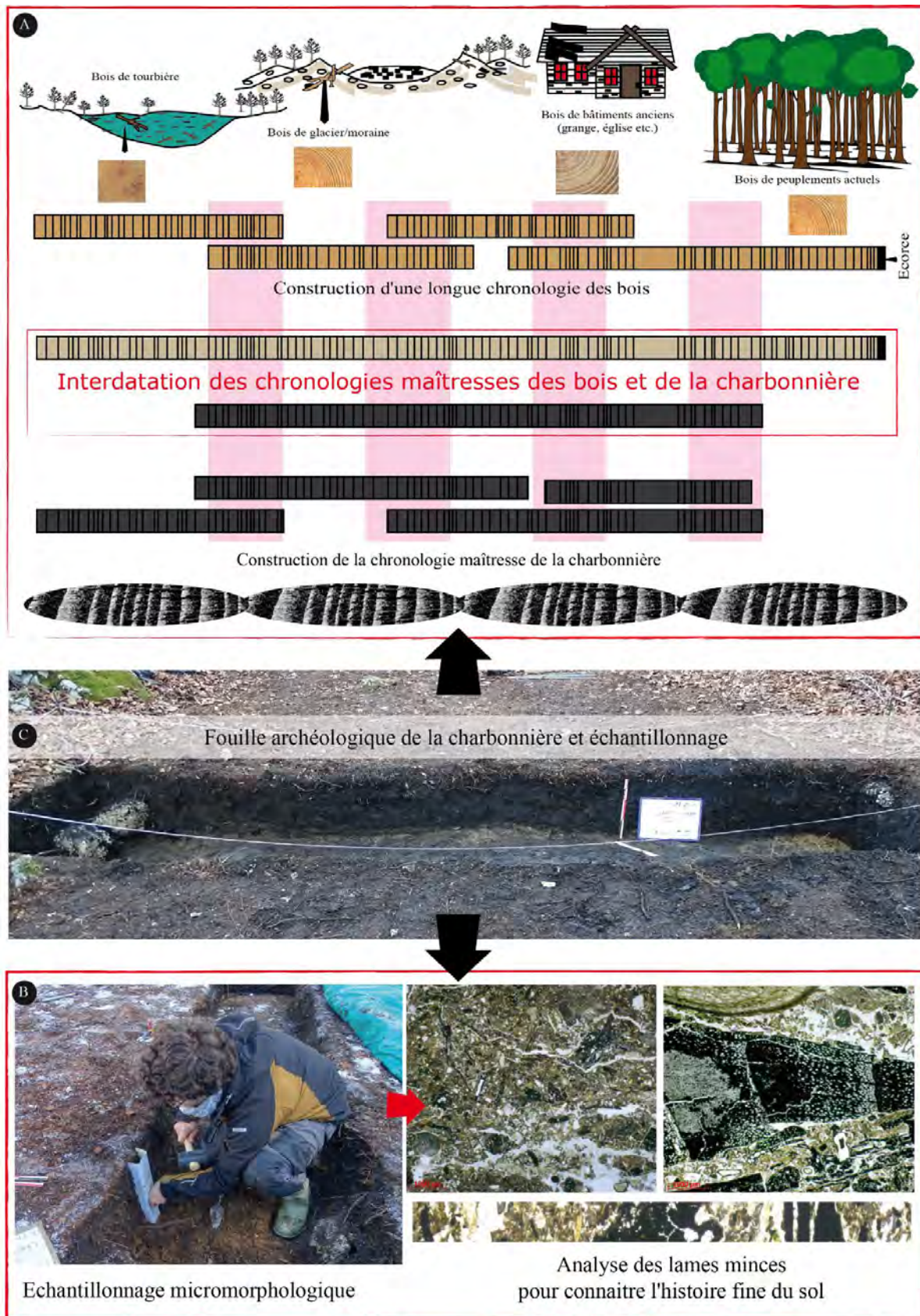
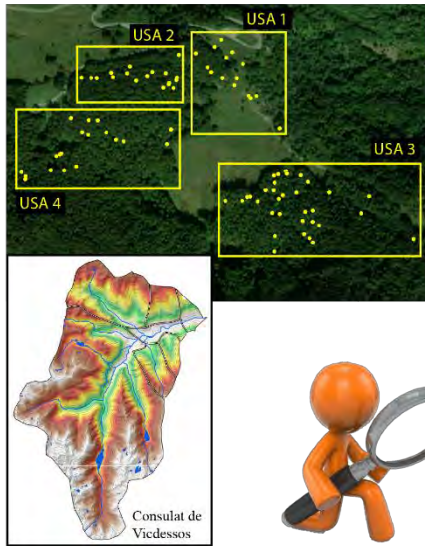


Figure 5: Protocole test illustrant les étapes de l'analyse dendrochronologique (A) et micromorphologique (B). Le croisement des résultats des deux approches (A et B) permet de dater à haute résolution chronologique l'histoire des pratiques de la charbonnière fouillée.

Pour conclure, cette thèse propose un modèle d'**analyse à trois niveaux** (Figure 6):

1. **Le premier niveau d'analyse qui est le consulat du Haut-Videssos** propose une nouvelle chronologie des activités métallurgiques et repositionne le débat sur la déforestation dans le consulat.
2. **Le second niveau d'analyse quant à lui est le site charbonné ; les charbonnières** sont étudiées pour mieux cerner la chaîne opératoire liée au charbonnage, la **gestion sylvicole historique et l'héritage des pratiques humaines sur le paysage d'aujourd'hui.**
3. Enfin, le dernier est la charbonnière où nous proposons une analyse à haute résolution temporelle **de son utilisation et de son fonctionnement à l'échelle temporelle.**

Niveau 1: Les Unités Spatiales d'Analyse (USA) de Bernadouze et le consulat de Vicdessos.
Revisiter la chronologie et l'intensité de l'industrie métallurgique et du charbonnage historique et leur impact sur les forêts à l'échelle du Consulat



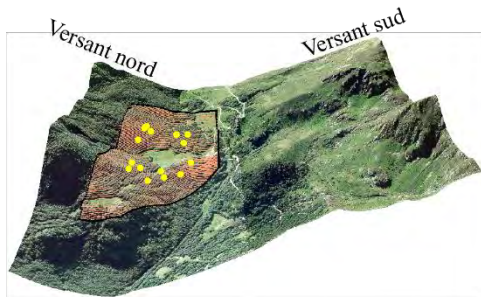
1. Anthracologie

Connaître les taxons charbonnés
Restitution paléo-écologique et chronologique de la forêt
Connaître les spécificités liées à chaque USA

2. Relecture des archives historiques

Renouveler notre regard sur la métallurgie du fer
Affiner la chronologie de la métallurgie du fer
La gestion forestière via les archives historiques

Niveau 2: Le site charbonné (orange) et les charbonnières (points jaunes).
Saisir les pratiques liées au charbonnage, la gestion sylvicole historique et leur héritage sur la forêt actuelle



1. Anthracologie
Connaître les principaux taxons charbonnés

3. Les bio-indicateurs
Connaître l'état du bois,
L'âge minimum du bois brûlé,
La temporalité des pratiques

2. Dendro-anthracologie
Restituer le diamètre du bois
Connaître les modes de gestion
et le traitement sylvicole historique

4. Indice de Biodiversité Potentiel
Etat de la biodiversité actuelle
Capacité d'accueil de la forêt
Pistes d'amélioration

Niveau 3: La charbonnière (rouge).
Caractériser et dater de façon absolue la chronologie des pratiques sur le replat



1. Archéologie
Fouille de la charbonnière
Echantillonnage du replat

3. Micromorphologie
Echantillonnage
Etude des lames minces
Différentes (ré)utilisations du replat

2. Anthracologie
Déterminer les taxons charbonnés

4. Dendrochronologie
Création de référentiels (charbons et bois)
Affiner la résolution chronologique des pratiques
Contourner le plateau radiocarbone

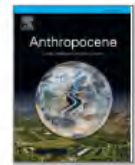
Figure 6: Les différentes échelles d'analyse de cette étude et les disciplines sollicitées.

Chapitre II : L'industrie sidérurgique à base de charbon de bois a-t-elle réellement entraînée le déclin du couvert forestier dans les Pyrénées septentrionales ?

Ce chapitre a été publié dans la revue internationale *Anthropocene* en avril 2022.



Anthropocene
Volume 38, June 2022, 100333



Did the charcoal-based iron industry really drive the forest cover decline in the Northern Pyrenees?

Léonel Fouédjeu ^{a, 1}, Sylvain Burri ^{b, 1}, Mélanie Saulnier ^a, Laurent Larrieu ^{c, d}, Sandrine Paradis-Grenouillet ^{e, f}, Vanessa Py-Saragaglia ^a

- ^a GEODE UMR5602 CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès, Maison de la recherche, 5 alléesAntonio Machado 31058 Toulouse cedex 9, France
- ^b TRACESUMR 5608 CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès, Maison de la recherche, 5 allées AntonioMachado 31058 Toulouse cedex 9, France
- ^c INRAE,UMR DYNAFOR, Université de Toulouse, 24 Chemin de Borde Rouge - Auzeville CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France
- ^d CRPF-Occitanie,antenne de Tarbes, place du foirail, 65000 Tarbes, France
- ^e GEOLABUMR 6042, Université de Limoges, 39 E rue Camille Guérin, 87000 Limoges,France
- ^f Eveha, bureau d'étude en archéologiepréventive, 31 rue Soyouz, 87000 Limoges

Received 3 May 2021, Revised 15 March 2022, Accepted 10 April 2022, Available online 14 April 2022, Version of Record 23 April 2022.

Note : Léonel Fouédjeu et Sylvain Burri sont conjointement les premiers auteurs.

Highlights

- We revisited the chronology and intensity of the charcoal iron industry in Vicdessos.
- The spread of water-powered bloomeries did not lead to a 14th c. forest crisis.
- **The iron industry's real impulse occurred in the 17th c. with the Catalan bloomery.**
- Local communities preserved woodland cover through efficient management.
- The iron industry was not a major driver of the mid-19th c. forest-cover minimum.

Points forts

- Nous avons réexaminé la chronologie et l'intensité de l'industrie du fer à charbon de bois dans le Vicdessos.
- La diffusion des forges hydrauliques n'a pas entraîné de crise forestière au XIV^e siècle.
- La véritable impulsion de l'industrie du fer s'est produite au XVII^e siècle avec **l'introduction de la forge à la catalane.**
- Les communautés locales ont préservé la couverture forestière grâce à une gestion établie.
- L'industrie du fer n'a pas été l'un des principaux moteurs de la diminution du couvert forestier au milieu du XIX^e siècle.

Abstract

Through a reconstruction of the chronology and intensity of charcoal-making activities, this paper re-opens the debate about the supposed impact of the charcoal iron industry on forest cover in the French Pyrenees. This reappraisal focuses on the former territory of the communities of Haut-Vicdessos valley. This more refined chronology, based on the analyses of historical documents (n=617) and charcoal kiln remains (n=42), has highlighted the non-linear industrial development. The emergence of water-powered bloomeries during the early 14th c. led to a brief expansion of the iron industry, but was followed by a slowdown in the 15th c. The combined effect of regulation and the outsourcing of a part of the charcoal supply on other territories, mitigated the impact of the iron industry on local forest, avoiding a forest crisis. The most significant industrial growth occurred from the mid-17th c. with development of the Catalan bloomery. Forests underwent major changes in structure and composition but cover was maintained to satisfy the local economy and people's needs. Charcoal production always occurred in well-stocked forests dominated by beech and fir. The increase of charcoal supply combined to the agro-pastoral growth led to the prohibition of charcoal-making in the mid-18th c. and to the exclusive recourse to an external fuel supply. Minimum forest cover was only reached in the mid-19th c. due to the demographic explosion resulting in the increase of daily needs and in the refocus on agro-pastoral economy. Conversely to the common premise, the iron charcoal industry in European mountains did not necessarily induce forest depletion but rather its maintenance through sustainable management and policies.

Key words: charcoal iron industry, fuel supply, historical archives, charcoal kiln analysis, forest cover decline, Northern Pyrenees

Résumé

Cet article ré-ouvre le débat sur l'impact supposé du charbonnage sur le couvert forestier de l'ancien territoire des communautés de la vallée du Haut-Vicdessos dans les Pyrénées françaises. L'analyse de documents historiques (n=617) et des charbonnières (n=42) a permis une reconstitution fine de la chronologie et de l'intensité du charbonnage. La nouvelle chronologie établie indique un développement industriel non linéaire marqué par quelques soubresauts, notamment au début du XIV^e siècle où l'émergence des forges hydrauliques n'entraîne qu'une brève expansion de l'industrie du fer, suivie d'un ralentissement au XV^e siècle. L'effet combiné de la réglementation et de l'externalisation d'une partie de l'approvisionnement en charbon de bois sur d'autres territoires, a atténué l'impact de l'industrie du fer sur la forêt locale, évitant une crise forestière. La croissance industrielle la plus significative s'est produite à partir du milieu du XVII^e siècle avec le développement de la forge catalane. **Toutefois, malgré les pressions humaines importantes induites par l'avènement de la forge à la catalane, la couverture forestière a été maintenue pour satisfaire l'économie locale et les besoins de la population malgré des changements importants de leur structure et de leur composition.** En effet, les données anthracologiques révèlent que le charbonnage a toujours eu lieu dans des forêts bien peuplées, dominées par le hêtre et le sapin. Le milieu du XVIII^e siècle **est marqué par l'interdiction de charbonner et le recours exclusif à un approvisionnement extérieur en combustible.** Cette mesure vise **à réduire l'impact sur les forêts suite à l'augmentation** combinée de la production de charbon de bois et de la pression agropastorale. Le couvert forestier minimum n'a été atteint qu'au milieu du XIX^e siècle, en raison de l'explosion démographique ayant entraîné l'augmentation des besoins quotidiens et le recentrage sur l'économie agropastorale. Contrairement à l'hypothèse souvent admise, l'industrie du charbon de bois dans les montagnes européennes n'a pas nécessairement induit un épuisement de la forêt, mais plutôt son maintien par une gestion et des politiques durables.

Mots clés : charbonnage, industrie du fer, approvisionnement en combustible, archives historiques, anthracologie, déclin de la couverture forestière, Pyrénées du Nord.

Introduction

Starting in the mid-17th c., at a time when Navy officials, elites, urban and rural communities feared the exhaustion of forests and their wood supply, the impact of pre-industrial activities and common uses on forest cover was debated all around Europe (Warde, 2006; 2015). At this time, the growing charcoal iron industry was accused of sharply reducing forest cover (Devèze, 1964). Historical studies mostly deemed charcoal-based iron smelting as the most important driver of deforestation, leading to the mid-19th c. minimum forest cover in Western Europe (Mather, 1992), in addition to agro-pastoral uses and clearing (Ashton, 1924; Sciafert, 1926; Chevalier, 1956, pp. 529–538; Houzard, 1983). Based on experimental fuel estimates, archaeologists have supported this assertion (Pleiner, 2000, pp. 126–129). However, some researchers have mitigated the impact of charcoal iron smelting considering forest management and social practices (Birrell, 1969; Hammersley, 1973; Lindsay, 1975; Belhoste, 1990; Voss, 1995).

Studies of metallurgy-related remains combining archaeology and charcoal analysis have renewed our knowledge and deepened our understanding of forest-industry interactions in pre-industrial times (Backer et al., 1992; Bielenin, 1992; Bonhôte, 1998; Davasse, 2000; Montanari et al., 2002; Gale, 2003). In the 2000s, charcoal kiln remains (hereafter platforms) became privileged tools for assessing how charcoal metallurgy modified forest ecosystems, thanks to the improvement of charcoal analysis and remote-sensing methods (Ludemann and Nelle, 2002; Paradis-Grenouillet et al., 2015; Hazell et al., 2017; Rassat et al., 2018; Gana and Malik, 2019; Deforce et al., 2020). Nevertheless, an improved characterisation of the impact of iron charcoal metallurgy on woodlands also requires an accurate assessment of the running time and productivity of ironworks, as well as an understanding of how users ensured their fuel supply and its sustainability (Woronoff, 1990; Baraldi, 1993; Horikoshi, 2008; Arribet-Deroin, 2013; 2018; Oury, 2020).

From the 1990s, the French Pyrenees is a pioneering multidisciplinary laboratory for the study of human-environment interactions, bringing together historians, geographers, archaeologists and palaeoecologists. Previous researches provided the first syntheses correlating the history of the charcoal iron industry to the evolution of woodland cover in the late Holocene in several Pyrenean valleys (Métailié and Jalut, 1991; Galop and Jalut, 1994, p. 1994; Bonhôte, 1998; Davasse, 2000; Bonhôte et al.,

2002). The Haut-Videssos valley has received particular attention because of its long-lasting iron industry associated with the Sem mines (Verna, 2001; Cantelaube, 2005). Variations in the intensity of this activity through time, however, remained largely unknown (Py-Saragaglia et al., 2019). Despite the scarcity of written and archaeological data, the common working hypothesis was the continuity, or even the increase, of iron production between Gallo-Roman times and the 14th c. AD (Dubois, 2000). Moreover, historical research has focused on the development of iron metallurgy made possible by the technical innovation of the water-powered direct bloomery, called *moulines*, at the turn of the 14th c. (Verna, 2001), while archaeological surveys carried out in some parts of the valley demonstrated that platforms became significantly abundant only from the 16th c. onwards (Bonhôte et al., 2000; Davasse, 2000; Dubois and Métaillé, 2001). The strong fluctuations in the iron economy during the early modern era (Woronoff, 1984; Bonhôte, 1998; Davasse, 2006) suggested a highly variable pressure on local forest resources.

At variance with the common assumption that it induced forest depletion due to intense harvesting (Galop and Jalut, 1994; Verna, 2001; Bonhôte et al., 2002; Galop et al., 2013), Davasse (2000) suggested that charcoal iron metallurgy was based on specific woodland management practices. Little is known, however, about the evolution of former silvicultural practices and how they drove forest ecosystem change. Moreover, silvopastoralism, wood-based crafts and domestic uses were likely considered in forest management strategies (Davasse, 2000). Consequently, a revision of the iron industry-induced forest depletion assumption is crucial to improved understanding of how this activity actually interacted with the formation of the mid-19th c. open dominated landscapes.

This paper proposes to reconsider the history of the iron-charcoal industry fuel supply and its impact on forest cover in the Haut-Videssos. The global and integrated study is based on (i) a review and original analysis of historical archives, (ii) previous historical ecology studies conducted in the Soulcem and Artigue valleys, and (iii) original data from archaeological and charcoal analysis produced in the Suc-et-Sentenac valley (hereafter Suc). On the basis of this data, we address the following research questions: (i) what were the variations of the iron industry over time? (ii) To what extent did the fuel demand involve specific forest management strategies? (iii)

To what extent did fuel consumption drive environmental changes leading to a reduction in forest cover?

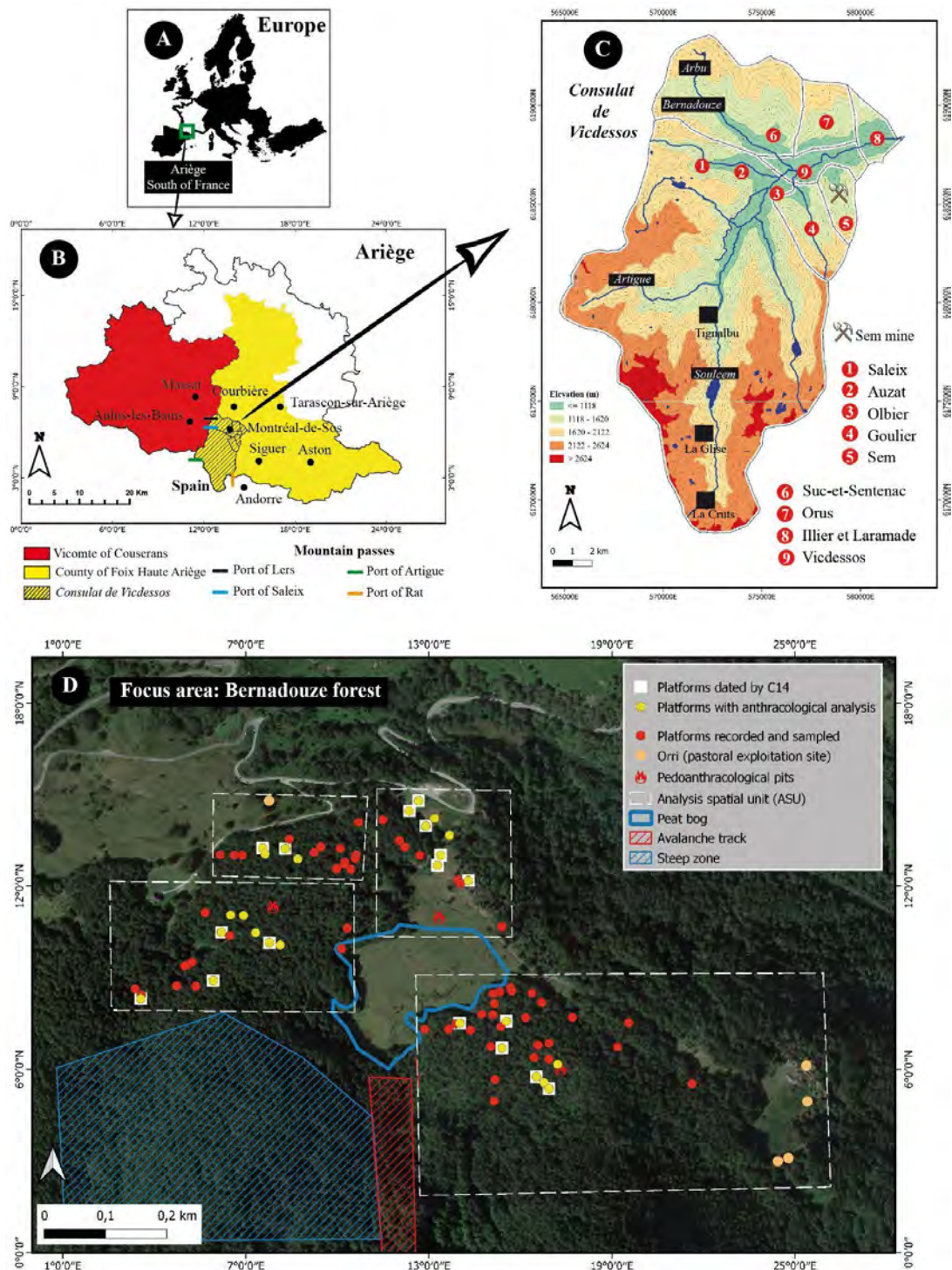


Figure 7: (A) European and national location; (B) consulat de Vicdessos location in Ariège administrative district; (C) Mapping of the consulat de Vicdessos and locations of study areas (Bernadouze forest -focus area-, Arbu, Artigue, Soulcem -Tignalbu, La Glise, La Cruts-), (D) Focus area with (i) platforms recorded and sampled (red points), (ii) platforms dated by C14 (white squares), (iii) 28 platforms with charcoal analysis (yellow points), (iv) sampling points for pediaanthracological analysis (small fires) published in [Saulnier et al. \(2020\)](#), (v) pastoral sites (orange points). The focus area is divided into four Analysis Spatial Units (ASU) surrounded by white dotted lines.

1. Material and methods

1.1. Study area

The study area is a north-south oriented valley (a. 23,000 ha) located in the central French Pyrenees (Ariège) and connected with Spain and Andorra by several mountain passes that facilitated trade (Figure 7A, B). The Haut-Vicdessos was part of the early medieval Sabarthès which was progressively incorporated to the County of Foix between the 10th-12th c. (Pailhès, 2006; Guillot, 2009). Starting in the late 13th c., the local communities were grouped into the *consulat de Vicdessos*, an administrative district covering the Haut-Vicdessos valley (Figure 7C). The ownership of ore, forest and water resources belonged to the earl of Foix before passing to the French crown in 1607. In 1786, the former *consulat de Vicdessos* and the neighboring *consulat de Siguer* merged into the *canton de Vicdessos*.

Since 2010, this area has comprised the Human-Environment Observatory of Haut-Vicdessos devoted to the interdisciplinary study of mountain socio-ecosystems. The Bernadouze forest in Suc, which is an Instrumented Site in Global Ecology, provides a focus area where several in-depth studies have already been implemented (Py-Saragaglia et al., 2019; Saulnier et al., 2020; Fouédjeu et al., 2021a; 2021b). Current vegetation around Bernadouze peat bog is almost exclusively composed of beech (*Fagus sylvatica* L.). Beech woods exist in three different forms: (i) high forest (between 130 and 160 years old) resulting from the conversion of former coppices with scattered young silver fir trees (*Abies alba* Mill.), (ii) on the edge of the bog, tall-grown coppices browsed in the past by livestock and (iii) in some places, tall-grown coppices of old trees resulting from historical silvicultural treatments. This forest composition and structure is representative of former mountain charcoal manufacturing forests in the Ariège Pyrenees (Davasse, 2000).

1.2. Historical approach

We performed a review of previous historical studies focusing on (i) iron metallurgy from medieval to contemporary times (Rouzaud, 1908; Cantelaube, 1992; 2005; 2009; Verna, 1994; 1996; 2001; 2003; Verna and Cantelaube, 2000; Cabau de Fauroune, 2021), (ii) Pyrenean economy and society (Barbe, 1900; Dufau de Maluquer, 1900; Dengerma, 1934; Chevalier, 1956; Pailhès, 1992; 2006; Ruffié, 1997; 2003; Poujade,

2008; Guillot, 2009), (iii) historical ecology of forest ecosystems (Taillefer, 1939; Bonhôte and Fruhauf, 1990b; 1990a; Bonhôte et al., 2000; Dubois and Métaillié, 2001). This literature review was supplemented by an original analysis of unpublished medieval and post-medieval documents (Annexe 1. Tableau 1).

The synthesis comprises a total of 617 documents unequally distributed: 4 for the 13th c., 18 for the 14th c., 2 for the 15th c., 81 for the 16th c., 331 for the 17th c. and 181 for the 18th c.. Medieval and early modern written records are poorly preserved. Besides a few original Latin diplomas, a large part of the medieval documentation is composed of modern copies and/or French translations and brief summaries of the vanished acts. The 16th c. presents a few more documents thanks to several notarial deeds (purchases, debts, exploitation contracts, etc.) and the accounting registers of the County of Foix (from 1580s). These two types of sources constitute most of the 17th c. material, in addition to the 1669 Forest Reformation archives. Data remains very qualitative until the second part of the 17th c. For the 18th c., we focused our original study on Vicdessos Council deliberations. We only used published data regarding the 19th c.

1.3. Archaeological investigations

While we only used published data concerning mining and iron ore smelting-related archaeological sites (Bonhôte and Cantelaube, 1986; Dubois and Métaillié, 2001; Disser and Dubois, 2017; 2018; 2019; Dubois and Disser, 2020); we performed an original systematic archaeological survey on 46-ha, i.e. in the Bernadouze peat bog buffer zone (Fouédjeu et al., 2021b) according to the methodology described in Py-Saragaglia et al. (2017b; 2018) (Figure 7D). Platforms were sampled using a soil auger, preferably on the central part, with stepwise sampling at every 20 cm of depth until **the continuous mineral layer is reached. The focus area was divided into four “Analysis Spatial Units” (ASU) (Figure 7D)** according to their exposure and topography. In each ASU, we randomly selected 4 to 9 platforms (n=28), i.e. about 35% of the total number of inventoried platforms, for charcoal analysis.

- ASU 1 includes tall-growing coppices, high forest and open grazing area, and is located on a gentle, north facing slope. We selected platforms 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10 and 62.

- ASU 2 is located on the northwest part of the peat bog, within the high beech forest. The selected platforms (27, 34, 35 and 36) are located on a ridge line of a small relief overhanging the ASU.
- ASU 3 is located south of the peat bog, on a gentle north-facing slope within the high beech forest, overhung by a cliff and a very steep slope. We selected the platforms 11, 14, 17, 18, 19, 63, 64 and 65.
- ASU 4 corresponds to a relatively steep slope, facing northeast, in the western **part of the focus area's watershed. We selected platforms 29, 31, 44, 47, 48, 49, 73, 74 and 79** located under the high beech forest.

These original data have been completed by a synthesis of previous studies performed in Arbu (Py-Saragaglia et al., 2019) and in the Artigue and Soulcem valleys (Davasse, 2000, pp. 155–157).

1.4. Laboratory analyses

In the focus area, charcoal taxonomic determination was carried out using a reflected light microscope (Leica DM4) with magnifications of 100 - 1000 according to the three anatomical planes of wood (transverse, tangential and radial), xylological atlases (Schweingruber, 1990; Vernet et al., 2001) and the reference collection of the GEODE laboratory. Charcoals were identified at the level species, genus, family or sub-family. Moreover, we performed a multiproxy approach on charcoal, integrating the study of hyphae infestation of cells and radial cracks, allowing to assess the state of wood before carbonization and finally, wood diameter reconstruction, allowing to characterize the size of the wood used by the charcoal burners (Fouédjeu et al., 2021b). When charcoal has retained bark cells, we reconstruct the logging season based on the state of progress of the last **ring's formation. Concerning Artigue and Soulcem, we used charcoal data published in Métaillé and Jalut (1991) and Davasse (2000).**

We randomly selected 17 platforms distributed in all ASUs and one sampling layer per platform, usually the deepest one, has been radiocarbon dated (Figure 7D; Tableau 1). Due to the considerable depth of platform 17, we dated both the deepest and the **uppermost layer. To avoid the “old tree effect” i.e. reducing the “inbuilt age”** (Stouvenot et al., 2013), we selected young twigs with bark, and/or charcoal fragments with bark and/or, if such charcoal has not been preserved, bark fragments alone.

Accelerator Mass Spectrometry (AMS) C14 dates were calibrated using OxCal (Reimer et al., 2013). To get a temporal overview of charcoal production activity at the *consulat de Vicdessos* level (Figure 7C), we integrated former radiocarbon dates from Arbu (Py-Saragaglia et al., 2019), Artigue and Soulcem (Métailié and Jalut, 1991; Davasse, 2000).

We performed statistical analyses using R software 3.5.1 (R Core Team, 2018) with “stats” and “graphics” packages. A hierarchical ascendant classification gathered the platform layers into clusters, based on the tree-species platforms composition similarity. We used the Ward's minimum variance criterion (ward.D2) to implement the hierarchical ascendant classification, in order to minimize the total within-cluster variance or, to be more precise, to minimize increase in the sum-of-squares (of errors) (Ward, 1963).

2. Results

2.1. Variation of iron industry intensity according to historical data

The first textual evidence of mining and iron ore smelting in this area only dates back to 1294²², but the charter recorded earlier activity that is impossible to date accurately. The first decades of the 14th c. are marked by the birth and development of water-powered direct iron metallurgy, supported by the Earl of Foix²³. However, the first mention in the *consulat de Vicdessos* dates from 1390 with two running bloomeries reported and another already inactive²⁴ (Figure 9, Figure 11, Figure 13). C. Verna assumed that these *moulines* were created before the second half of the 14th c., and were preceded by unpowered bloomeries. Underground mining works were clearly established at Sem, as they required exploitation regulation in 1414. The 15th c. saw a decrease in the number of water-powered bloomeries, from two to one, caused by an economic crisis in the local iron trade and political instability²⁵ (Figure 9, Figure 13).

²² Annexe 1, doc n°3.

²³ Annexe 1, doc. n°8.

²⁴ Annexe 1, doc n°21.

²⁵ Annexe 1, doc n°23

Our original study invalidates the former assumption of a considerable growth in the iron industry during the 16th c., based on (i) the economic recovery of the first half of 16th c., (ii) the French Wars of Religion-related iron demand boost, and iii) the **emergence of the more productive “Genoa style” direct watered-bloomery**. From the mid-15th to early 16th. c., the iron industry did not recover²⁶ (Figure 9). A small revival occurred in the 1530s with one new bloomery²⁷ (Figure 10). The same two *moulines* were still running in 1553²⁸ and 1560-61²⁹ (Figure 9, Figure 10, Figure 13). During the second half of the century, while six new *moulines* were recorded in enfeoffment acts³⁰, some of them were likely never built³¹ or were only built later³². Other bloomeries were short lived, and sometimes rebuilt later³³ (Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12). The success of these entrepreneurial initiatives faced repeated plague epidemics and insecurity. War did stimulate iron demand, but it restricted industrial development at the same time. Due to the return to relative security, the bloomeries number provisionally rose to three for the 1582-1595 period³⁴, before decreasing to two in 1596³⁵ (Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 13). Abandoned projects or the short life of some upper-valley bloomeries might also have resulted from harsh natural conditions, i.e. torrential flows, accessibility issues, significant snow cover and avalanche risk³⁶.

A boom did occur briefly in the early 17th c., evidenced by the rebuilding of several former bloomeries and by new construction in the bottom valley, close to trade routes

²⁶ Annexe 1, docs n°24-25.

²⁷ Annexe 1, docs n°38-39; 43-44; 48.

²⁸ Annexe 1, doc n°53.

²⁹ Annexe 1, doc n°56.

³⁰ Annexe 1, docs n°57-62; 67-69; 71-73.

³¹ Annexe 1, docs n°63-66; 71-72; 70; 74-78.

³² Annexe 1, docs n° 57-60; 63-66; 68; 70; 74-78.

³³ Annexe 1, docs n°63-70; 73; 74-78; 80; 82; 85; 91; 94; 96; 99; 102.

³⁴ Annexe 1, docs n°77-78; 79; 82; 85; 91-94.

³⁵ Annexe 1, doc n°96.

³⁶ Annexe 1, doc n°122.

(Figure 8, Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12, Figure 13). Between 1601 and 1642³⁷, their numbers fluctuated but finished at the same level. Between 1630 and the 1650s, two new bloomeries were built in Vicdessos³⁸ and Suc³⁹ (Figure 9, Figure 10). Our results also mitigate the spread of the Genoa style bloomery because only Guilhe was successful in a long-term perspective (Figure 11).

The mid-17th c. corresponds to the birth and generalization of the Catalan direct water-powered bloomery. Between the 1640s and 1660s, the number of bloomeries increased from four to six and stabilized over the second part of the century⁴⁰ (Figure 11, Figure 13). An unlocated tilt hammer was also reported in 1669⁴¹.

The numerous economic and health crises did not significantly impact local iron industry, where five out of six bloomeries were still running in 1720⁴² (Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 13). While Ournac was no longer mentioned in 1720, the Forge-Neuve bloomery was created in c. 1722⁴³ (Figure 9). In the 1750s, the functioning of some bloomeries was disrupted by ore supply problems⁴⁴ or floods⁴⁵, but all of them

³⁷ Annexe 1, docs n°103-109; 111-112; 116-129; 134-138; 140-144; 149-150.

³⁸ Annexe 1, doc n°150.

³⁹ Annexe 1, doc n°133.

⁴⁰ Capounta: Annexe 1, docs n°147-150; 182; 190-193; 198; 202; 206; 211; 229; 232; 240-241; 262-263; 275; 299; 301; 317; 328-330; 334; 349-351; 354-356; 359; 363; 365; 367; 377; 379-382; 387; 389; 391; 396-397; 400; 402-403; 410-412; 414; 420; 422-423; 429; 432-434; 436 / Ournac: Annexe 1, docs n°151-152; 154-156; 160-163; 167; 177; 187-188; 194; 197-200; 202; 212-214; 216; 220; 225; 227; 230; 239-241; 245; 255; 257; 262-263; 265-273; 281-282; 285-286; 291-295; 300-301; 310-311; 315; 323-327; 349; 351; 356; 361; 368; 374; 377; 383; 387; 389; 391; 396-397; 400 / Cabre: Annexe 1, docs n°150; 171-174; 179; 181; 222-223; 234; 236-238; 333; 335-336; 338-341; 348; 406; 413; 415; 417; 424; 431 / Guilhe: Annexe 1, docs n°150; 205; 207; 215; 218; 224; 226; 256; 259-261; 277-279; 282-284; 290; 297-299; 302-303; 306-309; 316-318; 320-321; 331; 362; 392; 426-427 / Laprade: Annexe 1, docs n°133; 139; 145; 215; 218; 221; 224; 226; 244; 247; 256; 264; 276-279; 282; 287; 290; 297-298; 302-304; 306-309; 316-318; 373 / Vexanelle: Annexe 1, docs n°183-185; 190; 205; 207-208; 210; 247; 278; 282; 287-288; 290; 297-298; 303-304; 306-309; 316; 318; 320-322; 331; 351; 357; 388; 416; 421; 425.

⁴¹ Annexe 1, doc n°249.

⁴² Annexe 1, doc n°451.

⁴³ Annexe 1, docs n°461; 465.

⁴⁴ Annexe 1, doc n°530.

⁴⁵ Annexe 1, doc n°525.

were still running in 1772⁴⁶. Cabre did close, however, in 1775. In addition, two tilt hammers were illegally built⁴⁷.

The first half of the 19th c. saw the rebuilding of Cabre in 1817-20 (Figure 11) and the creation of two new bloomeries at Laramade in 1836-1837 and 1847. At the same time, Laprade closed (1846) (Figure 9). The 1860-70s saw the end of the iron industry, with the progressive closure of all the bloomeries of the area (Figure 9, Figure 10).

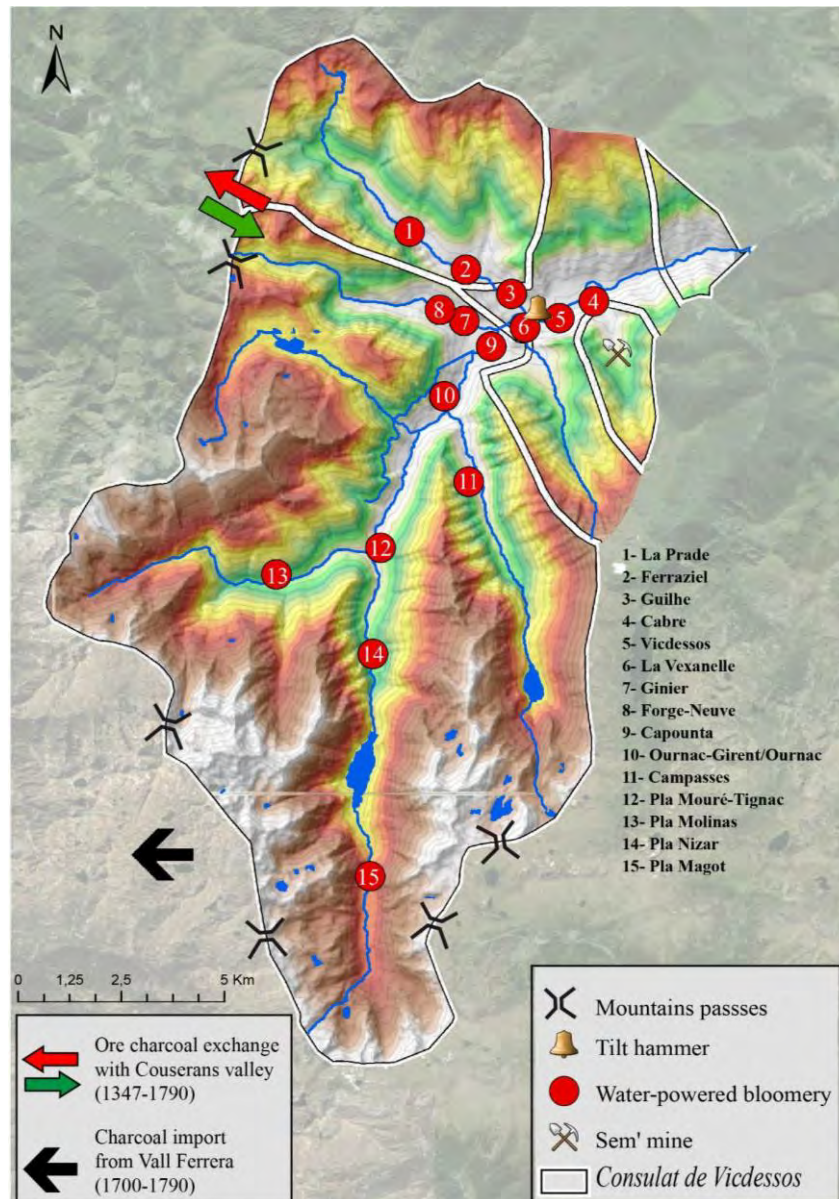


Figure 8: General location of the water-powered bloomery in the consulat de Vicdessos.

⁴⁶ Annexe 1, doc n°577.

⁴⁷ Annexe 1, docs n°539; 566.

Chapitre II : L'industrie sidérurgique à base de charbon de bois a-t-elle réellement entraînée le déclin du couvert forestier dans les Pyrénées septentrionales ?

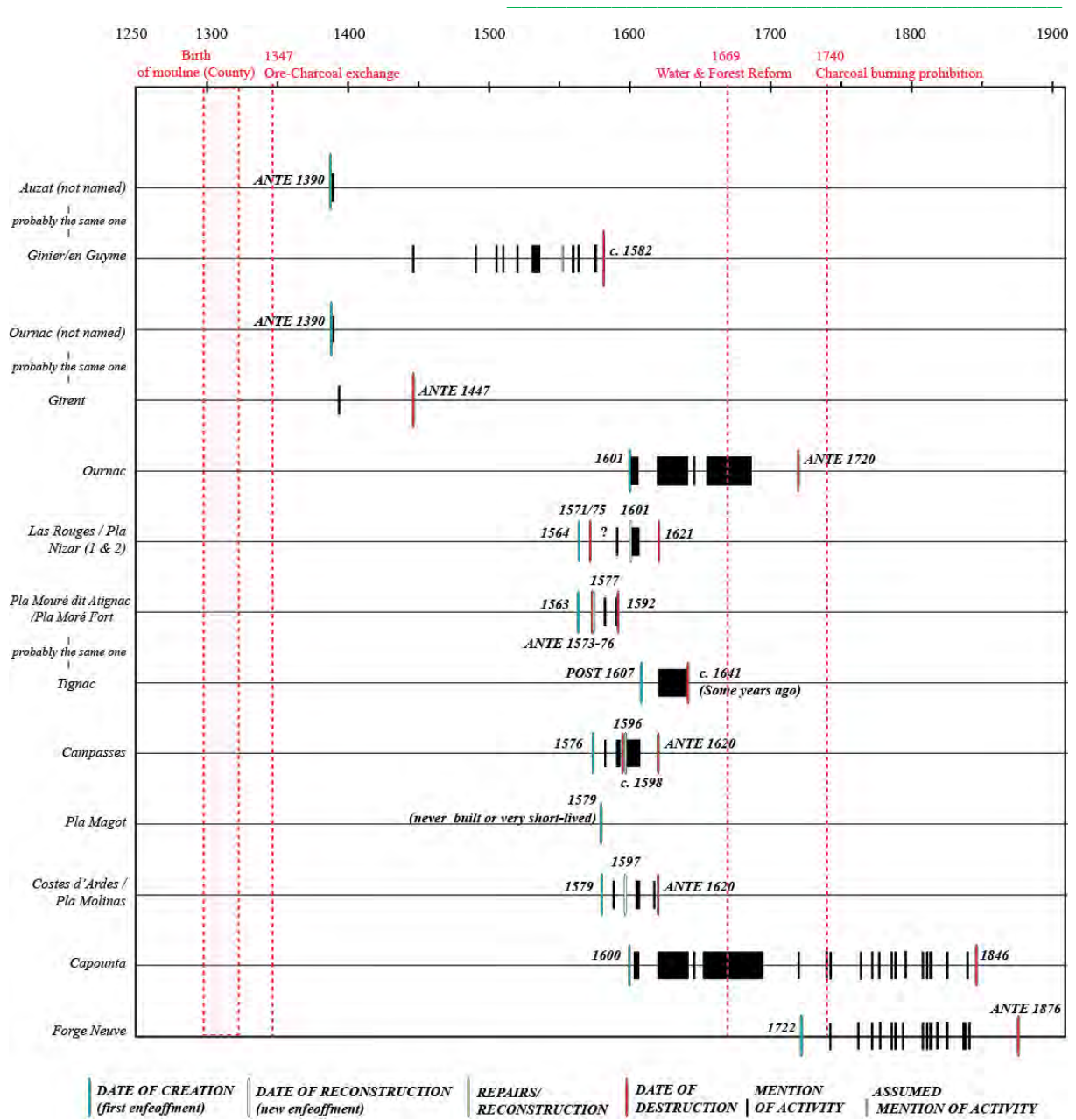


Figure 9: Restitution of bloomery activity in Auzat territory

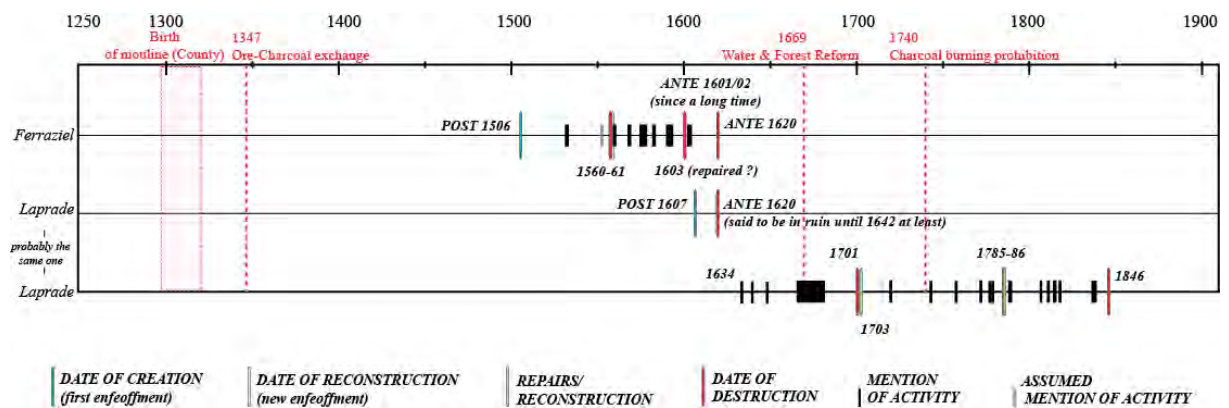


Figure 10: Restitution of bloomery activity in Suc territory

Chapitre II : L'industrie sidérurgique à base de charbon de bois a-t-elle réellement entraînée le déclin du couvert forestier dans les Pyrénées septentrionales ?

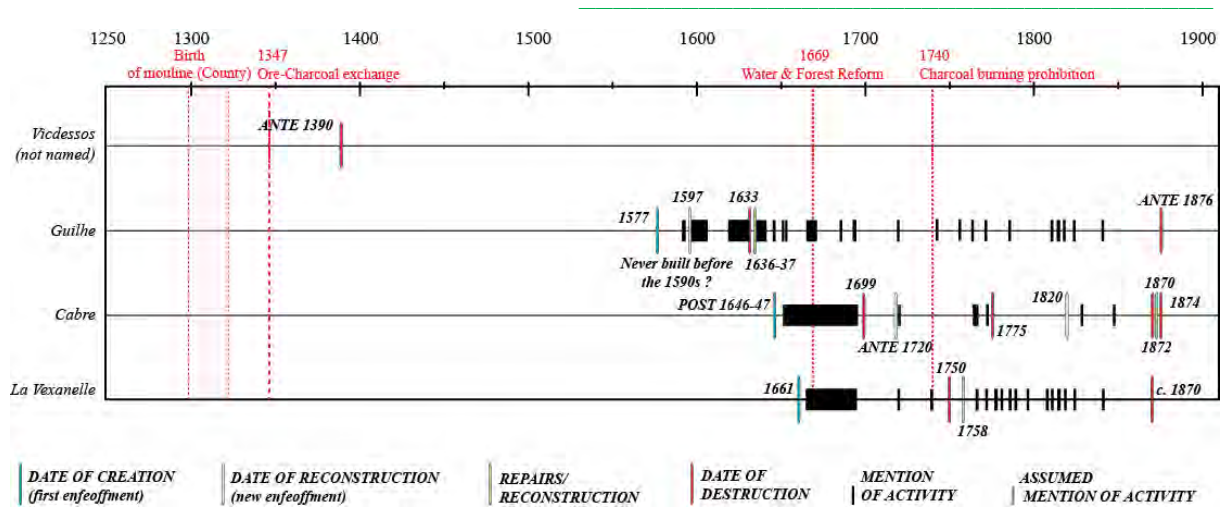


Figure 11: Restitution of blooming activity in Vicdessos territory

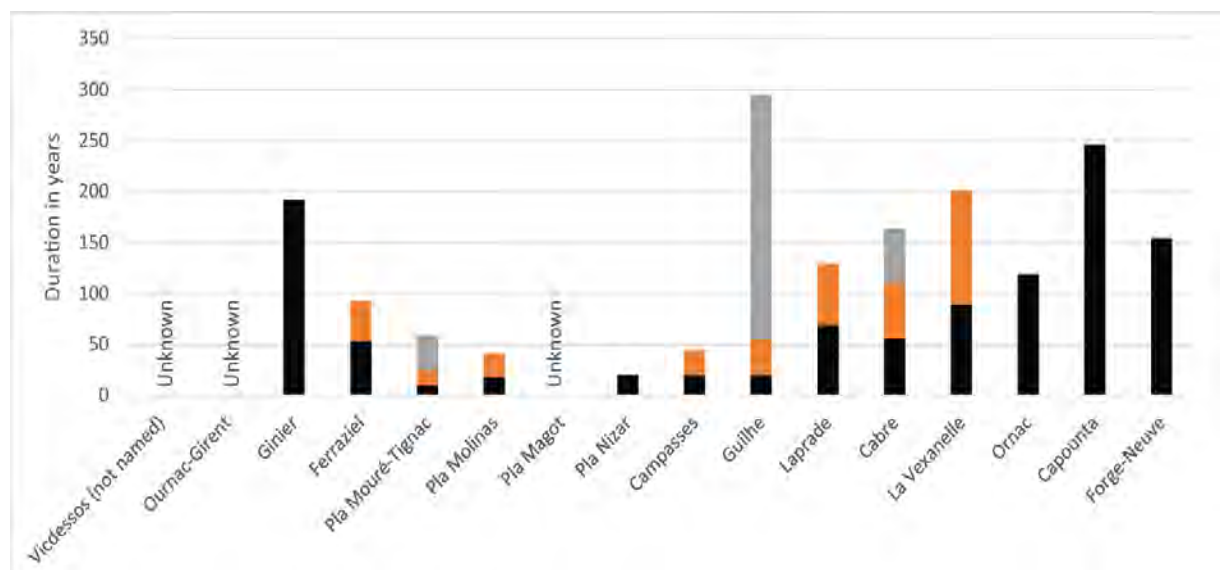


Figure 12: Evaluation of the maximum running duration for each blooming (colors correspond to successive phases of activity)

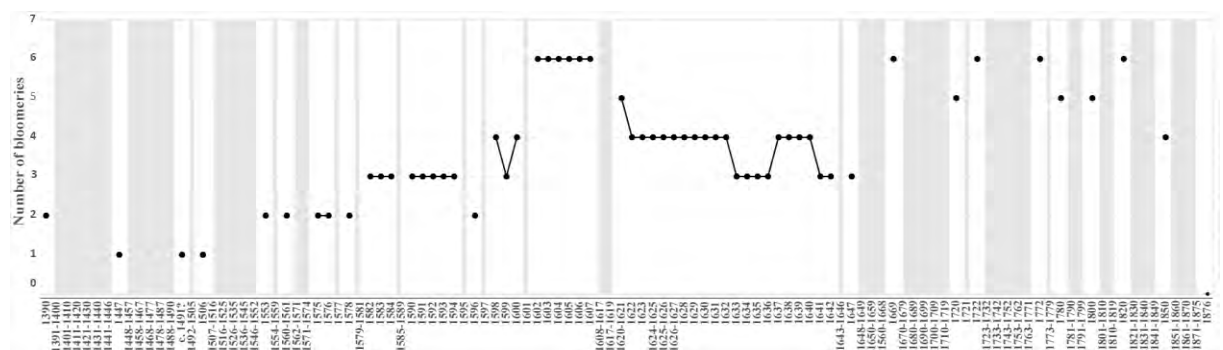


Figure 13: Number of bloomeries over time in the consulat de Vicdessos according to written records (Only the years for which we have an overview of the total number of bloomeries are represented; contracted undocumented periods in grey)

2.2. Archaeological evidences

For now, in lack of archaeological excavations and radiocarbon dating, archaeology provides little information about ancient and medieval bloomeries in the former *consulat de Vicdessos*. While a couple of ironworks were radiocarbon dated to the 3rd-5th c. AD in the neighboring valleys of Siguer and Courbière, no evidence was found in the *consulat de Vicdessos*. Despite some textual evidence, for now, no medieval bloomeries remains have been recognized. Based on the scarcity of iron artifacts from the *castrum* site of Montréal-de-Sos, archeologists speculated on the existence of small-scale open-cast mining works between the late 12th c. and the late 13th c. But this hypothesis must be supported by iron isotope analyses to confirm their local provenance and manufacture. Thus, it is impossible to conclude that medieval iron making activity was continuous and intensive (Figure 9, Figure 10, Figure 11). For the early modern era, only the Las Moulinas bloomery have been partially investigated but not radiocarbon dated. For late modern and contemporary times, all the bloomeries documented by archives were recognized. Recent surveys detected several undated ironwork evidence.

Concerning charcoal production, we detected a total of 80 platforms in the focus area. Platforms were distributed along slopes with 31% located on the steep slope (50 to 90%), 35% on medium-grade incline slopes (20 to 50%) and 33% on low to moderate slopes (low grade, up to 20%). Platforms recorded on steep slopes show visible signs of construction: excavation, overdeepening directly into the slope to prepare the location of the platform where charcoal kilns were settled. Smaller platforms with a moon shape are mainly found on steep slopes, while larger platforms (round shape) are located on gentle slopes. Almost all platforms are located within the current forest, except a dozen located in the current open grazing area (n° 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 et 62) (Figure 7D). The past centuries had little effect on the conservation of platforms located in forest, unlike the platforms in open areas, which show weaker conservation, probably due to heavy human use and grazing by livestock. Almost all platforms show a homogeneous and regular black layer, more or less rich in charcoal, which usually extends to a depth of 40 to 60 cm, sometimes to 80 cm (platforms 19, 74 and 79). Platform 17, which is the only one reaching 120 cm depth, is characterized by three charcoal deposits separated by two fine mineral layers suggesting three use phases. Platforms with 120 cm depth remain exceptional, because the thickness of the black

layer usually ranges from 5 and 30 cm on most of the platforms observed on different European sites. It could be a pit platform, the existence of which has sometimes been mentioned by historical sources in the French Pyrenees (Gourbit valley, Pays de Sault) and Catalan Pyrenees.

At the *consulat de Vicdessos* level, radiocarbon data from platforms cover a period ranging from the 6th c. to the 20th c. AD (with 95.4% of probability) (Tableau 1 ; Figure 14). In the focus area, they bring 11 centuries of charcoal production to light, beginning in the 9th c. AD. For platform 17, the deepest layer corresponds to the mid-15th-mid-17th c. period, and the uppermost layer, to the mid-17th to the 19th c., confirming its use at different periods.

Study area	Platform	Depth (cm)	Age 14C BP	N° Lab	Tree-species	Cal BC-AD (95.4%)	Most probable dates (% probability)	Historical periods	Source
Focus area	4	0-40	65 ± 30	Poz-73024	Beech	1691-1921	1811-1921 (71.6%)	19th-20th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	74	40-60	80 ± 30	Lyon-14958 (SacA-53114)	Beech	1690-1926	1810-1926 (70.6%)	19th-20th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Soulcem (Tignalbu)	1	5-10	100 ± 50	Gif 8734	n/a	1676-1941	1799-1941 (61.4%)	19th-20th c.	(Davasas, 2000)
Focus area	17	0-20	185 ± 30	Lyon-14951 (SacA-53107)	Beech + bark	1650-present day	1726-1814 (52.5%)	Mid 17th-19th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Soulcem (Tignalbu)	1	60-65	190 ± 40	Gif 8736	n/a	1644-present day	1720-1819 (47.9%)	Mid 17th-19th c.	(Davasas, 2000)
Focus area	14	0-40	130 ± 30	Lyon-14950 (SacA-53106)	Beech + bark	1675-1942	1675-1894 (80.5%)	Mid 17th-19th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	29	20-40	140 ± 30	Lyon-14953 (SacA-53109)	Beech + bark	1669-1945	1669-1891 (80%)	Mid 17th-19th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	63	20-40	140 ± 30	Lyon-14957 (SacA-53113)	Beech	1669-1945	1669-1891 (80%)	Mid 17th-19th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Soulcem (La Glise)	5	25-30	160 ± 60	Gif 8733	n/a	1655-present day	1655-1894 (78.3%)	Mid 17th-19th c.	(Davasas, 2000)
Soulcem (Tignalbu)	2	20-25	220 ± 35	Gif 8738	n/a	1529-present day	1635-1810 (79.5%)	Mid 17th-19th c.	(Davasas, 2000)
Soulcem (Tignalbu)	3	35-40	220 ± 35	Gif 8737	n/a	1529-present day	1635-1810 (79.5%)	Mid 17th-19th c.	(Davasas, 2000)
Focus area	19	0-40	255 ± 30	Poz-73023	Beech + bark	1521-present day	1620-1675 (55%)	Mid 17th-19th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Soulcem (Tignalbu)	1	30-35	250 ± 40	Gif 8735	n/a	1513-present day	1616-1684 (41.6%)	Mid 17th-19th c.	(Davasas, 2000)
Soulcem (La Glise)	1	30-35	240 ± 50	Gif 8530	n/a	1489-present day	1610-1813 (63.4%)	Mid 17th-19th c.	(Davasas, 2000)

Chapitre II : L'industrie sidérurgique à base de charbon de bois a-t-elle réellement entraînée le déclin du couvert forestier dans les Pyrénées septentrionales ?

Soulcem (Pla de la Crouts)	3	45-50	240 ± 50	Gif 8739	n/a	1489-present day	1610-1813 (63.4%)	Mid 17th-19th c.	(Davasse, 2000)
Arbu	6	40-60	260 ± 30	Poz-104699	n/a	1520 - present day	1520-1670 (53.1%)	Mid 15th-mid 17th c	(Py-Saragaglia et al., 2019)
Focus area	1	20-40	270 ± 30	Poz-73022	Beech + bark	1514-1799	1514-1669 (89.2%)	Mid 15th-mid 17th c	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	79	40-80	320 ± 30	Beta-480930	Beech + bark	1482-1646	1482-1646 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	34	0-40	330 ± 30	Lyon-14954 (SacA-53110)	Beech	1477-1643	1477-1643 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	(Fouédjeu et al., 2021b)
Arbu	14	0-20	335 ± 30	poz-104579	Beech	1475-1641	1475-1641 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	Py-Saragaglia et al. (2019)
Arbu	16	20-40	340 ± 30	Poz-104580	Beech + pine + bark	1470-1640	1470-1640 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	Py-Saragaglia et al. (2019)
Arbu	20	20-40	345 ± 30	Poz-104700	Fir + fir/juniper	1465-1638	1465-1638 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	Py-Saragaglia et al. (2019)
Artigue (Pla Nouzère)	5	Lower layer	330 ± 50	Gif 8109	n/a	1454-1649	1454-1649 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	(Métaillié and Jalut, 1991)
Focus area	7	40-60	365 ± 30	Lyon-14949 (SacA-53105)	Beech	1449-1634	1449-1634 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	6	20-40	375 ± 30	Poz-77095	Bark	1446 - 1633	1446 - 1527 (58.3%)	Mid 15th-mid 17th c	(Fouédjeu et al., 2021b)
Artigue (Bois de Fontanal)	n/a	n/a	360 ± 60	Gif 9433	n/a	1442-1646	1442-1646 (95.4%)	Mid 15th-mid 17th c	(Davasse, 2000)
Focus area	17	60-100	390 ± 30	Lyon-14952 (SacA-53108)	Bark	1441-1631	1441-1524 (69.3%)	Mid 15th-mid 17th c	(Fouédjeu et al., 2021b)
Arbu	2	60-70	396 ± 30	Poz-104658	Beech + bark	1438-1628	1438-1523 (73.7%)	Mid 15th-mid 17th c	(Py-Saragaglia et al., 2019)
Focus area	11	0-20	525 ± 30	Poz-73025	Fir + beech + bark	1321 - 1442	1392-1442 (80.5%)	End 13th c.-early 15 th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	27	20-40	560 ± 30	Poz-97774	Bark	1307 - 1429	1307 - 1429 (95.4%)	End 13th c.-early 15 th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	49	20-40	615 ± 30	Lyon-14955 (SacA-53111)	Beech	1295-1401	1295-1401 (95.4%)	End 13th c.-early 15 th c.	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	62	20-40	1110 ± 30	Lyon-14956 (SacA-53112)	Fir + fir/juniper	878-1014	878-1014 (95.4%)	Early Middle Ages	(Fouédjeu et al., 2021b)
Focus area	8	20-40	1120 ± 30	Poz- 109062	n/a	778 - 995	863-995 (91.8%)	Early Middle Ages	(Fouédjeu et al., 2021b)
Arbu	17	20-40	1480 ± 30	Poz-104621	Beech	538-646	538-646 (95.4%)	Early Middle Ages	(Py-Saragaglia et al., 2019)

Tableau 1: Combine Accelerator Mass Spectrometry (AMS) dates of the focus area, Soulcem, Arbu and Artigue

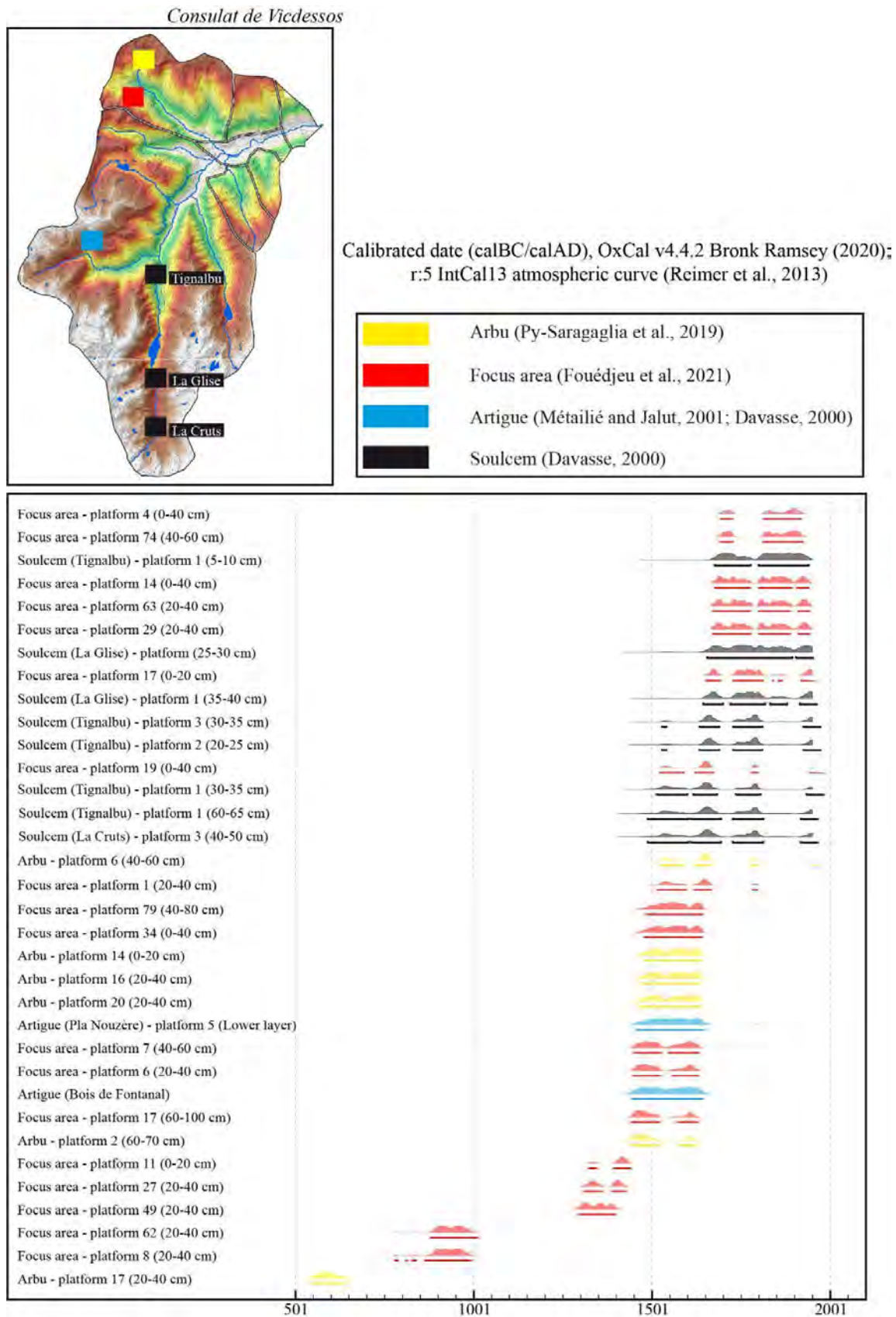


Figure 14: Radiocarbon dates of platforms showing 15 centuries of charcoal manufacturing

2.3. Results of charcoal analysis for the focus area

Among the 7990 charcoal samples analyzed, we identified 21 taxa classified into three main categories (Figure 15A): (i) shade-tolerant tree taxa so-called “dryads” including silver fir, beech, holly (*Ilex aquifolium* L.), common yew (*Taxus baccata* L.), fir/juniper (*Abies alba/Juniperus*); (ii) pioneer taxa, i.e. legume family (Fabaceae), birch (*Betula*), willow (*Salix*), grey alder (*Alnus incana* L.), alder (*Alnus*), juniper (*Juniperus*) and (iii) post-pioneer taxa including wild cherry (*Prunus*), scots/mountain pine (*Pinus*), evergreen and deciduous oak (*Quercus*), apple sub-family (Rosaceae, Maloideae), mountain ash (Rosaceae, Maloideae cf. *Sorbus*), hazel (*Corylus*), ash (*Fraxinus*), rose (*Rosa*), elm (*Ulmus*), wild cherry (*Prunus*). The corpus of charcoal is largely dominated by beech (81.2%), followed by silver fir (15.4%). The 19 other taxa had mean relative frequencies below 2% and were not identified in all platforms (Annexe 2. Tableau 1 ; Annexe 2. Tableau 2).

The anthracological spectra of platforms in the ASU 2 are characterized by very low taxonomic diversity (n=3) and a large predominance of beech. Nine taxa were recorded in platforms located in ASU 4. Beech is always predominant, but platforms 73 and 74 recorded high proportions of silver fir. The platform spectra in the ASUs 1 and 3 show the greatest taxonomic diversity (n=18 and 12). They are characterized by significant frequencies of silver fir, even though beech is predominant overall (Figure 15A).

Hierarchical clustering analysis grouped platforms into three main clusters according to their taxonomic composition and the relative frequencies of the taxa (Figure 16). Cluster I included platforms (62 and 8) with the greatest taxonomic diversity (n=12), and the oldest dates, i.e. 9th-10th c. AD. C II included sampling layers dominated by beech and, in the deeper layers of the same platforms, rich in fir. Those platforms were dated for three different periods: end 13th- mid 15th c., mid 17th c.-19th c. and 19th-20th c. The oldest are composed of sampling layers in platforms 11, 27 and 49. The most recent are composed of most of the layers of platforms 4, 14, 17 (except 20-40, 40-60 and 60-100 cm), 29, 63 and 74 (except 60-80 cm). Cluster III included platforms whose layers were dominated by fir. These platforms were dated between mid-15th to mid-17th c.

Chapitre II : L'industrie sidérurgique à base de charbon de bois a-t-elle réellement entraînée le déclin du couvert forestier dans les Pyrénées septentrionales ?

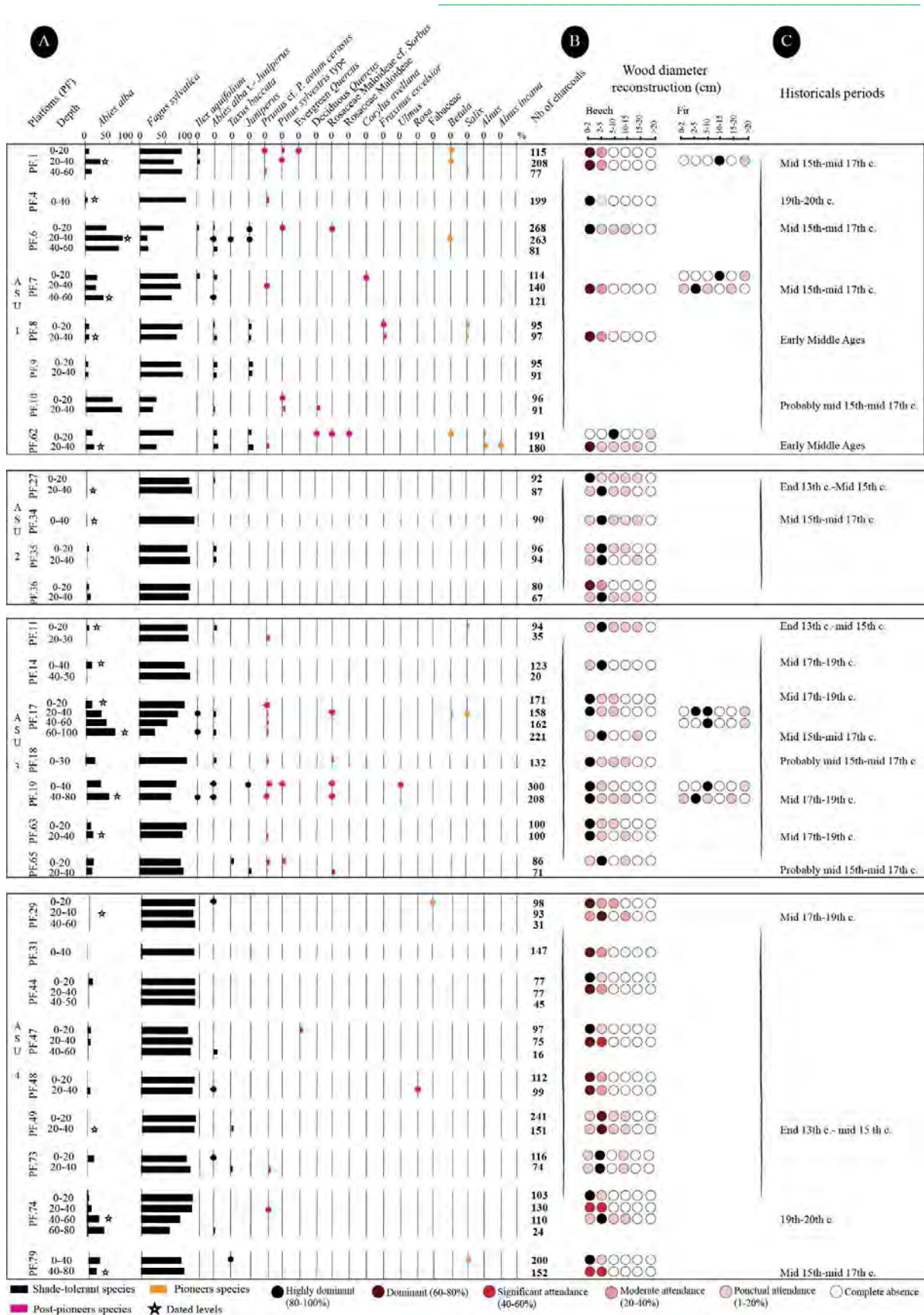


Figure 15: (A) Anthracological diagram of the focus area showing the relative frequencies of taxa classified by reference spatial unit. Points represent taxa with relative frequencies of lower than 1%; (B) Results of wood diameter reconstruction carried on Fouédjeu et al. (2021b); (C) Historical periods

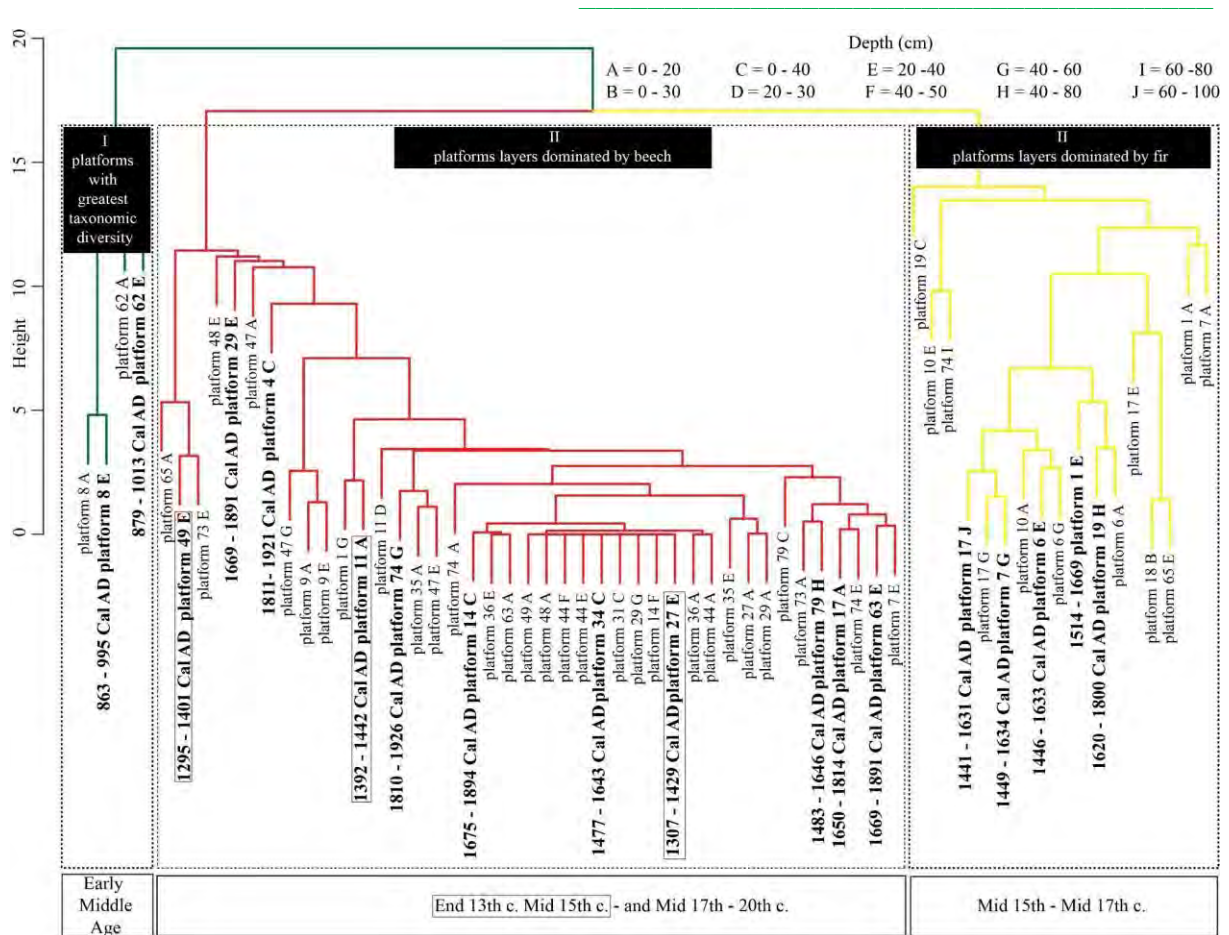


Figure 16: Hierarchical clustering conducted on the basis of the similar taxonomic composition of dated and undated platforms highlighting three groups (green, red, yellow)

3. Discussion

3.1. Fuel consumption for the iron industry and woodland management strategies over time

Presently, no data is available to assess and characterize late antique and early medieval unpowered direct furnaces charcoal consumption. **Dubois'** estimation (2000) is excessive as it was based on insufficient experiments and on unrecognized hypotheses: the continuity of production and silvicultural practices over long periods (Arribet-Deroin, 2013). Consequently, we assume low intensity iron production supplied by the local charcoal industry, as in Vall Ferrera (Pèlachs et al., 2009).

The first evidence of forest management dates from a. 1272 when the inhabitants of the *consulat de Vicdessos* were recognized in their customary right to freely use

common natural resources⁴⁸ (Verna, 2001, pp. 115–116, 167). Charcoal burning is attested as soon as 1281⁴⁹ and the right to make charcoal freely and without limitation is confirmed in 1294⁵⁰. In 1301, the common rights of inhabitants were reconfirmed, but charcoal burning was forbidden⁵¹, probably because the earl sought to control the rising charcoal trade. In this sense, the 1303 regulation⁵² defined new rules for charcoal production, requiring producers to use dry and dead trees before using entirely green trees, but enforcement remains uncertain. In 1347-48, an iron-charcoal agreement was signed between the *consulat* and the Couserans viscount⁵³. The former obtained **the right to harvest timber and charcoal in the Couserans viscounty's forest**. In exchange, the Viscount was allowed to supply his bloomeries at Ercé and Massat with the iron ore from Sem mines. However, the Viscount excluded small-sized oaks and firs from the agreement (Verna, 2001, pp. 96–98). The regulation of local production⁵⁴ and the outsourcing of charcoal supply was intended to ensure forest resource sustainability in a long-term industrial development perspective.

Medieval and modern charcoal consumption also remains largely unknown. Generally water-powered bloomeries allowed a higher iron production rate and involved higher charcoal consumption (Arribet-Deroin, 2018). However, without local information on the rhythm and duration of smelting operations, it is impossible to estimate the annual consumption of each bloomery.

In the context of industrial variability (Figure 13), charcoal supply was both locally sourced and imported from Couserans⁵⁵, through the Port de Lers, probably in the framework of the iron-charcoal exchange, but their respective shares are unknown. Local charcoal was generally supplied by the rights granted in bloomeries

⁴⁸ Annexe 1, doc n°1.

⁴⁹ Annexe 1, doc n°2.

⁵⁰ Annexe 1, doc n°3.

⁵¹ Annexe 1, doc n°5.

⁵² Annexe 1, doc n°6.

⁵³ Annexe 1, doc. n°16; 17.

⁵⁴ Annexe 1, doc n°20.

⁵⁵ Annexe 1, doc n°41.

enfeoffment⁵⁶ and secondarily by purchases and debt repayments⁵⁷. This local production is confirmed by nine platforms in the focus area, four in Arbu and two in Artigue (Davasse, 2000, pp. 163–164) (Figure 14, Figure 16). The low accuracy of radiocarbon probability ranges does not allow us to relate them to the individual bloomeries running phases.

While only the use of beech is mentioned in written records⁵⁸, charcoal analysis revealed a large variety of species. Las Moulinas bloomery (Artiès, late 16th-early 17th c.) was mainly fueled with beech, fir and birch (*Betula*) with numerous other broadleaved trees and conifers (Métailié and Jalut, 1991; Dubois, 1995; Davasse, 2000, pp. 163–164). In Artigue, fir was almost exclusively charred. Indeed, while fir was expected to be used primarily as a building material⁵⁹ (Barbe, 1900; Ruffié, 1997), it was also significantly identified among charcoal. Wood diameters of fir charcoal raise issues about the charring of logging slash (Fouédjeu et al., 2021b). The contemporaneous intensification of anthropogenic canopy removal (Saulnier et al., 2020) suggests the harvesting of a large number of fir standards. The combination of charcoal and timber productions is also suggested by the ownership of sawmill by ironmasters and the spatial proximity of both activities⁶⁰.

During the 17th c. industrial intensification (Figure 13), forest administration reports emphasized the role of charcoal imports from Couserans⁶¹ (Davasse, 2000, p. 135; Cantelaube, 2005, pp. 224–228; Poublanc, 2019, p. 54). Although charcoal delivered at the Port de Lers were partly produced in Massat, Ustou⁶² and in the Earl of Rabat's forests⁶³, the sourcing of imported charcoal is often unknown⁶⁴. However, charcoal was

⁵⁶ Annexe 1, doc n°48; 57; 60.

⁵⁷ Annexe 1, docs n°36-37; 41; 130-133.

⁵⁸ Annexe 1, doc n°130.

⁵⁹ Annexe 1, doc n°39; 49.

⁶⁰ Annexe 1, doc n°29; 56-58; 67-71; 82.

⁶¹ Annexe 1, doc n°231, fol. 418 (1667); 249, fol. 136 (1669).

⁶² Annexe 1, doc n°170.

⁶³ Annexe 1, doc n°215.

⁶⁴ Annexe 1, doc n°165; 175; 230; 242; 254; 289.

also locally manufactured as stated by historical⁶⁵ and archaeological evidence (Figure 14). **Forest court condemned bloomery owners for “abusive use” but maintained their rights⁶⁶.** While beech was considered to produce better charcoal than fir⁶⁷, charcoal analysis still evidences a combined use of conifers (pine, fir, juniper) and broadleaved trees (hazel, birch, alder, etc.) (Davasse, 2000, pp. 175–180).

Improving technical processes led to a 30-50% reduction in charcoal consumption between 1667-1868 (Cantelaube, 2005, p. 245). The charcoal/iron ratio was around 6/1 or 4/1 according to François (1837, p. 588; 1843, p. 321). However, the annual consumption of each bloomery remains unknown for the reasons previously exposed (e.g. the Guilhe only ran 2-3 months per year⁶⁸).

Despite strong control, illicit charcoal burning occasionally occurred in woodland reserves during the 18th c.⁶⁹. In 1740, the fear of timber shortages led authorities to create new reserves to ensure timber supply for mining and construction, and to prohibit charcoal burning in the entire *consulat*⁷⁰. This prohibition was globally respected⁷¹ (Picot de Lapeyrouse, 1786, p. 64; Davasse, 2000, pp. 106–110), but was renewed after the French Revolution due to new offenses⁷². Charcoal making continued in private woodland away from commons (Davasse, 2000, p. 117). The 1740 prohibition led the *consulat* council to enforce the respect of the iron-charcoal exchange with Couserans⁷³. Due to rising charcoal prices, the lords of Massat and Ercé

⁶⁵ Annexe 1, doc n°36-37; 41; 48; 57; 60; 130-133; 149-176; 178-182; 187-195; 197-210; 212-230; 232-248; 254-274; 276-312; 315-351; 353-368; 371-378; 387-394; 396-403; 410-413; 415; 418-419; 423-425; 427.

⁶⁶ Annexe 1, doc n°251-253.

⁶⁷ Annexe 1, doc n°150; 152; 165; 167; 170; 176; 180; 187-188; 201; 207; n°249, fol. 140 ; 296-297; 302; 305; 308; 319-321; 367; 373-375.

⁶⁸ Annexe 1, doc n°249.

⁶⁹ Annexe 1, doc n°446; 456; 460; 477-478; 497; 501-502.

⁷⁰ Annexe 1, doc n°506.

⁷¹ Annexe 1, doc n°587; 592; ; 601-604; 609.

⁷² Annexe 1, doc n°614-615; 617.

⁷³ Annexe 1, doc n°428; 430; 443-445; 447-448; 452-455; 457-459; 467-468; 479-486; 488-490; 496; 498; 503; 505; 508-511; 514; 516-521; 523-524; 516; 528-529; 531-536; 538; 547; 549-551; 553; 560; 567-573; 579-580; 587; 591-592; 594-601; 605.

tried to end it (Davasse, 2000, pp. 135–143; Cantelaube, 2005, pp. 224–233). In response, the *consulat* signed new exchange agreements with other Couserans lords⁷⁴, then with the Donnezan (1770)⁷⁵ and Vall Ferrera communities⁷⁶ (until the prohibition of charcoal exportation in 1773)⁷⁷. The iron-charcoal exchange ultimately stopped in the 1780-1790s (Davasse, 2000, p. 137; Cantelaube, 2005, pp. 224–233). In the 1780s, about 1.706 t. of outsourced charcoal per day were consumed by the six bloomeries of the *consulat*⁷⁸ (François, 1837, p. 585; Cantelaube, 2005, pp. 206–209).

Iron production no longer drove mountain woodland exploitation. Several decrees leading to the 1810 law required those who wanted to create a bloomery to indicate the sourcing of charcoal supply to the Waters and Forests administration to demonstrate the absence of impact on local woodland. Most charcoal supplies came **from external purchases or from the bloomery owner's private woodlands outside the *consulat*** (Bonhôte, 1986; Davasse, 2000; Cantelaube, 2005, pp. 505–519).

Later, the development of an agro-pastoral-based economy led to a global wood shortage resulting in tensions between local communities and state forestry administration. The fuelwood and timber supply of each commune was restricted to its own territory and required legal authorization. It was problematic because the spatial distribution of fir high woodlands was unequal as it resulted from former common organization (Davasse, 2000, pp. 123–125). The 1827 Forest Code, again restraining common rights, and the Mountain Lands Restoration plantation of exotic conifers, initiated in the 1820s, caused an increasing conflictuality (e.g. War of the Demoiselles) (Chevalier, 1956, pp. 873–877; Baby, 1972; Whited, 2000).

3.2. Long-term forest evolution driven by human practices

Previous studies have highlighted the early medieval altitudinal rising of agrarian lands and clearing of pine forest for pasture in subalpine areas (Galop, 2000; Galop et

⁷⁴ Annexe 1, doc n°455; 457; 480; 4826-485.

⁷⁵ Annexe 1, doc n°567-572.

⁷⁶ Annexe 1, doc n°539-542; 561.

⁷⁷ Annexe 1, doc n°575; 578; 583.

⁷⁸ Annexe 1, doc n° 598.

al., 2003; 2013; Rendu, 2003). Until now, there has been little evidence of local high-altitude pasture occupancy (Guillot, 2014). While agro-sylvo-pastoral activities were the main driver of woodland clearings, charcoal manufacturing was usually considered to have contributed to landscape opening (Galop, 1998; Galop et al., 2013).

In the focus area, soil charcoal analysis (Figure 7D) highlighted the introduction of woodland grazing systems, inducing changes in forest species composition: decrease of fir and yew in favor of beech between the Gallo-Roman and the Carolingian periods (Saulnier et al., 2020). Charcoal analysis also suggested a preferential use of beech, probably related to a selective management strategy (Figure 15A). Post-pioneer taxa confirms forest clearings suitable for grazing. These canopy openings imply the existence of open coppice-type sylvo-facies and/or the absence of large trees suggested by wood diameters (Figure 15B) (Fouédjeu et al., 2021b). Beech, which is able to resprout from stumps, was promoted to improve fuel and fodder production (Petit and Watkins, 2004). These indications suggest a multi-use management of woodland where the impact of charcoal production was low.

In the early 14th c., the increased regulation of charcoal production has been **interpreted as the result of a “first forest crisis”** (Bonhôte et al., 2000; 2002; Davasse, 2006). Despite the incontestable extension of clearings (Galop et al., 2013), charcoal analysis has shown that woodland was managed and conserved in mountain and subalpine areas (Davasse, 2000; Py-Saragaglia et al., 2017b). They were privileged places for domestic and industrial uses, causing episodic and local over-exploitation (Verna, 2001, p. 95) and motivating improved regulation and the creation of forest reserves (e.g. for mine timber⁷⁹).

In the focus area, three platforms ran between 1295-1442 cal AD, but probably not simultaneously (Figure 15A ; Tableau 1). While charcoal from these platforms suggest that fuel wood was probably harvested in beech woodland, soil charcoal has revealed the existence of mixed fir-beech stands (Saulnier et al., 2020). Consequently, we assume that fir was excluded from charcoal supply and reserved for other purposes, involving a specific management system with beech treated as coppice and fir as standard (Fouédjeu et al., 2021b).

⁷⁹ Annexe 1, doc n°14.

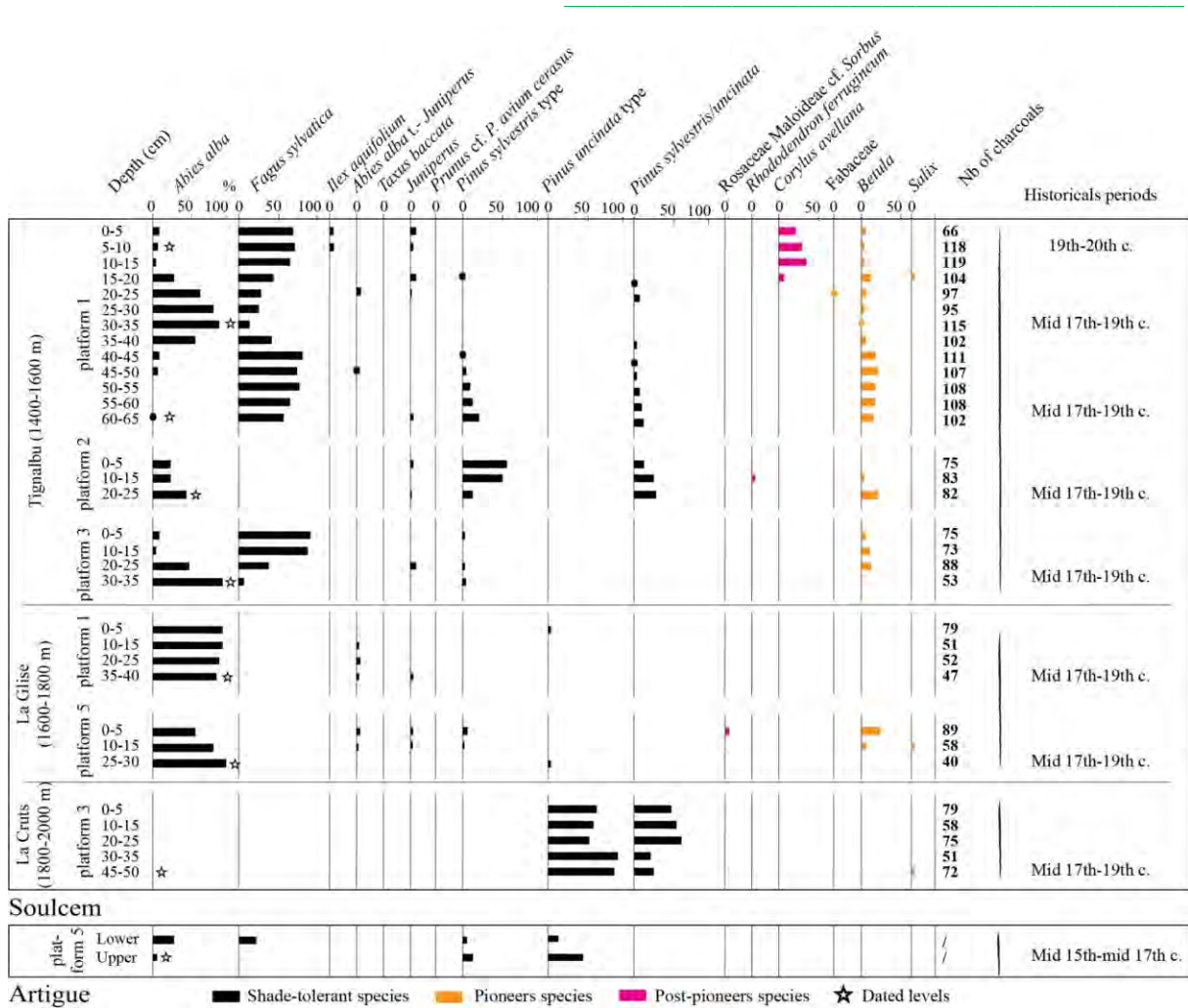


Figure 17: Anthracological diagram of Artigue and Soulcem showing the relative frequencies of taxa. Points represent taxa with relative frequencies of lower than 1% (Davasse, 1989; 2000).

Two field surveys performed in the Auzat valley (1563-64) reported the existence of an old-growth forest composed of a significant proportion of senescent trees⁸⁰. Charcoal burning was presented as the only way to enhance these woodlands that could not be exploited for timbering due to poor accessibility. Although this account may overstate bloomeries installation, it suggests that large forest areas still covered these valleys.

Six platforms from the focus area and six others located in Arbu (4) and Artigue (2) ran between the mid-15th c. to mid-17th c. (Figure 14, Figure 15A ; Tableau 1) (Davasse, 2000, pp. 163–164). Charcoal analysis reflects the use of more diversified species (beech and fir, with weak proportion of other species) (Figure 15A). It still suggests that a mixed fir-beech woodland was maintained, with wide structural diversity, as observed at Arties (Figure 17) (Dubois, 1995). A shift in charcoal burning practices

⁸⁰ Annexe 1, doc n°64-65; 67.

would have occurred following an increase in the use of fir and a decrease in wood caliber (Fouédjeu et al., 2021b) (Figure 15B), probably between the 16th c., when Ferraziel bloomery was built, and the early 17th c., when the iron industry was booming. In Artigue, the almost exclusive use of fir assumes a high fir-dominated forest (Métailié and Jalut, 1991; Davasse, 2000, pp. 163–164).

In 1669, forest Reformation reports described “degraded” woodland, insufficiently stocked to ensure industrial demand⁸¹. This perception was probably inherited from fears of lacking high forests suitable for timber (Poublanc, 2019; 2020). Far from the high forest ideal, beech coppice-dominated woodlands were composed of 60% beech, 34% mixed beech-fir stands and 6% fir (Davasse, 2000, pp. 90–97, 237–238; Poublanc, 2019, pp. 55–56). The stands where dominated most were located in the valleys downstream and in the upper part of slopes, and were mainly composed of 25-50 to 100 year-old trees. Information about 18th c. woodland composition and structure is scarce and dispersed (Davasse, 2000, pp. 111–113). Beech was omnipresent, sometimes associated with hazel and oak. The harvesting of beech seeds for replanting is also attested⁸². Fir was still present in several valleys, where it was mixed with oak.

In the focus area and Soulcem (Figure 9A, Figure 11), some platforms could date to after the 1740 prohibition. Charcoal analysis showed the preferred use of beech with the occasional admixture of fir. In addition to poor fir regeneration induced by canopy removal leading to scattered trees, the beech coppice-dominated system did not favor large high forest trees. Canopy removal was most likely unfavorable to both young fir and beech, which are shade species in the juvenile stage (Unrau et al., 2018). In the absence of an upper-story, people solved this problem using a coppice selection system (Salvador, 1930; Nicolescu et al., 2018a; 2018b). Conversely, the predominant use of fir with beech, pine and a greater diversity of broadleaved trees at Soulcem reveals the persistence of a fir-beech forest with clearings (Davasse, 2000).

The 1807 forest inventory depicted woodland as still covering large but fragmented areas, shaped by the extension of mid-altitude agro-pastoral settlements (Davasse,

⁸¹ Annexe 1, doc n°249, fol. 136 (1669); 231, fol. 418 (1667).

⁸² Annexe 1, doc n°576.

2000, pp. 242–244). Woodland was mainly composed of young beech coppice (10-20 year-old), sometimes mixed with fir hardwood species. However, adult beech woodlands (100-200 year-old) were maintained in some areas. Fir-dominated forest, with 80 to 100 year-old high trees, still existed in five districts, but some of them were **“badly managed” or “exhausted”** (e.g. at Sem). The upper part of the Suc forest was composed of a beech-fir forest and the lower part by degraded beech coppice.

Forest cover dropped sharply between 1807 and 1860, reaching its historical minimum (Davasse, 2000, pp. 124; 130–132), which coincides with the population and agro-pastoral economy maximum (Dengerma, 1934; Davasse, 2006; Gibert et al., 2012). In Suc, the beech-fir forest was almost entirely converted into a beech coppice in 1860, with isolated firs (Davasse, 2000, pp. 124–130). Charcoal analysis confirms the near disappearance of fir around the 19th-20th c. in the focus area (Figure 15A). In the same way, in Soulcem, results suggest the harvesting of relict fir trees (Figure 17). In 1892, the focus area was managed in a coppice selection system, with 20-50 year-old beech trees, and was then gradually converted into high forest (Fouédjeu et al., 2021a).

Conclusion

The results presented allow us to answer the research questions posed. First, our reappraisal of the iron industry chronology highlighted significant fluctuations over time. As such, and contrary to widespread ideas, continuity of iron production from late Antiquity to the central medieval period cannot be demonstrated as of yet. Moreover, the emergence and spread of the water-powered bloomery in the 14th c. did not result in the stabilization or significant growth of local iron smelting. Late medieval industrial development was short-lived and had already slowed in the mid-15th c. Despite the entrepreneurial boom initiated in the mid-16th c. in the upper valleys, the real catalyst for the iron industry came only in the early 17th c. in the lower valleys. In the mid-17th c., the Catalan technology gave new impetus to charcoal iron smelting, which reached its greatest intensity. The industrial fabric then remained more or less the same until the charcoal iron industry ended in the late 19th c.

Second, local management policies tried to ensure the sustainability of charcoal supply, and consequently, of forest resources, to support industrial development efforts through woodland use restrictions and the outsourcing of a part of charcoal supply. Although some authors have noted a first forest crisis as soon as the 14th c.,

caused by increased charcoal consumption by water-powered bloomeries, in-depth analysis of platforms shows industrial pressure on mountain forest resources **remained relatively weak. Likewise, instead of the residual “shreds”** previously proposed for the 16th c., charcoal making still occurred in a well-stocked mountain woodland that was conservatively managed. But the conversion of certain forest areas into beech-dominated coppice led to changes both in forest structure and biodiversity features, with the declining regeneration of fir and the increase of light-demanding species.

Third, significant forest cover decline began most likely during the 17th c. and accelerated in the 18th c., after charcoal manufacturing prohibition, mostly because of increased domestic, pastoral and agricultural needs, due to the 18th c. demographic explosion. Consequently, our results do not support the historical decline of the Pyrenean mountain forest cover induced by the growth of the iron charcoal industry. The intensification of agro-pastoralism was apparently the real cause of the mid-19th c. minimum forest cover, but deeper investigation of intensive livestock breeding and extensive mountain agriculture is required.

To conclude, this integrated study rejects the common premise that the charcoal-based iron industry in European mountains necessarily led to forest depletion. Conversely, it supports the hypothesis of the sustainable management of woodland (practices and policies), allowing the perpetuation of fuel resources and the support of industrial growth. Such interdisciplinary research should be applied in other places in order to unveil interactions between forest and pre-industrial societies.

Chapitre III : Les héritages socio-écologiques des pratiques séculaires de charbonnage dans une forêt de montagne des Pyrénées septentrionales.

Ce chapitre a été publié dans la revue internationale *Forest Ecology and Management* en septembre 2021.





Forest Ecology and Management

Volume 502, 15 December 2021, 119717



The socio-ecological legacies of centuries-old charcoal making practices in a mountain forest of the northern Pyrenees

Léonel Fouédjeu ^a  , Sandrine Paradis-Grenouillet ^{b, c}, Laurent Larrieu ^{d, e}, Mélanie Saulnier ^{a, f}, Sylvain Burri ^g, Vanessa Py-Saragaglia ^a

^a GEODE, LABEX DRIIHM, UMR 5602 CNRS, Université Toulouse Jean Jaurès, 5, Allées A. Machado, 31058 TOULOUSE Cedex 1, France

^b Éveha, bureau d'étude en archéologie préventive, 31 rue Soyouz, 87000 Limoges, France

^c Université de Limoges, CNRS, GEOLAB, 39 E rue Camille Guérin, F-87036 Limoges, France

^d Université de Toulouse, INRAE, UMR DYNAFOR, Castanet-Tolosan, France

^e CNPF-CRPF Occitanie, Tarbes, France

^f Česká zemědělská univerzita v Praze, c, Kamýcká 129, 165 00, Praha 6, Suchbát, Czech Republic

^g TRACES, UMR 5608, CNRS, Université Toulouse Jean Jaurès, 5, Allées A. Machado, 31058 TOULOUSE Cedex 1, France

Received 19 February 2021, Revised 17 September 2021, Accepted 19 September 2021, Available online 30 September 2021, Version of Record 30 September 2021.

Highlights

- Past charcoal making practices were reconstructed through analysis of charcoal remains
- These practices were transmitted over centuries without significant change
- Management shifted from coppice-with-standard to coppice-selection to high forest
- The resulting forest homogenization induced a decrease in biodiversity hosting capacity
- The socio-cultural legacy of this ancient forest is currently threatened

Points forts

- Les pratiques passées de charbonnage ont été reconstituées grâce à l'anthraco-analyse des charbonnières
- Les gestes techniques du charbonnier se sont transmis au cours des siècles sans changement majeur
- La gestion est passée du taillis sous futaie à la futaie en passant par le taillis fureté
- L'homogénéisation forestière héritée de ces pratiques multiséculaires a induit une diminution de la capacité d'accueil de la biodiversité actuelle
- L'héritage socioculturel de cette forêt ancienne est actuellement menacé

Abstract

Centuries of charcoal making has profoundly shaped European mountain forest ecosystems. However, it remains difficult to assess this impact due to a lack of knowledge about the full operational sequence and related silvicultural systems. To accurately reconstruct such practices and shed light on the resulting legacies, we carried out an interdisciplinary study in the Bernadouze forest, a 46-ha mountain forest of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Pyrenees. We performed a multi-proxy analysis of 7990 charcoal fragments from 28 charcoal kilns to assess the long-term changes in forest composition and structure, but also in harvesting practices and related silvicultural systems. In addition, we assessed the legacy of such practices **on the forest's main features, by evaluating the biodiversity on 13 one-hectare plots** using the Index of Potential Biodiversity (IBP). The 18 radiocarbon dates showed that charcoal making took place at least from the 9th-10th c. to the 19th-20th c. Beech and silver fir (*Abies alba* Mill.) were the main species used. We discerned sustainable silvicultural practices performed over the centuries without significant change. Charcoal burners harvested well calibrated wood pieces mostly from the end of the growing season until the early spring, and charred after a seasoning period. The forest was managed as a beech coppice with fir standard before being progressively transformed, between the mid 15th-mid 17th c. period, into a monospecific beech coppice, probably treated in a coppice selection system. While this management allowed forest cover to be continuously sustained, it also resulted in the homogeneity of the forest today, both in composition and structure, and led to low hosting capacity for biodiversity. Nevertheless, this ancient forest, which constitutes a high biocultural legacy due to immemorial use rights, needs dedicated management.

Key words: charcoal making practices, technical operational sequence, forest management, anthracology, IBP, centuries-old legacies

Résumé

Les écosystèmes forestiers des montagnes européennes ont été façonné durant plusieurs siècles par les activités humaines, notamment le charbonnage. Cependant, en raison du peu de connaissances sur les gestes techniques des charbonniers, il est encore difficile d'évaluer comment ces pratiques ont modifié les forêts et influencé les systèmes de gestion. Pour répondre à cette question, cette étude propose une approche interdisciplinaire combinant anthracologie, dendro-anthracologie et écologie. Nous avons concentré notre étude sur **l'ancienne** forêt charbonnée de Bernadouze (46 ha) dans les Pyrénées orientales françaises. **L'analyse a été focalisée** sur 7990 charbons **issus de l'étude de** 28 charbonnières. Nous avons également réalisé un diagnostic de **la capacité d'accueil de la** biodiversité sur 13 parcelles d'un hectare en utilisant l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP) afin **d'évaluer** l'héritage de ces pratiques sur les peuplements actuels. Les 18 dates **radiocarbone ont montré que le charbonnage s'est** produit au moins des IX^e - X^e siècles aux XIX^e – X^e siècles. **L'antraco-**analyse des replats montre que le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et le sapin blanc (*Abies alba* Mill.) étaient les principales espèces charbonnées. Du Moyen Age à la première moitié du XX^e siècle, nous avons discerné des pratiques sylvicoles bien organisées et inscrites dans un processus générationnel sans changement significatif. Les activités étaient organisées de manière saisonnière: la récolte du bois avait lieu principalement à la fin de la saison de croissance et avant le débourrement, de l'automne au début du printemps. La reconstitution du diamètre du bûches et de **l'âge** minimum des charbons de bois suggéraient une sélection différentielle du bois selon les espèces: rémanents de l'exploitation forestière pour le sapin et brindilles, branches et pousses issues du taillis pour le hêtre européen. Les charbonniers utilisaient principalement du bois modérément sec impliquant une phase de stockage/séchage de plusieurs mois après la coupe. Du printemps aux premières chutes de neige, ils carbonisaient le bois coupé l'année précédente. Pour répondre à la demande croissante en combustible de l'industrie sidérurgique entre le milieu du XV^e et le milieu du XVII^e siècle, le taillis sous futaie (hêtraie-sapinière) été progressivement transformé en taillis monospécifique (hêtraie), probablement traité en taillis fureté. Les impacts de la gestion humaine ont conduit à l'homogénéité de la forêt actuelle, tant au niveau de la composition (avec le retrait de deux dryades locales -sapin et if -*Taxus baccata* L.- et la raréfaction des espèces post-pionnières) qu'au niveau de la structure, avec la simplification de l'habitat, conduisant à sa faible capacité d'accueil potentielle. Néanmoins, ces

pratiques humaines ont également permis le maintien continu du couvert forestier, tout en satisfaisant l'économie locale et les besoins des populations. Cette forêt ancienne constitue un héritage bioculturel important encore profondément ancré dans la population locale en raison de droits d'usage immémoriaux. Elle nécessite pour cette raison une gestion spécifique.

Mots clés: charbonnage, séquence technique opérationnelle, gestion forestière, anthracologie, IBP, héritages séculaires

Introduction

Current forest research emphasizes the importance of developing more holistic approaches to account for the long-term legacies of human activity (Bergès and Dupouey, 2017; 2020; Paradis-Grenouillet et al., 2018a; Rostain and Saulieu, 2018). An evolving framework of interdisciplinary research, called historical ecology, has been developing over the past 40 years with significant advances over the last two decades (Crumley, 1994; Szabó, 2015; Watkins, 2015; Bergès and Dupouey, 2020). In this conceptual field, the forest is considered a constructed heritage, resulting from interactions between societies and the environment over time. This diachronic perspective allows (i) the study of current forest stands to be carried out in historical depth, (ii) a better comprehension of their evolution in the medium and long term, and finally (iii) an understanding of the current structure and functioning of ecosystems in order to better guide conservation objectives and to predict future dynamics (Peterken, 1993; Kirby and Watkins, 1998; Rackham, 2003; Cevalco and Moreno, 2015; Szabó, 2015; Bürgi et al., 2017).

Among key analytical approaches developed in the field of historical forest ecology, the study of soil and archaeological charcoal, called anthracology, provided tools to renew our knowledge of woodland landscapes from a historical and socio-environmental perspective in the *longue durée* of forest ecosystems (Nelle et al., 2013; Feiss et al., 2017; Dufraisse and Coubray, 2018; Moreno et al., 2019).

In the early 1990s, researchers became increasingly interested in charcoal remains from artisanal and industrial activities, particularly those recorded in former charcoal making terraces, so-called charcoal kilns (CKs). Such charcoal remains testified to pre-industrial logging-induced spatio-temporal changes in the structure and composition of forest ecosystems (Hillebrecht, 1982; Bielenin, 1992; Pott et al., 1992; Davasse, 2000; Montanari et al., 2000; Bonhôte et al., 2002; Ludemann and Nelle, 2002). Contrary to the long-accepted idea that pre-industrial woodfuel supply activities heavily contributed to land clearance, past societies were shown to have introduced management systems that, while degrading forest ecosystems, nonetheless maintained tree cover and woodland resources (Deforce et al., 2013; Py et al., 2013a; Samojlik et al., 2013; Schmidt et al., 2016; Benatti et al., 2018).

A better knowledge of forest management history and woodland changes induced by charcoal making necessarily requires an in-depth understanding of the resulting practices (logging, species and wood caliber selection, etc.) and their temporalities (seasonality, cutting rotation, etc.). Available data mainly rely on ethnographic observation (Acovitsioti-Hameau, 2001b; Hanus, 2007; Burri, 2008; Burri et al., 2010), modern scholarly treatises (Biringuccio, 1556; Della Fratta Montalbano, 1678; **Duhamel Du Monceau, 1761; Bellenghi, 1816; Marié de L'Isle, 1835; Malepeyre, 1836; Valerius, 1851; Percy, 1864; Svedelius et al., 1875; Dromart, 1880**), and/or experimental approaches (Poggi and Métaillié, 1998; Fregni and Maccaferri, 2010; Paradis-Grenouillet, 2012). However, the only way to develop an understanding of local practices and, more broadly, to learn how people worked before modern times, is to study CK remains. In this perspective, wood scientists are developing dendrometric and dendrochronological tools to accurately reconstruct the entire technical operational sequence of charcoal production, from wood selection and removal to silviculture management and the charring process (Ludemann and Nelle, 2002; Strachan et al., 2013; Raab et al., 2015; Dupin, 2018; Paradis-Grenouillet et al., 2018a; 2018c; Fouédjeu et al., 2021a).

This study proposes an innovative combination of archaeological, anthracological, and ecological approaches to characterise past charcoal making practices and better understand how related silvicultural systems have driven shifts in the forest trajectories using the well-known example of the Northern central Pyrenees. In this area, the rarefaction of silver fir (*Abies alba* Mill.) and the expansion of beech (*Fagus sylvatica* L.) are commonly considered a consequence of harvesting selection for the production of charcoal needed in the historical iron metallurgy industry (Davasse, 2000; Bonhôte et al., 2002; Py-Saragaglia et al., 2018; 2019). Beech, able to regrow from stump or stool, would have been favoured by coppicing (Davasse and Galop, 1990, p. 1990; Davasse, 2000). However, it remains difficult to precisely date the shift from a mixed beech-fir forest to a monospecific beech forest. In addition, while the development of beech coppice silviculture is a common working hypothesis, there is no solid evidence for this from before the 17th c. (Davasse, 2000). Therefore, the origins of coppicing in a northern Pyrenean beech-fir forest, its rise and fall and its relation to charcoal production, need further investigation. Furthermore, the extent to

which the legacies of forest conversion has constrained current biodiversity is still unexamined.

To address all of these issues, we applied an interdisciplinary approach in the forest of Bernadouze (Suc-et-Sentenac, Ariège), which is representative of most Northern Pyrenean Mountain forests deemed to have a long-lasting charcoal making history. We suggest that the current forest structure and composition result from many centuries of charcoal burning practices. We test this assumption by suggesting (i) that charcoal-making history, related forest management practices and their evolution can be reconstructed using charcoal analyses, and (ii) that current biodiversity and habitat functions are still impacted by the legacies of this history of charcoal production. Beyond these research hypotheses, we discuss how the insights of historical ecology could contribute to improving future forest management and, more broadly, to taking forests as biocultural heritage in future policies.

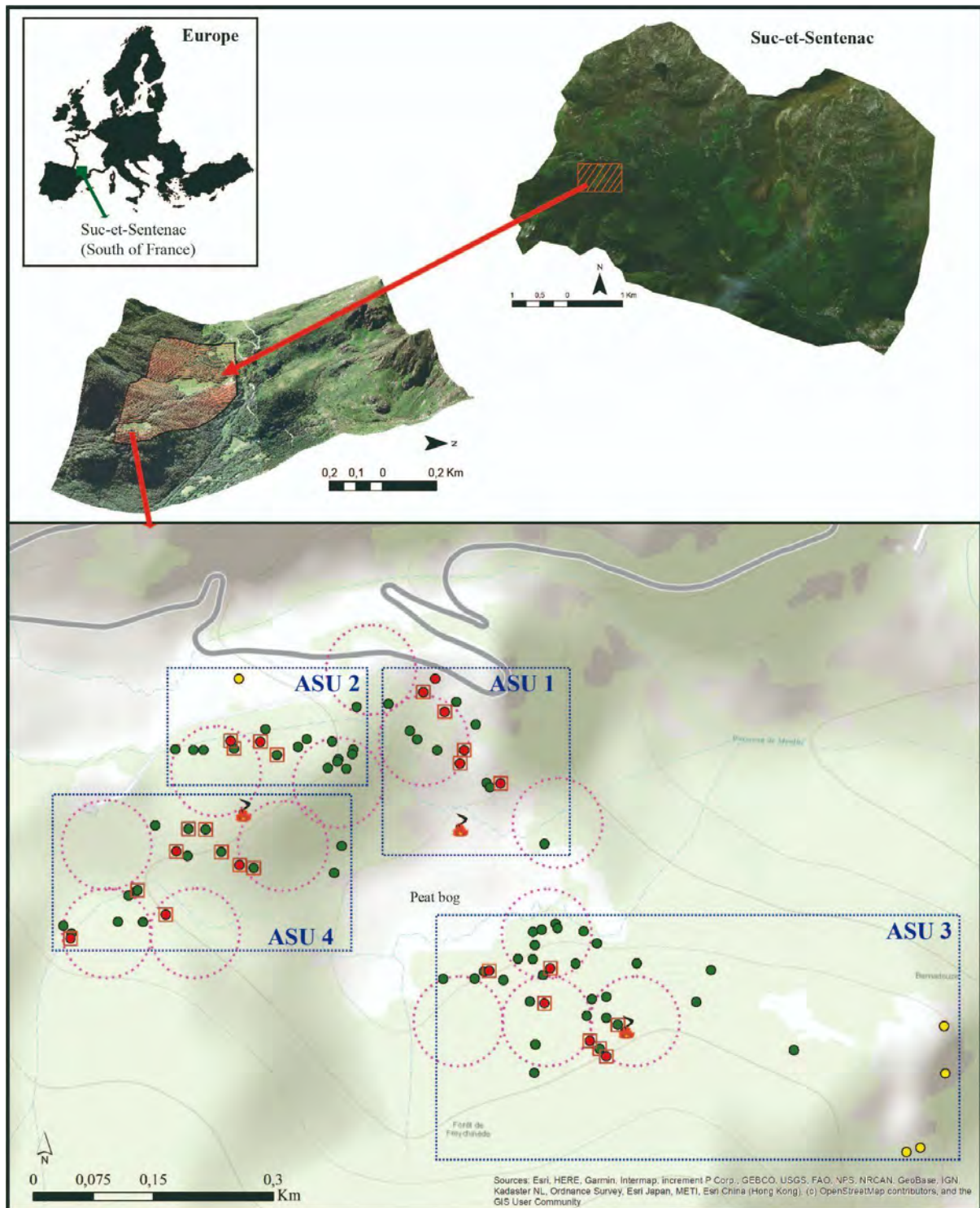


Figure 18: Sampling design of the Bernadouze forest green points represent the totality of recorded and sampled CKs (n=80); red points, CKs (n=17) dated by C14; red squares, CKs with dendro-anthracological analysis (n=25); red circles, IBP plots (n=13); “fires” represent pedomorphological pits (n=3); yellow points represent pastoral sites (n=5).

1. Materials and methods

1.1. The survey area

The study area (1300 to 1450 m.a.s.l) detailed in [Saulnier et al. \(2020\)](#), is located on the northern slope of the Pyrenees in the upper Vicdessos valley, hosting a permanent Human-**Environment Observatory (called in French “OHM Haut-Vicdessos”)** aiming at studying long-term human-environment relationships ([Figure 18](#)). Soils (rendisols, calcisols and brunisols), which developed on recrystallized limestone, are characterised by a silty-clayey texture in various proportions and by basic pH values. Current vegetation consists of three main beech stand types: (i) high forest resulting from the conversion of former selection coppice with individuals aged between 130-160 years, with rare and scattered fir trees ([Py-Saragaglia et al., 2018](#); [Fouédjeu et al., 2021a](#)), (ii) tall-grown coppices of old trees from a coppice selection method, and (iii) tall-grown coppices around the peat bog boundary that have been browsed in the past. A set-aside area (90 ha), which includes the study area and an adjacent peat bog, is managed by the French National Forest Office as a Managed Biological Reserve (RBD), which allows for occasional active management interventions for pre-defined conservation objectives. To this end, group-selection harvesting has been prescribed in the buffer zone surrounding the bog.

1.2. Archaeological survey, CK selection and sampling strategy

To reconstruct charcoal making chronology and its intensity through time, we carried out a systematic archaeological field survey that afforded the detection of 80 CKs on about 46 ha ([Figure 18](#)). In addition, five undated pastoral sites were georeferenced.

The study area was divided into four Analysis Spatial Units (ASU) according to their exposure and topography ([Figure 18](#)). In each ASU, for charcoal analysis, we randomly selected 4 to 9 CKs (n=28) in order to be fully representative of the ASU studied, i.e. proportionally of the total numbers of CKs per ASU.

Because most CKs exhibited a thick layer of charcoal (ranging from 20 to 120 cm thick) mixed with a very black and homogeneous soil, generally without any stratigraphy, stepwise sampling was carried out using a soil auger, every 20 cm in depth from the first horizon (A) to the ochre sterile and continuous mineral layer as is detailed in [Py-Saragaglia et al. \(2017b\)](#). Samples for each 20 cm layer from all sampling points carried

out on the same terrace (at least six per CK) (Figure 3) work together and form the so-called “charcoal layer” (CL). A total of 57 CLs were analyzed.

Among all studied CKs, we selected 18 charcoal samples from 17 CKs for radiocarbon analysis. These samples are constituted by a mix of several charcoal fragments - preferably young twigs with bark, charcoal fragments with bark, or bark alone -, dated as a single sample. This approach aims to reduce errors that may be associated with dating a single fragment that may be intrusive (Py et al., 2013a). Radiocarbon dating by Accelerator Mass Spectrometry (AMS) was calibrated using the OxCal program, version 4.4 Intcal 20 database (Reimer et al., 2020).

1.3. Analysis of the charcoal dataset

Tree species used for charcoal production were identified at the species, genus, family or sub-family level using a reflected light microscope (Leica DM4 with magnifications of 100, 200, 500 and 1000), xylological atlases (Schweingruber, 1990; Vernet et al., 2001) and the reference collection of the GEODE laboratory.

To determine the annual timing of logging operations, we observed the state of **progress of the last ring’s formation when charcoal has retained bark cells** (Figure 19A). We then grouped samples into two categories: (i) vegetative period (last ring ended between early wood and the end of early wood) and (ii) end of vegetative period (last ring ended between late wood and end of late wood). Hereafter, the timing of harvesting was calculated as:

$$T_h = ((N_{vp} - N_{evp}) / N_{cb}) * 100$$

where T_h is the timing of harvesting, N_{vp} and N_{evp} are, respectively, the number of charcoal samples for which the terminal ring ended in early wood/late early wood or in late wood, and N_{cb} is the number of charcoal samples with bark remains.

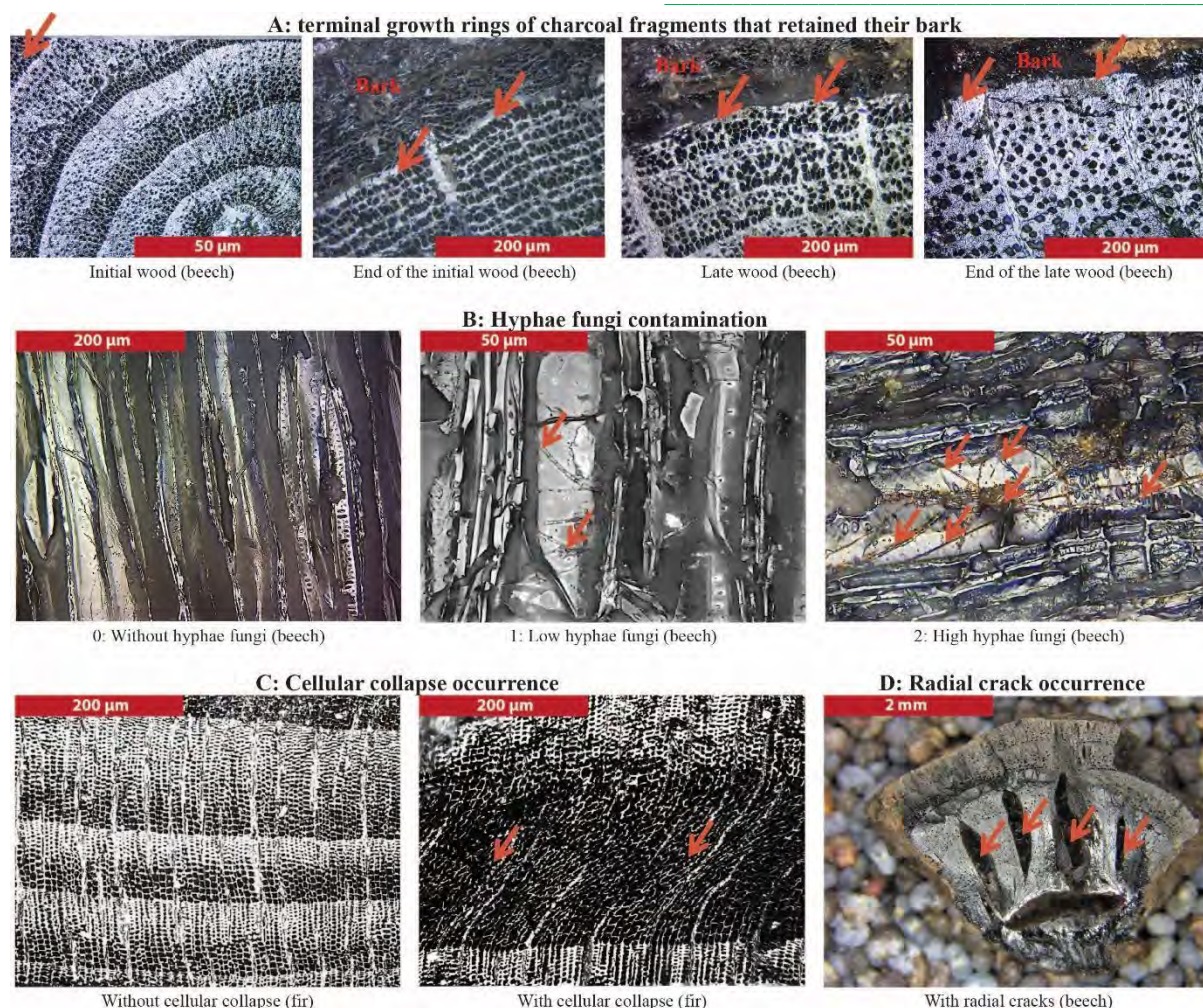


Figure 19: Photos illustrating: terminal growth rings of charcoal fragments that retained their bark (A), hyphae fungi contamination (B), cellular collapse (C), and radial cracks (D)

In order to reconstruct harvested wood diameters (Annexe 3), we applied the three-step method described in Paradis-Grenouillet et al. (2015) (Figure 20): (step 1) we measure the radius of curvature of charcoals with at least 3 rings, and a cross-section $\geq 3\text{mm}$ using the AnthracoloJ program; (step 2) we reconstitute the different diameters of logs composing the wood pile by comparing archaeological data with 405 mathematical simulations (Annexe 3. Tableau 3) and the Total Deviation (TD) shows the reliability of comparison (Annexe 3. Figure 2); (step 3) we compare the reconstituted wood pile to wood pile references established in current stands in order to characterize the shape/morphology of the harvested stands (i.e. different types of coppice, high forest).

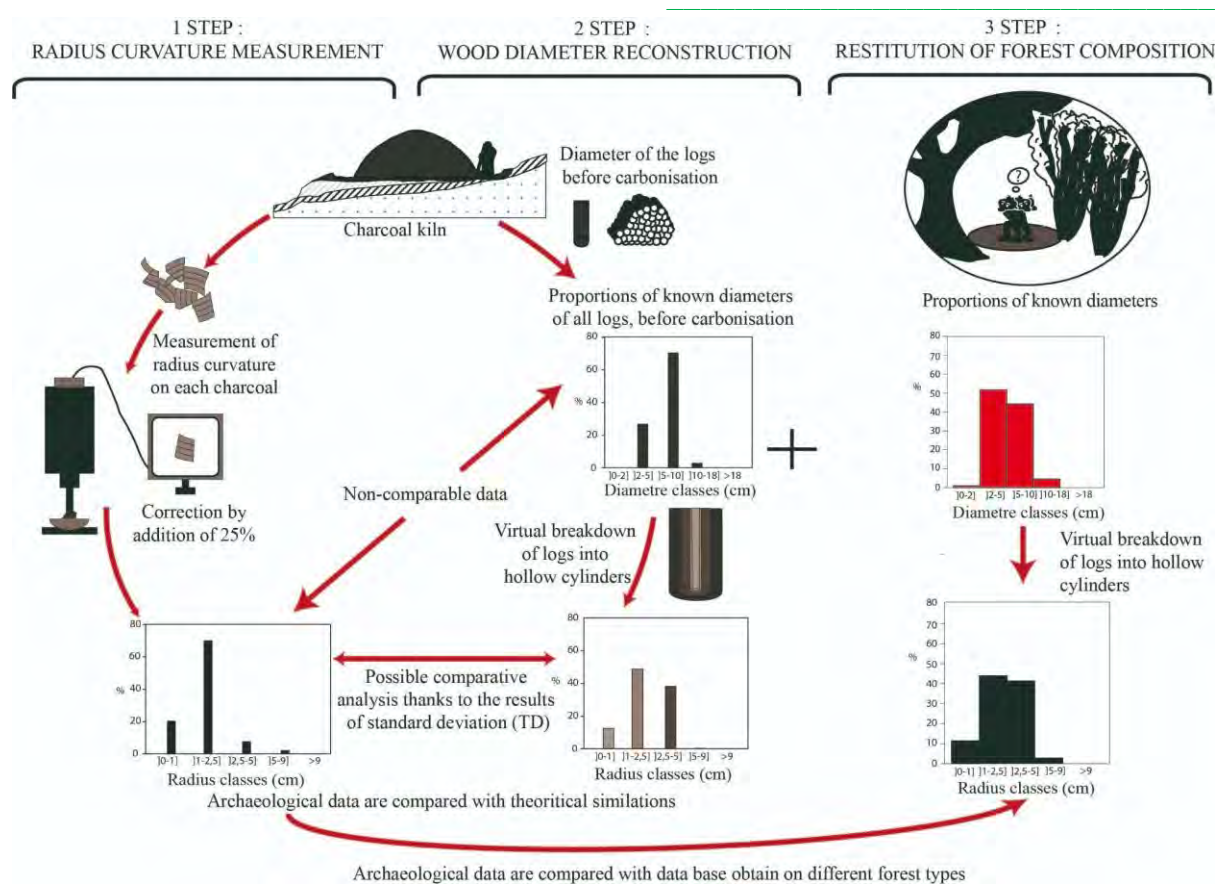


Figure 20: Illustration of the three steps required to find wood diameter (Paradis-Grenouillet et al., 2015, modified).

To assess the logging cyclicity and to reconstruct coppicing rotation, we systematically counted the number of rings observed on charcoal pieces, except for fragments where the number of rings was not readable, giving the minimum age of wood pieces used by charcoal burners.

In order to characterize the state of wood harvested (dead or alive) and test for an eventual storage period in forest, we characterized the degree of deterioration of the charred wood using (i) the mean number of radial cracks (RC) per cm² on the transverse plane of the charcoal (Figure 19D) (Théry-Parisot and Henry, 2012), (ii) the degree of charred fungal hyphae infestation in cells (Moskal-del Hoyo et al., 2010; Saulnier et al., 2020) and (iii) the cellular collapse that informs about the decay stage of the wood (healthy or decayed) (Figure 19B, C) (Henry and Théry-Parisot, 2014a). Four contamination levels (Cont. 0 to Cont. 3) were defined (Annexe 4. Tableau 2). A Decay Index (DI) was calculated based on a weighted mean average (Théry-Parisot et al., 2016):

$$DI = (\text{nb "Cont.1"} \times 1 + \text{nb "Cont.2"} \times 2 + \text{nb "Cont.3"} \times 3) / \text{nb total.}$$

1.4. Assessment of current stand capacity to host biodiversity

To assess the effect of former charcoal practices on current stand biodiversity, a diagnosis was carried out using the Index of Biodiversity Potential (IBP) (Larrieu and Gonin, 2008) on 13 one-hectare plots, centered around a subset of the assessed CKs. The IBP is a biodiversity evaluation tool according to Larsson (2001) that combines ten key historical, structural, and compositional factors for forest-dwelling species, which are easily and directly measurable in the field (for more details, see Gosselin and Larrieu (2020) and Annexe 4. Tableau 1). It can be used as a rapid habitat assessment method to evaluate the hosting capacity of stands for forest biodiversity (Larrieu et al., 2012; Bouget et al., 2014; Larrieu et al., 2019a). The raw number of items (e.g. number of tree species, habitat-trees, etc.) counted when getting through the stand is compared with thresholds values to set a score for each factor which ranges from 0 to 5. Then, the sum of the scores given for each of the 10 factors (potential range 0-50) provides an index of the stand's hosting capacity (Larrieu and Gonin, 2008).

2. Results

2.1. Chronology of charcoal making activity

The 18 radiocarbon dates are distributed from the 9th-10th c. to the 19th-20th c., with a maximum number concentrated from the mid-15th to 19th c. We classified them into five historical periods based on radiocarbon ranges (Tableau 2; Figure 21).

Historical periods based on radiocarbon ranges (1 or 2 σ = 70 to 95.4% of probability)	Number of dates	N° charcoal kiln
19th c. - 20th c.	2	4, 74
Mid-17th c. -19th c.	4	14, 17, 29, 63
Mid-15th c. - mid 17th c	7	1, 6, 7, 17, 19, 34, 79
End 13th c. - mid 15th c.	3	11, 27, 49
9th c. - 10th c.	2	8, 62

Tableau 2: Historical periods based on radiocarbon range of charcoal production in the Bernadouze forest

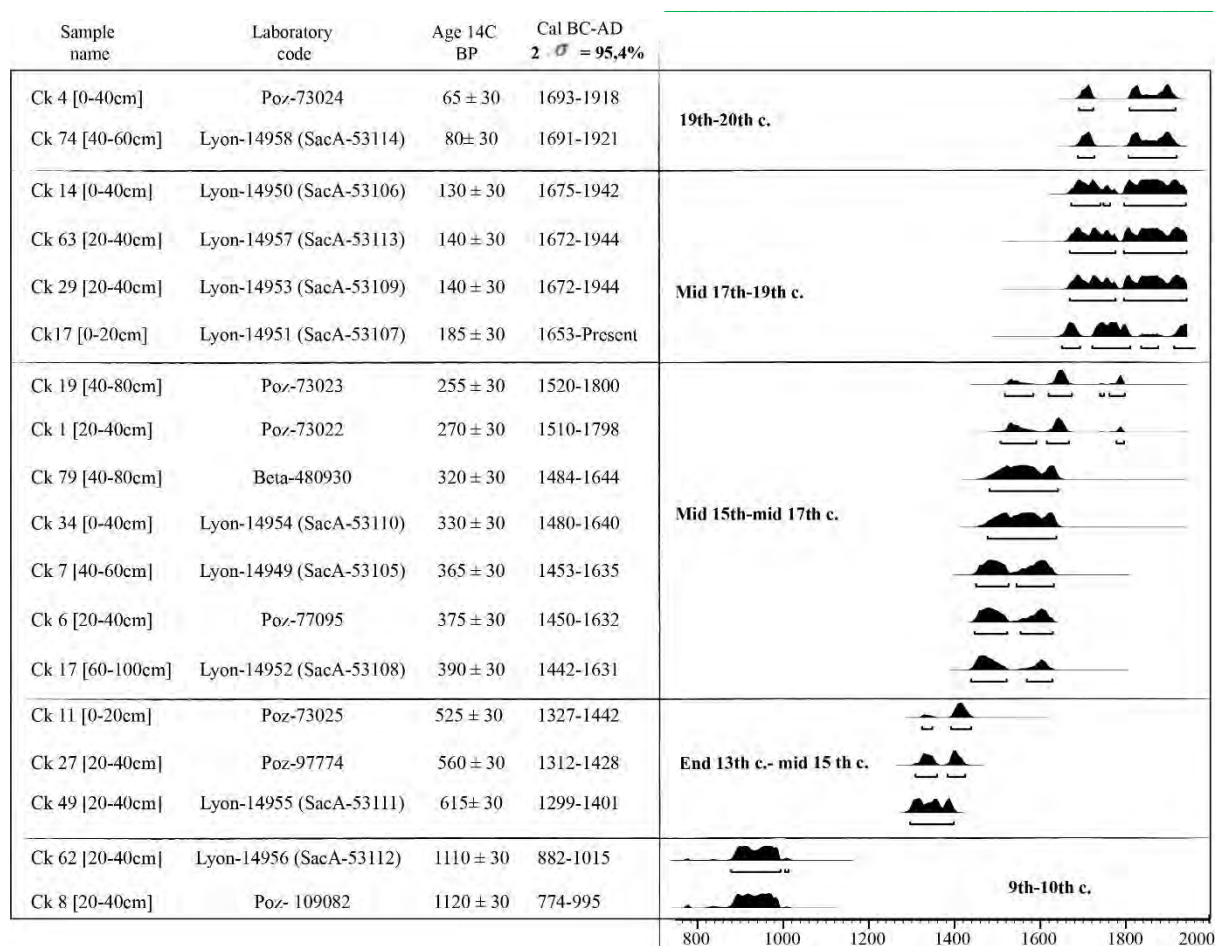


Figure 21: Plot of radiocarbon dates for charcoal kilns in the Bernadouze forest distributed into five historical periods. Data were calibrated with OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021); r:5 Atmospheric data from Reimer et al. 2020

2.2. Wood selection for charcoal production

2.2.1. Selected tree species and seasonality of logging

We identified two main species (Figure 22, Figure 23): beech (n=5605) and fir (n=1438). We also identified 19 other tree taxa with relative frequencies below 1% (Figure 22, Figure 23): (i) pioneer taxa, i.e. legume family (Fabaceae), birch (*Betula*), willow (*Salix*), grey alder (*Alnus incana* L.), alder (*Alnus*), juniper (*Juniperus*), (ii) post-pioneer taxa, i.e. wild cherry (*Prunus*), scots/mountain pine (*Pinus*), evergreen and deciduous oak (*Quercus*), apple sub-family (Rosaceae, Maloideae), mountain ash (*Rosaceae, Maloideae cf. Sorbus*), hazel (*Corylus*), ash (*Fraxinus*), rose (*Rosa*), elm (*Ulmus*), and, (iii) shade-tolerant tree taxa (so-called “dryads”), i.e. holly (*Ilex aquifolium* L.), common yew (*Taxus baccata* L.) and fir/juniper (*Abies alba/Juniperus*). When similar anthracological (tree taxa proportions) and dendro-

anthracological (diameters) spectra were recorded from several CLs of the same CK, they were combined in a single CL (e.g. CKs 4, 14, 17, 18, 19, 31, 34, 74).

Regarding seasonality of logging, out of the 7990 charcoal pieces analyzed, 597 charcoal pieces (only 8.1% of the total corpus) have retained their bark. Results show that 3 CLs were dominated by wood felled during the vegetative period, 33 by wood felled during the end of the growing season, and 21 had wood felled during both periods for beech (Annexe 4: Figure 2A). They correspond respectively to CLs 2, 5 and 3 for these same periods for fir (Annexe 4: Figure 2B). Different seasonality of logging is sometimes observed within CLs of the same CK (e.g. CKs 1, 6, 17, 29, 49, 79 etc.). These cases mostly represent CLs where it was not possible to differentiate between timber felled between the vegetative period and the end of the growing season (Annexe 4: Figure 2A,B).

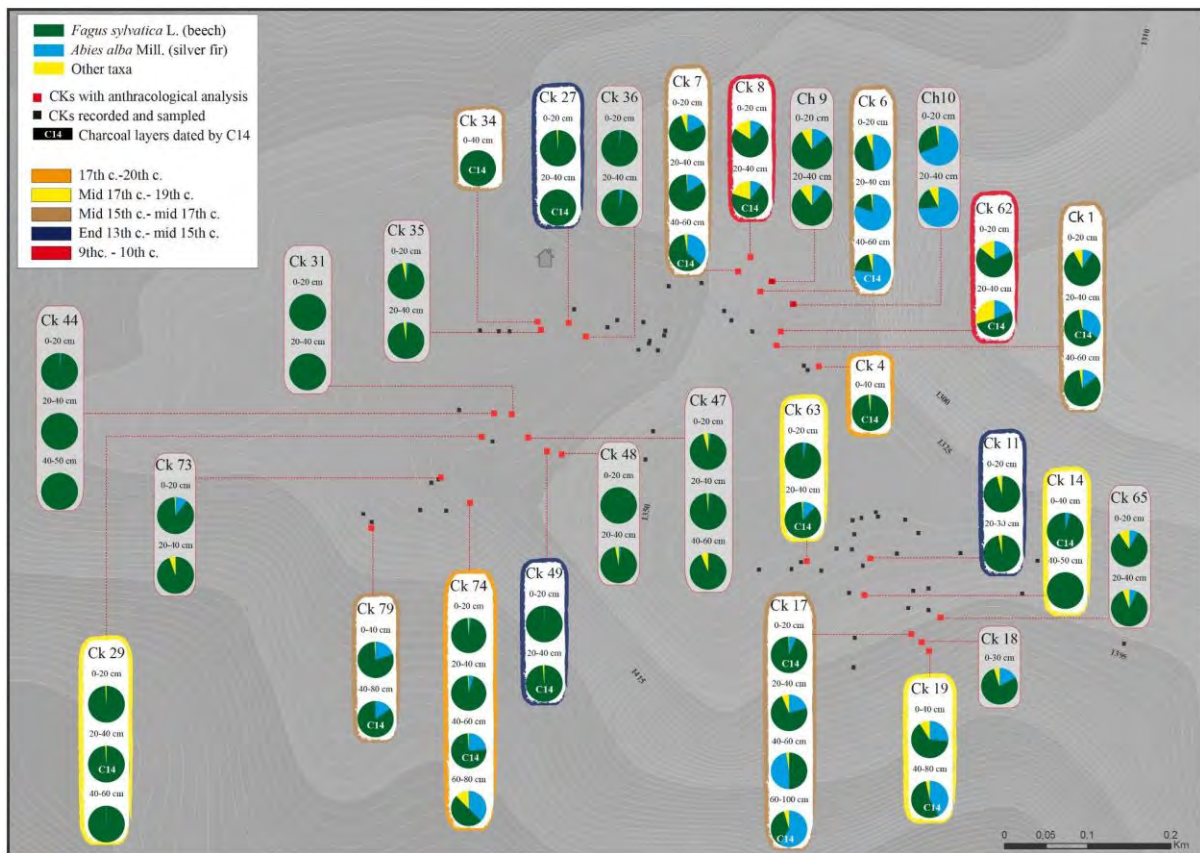


Figure 22: Results of charcoal analysis by charcoal kilns (CKs) and by charcoal layers (CLs) in the Bernadouze forest

2.2.2. Wood diameter reconstruction, number of rings and the minimum age of the charred wood

We restituted the radius curvature of 3003 charcoal pieces, i.e. those with a minimum transverse section of 3 mm, from 45 CLs (Annexe 3), including 2602 beech fragments distributed across 25 CKs (Annexe 3. Tableau 1) and 401 of fir, distributed across 4 CKs (Annexe 3. Tableau 2).

Data from 41 CLs out of the total of 43 CLs for beech, and from all CLs for fir highlight good correlation (TD between 20 and 40 %), sometimes very good (TD < 20%), with simulated data (Annexe 4: Figure 3 ; Annexe 4: Figure 4).

Results for beech show the dominance of small diameters (less than 5 cm), and the low presence of medium (5 to 10 cm) and large (10-20 cm) diameters (Figure 23; Annexe 4: Figure 3). Regarding fir, we observed a mix of all diameter classes with the dominance of the 2-15 cm diameters and a small proportion of very large wood (>20 cm) (Figure 23 ; Annexe 4: Figure 4).

The minimum number of rings was counted on 5534 beech charcoal samples and 1436 fir samples (Figure 23, Annexe 4: Figure 1). We observed the predominance of charcoal with 1 to 5 tree rings preserved: 55.9% for beech and 66.1% for fir. Charcoal with 6-15 rings represented 37.1% for beech and 25.6% for fir. In addition, a few samples kept 16-30 rings: 6.2% for beech and 6.7% for fir. Charcoal with more than 30 rings is rare: 0.6% of beech and 1.3% of fir.

2.2% of charcoal (n=155) retained pith and bark: 140 beech and 15 fir (Annexe 4: Figure 1). For these samples, the total number of rings is known and, therefore, so is the age of the branch, twig, or stem. Beech charcoal had from 1 to 35 rings and fir charcoal from 3 to 21 rings.

2.2.3. State of wood before carbonization

The decay index (DI), with a range from 0 to 1.5, was calculated for 7043 charcoal pieces, of which 5605 beech and 1438 fir.

Globally, for both taxa (Figure 23), we observed 25 CLs of beech and 13 CLs of fir with low decay ($0.1 < DI \leq 0.5$). We also observed moderate decay ($0.5 < DI < 1$) in 30 beech CLs and 16 fir CLs and very high decay ($DI \geq 1$) in 6 CLs for beech and 12 for fir. Finally,

very low decay ($DI \leq 0.1$) was observed in 1 CL for beech and 5 CLs for fir (Annexe 4: Figure 5A, B).

In the same corpus, we identified RCs on 1421 beech charcoal pieces and 156 on fir charcoal pieces. A total of 5466 charcoal have no RC. The mean RC/cm² per CLs ranges from 0 to 13.6 for beech charcoal and from 0 to 53.1 for fir. Results show the use of seasoned wood in 53 CLs and green wood in 1 CL for beech (Annexe 4: Figure 6A) and the use of seasoned wood in 36 CLs and green wood in 6 CLs for fir (Annexe 4: Figure 6B).

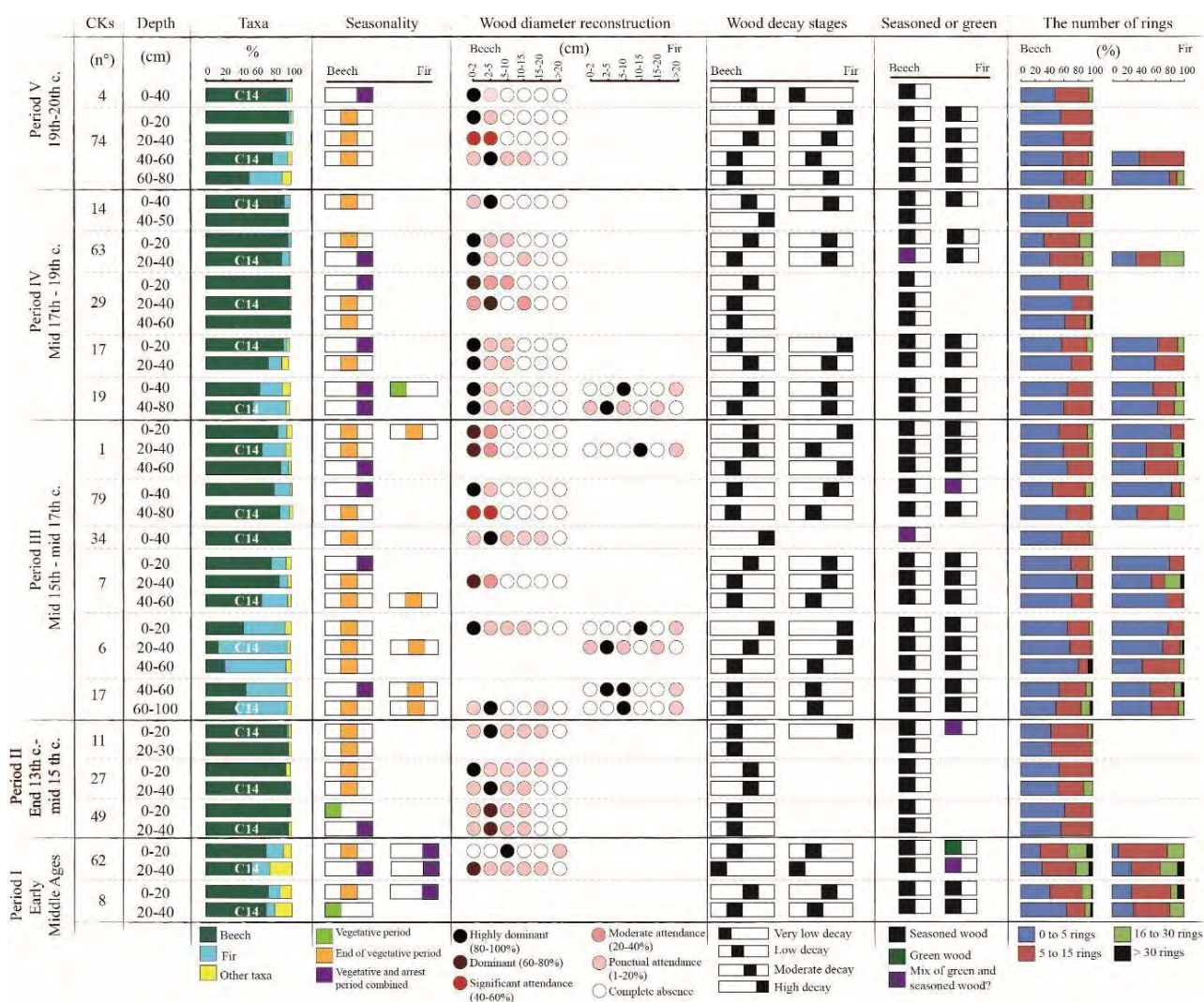
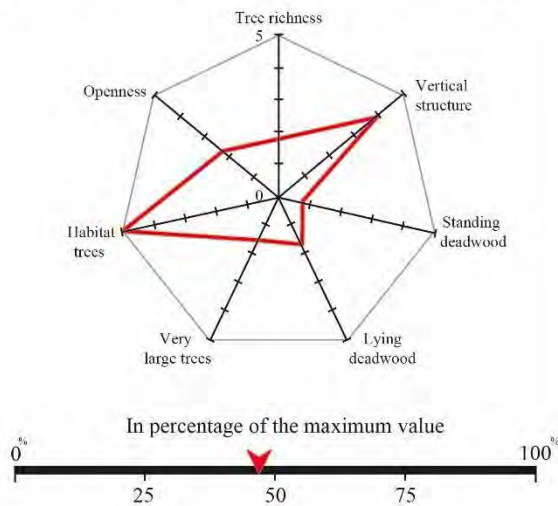


Figure 23: Chronological representation of radiocarbon dated charcoal kilns (CKs). The oldest CKs are at the bottom and the most recent at the top. All data concerning the taxa found through anthracological analysis have been represented, including data on harvest seasonality, wood diameter reconstruction, the decay and moisture stage of the wood, and the number of growth rings.

2.3. Current stand capacity to host biodiversity

The IBP total scores ranged from 22 to 30, i.e. from 40% to 60% of the potential maximum. Values were rather average for the management score (12-20/35) (Figure 24A), though the context scores ranged rather high (7-15/15) (Figure 24B). The number of tree-species ranged from 1 to 7 per plot; beech always dominated; silver fir occurred on three plots only. Vegetation generally presents little vertical stratification, with only two or three strata present (23%). Very few deadwood items occurred, particularly those with large diameters. Very large trees (diameter at breast height > 67.5 cm) are also rare, occurring on only four plots. However, habitat-trees are numerous (from 8 to 131/ha) and provide a high diversity of tree-related microhabitat types. Stand openness is high on average (34%), ranging from 1.5 to 90%. Aquatic and rocky habitats occur on 57 % and 100 % of the plots, respectively (Figure 24A).

A/ IBP score (absolute value) for stand and current management



B/ IBP score (absolute value) for context

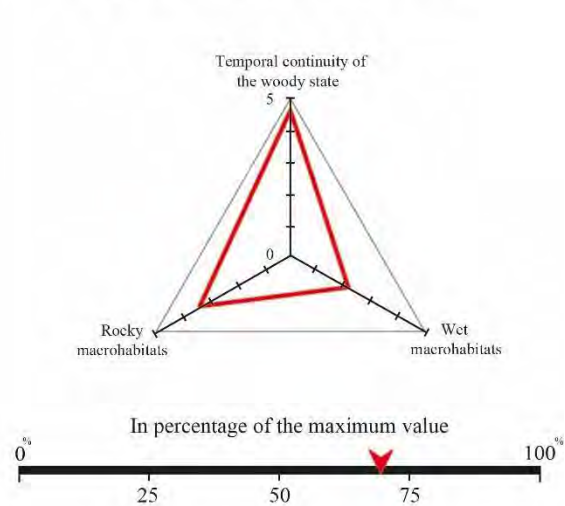


Figure 24: IBP results (in %): A) related to the seven factors describing current stand; B) Related to the three factors describing context

3. Discussion

3.1. General trends in the historical charcoal manufacturing practices at Bernadouze

3.1.1. Mono- or multi-species CKs depend on wood availability and economic strategies

Generally the choice to use one or more species is driven by environmental availability in the supply area as well as technical purposes, i.e. the quality of charcoal wanted and its final use (Davasse, 2000; Durand et al., 2010; Adeniji et al., 2015). For example, beech wood was appreciated by some metallurgists because of its very low ash content and fairly high density, which allows slower burning (Maillat, 1942; Bonhôte and Fruhauf, 1990a). Furthermore, as with other hardwoods, beech is known to produce a greater quantity of charcoal and to increase charcoal productivity (Valerius, 1851, p. 222; Bonhôte and Fruhauf, 1990a).

In the Bernadouze forest, half of studied CLs (n=32) are nearly monospecific (up to 90 % beech), and 29 CLs are multi-specific, with the co-dominance of beech and fir in varying proportions (Figure 22, Figure 23). In a homogeneous environmental context (type of soil, climate, exposure), such results may reflect a change in forest cover, and/or in silvicultural management, and/or in charcoal making practices (Davasse, 2000; Tolksdorf et al., 2015). To clarify which hypothesis is correct, we need to know if the anthracological records reflect the successive charring of monospecific wood piles with either fir or beech, or a mixture of two dominant species in the same wood pile. An argument in favor of successive monospecific charring is that CL records generally contain residues of several, rather than a single carbonization (Gebhardt, 2007a; Dupin et al., 2019; Fouédjeu et al., 2021a). The vertical and lateral displacement of remaining charcoal pieces may mix charcoal from the alternating charring of monospecific wood piles. In addition to this taphonomic consideration, mixing was generally discouraged by scholars and forest engineers (Duhamel Du Monceau, 1761, p. 8; Valerius, 1851, p. 202).

However, the mixing of hardwood and softwood could occur when the amount of either wood species was insufficient to make up a whole CK (Valerius, 1851, p. 224). For example, in Ariège and Aude, charcoal burners used a mix of beech with oak,

hazelnut, or a weak proportion of fir ($\frac{1}{5}$ or less) during the 18th and 19th c. (Lapassat, 1983; Fruhauf, 1990; Bonhôte, 1998, pp. 220–223). Because of this practice, the possibility that fir and beech were charred together in the same CK at Bernadouze cannot be excluded, but in highly different proportions probably due to local wood availability and/or economic strategies.

In addition to the species, several other factors may affect the quality of charcoal produced: wood pile construction, caliber, age of wood pieces, tree growth pattern, moisture content, decay stage, etc. (Biringuccio, 1556, p. 84; Duhamel Du Monceau, 1761, pp. 9–10; Percy, 1864, p. 201; Svedelius et al., 1875, p. 24).

3.1.2. The use of well-calibrated pieces of woods harvested between the end of the growing season and vegetative recovery

Our results highlight the preferential use of small-caliber wood (2 to 5 cm in diameter) for beech, and medium (5 to 10 cm) and large-caliber wood (15 cm) for fir (Figure 23), as already evidenced in other areas (Nelle, 2002; Deforce et al., 2013; Paradis-Grenouillet et al., 2015; Dupin, 2018; Máliš et al., 2021). This use is in line with the recommendation given in some historical treatises, i.e. the best charcoal was made with small and medium caliber wood (+/- 5 to 10 cm in diameter) (Duhamel Du Monceau, 1761, p. 9; Marié de L'Isle, 1835, p. 110; Malepeyre, 1836, p. 128). Moreover, the mixing of small (less than 5 cm) and large woods allows a more homogeneous carbonization and avoids wood pile collapse, and small branches or twigs are also used to fill gaps left between large pieces of wood (Dromart, 1880; Lugli and Pracchia, 1995; Bond, 2007; Burri, 2008). Another common practice consisted in splitting some of the largest wood items before carbonization to facilitate their charring (Malepeyre, 1836, p. 128; Valerius, 1851, p. 222). To conclude, we cannot absolutely exclude the possibility that this was practiced at Bernadouze, insofar as the presence of large wood in the CKs was recorded.

The relative frequency of charcoal pieces that kept bark was low, probably resulting from both carbonization and taphonomic (fragmentation) processes. But 64% of these charcoal fragments revealed that, from the end of 13th c. to the 20th c., fuelwood for charcoal production was harvested between the end of the growing season (i.e. autumn yellowing of deciduous tree leaves) and vegetative recovery (leaf appearance), as already demonstrated by many anthracological and ethnoarchaeological studies

(Montanari et al., 2002; Bond, 2007; Glais, 2007, p. 6; Py-Saragaglia et al., 2017b). This globally corresponds to the recommendations in 18th and 19th c. technical treatises i.e from the fall until the first sap rises at the end of winter (Duhamel Du Monceau, 1761, p. 9; Bellenghi, 1816, p. 43; Marié de L'Isle, 1835, p. 269; Valerius, 1851, p. 204; Percy, 1864, p. 208; Svedelius et al., 1875, pp. 35–36).

3.1.3. Wood moderately seasoned before the burning season to obtain quality charcoal

In Bernadouze, charcoal burners mainly used seasoned wood, implying a seasoning phase just after cutting. In the same way, the Decay Index (DI) shows that 81.9% of the wood was weakly to moderately decayed, suggesting that most charred wood was felled healthy and then decayed during a seasoning period. An experimental study has highlighted that contamination by wood-rotting fungi usually lasts two years after tree death and occurs only during the warmer months, i.e. the short summertime, in mountain areas (Théry-Parisot, 2001, p. 51; Py et al., 2015c). Considering the low contamination levels, the seasoning period is estimated to be less than one year. Our interpretation is in line with almost all contemporary scholarly treatises reporting a seasoning period lasting from 2 to 12 months, even if a few treatises suggested, if necessary, the possibility of charring green wood (Della Fratta Montalbano, 1678). The length of seasoning depends on the cutting season, weather, and wood diameter (Biringuccio, 1556, p. 85; Duhamel Du Monceau, 1761, p. 10; Bellenghi, 1816, p. 43; Malepeyre, 1836, p. 113), but must not be too long in order to obtain moderately seasoned wood to ensure good quality charcoal (Duhamel Du Monceau, 1761, p. 10; Malepeyre, 1836, p. 113; Percy, 1864, pp. 208–209; Svedelius et al., 1875, pp. 35–36).

Around a fifth of the charcoal (18.1%) was heavily altered, implying that some rotten wood was charred. This practice is not in line with scholarly treatises, which advise against the use of rotten wood which degrade both charcoal productivity and quality (Valerius, 1851, p. 222; Percy, 1864, p. 209). Nevertheless, carbonization of dead wood was sometimes recommended to recycle forestry waste (Bellenghi, 1816, p. 43). In this sense, a 1302 law regulating charcoal production in Vicdessos required charcoal burners to use dry and dead trees before cutting living ones (Verna, 2001, pp. 72, 82).

After seasoning, wood was very often charred as early as the following spring and continued until the first snows, as has been demonstrated for another Pyrenean valley (Bonhôte, 1998, pp. 220–223; Py-Saragaglia et al., 2017b) and prescribed in the historical treatises (Duhamel Du Monceau, 1761, p. 10; Malepeyre, 1836, p. 128; Valerius, 1851, p. 222). Such a claim has been made for other regions in Western Europe (Burri, 2012, pp. 214–224; Hanus, 2018).

3.2. Some insights about silvicultural practices over time

Charcoal results show that charcoal production started in the 9th-10th c. in a mixed beech-fir forest and ended in the first half of the 20th c. in a mono-specific beech woodland with very few occurrences of fir. They suggest that the Bernadouze forest was managed, from the 9th-10th to the mid-17th c., as a beech coppice with fir standards leading to a multi-level forest. In Europe, at least from the late Middle Ages onwards, coppicing was the most common silviculture treatment for broadleaved species to produce fuel (Peterken, 1993; Unrau et al., 2018). But, among the wide range of possible operating systems (e.g. simple coppice, coppice selection system, pollarding, etc.), it is still difficult to accurately characterize past coppice treatment from charcoal alone because of the lack of charcoal diameter references from these different kinds of beech coppices.

Reports from the Forest Administration mention beech coppice in 1669, 1807, and 1860, without specifying the type of coppice forest. At Bernadouze, the first explicit mention of a selection coppice system dates from 1892 (Chassinat, 1892), but we do not know when this system was implemented exactly. We hypothesize that the implementation of this system was consecutive to a strong harvesting of fir, occurring during the mid-15th-mid-17th c., resulting in poor fir regeneration and its progressive rarefaction in the overstory. With fir trees providing the shade which favors the growth of beech shoots, the coppice selection system and selective cuttings were technical solutions to respond to the increasing demand for charcoal from the mid-17th c. Moreover, the exposure to multiple cutting cycles could have led to the increasing shoot production per resprouting stump, but it also reduces shoot diameter. This hypothesis is supported by evolving diameters of beech charcoal, from a mix including large diameters from the 9th-10th c. to the mid 15th c., to the almost exclusive use of

small diameters mixed with some medium diameters from the mid 15th-mid 17th c. (Figure 23).

From the end of the 19th c., thinning, which consisted in removing undesirable individuals from the main stool as well as standing deadwood and decaying stems, was prescribed by forest managers to improve productivity in the Bernadouze forest (Chassinat, 1892; Rochebrunel, 1920; Noiriel, 1965). Thinning consisted in removing undesirable individuals from the main stool - such as defective works, poorly or over abundantly stemmed growth - as well as standing deadwood and decaying stems. Therefore, the partly altered charcoal found in the CKs could reflect from the recycling **of this management technique's byproducts. While iron production**-related demand gradually ceased in the 19th c. (Cantelaube, 2005, pp. 693–734), harvesting for local needs (e.g. blacksmith shops) continued. Due to socio-economic changes in the 20th c., degraded beech coppice trees were gradually converted to high forest using cleaning-cuts and selective thinning (Rochebrunel, 1920; Noiriel, 1965).

In Bernadouze, the minimum harvesting age for beech ranges from 6 to 15 years (37.1%) and 16 to 30 years (6.1%) (Figure 23). Possible coppice rotation would range from 6 to 30 years, with a dominance of wood harvested between 6 and 15 years. The over-representation of 1-5 years-old charcoal may result from fragmentation accentuated by (i) the scraping and cleaning of the terrace by charcoal burners before each carbonization, (ii) taphonomic processes in soils, and (iii) the archaeological sampling and sieving (Chrzavzez, 2013; Blondel et al., 2018; Fouédjeu et al., 2021a).

There is little documentation of former beech coppicing rotation in Ariège. During the 19th c., cutting cycles ranged from 15 to 18 years, according to Forest managers and Mines engineers (Cantelaube, 2005, p. 215). Currently, for coppice selection systems, undergrowth cutting rotation is commonly estimated at 6 to 12 years (total cycle of 36 years) in the western Italian Alps and the Apennines, and 10 to 15 years in the Pyrenees (total cycle c. 30 years) (Salvador, 1930; Coppini and Hermanin, 2007; Nocentini, 2009; Nicolescu et al., 2018a). Such variability depends on (i) the target diameter and product (fuel wood, charcoal, poles), and (ii) the capacity for coppice regeneration, which varies according to species and site conditions (Buckley and Mills, 2015). Regarding the seasonality of harvesting, our results are in line with previous research which demonstrated that shoot growth and coppice production are optimized when

shoots are cut between late winter and early spring, which corresponds to the best season for its growth (Nicolescu et al., 2018a).

Regarding fir, 25.6% of charcoal is between 6-15 years and 6.8% is between 16-30 years old (Figure 23). This does not match the expected age for standards because their rotation length is generally at least twice as long as that of coppices (Burley et al., 2004). According to Huffel (1926, p. 68), fir trees could be harvested from 40 years of age onwards. In the Eastern Pyrenees, the mid-17th c. Forest Law set the age of exploitability of the fir trees scattered in beech woodlands from 80 to 100 years (Fruhauf, 1980, p. 31; Bartoli, 2011, pp. 141–142). Because of the difficulty of hauling fir timber due to topography and the lack of buoyant watercourses, 20th c. forest engineers recommended exploiting trees of about 45-50 cm in diameter at breast height (Salvador, 1930). When fir trees had reached the target diameter, they were harvested and only the best logs were transported to sawmills, while the crowns, tops, branches and slash could be recycled for charcoal production (Bonhôte and Fruhauf, 1990b). Despite fragmentation bias (which limits the number of tree rings retained), charcoal age results may reflect the use of such forestry waste.

3.3. The long-term legacy of historical human practices

3.3.1. An ancient but immature forest, with weak tree-species diversity and hosting capacity

Forest ancientness refers to the duration of uninterrupted wood cover, independent of the past and current management practices that may have changed forest features (Dupouey et al., 2002). Forest ancientness impacts communities for several taxa, in particular those species with weak recolonization capacity such as vascular plants (Hermy et al., 1999), lichens (Rose, 1993), ground beetles (Assmann, 1999) and ectomycorrhizal fungi (Diedhiou et al., 2009).

Ancientness is usually evaluated by comparing current forest maps to older maps (Cateau et al., 2015). In France, the *Etat-Major* maps, established when forest cover was at its lowest in the mid-19th c., are considered to be the most accurate of available maps. On this map, our study area is represented with forest cover. The assessment of ancientness for longer periods is exceedingly difficult, due to the absence of continuous

historical records. However, our results combined with a previous soil charcoal study provide evidence of continuous forest cover from the Middle-Late Bronze Age to the modern period, through the absence of identified charcoal from heathland species as well as the scarcity of pioneer species (Saulnier et al., 2020). Until the Carolingian period (610-722 AD), the forest hosted the three main European mountain dryads: beech, fir and yew (Saulnier et al., 2020). Then, the combined or successive effects of charcoal production and agro-sylvo-pastoral activities led to the progressive shift of forest composition: the disappearance of yew, the rarefaction of fir, and the favourisation of the more competitive beech eliminating post-pioneer light-demanding species in modern times (Py-Saragaglia et al., 2018; Saulnier et al., 2020).

Forest maturity refers to the state of biological development of the trees within a stand (age diameter and development stage of the oldest and largest trees), and also to the quantity and diversity of dead wood and tree-related microhabitats (TreMs) (Cateau et al., 2015). Deadwood and TreMs are pivotal resources for many forest-dwelling taxa (Stokland et al., 2012; Larrieu et al., 2018). Very large trees provide the entire range of TreMs (Larrieu et al., 2014b) including e.g. perched deadwood, a particularly important resource for saproxylic beetles (Bouget et al., 2011) that increases their functional diversity (Gossner et al., 2013). Maturity is heavily driven by past and present forest management. To display maturity attributes similar to a near-natural forest, the forest must not have been subject to harvest for several decades (Bouget et al., 2014; Paillet et al., 2015). When management is based on coppicing, more than 70 years of being set-aside are needed to recover both the amount and diversity of deadwood and TreMs significantly larger than those observed after harvest (Larrieu et al., 2017; 2019b).

At Bernadouze, regular and short-rotation logging, intended to remove all the shoots that have reached the target size, has not favoured the presence of dead trees (standing and on the ground), very large timber, and old trees (the oldest trees are 130-160 years old, as shown in Fouédjeu et al., 2021a). Today, a large part of the forest is managed according to group-selection from former stumps, except for five plots where there is still old and stunted coppice. However, given the geographical position (northern central Pyrenees) and the stationary conditions (north-facing mountain level, soil types), the potential habitat is a mixed forest of deciduous and coniferous trees dominated by beech, silver fir and yew (Bardat et al., 2004 ;

<http://www.euforgen.org/species/>). This potential mixed forest would be host to a variety of secondary species (pioneer and post-pioneer species such as alder, European mountain ash, ash tree, willow etc.), more or less localized at particular stations (rock outcrops, wetlands with waterlogged soil) or openings associated with natural and/or anthropogenic disturbances (clearings, edges, and other areas with a well-developed herb layer composed of flowering plants, etc.). The loss of tree-species diversity provides a much lower hosting capacity because biodiversity associated with deciduous and coniferous trees do not fully overlap (Bouget et al., 2019). It can be assumed that, although secondary species are always scattered or spatially localized in natural beech-dominated forests (Commarmot et al., 2005), their extreme rarity at Bernadouze confers a decrease of hosting capacity, since most pioneer and post-pioneer species have partly gender-specific corteges (Ryvarden and Melo, 2014; Bouget et al., 2019). Moreover, these secondary species are crucial for the silvigenetic cycle and for biodiversity, because they provide deadwood and dendromicrohabitats during the phases of the cycle when these attributes, provided by dryads, are scarce (Larrieu et al., 2014a). The absence of very large trees and the scarcity of deadwood also restrict the forest's hosting capacity. However, fairly high density and diversity of TreMs were observed, which is favourable to biodiversity as these structures host a wide range of taxa (Larrieu et al., 2018). This finding could be partly tied to the increased density of trunk-based cavities induced by the conversion of former stump coppices into high forest (Gouix, 2011).

3.3.2. Ensuring collective memory and cultural heritage

Ancientness contributes significantly to the patrimonialization of a forest. According to oral testimonies recorded in the CNRS documentary film “*Haut-Vicdessos, une vallée et des hommes*”, this heritage value has a significant socio-cultural and collective dimension (<https://www.youtube.com/watch?v=LjXtsRTaACK>). It might have contributed to reinforcing the feeling of belonging to a social group that shares an attachment to a forest which they inherited from medieval common rights granted to the population by their lords. Despite the nationalization of the forest and the erosion of common rights during the 19th c., this attachment is still present today. Indeed the last, large group-selection harvest, carried out in 2016, sparked considerable public outcry among the local population. From the perspective of their

historical depth and their impact on forest cover, charcoal-making platforms are a key component - beside pastoral remains - of the heritage value of the Bernadouze forest. Such vernacular heritage reflects the close relationship between society and forests. Today, it is immediately necessary to compile the living memory of the native inhabitants of the valley, in order (i) to better understand the importance of the place in the attachment of the local populations to the Bernadouze forest (Sebastien, 2020) and (ii) to pass it down to future generations through educational and cultural activities that capture the millennial history of this forest (e.g. discovery trails etc.). To be successful, these activities must include forest managers, scientists and inhabitants. In Europe and France, ancient forests are estimated to represent between 30-50% of the total forest area (Cateau et al., 2015; Bergès and Dupouey, 2017). It is urgent to conserve them (Jacquemin et al., 2014; Bergès and Dupouey, 2020). In order to offset the regular harvesting that has taken place over the centuries, and which has profoundly modified the natural cycles of the Bernadouze forest, managers have to consider these legacies as they implement management strategy. This management should also promote biocultural issues.

4. Conclusion and recommendations for the Bernadouze forest

Our interdisciplinary approach has allowed an accurate characterization of centuries-old charcoal-making practices, integrating the methods of collecting wood and managing the forest, which are essential for a better understanding of the legacy effects of these practices on current landscapes.

We highlighted how sustainable charcoal making practices emerged and took root from the end of the 13th to the 15th centuries without significant change. Starting in the Modern era (mid-15th-mid-17th c), socio-economic strategies heavily contributed to the forest homogenization processes through the conversion of coppice-with-standards (leading to the rarefaction of silver fir) into a beech coppice selection system. Finally, the shift from historical coppicing systems to beech high forest during the 20th c. led to the rejuvenation of stands, inducing a reduction in the biodiversity hosting capacity of the forest. The continuous removal of dead wood, in these successive management strategies, has likely contributed in great part to biodiversity loss, specifically in saproxylic species.

In order to reverse the effects of past practices and increase the forest's biodiversity

hosting capacity, we recommend : (i) conserving all firs and secondary tree-species already present and increasing the density of the latter by creating gaps large enough to be suitable for saplings of pioneers, (ii) setting aside areas to reach high degrees of maturity at a local level, (iii) re-introducing yew in areas at a distance from pasture (potential conflict with pastoral uses must be considered), making it possible to recover a degree of naturalness at the site in the long term, (iv) increasing deadwood components (e.g. by leaving the crowns of felled trees on the ground and avoiding regular harvesting of scattered fallen trees) and conserving a high density of habitat-trees to increase saproxylic resources significantly (most tree-related microhabitats contain decaying wood).

Aged coppices, which result from the extension of rotation cycles after the suspension of charcoal production, provide interesting ecological niches due to their heterogeneous structure and to the presence of dead wood. These coppices require adapted silviculture practices to maintain these characteristics and their associated ecological niches (Nicolescu et al., 2018a; 2018b).

From a scientific perspective, it is now necessary to renew research by considering the complexity of the multiple uses of the forest over time. To do so, other drivers must be investigated, such as pastoralism, timber production, and hunting, to understand their combined effect on forest ecosystems and on the shaping of the landscape. Finally, we suggest using this case study for scientific mediation related to the multi-secular relations between bloomeries and the dynamics of Pyrenean mountain forests.

Chapitre IV: Reconstruction à haute résolution de la production de **charbon de bois d'une charbonnière** moderne des Pyrénées françaises: approche intégrée combinant dendrochronologie, micromorphologie et anthracologie

Ce chapitre a été publié dans la revue internationale *Quaternary International* en novembre 2020.



Quaternary International
Volumes 593–594, 20 August 2021, Pages 306–319



High resolution reconstruction of modern charcoal production kilns: An integrated approach combining dendrochronology, micromorphology and anthracology in the French Pyrenees

Léonel Fouédjeu ^a  , Mélanie Saulnier ^{a, b}, Mathieu Lejay ^{c, e}, Martin Dušátko ^b, Vincent Labbas ^{a, c}, Alistair S. Jump ^d, Sylvain Burri ^c, Sandrine Buscaino ^a, Vanessa Py-Saragaglia ^a 

^a GEODE, LABEX DRIIHM, UMR 5602 CNRS Université Toulouse Jean Jaurès, 5, Allées A. Machado, 31058, TOULOUSE Cedex 1, France

^b Česká zemědělská univerzita v Praze, c, Kamýcká 129, 165 00, Praha 6, Suchbát, Czech Republic

^c TRACES, UMR 5608 CNRS Université Toulouse Jean Jaurès, 5, Allées A. Machado, 31058, TOULOUSE Cedex 1, France

^d Biological and Environmental Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Stirling, Stirling, FK9 4LA, Scotland, UK

^e GeoArchEon Sarl, 55210, Vigneulles-les-Hattonchatel, France

Received 29 July 2020, Revised 17 November 2020, Accepted 19 November 2020, Available online 25 November 2020, Version of Record 7 June 2021.

Abstract

Numerous charcoal kiln remains can still be found throughout the world, evidencing wood harvesting related to former industries. These remains represent effective sources and tools for studying (i) pre-industrial pressures on forest resources and (ii) past strategies related to woodland management. However, radiocarbon dating (AMS), which is the main tool to reconstruct the chronology of past charcoal **manufacturing activity, doesn't provide sufficiently accurate dating, especially for the** post-1650 period, due to the broad probability range of the dates resulting from wiggles in the calibration curve. In order to overcome the radiocarbon dating limitation and therefore refine the chronology of modern charcoal manufacturing, this paper proposes to apply an integrated approach combining archaeology, micromorphology, anthracology and dendrochronology. To characterise the archaeological record of a target charcoal **kiln terrace from the "Forêt de Bernadouze"**, located in a historical iron production valley of the Northern Pyrenees, we combined classical stratigraphic analysis with a micromorphological study. The results highlight the multiperiod nature of the terrace, i.e. a palimpsest of multiple charcoal production episodes, revealing two major phases marked by an abandonment period between them. Subsequently, we constructed a beech charcoal-ring (n=49) chronology **dated with the new "Forêt de Bernadouze" reference** chronology from freshly felled, living beech trees (n=24) to obtain the annual resolution of charcoal ring formation. Based on the new reconstructed master chronology covering the 1879-2016 period, we were able to calibrate the charcoal-ring chronology for the 1881-1941 period. Consequently, we (i) dated the charcoal production activity performed on the target terrace during the 1924-1942 period and (ii) identified a shift in the rate of use of the terrace, from one-off to high-intensive use. This study also provides new insights regarding (i) the particular nature of the archaeological record and (ii) the operating and timing of past charcoal-making practices in connection with silvicultural treatments.

Keywords: ancient charcoal production, anthracology, micromorphology, dendrochronology, Northern Pyrenees, modern radiocarbon plateau

Résumé

L'abondance d'anciens replats de charbonnage, retrouvés dans les forêts à travers le monde, témoigne, de l'exploitation passée des écosystèmes forestiers par les sociétés humaines. **L'étude de ces** vestiges permet **aujourd'hui d'étudier efficacement** les pressions préindustrielles sur les ressources forestières et les stratégies de gestion associées. Néanmoins, une meilleure interprétation des résultats obtenus est souvent limitée par la résolution chronologique des datations radiocarbone. Notamment pour les périodes modernes et subcontemporaines, en raison de la large plage de probabilité des dates résultant des ondulations de la courbe d'étalonnage. Afin de dépasser ce plafond de verre, nous proposons dans cet article un protocole inédit impliquant une approche intégrée combinant l'archéologie, la micromorphologie, l'anthracologie et la dendrochronologie sur une charbonnière post-**1650 localisée dans l'ancienne forêt** charbonnée de Bernadouze (Pyrénées françaises). L'objectif est de dépasser les limites de la datation radiocarbone classique et d'affiner la chronologie du charbonnage sur le replat cible. **L'analyse archéologique et micromorphologique de la charbonnière** a permis de mettre en évidence un palimpseste de plusieurs épisodes de charbonnage, révélant **deux phases majeures entrecoupées d'une période d'abandon**. **L'analyse dendrochronologique s'est construite autour d'un triptyque** : (1) construction d'une chronologie de référence à partir de 24 rondelles de hêtre collectées sur le site à l'automne 2016 ; (2) **construction d'une** chronologie de référence à l'échelle du charbonnière (n=49) ; (3) Interdatation des deux chronologies de référence (bois et charbons). **En s'appuyant sur** la chronologie inédite construite à partir du bois vivant **à l'échelle de la forêt de Bernadouze** et couvrant la période 1879-2016, **l'interdatation a** permis de calibrer la chronologie de la charbonnière sur la période 1881-1941. Par conséquent, nous avons (i) daté les pratiques sur le replat cible sur la période 1924-1942 et (ii) identifié le passage d'une utilisation ponctuelle à une utilisation intensive. Cette étude apporte également de nouveaux éléments concernant (i) la nature particulière de la couche charbonneuse et (ii) et de précieuses informations sur son fonctionnement ainsi que des indices sur le calendrier du charbonnage annuel.

Mots clés : production ancienne de charbon de bois, anthracologie, micromorphologie, dendrochronologie, Pyrénées du Nord, plateau moderne radiocarbone.

Introduction

Worldwide, many Charcoal Kiln (CK) terrace or platform remains still exist in present day open landscapes (fields and meadows), forests and even supra-forest areas above the current timberline, providing evidence of the wide distribution of the practice of charcoal production in the past (Hart et al., 2008; Ludemann, 2010; Dupin et al., 2017; Benatti et al., 2018; De Oliveira and Scheel-Ybert, 2018; Durand et al., 2018; Patzlaff et al., 2018). Indeed, charcoal was and in some locations still is a crafting resource used as fuel for ironmaking and smelting of other metals. Studying of the spatial distribution and chronology of former CK terraces (Raab et al., 2015; Deforce et al., 2020), as well as their taxonomic composition (Davasse, 2000; Rouaud, 2013; Dupin et al., 2017), has already provided crucial insights into the history of pre-industrial charcoal production and its associated forest management systems (silvicultural treatments), as well as enabling the characterisation of their legacy in current landscapes (Samojlik et al., 2013; Schmidt et al., 2016; Pescini et al., 2018). In addition, approaches combining historical, archaeological and ethnographic data have also enabled assessment of the art of burning charcoal, and especially its technical operational sequence (*chaîne opératoire*) and its seasonality (Burri, 2008; 2018; Paradis-Grenouillet et al., 2018a).

However, in the northern hemisphere, the study of CK remains, which testify to a major development of charcoal manufacturing in the last centuries, i.e. between the seventeenth and nineteenth century (Davasse, 2000; Allée et al., 2010; Ludemann, 2010; Strachan et al., 2013; Raab et al., 2015; Dupin et al., 2017; Karimi Moayed et al., 2020) always faces the major issue that is the weak accuracy of dating obtained since the 1650s (Davasse, 2000; Strachan et al., 2013; Py-Saragaglia et al., 2017b; Deforce et al., 2020; Karimi Moayed et al., 2020). Poor accuracy leads to strong wiggles in the **calibration curve creating a “radiocarbon plateau”, which are aggravated first by the “De vries effect”, i.e. high-frequency preindustrial secular variations in ^{14}C activity and secondly, by the “Suess-effect”, i.e. the dilution of atmospheric ^{14}C levels resulting from the widespread burning of fossil fuels since the beginning of the 1900s (coal, gas, oil) (De Vries, 1958; 1959; Stuiver, 1961; Tans et al., 1979).**

New experiments are increasingly implemented to refine the chronology of modern charcoal production. Optically Stimulated Luminescence (OSL) method, for example,

has been recently successfully applied to refine the dating of modern CKs in Belgium (Karimi Moayed et al., 2020). Other testing approaches are based on dendrochronological analysis applied on remaining charcoals from CKs (Nelle, 2002; Strachan, 2011; Strachan et al., 2013; Raab et al., 2015). Dendrochronological study requires charcoal pieces that preserve a sufficient number of rings (i.e. >30) to enable robust cross-dating (Backmeroff and Di Pasquale, 2001; Pichler et al., 2010). However, even the largest pieces found in CKs often preserve a low number of annual growth rings, because of charcoal fragmentation during carbonisation and the post-depositional processes. In order to increase the length of ring chronologies, it is therefore necessary to sample a higher number of charcoal fragments (Blondel et al., 2018). Moreover, the progress of formation of terminal tree-ring (early wood, late wood) on charcoal fragments that kept their bark is also highly valuable to identify the felling season and thus reconstruct the seasonality of wood harvesting practices (Py-Saragaglia et al., 2017b; Fouédjeu et al., 2019a).

Micromorphology is often used to characterise depositional history of archaeological sites (Béguier et al., 2011; Nicosia and Stoops, 2017) but has been very rarely applied to the study of CK sites (Hirsch et al., 2017; Raab et al., 2017). Micromorphological analysis can provide valuable and complementary information about CK terrace by characterising their micro-stratigraphy. Such analyses may highlight different phases of reuse, which are often difficult to detect by standard archaeological and anthracological methods. Indeed, it is difficult to clearly identify reuse phases of a terrace stratigraphically (the stratigraphic succession of charcoal-rich levels and levels of surrounding sediment leaching following periods of long abandonment) although several historical sources (Duhamel Du Monceau, 1761; Marié de L'Isle, 1835) and ethnographic surveys testify to such sequences (Battesti, 1992; Lugli and Pracchia, 1995; Montanari et al., 2000; Scipioni, 2002). CK reuse is driven by constraints that are both topographic, i.e. the low availability of flat areas in mountainous landscape that leads to the reuse of existing sites, and technical, i.e. the mixture of charcoals and earth originating from previous CK burning is considered to be better to cover the kilns than newly excavated soil (Poggi and Métaillé, 1998; Burri, 2008). The terrace was usually cleaned before each use and, then, the removed soil was recycled to cover the new wood pile, leading to the mixture of old and new charcoals during each carbonisation. Despite complex reuse processes, the terrace stratigraphy (also termed

Page | 126

the charcoal platform soil profile) is often visually homogeneous (forming a continuous black layer) with thickness usually varying between 5 to 30 cm, and sometimes up to 80-100 cm (Bonhôte et al., 2002; Dupin et al., 2017). In France, only Gebhardt (2007b) was interested in stratigraphic analysis based on a micromorphological approach until more recent applications by Dupin et al. (2019). Dupin et al. (2019) highlighted that stratified CKs usually result from an occasional use of the terrace while CKs characterised by a "homogeneous" profile are usually linked to periods of repeated intensive charcoal production.

This methodological paper aims to evaluate the relevance of an interdisciplinary approach combining archaeological, micromorphological and dendrochronological analyses in order to better-assess the chronology of modern charcoal production. More specifically, our objectives are to detect and date, firstly, potential different phases of charcoal production, i.e. several years of CK uses, and secondly, within these phases, the different episodes, i.e. a single or several burnings within a short period of time. Consequently, we decided to apply this original approach on an identified CK exploited with certainty during the last century (in the 1900s). This CK is located in the Northern Pyrenean **beech forest known as "Forêt de Bernadouze", within the Vicdessos steel valley**, where charcoal production is well-documented by previous historical ecology studies (Izard, 1989; Py-Saragaglia et al., 2018; Saulnier et al., 2020). The importance of working with a recently exploited CK terrace is justified by the need (i) to compare oral testimony with the results of this study and validate them, (ii) to obtain charcoal fragments whose ring chronologies can be cross-dated with a reference chronology based on living beech trees. Micromorphological analysis has been applied to detect whether the CK terrace has been reused for several years or even decades. In addition, dendrochronological analysis has been applied on charcoal fragments in order to accurately date the CK use phases. In order to cross-date the master charcoal ring width chronology, we first construct a robust chronology for living beech trees in the **"Forêt de Bernadouze", considering that no beech chronology was currently available** for the Vicdessos valley or its surrounding area. Subsequently, we analysed terminal growth rings of charcoal fragments that retained their bark, in order to identify the felling season and assess CK intensity of use. Beyond these strictly methodological aspects, this study raises other issues related to charcoal making practices, i.e. the ways

of using a terrace and associated fuel wood logging rhythms, and their impacts on the stratigraphy of the terrace and on silvicultural practices (coppice and rotation).

2. Material and methods

2.1. Study area

The study area is located on the northern slope of the Pyrenees, in the high valley of Videssos (administrative department of Ariège), on ancient limestone rocks between 1300 to 1450 m a.s.l (Figure 25) (see Saulnier et al. (2020) for more details). The woody vegetation (Bernadouze catchment area) is mainly composed of *Fagus sylvatica* L. (beech) with a minor component of *Abies alba* type (fir) localized mainly above 1500 m a.s.l. Three types of stands are currently dominant: (i) a high beech forest (derived from the conversion of former coppices), (ii) an old fast-growing coppice, and (iii) a line of stunted coppice around the Bernadouze peat bog.

In the 46 ha investigated area of the site, 80 former CK terraces were found, which were geolocated and integrated in a GIS database and sampled for analysis (Figure 25). Combination of anthracological study of 28 of them with soil charcoal analysis (pedoanthracology) and historical data provided a reconstruction of the forest composition, structure, humans uses and system of management from the late Bronze Age to contemporary times (Py-Saragaglia et al., 2018; Saulnier et al., 2020).

According to oral testimony, we identified one of the last used CK terraces (**57°09'.51"N and 61°90'.45"E**) dated from at least the late 1930s (Figure 25). This CK terrace was located within the current high beech forest on a relatively flat area (approx. 5% slope), at the edge of the Bernadouze peat bog (called in the past "Freychinède"; (Jalut et al., 1982), on a topographic terrace in direct proximity to a limestone outcrop almost completely covered with mosses. Around this CK we located 4 other CKs during archaeological field survey including only one with a radiocarbon date in the mid-17th-20th c. (Lyon-14957 -SacA-53113-, 140 ± 30 BP, 1669-1945 (95.4%) Cal AD with a high probability in the 1669-1891 period (79.9%)) (Figure 25).

Sampled living beech trees were mainly located in the northwestern part of the woods along an altitudinal transect between 1345 and 1410 m a.s.l. (Figure 25). The two

sampling areas were located in the heart of the current high forest separated from each other by a poorly accessible escarpment area and a small forest corridor mainly composed of young silver fir trees (20-30 years old) associated with a few other broadleaf trees.

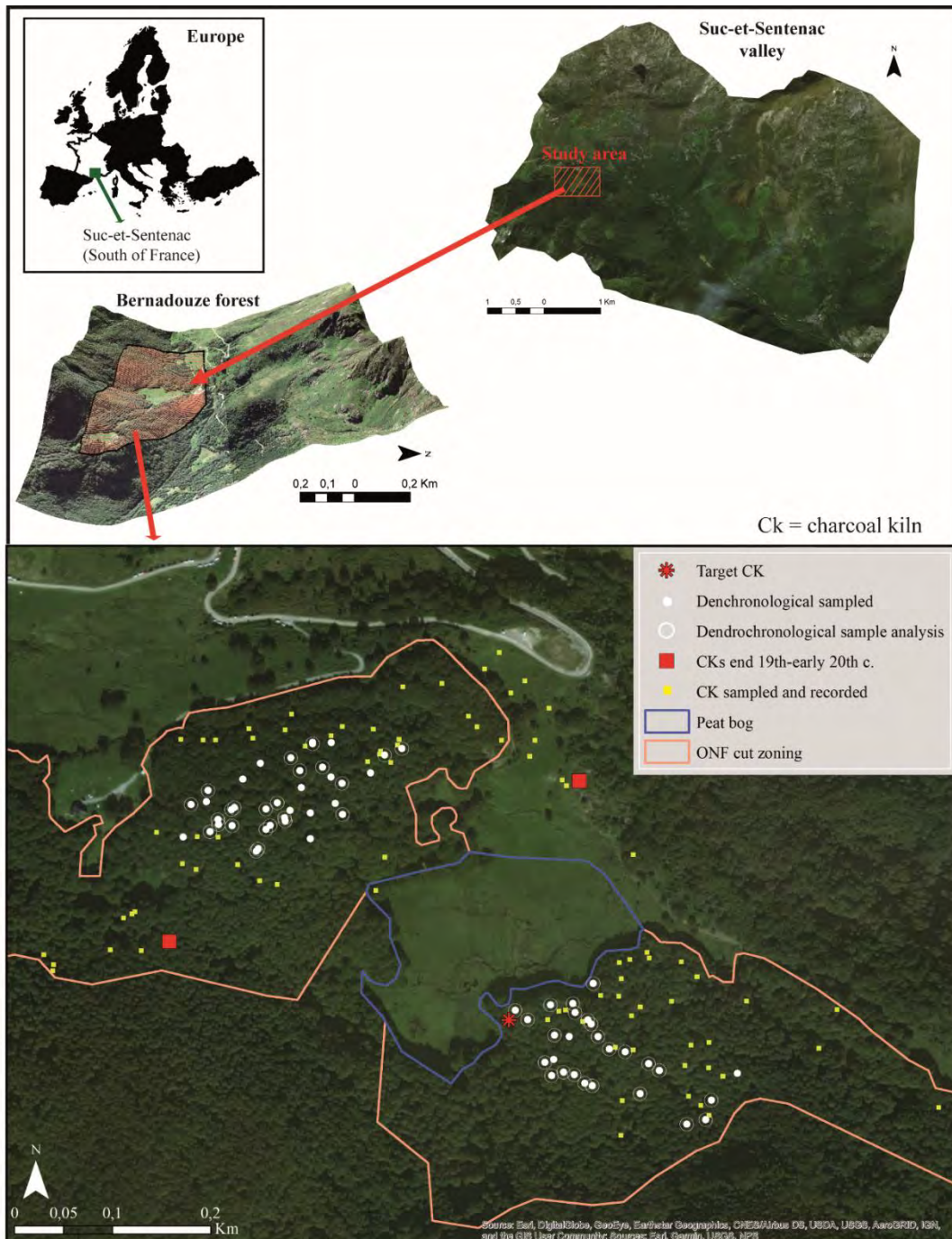


Figure 25: The Forêt de Bernadouze represented with sampling points of charcoals kilns (CK). Green squares represent four CKs near to CK target and red square CKs dated by radiocarbon between 19th and 20th c. White circles, the 46 dendrochronological samples analysed for this study. The red star represents the CK selected for the micromorphological and dendrochronological study

2.2. Sampling strategies

2.2.1. Archaeological survey and charcoal sampling

CK terrace was cleaned of its litter (leaves and plant debris) to define its extent. A surface of 16 m², including most of the CK surface, was divided into 16 squares of 1 x 1 m. For this experimental study, a 4 m long and 1 m wide survey trench was dug from west to east, across the centre of the terrace, in the northern part of the grid. The CK fill was then gradually stripped layer by layer (Stratigraphic Unit, SU) until the ochre mineral layer was reached. In charcoal-rich layers, at least one 10-litre bucket of sediment (= one sample) was collected in each square (4 in total). In total, 10 samples (100 litre of sediment) were collected during the investigation (Figure 26). Finally, the northern stratigraphic profile of the trench was described and drawn (Tableau 3; Figure 27).

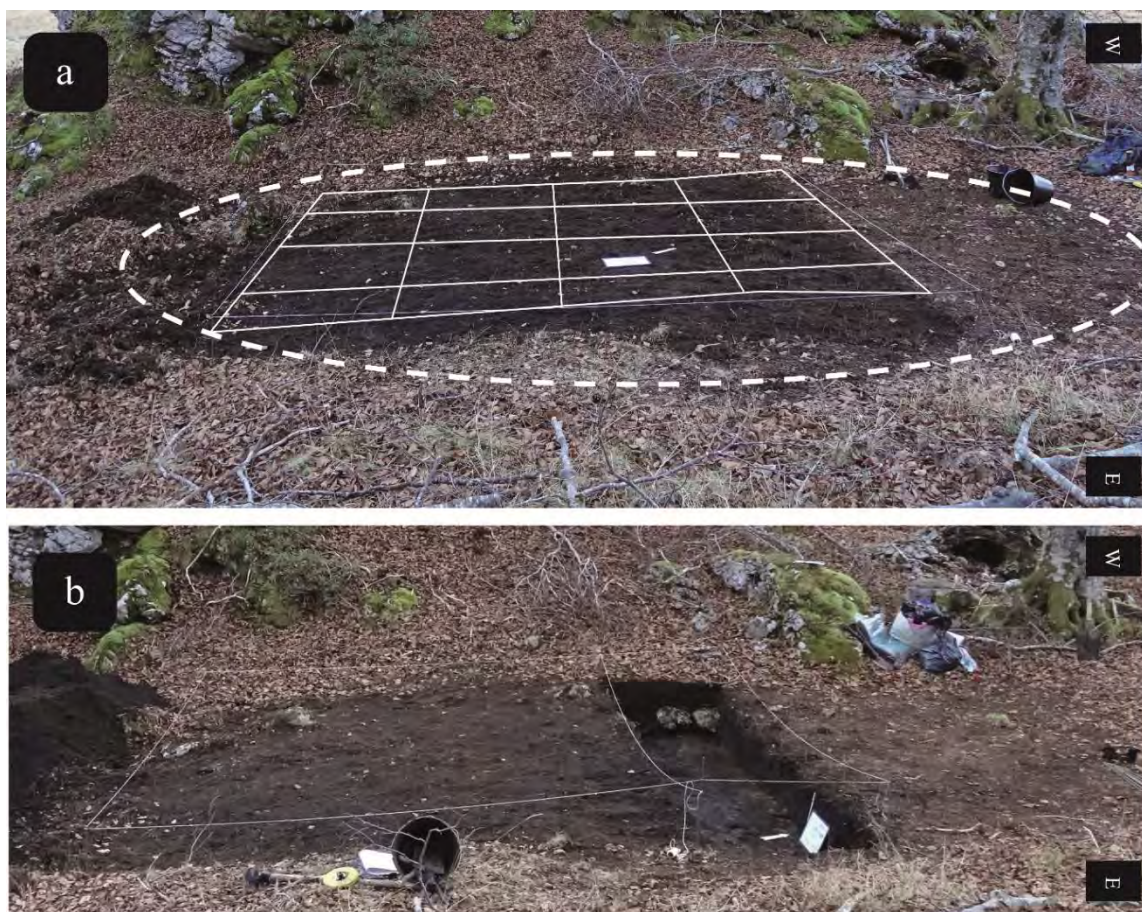


Figure 26: Protocol illustrating excavation and sampling of the CK. (a) White dotted circle shows the CK boundary after removal of litter. Grid with 1 x 1 m squares. Sampling of a bucket of 10 litres of sediment per tiles and SU. (b) Excavation of a quarter of the CK

SU	Depth (cm)	Description of the SUs
1	0 -10	Litter mixed with humus, very poor in charcoals.
2	10-20	Part of the carbonaceous layer characterised by a significant presence of charcoals. Very black, loose and shallow layer. This layer is located on a very compact surface (top of the SU 3). This SU featured several glass fragments, a cutlery set and tin cans
3	20-35	Part of the carbonaceous layer, highly homogeneous, thick and very rich in charcoals. This SU is located directly on the mineral layer. It contains small, powdery rocks in some sections and some rare glass fragments.
4	5-12	This SU presents a mix of sediment and charcoals (low density) inserted in the SU 3 at the western edge of the section. Charcoals in this SU have not been studied (Figure 27a).
5	2-3	This very fine SU, detected only at the micromorphological thin section, is intercalated in the mineral soil. It has very low charcoal content and was not sampled and studied by dendrochronology (Figure 27b, c, d).
6	35-45	Substrate without charcoal, silty-clays colluvium (Figure 27c, d)

Tableau 3: Synthesis and description of stratigraphic units (SU)

2.2.2 Micromorphological sampling

Directly on the stratigraphic profile, oriented sediment columns were sampled at 2 points:

(i) A continuous column here referred to as “Bern1” was collected at the west end of the survey trench (square 4) (Figure 27a, b);

(ii) A second column was taken in the east half of the profile, close to the middle of the CK fill (square 2), (Figure 27a, c). This column, referred to as “Bern 2-3”, was divided into 2 segments because it was not possible to remove another continuous column from its soft sediments.

The sampling of both columns required digging into the ochre mineral layer on which the archaeological survey had stopped, to a depth of 10 cm.

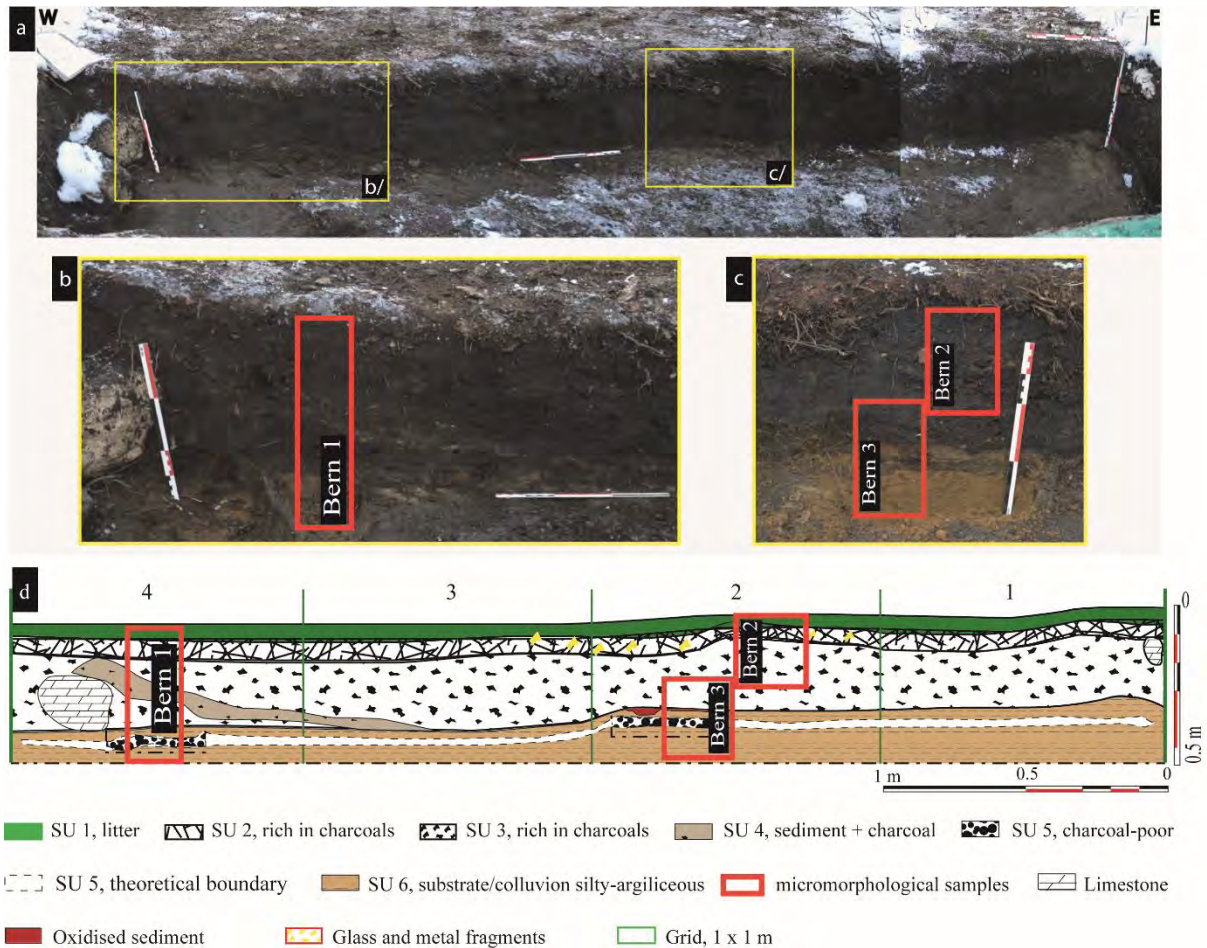


Figure 27: (a): North section of the trench. (b) and (c). Detail of the western and the central part of the section after an additional 10 cm, discovery of a fifth SU and the localization of micromorphological samples. (d): Schematic survey of the trench

2.2.3 Dendrochronological sampling

We took advantage of a forest logging managed by the National Forests Office (ONF) to carry out sampling of living beech. In the autumn 2016, 64 discs were extracted by lumberjacks directly from the stumps of freshly felled trees. Every sampled stump was geolocated (Figure 25). Sampled stumps were selected according to their estimated age (i.e selection of oldest/largest trees), their type (high beech trees) and their location in the forest.

2.3 Laboratory Analysis

2.3.1 Anthracological analysis

The sampled sediments were wet-sieved with a 4 mm mesh sieve and then dried in the shade. Charcoal fragments were identified using a reflected light optical microscope (Leica DM4 M) with magnifications of 100 to 1000 according to the three anatomical planes of wood (transverse, tangential and radial). All charcoal fragments were identified at the level species, genus, family or sub-family (Schweingruber, 1978; Vernet, 2001). The transverse sections were carefully cut (see below) and set aside for measuring ring width in a second step. In addition, when bark was preserved, its position in the last ring was recorded.

2.3.2. Micromorphological analysis

After drying and resin impregnation of the columns, a total of 5 large thin sections were carried out in PACEA laboratory (CNRS-Univ. Bordeaux). The thin sections were visually observed to distinguish their general characteristics and scanned to obtain digital images for meso-scale observation (Haaland et al., 2019).

At the microscopic scale, we used a Zeiss Axio Imager A2m microscope allowing observations in transmitted light (TL), Plane Polarised Light (PPL), Cross Polarised Light (XPL), and Oblique Incident Light (OIL) at magnification x25 - x500. The OIL observations were made using additional Zeiss gooseneck fibre optic illumination. The microphotographs were taken using a Zeiss AxioCam ICc5 digital camera controlled by Zeiss Axiovision software. The descriptive terminology follows Stoops (2003) and the interpretative framework is based on Stoops et al. (2010).

2.3.3. Dendrochronological analysis

2.3.3.1. Wood and charcoal sample preparation

The transverse surface of the living tree discs was prepared by fine sanding to grit size of 600 using an electric sander to magnify tree ring features. Then discs were divided into several pieces to facilitate measurement.

While some authors have suggested that charcoal fragments with at least 50-60 rings are more suitable for conducting a dendrochronological analysis (Kuniholm, 2016; Blondel et al., 2018), other studies have already successfully constructed robust chronologies using charcoal fragments with 30 rings (Backmeroff and Di Pasquale, 2001; Pichler et al., 2010; 2013). Consequently, we selected fragments preserving at least 30 rings to maximise sample size while also enabling obtaining robust measurements.

To facilitate charcoal-growth-ring measurement, the sampled pieces were simply broken by hand or with a cutting tool, i.e. a scalpel, to obtain good cross-sections. This method is particularly suitable for hard charcoal pieces (Pichler et al., 2013).

2.3.3.2. Tree-ring measurement

For both living tree and charcoal samples, we applied a visual cross-dating method to assign to each ring a year of formation (Stokes and Smiley, 1996). Tree rings were then **measured with an accuracy of 0.01 mm using the LINTAB™ measuring table combined with TSAPWIN™ Scientific software** (Rinn, 2003). Two to three radii (elementary series) were measured per sample. This technique provides a more representative individual average of tree growth (Bourquin-Mignot and Girardclos, 2001).

Cross-dating of series (based on the identification of characteristic years such as narrow rings) was conducted in order to detect the presence of false rings or missing rings during measurement (Latte et al., 2012) that could reduce the common signal of all the samples. Visual checks and crossdating were conducted using CDendro 7.8.1 to support the validation or rejection of potential adjustments to measurements. The accuracy of the cross-dating was evaluated by calculating the cross-correlation values between series. We considered a cross-correlation value of 0.5 as the threshold to decide to keep or exclude a series from the dataset.

The best correlated series were then averaged in order to produce a master chronology for (1) living tree and (2) charcoal. Finally, master chronologies from both the living tree and charcoal were detrended using a cubic fixed spline in order to remove the effects of age, competition and local specific conditions. This method is well-adapted

to trees growing in closed- canopy forest and/or in frequently disturbed forests (competition, fire, etc.) (Cook and Kairiukstis, 1990; Lambert et al., 2010). The detrended chronology from charcoal fragments was then cross-dated with the detrended chronology of the Forêt de Bernadouze (felled trees) in order to propose a date for the operation of the CK.

In order to increase the number of charcoal fragments that kept the bark, which are mandatory to effectively assess charcoal making practices (seasonality of felling), we subsequently calculated new cross-correlation values between the master chronology of charcoals and part of the previous, excluded charcoal fragments. For this additional analysis, we set the new acceptable correlation value at 0.4. The new selected charcoal dataset was only used to study charcoal making practices and these additional fragments were not added to the master chronology.

3. Results

3.1. Archeological evidence and charcoal features

The black circular area corresponding to the location of the last CK(s) built on the terrace measured 5 m in diameter (Figure 26). The area formed a slight basin-shaped depression which was filled with organic matter and charcoal-rich black earth up to a maximum depth of 35 cm within the trench survey. We distinguished six stratigraphic units (SUs) (Tableau 3; Figure 27).

In total, we selected 303 charcoal fragments with 104 fragments extracted from the SU 2 and 199 from the SU 3. All these charcoal fragments were identified as beech (*Fagus sylvatica* L.). Among the 94 fragments that had preserved their bark, the state of progress in the terminal ring formation varied with 42 fragments exhibiting a terminal ring with final wood, 9 fragments exhibiting a terminal ring with only the early wood, and 3 fragments exhibiting a terminal ring at the end of the early wood. The minimum diameter measurement with the calliper shows diameters raging between 0.8 and 3.6 cm after correction (systematic addition of +25% to compensate for shrinkage losses during charring (Paradis-Grenouillet, 2012).

3.2. Microstratigraphic features

Sample Bern2-3 allowed the realization of two thin sections, covering a sequence of about 28 cm, in which 4 facies (Bern2-3_a-d) were distinguished (Figure 28). Sample Bern 1 was processed into 3 thin sections covering about 35 cm in sequence. The succession of 7 facies (Bern1_a-g) (Figure 29) were distinguished.

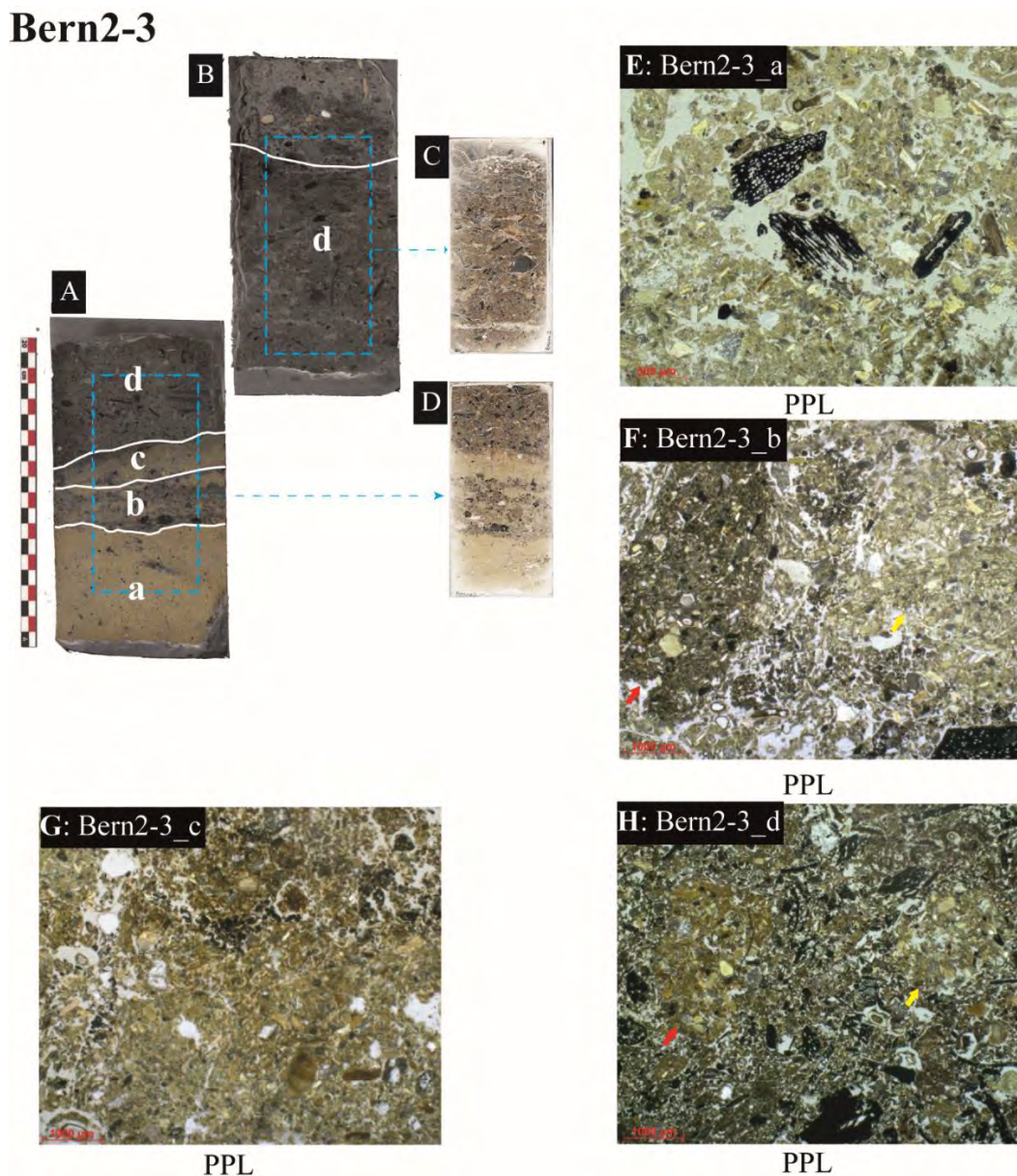


Figure 28: Scans and microphotography of samples Bern2 (A, C) and 3 (B, D). (A, B) Scan of the indurated samples (A: Bern3, B: Bern2) with schematic organization of micro-facies (a to d). (C, D) Scans of the two thin-sections. (E) Bern2-3_a: channel infilling including fragmented charcoal. (F) Bern2-3_b: aggregates, mostly of biological origin, made of combustion residues rich heterogeneous material (red arrow) or of mineral components similar to the local regolith. (G) Bern2-3_c: Oxidized upper part of the micro-facies. (H) Bern2-3_b: General organization and microstructure with mixture of aggregates enriched in combustion residue (red arrow) and others similar to the surrounding regolith (yellow arrow)

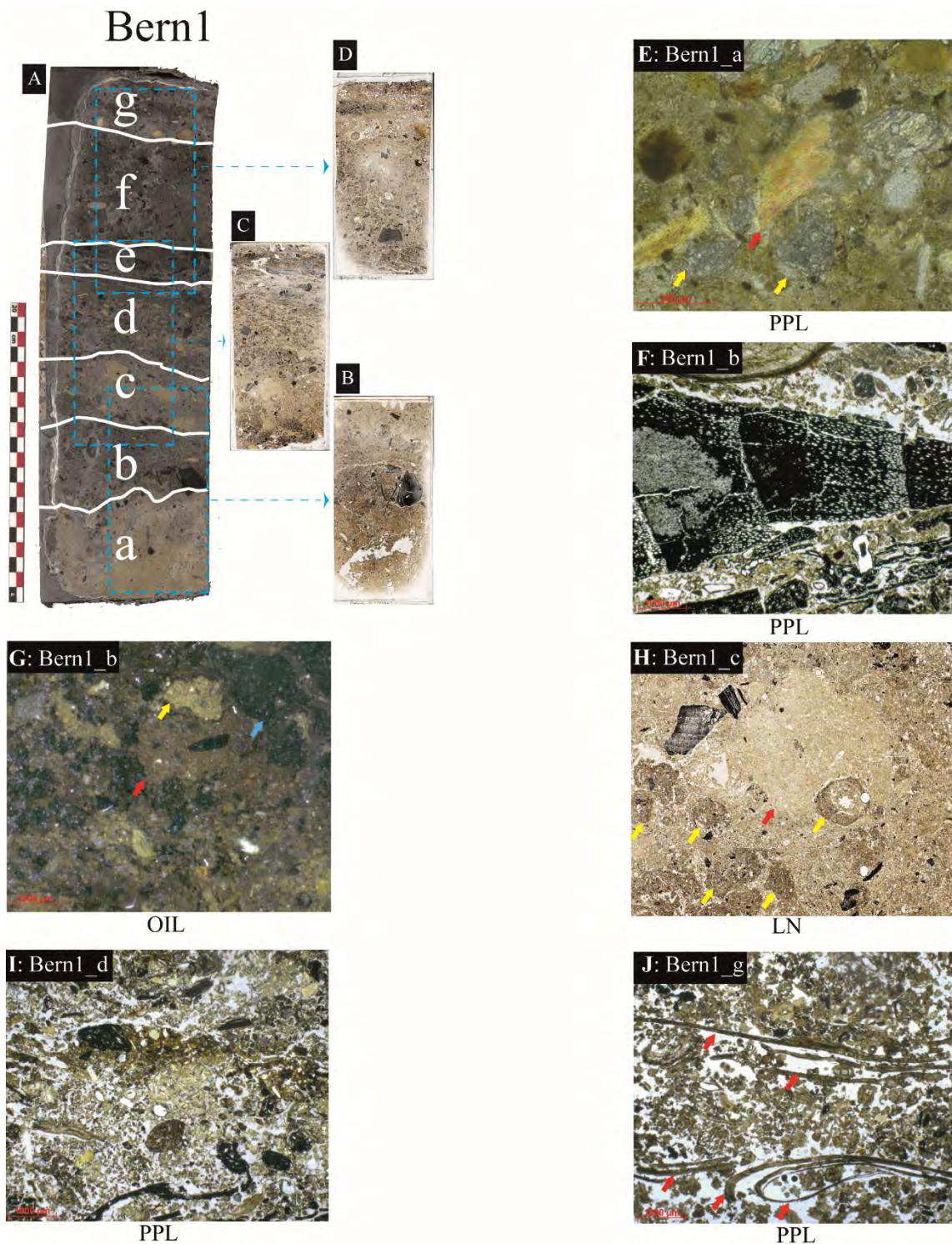


Figure 29: Scans and microphotography of Bern1 sample. (A) Scan of the indurated sample with schematic organization of micro-facies (a to g). (B, C and D) Scans of the three thin-sections. (E) Bern1_a: main coarse mineral materials; (red arrow: phlogopite; yellow arrows: dolomite) surrounded by carbonated clay-silt. (F) Bern1_b: centimetric charcoal surrounded by a mix of mineral and organic materials. (G) Bern1_b: heterogeneous constituents and organization with both unaltered aggregates (yellow arrow), oxidized aggregates (red arrow) and carbonaceous material (blue arrow). (H) Bern1_c: integration of combustion residues-rich material as mesofauna faecal pellets (yellow arrows) and a large rounded aggregate of unaltered sediment (red arrow). (I) Bern1_d: aggregate of oxidized sediment in

secondary position within a heterogeneous matrix including abundant combustion residues and biological features. (J) Bern1_g: Topsoil organic layer with abundant leaf fragments (red arrows)

The description and the observation of facies both macroscopically (color, coarse constituents, etc.) and microscopically (fine constituents, pedofeatures, microstructure, etc.) highlighted important similarities between Bern 1 and Bern 2-3. We were able to synthesize these observations as 5 micro-facies types (MFT) (Figure 30).

The detailed micromorphological description of Bern1 and Bern2-3 is presented in the annex (Annexe 5: Tableau 1).

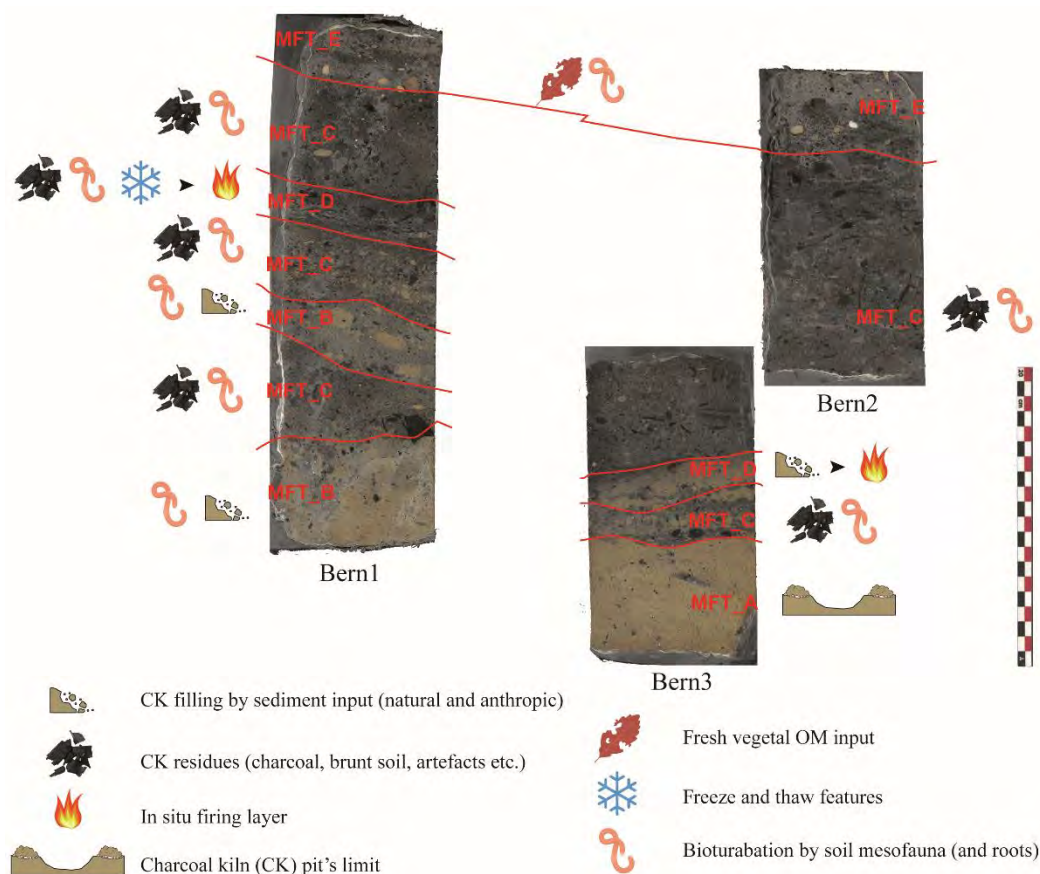


Figure 30: A synthesis of the organization of the identified MFTs in samples (images from resin-indurated blocs cut, wetted and taken on a flatbed scanner).

MFT_A (e.g. Bern2-3_a)

This MFT corresponds to a forest soil deep mineral horizon formed by the alteration of underlying dolomitic marlstone formation and, to a lesser extent, input from the

erosion of the surroundings metamorphic and crystalline formations (Trenet, 1997). These sediments were excavated to create the depression in which subsequent CK burning episodes took place.

MFT_B (e.g. Bern1_a, Bern1_c, Bern2-3_c)

This MFT_B is formed by rounded aggregates of material similar to the local sediment that may correspond to colluvial input into the depression. These materials are regularly affected by biopedological agents (e.g. soil mesofauna, roots) (Kooistra and Pulleman, 2010; Bertran et al., 2017), leading to blending with combustion residues from over- and underlying deposits.

MFT_C (e.g. Bern1_b, Bern1_d, Bern1_f, Bern2-3_b, Bern2-3_d)

Most of the CK terrace depression fill is related to MFT_C, which was formed by a mix of mineral and organic residues related to charcoal making, including charcoal and redeposited oxidized soil aggregates. Soil mesofauna and root action disturbance were important and sometimes complemented by climatic processes such as freeze/thaw cycles (Vliet-Lanoë, 2010), all of which led to mixing and homogenization of what were likely originally differentiated deposits.

MFT_D (e.g. Bern1_e, Bern2-3_c)

This MFT is mainly characterised by in-situ thermally altered deposits, corresponding to original kiln surfaces. These deposits may correspond to mainly mineral material such as those of MFT_B (Bern2-3_c) or those formed of previous combustion residues such as MFT_C (Bern1_e).

MFT_E (e.g. Bern1_g)

The summit of the terrace depression fills a humic horizon, with mostly organic constituents and virtually no mineral content. Organic constituents are regularly altered and fragmented.

3.3. Felled trees master chronology

The mean age of felled trees was 145 years, with a maximum of 162 years and a minimum of 89 (Annexe 5: Tableau 2). The ring widths varied from 0 (missing rings) to 31 mm, with a mean of 10 mm.

We used the 24 best cross-dated individual chronologies to build the master chronology of the Forêt de Bernadouze, resulting in a master chronology 137 years long, covering the 1879-2016 period. The average correlation between all individual series was 0.6 and the average Student's t-test value is 11.9. The square correlation matrix highlights the very good synchronization of the individuals (Figure 31a).

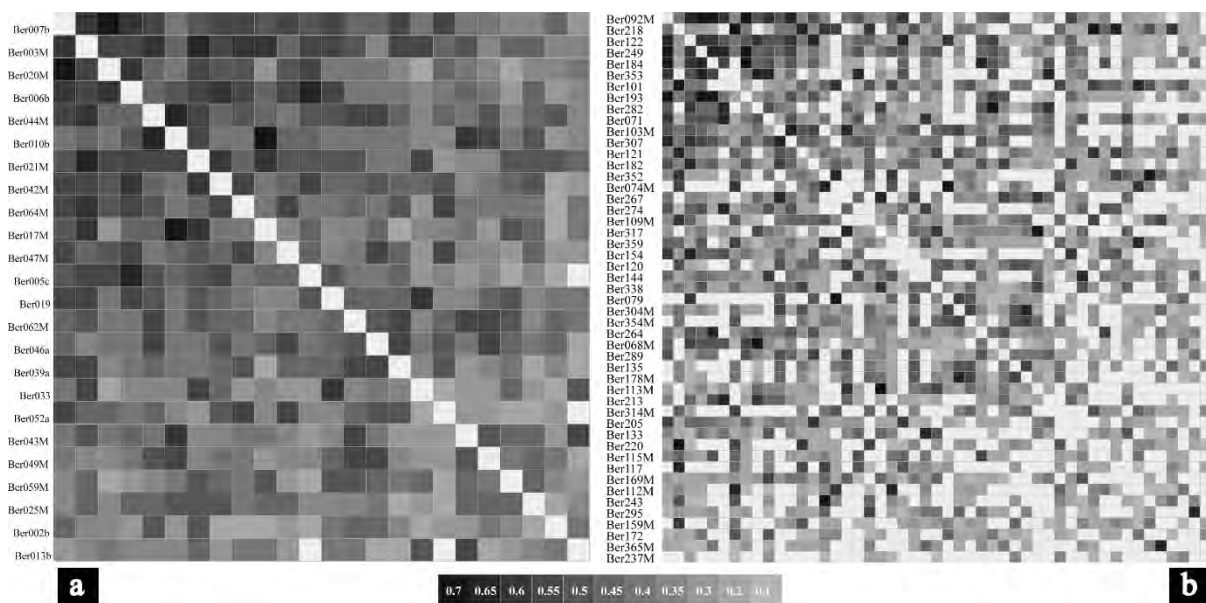


Figure 31: Correlation matrix illustrating the very good synchronization of live trees (a) and charcoal (b). Black color indicates the quality of correlation

Our chronology was compared with two other beech chronologies from the Pyrenees: the Iraty forest chronology (Bourquin-Mignot and Girardclos, 2001) and the Baish Aran (Cavin and Jump, 2017). Correlation with the Iraty forest chronology (located about 200 km as the crow flies on the same slope of the French Pyrenees), was very strong with a Student t-test around 6.85, and a mean correlation of 0.48. It was weaker with the Baish Aran chronology located on a southern slope in the Spanish Pyrenees (53 km as the crow flies) with values of 3.6 for the Student's t-test and of 0.33 for the mean correlation (Figure 32).

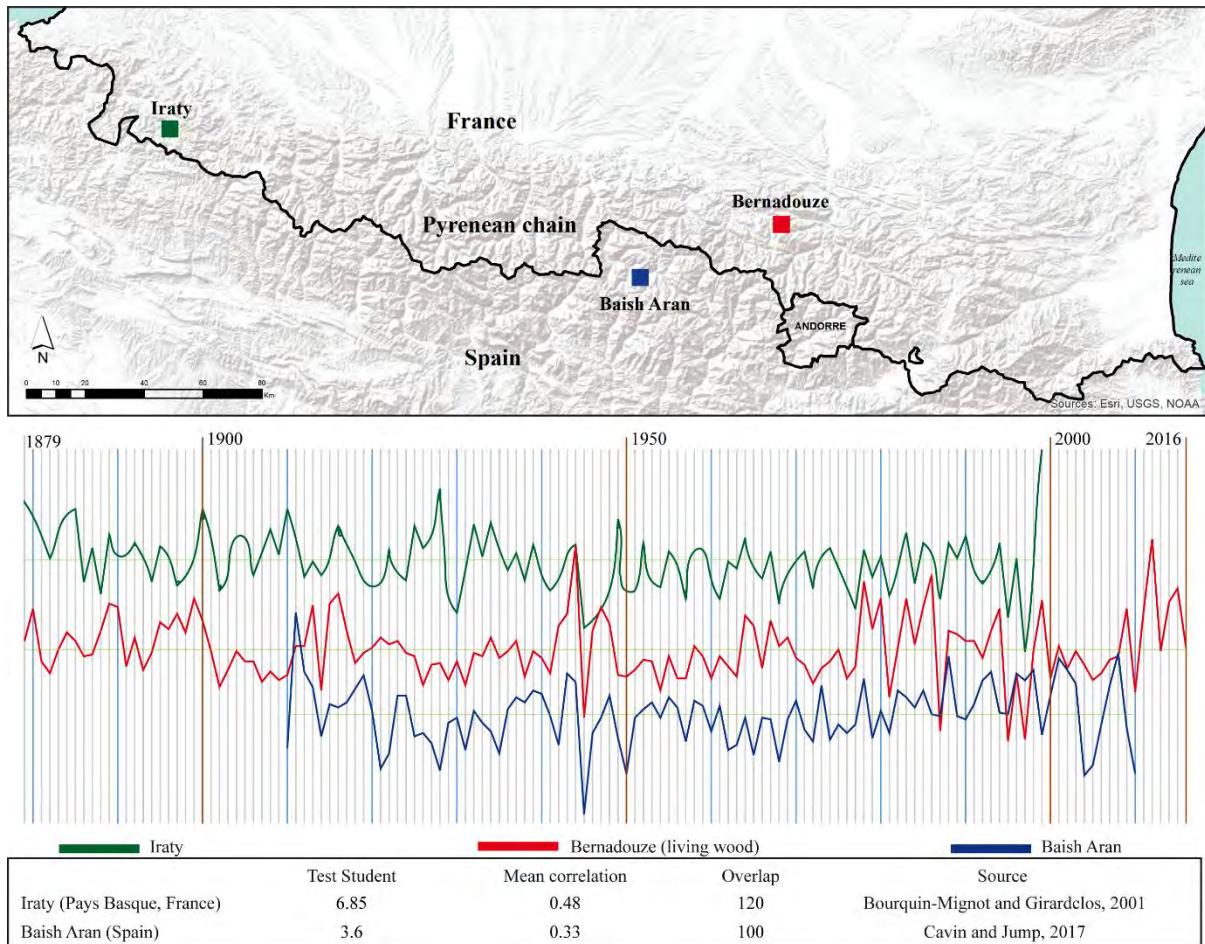


Figure 32: Comparison of the master chronology of the Forêt de Bernadouze (red) with the chronologies of the Iraty Forest (green, French Basque Country) and Baish Aran (blue, Spanish Pyrenees). The table at the foot of the figure indicates the main statistical results of the cross-dating processes

3.4. Charcoal kiln master chronology

In total, 104 charcoal fragments from SU 2 and 199 from SU 3 were measured. The mean length of individual charcoal chronologies was 31, with a maximum of 66 years and a minimum of 6 (Annexe 5: Tableau 2). The charcoal ring widths varied between 0 (missing rings) and 25 mm, with a mean of about 4 mm.

Only 167 fragments presented at least 30 rings i.e 55.1% of total. The analysis and comparison of these series allowed the selection of 49 individuals (20 from SU 2 and 29 from SU 3) exhibiting very high cross-correlations for constructing a master chronology of 65 years. The average correlation between individual series was 0.6 and the average Student's t-test was 7.1. The square correlation matrix showed the good quality of cross-dating of these series (Figure 31b). Using the master chronology (felled trees) of the “Forêt de Bernadouze”, we were able to cross-date the CK master

chronology for the 1878-1942 period, but we preferred to keep only the 1881-1941 period, for which the accuracy of the cross-dating is higher, with a Student t-test value of 10.4 and a mean correlation of 0.7 (Figure 33).

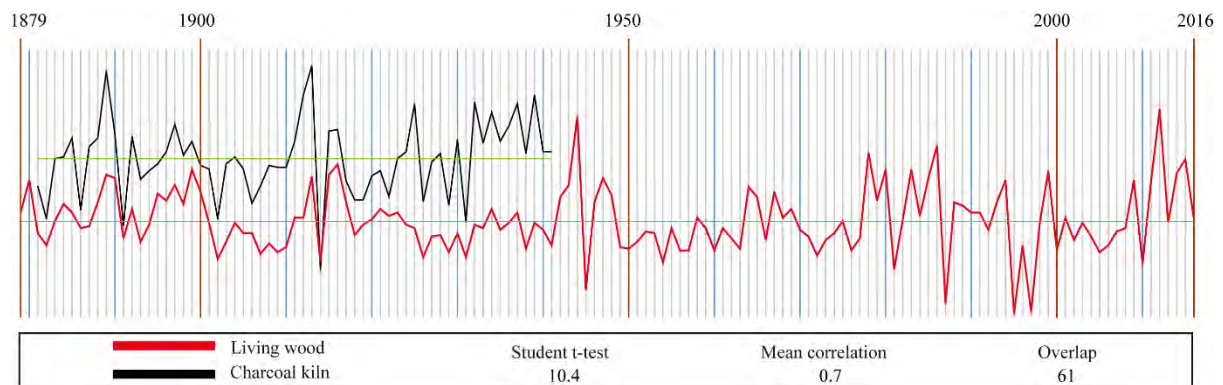


Figure 33: Interdating charcoal chronology with live wood chronology. The table at the bottom indicates the main statistical results of the cross-dating processes

Using the charcoal master chronology, we were able to cross-date 33 additional charcoal fragments that were first excluded. These 33 new samples enabled us to obtain more charcoal fragments with bark. On the 82 total accepted fragments, 16 had retained the bark. Based on this dataset, 8 different felling years between 1924 and 1942 were obtained with certainty (Figure 34a, b).

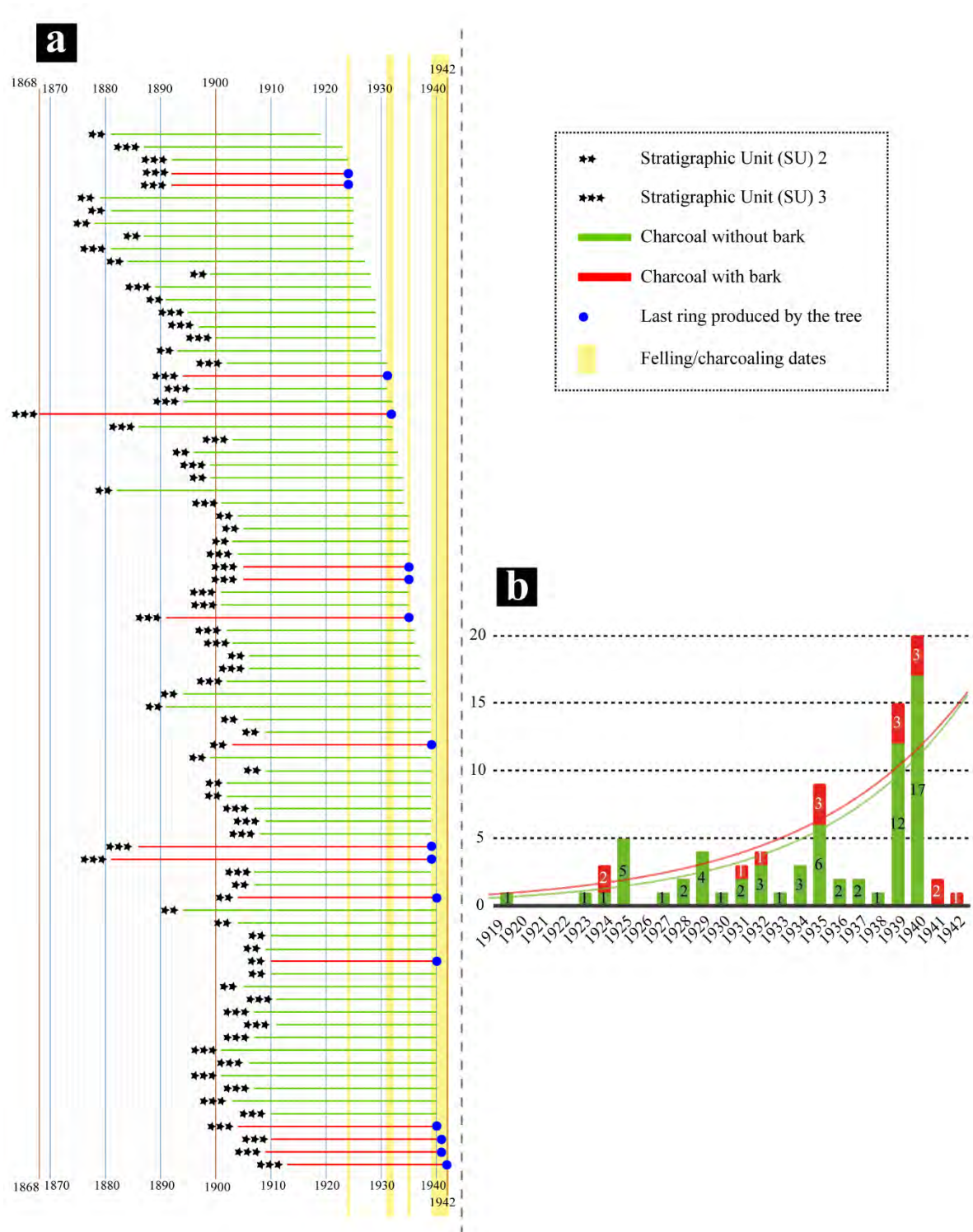


Figure 34: Diagram of the 82 dated charcoal series presented as horizontal bars. Stars represent the number of the stratigraphic units (SU) from which the charcoal fragments come. Fragments without bark are indicated in green and fragments with bark in red. Blue points indicate the last ring produced by the tree only on charcoal with bark and yellow vertical lines indicate dates of felling. (b): Time course of use of the terrace illustrating the trend of charcoal production on the CK. Green color represents charcoal without bark and red color charcoal with bark. We can see an intensification from 1939

4. Discussion

4.1. Characterisation of the CK record

The combination of archaeological and micromorphological observations allowed us to better characterise (i) the CK fill, i.e. the archaeological record used to reconstruct past charcoal production and related woodland harvesting, (ii) the relative chronology of charcoal deposits. The two approaches also highlight some of the taphonomic processes that have affected the CK infilling and evidence the multiperiod nature of the CK use.

The CK terrace was established on the local regolith observed in MFT_A (SU 6). This MFT corresponds to a forest soil deep mineral horizon formed by the alteration of the underlying dolomitic marlstone and, to a lesser extent, by input from the erosion of the surroundings metamorphic and crystalline formations (Trenet, 1997). Subsequent deposits (MFT_ B to E, SU 5, 4, 3, and 2) recorded a succession of phases related to the use, maintenance and abandonment of the CK.

Phases of actual use of the CK are best exemplified by in-situ thermally altered sedimentary deposits (MFT_D) and reworked charcoal fragments, corresponding to surfaces on which the kiln was set and operated. Similar, but reworked, oxidized materials are also observed in other MFTs and suggest that in several instances these surfaces were disturbed. Indeed most of the CK depression fill is formed by a mix of redeposited mineral and organic residues related to charcoal production (MFT_C, SU 3 and 2). This result was expected considering that most of the produced charcoal was usually recovered and the terrace cleaned after the long process of charring (Battesti, 1992; Izard, 1992; Lugli and Pracchia, 1995; Montanari et al., 2000; Raab et al., 2017). Therefore, it is difficult to accurately evaluate the number of clearance and reuse phases, partly because of their own destructive nature, but also because their remains include decaying organic material in a biopedologically active environment and subject to bioturbation by soil mesofauna and root action (Kooistra and Pulleman, 2010; Bertran et al., 2017) sometimes complemented by climatic processes such as freeze/thaw cycles (Vliet-Lanoë, 2010). Thus, this combination of anthropogenic (practices) and taphonomic factors led to a mixing and homogenization of originally

differentiated deposits and the macroscopic appearance of the fill as a homogeneous black layer.

Based on micromorphological results, the depression infill displays obvious microstratigraphic succession, notably because of the intercalation of MFT_B with MFT_C. On the margins of the CK, a succession of layers can be observed that indicate this sequence, whereas in the center the deposits are much more homogeneous. MFT_B is formed by rounded aggregates of material similar to the local sediment that may correspond to colluvial input into the depression related to wall collapse, potentially favoured by weathering (Langohr, 2000). This assumption is verified both at the edge of the structure, with material additions characteristic of CK edge collapse backfill, and in the centre of the CK where a similar deposit is present. Those materials are also regularly affected by biopedological agents leading to blending with combustion residues from over- and underlying deposits. This pattern implies, therefore, a potential mixing of charcoal fragments from different charcoal production episodes in SUs 2 and 3. Lastly, the summit of the depression fill corresponds to a humic horizon (MFT_E, SU 2), which represents the development of forest soil (Gerasimova and Lebedeva-Verba, 2010) after the last episode of the CK use.

Overall, a succession of different episodes of charcoal production is detected through microstratigraphy where it was otherwise undetectable by macroscopic observation. Some are observable through the presence of in-situ thermally altered sediment (MFT_D), but others are only evidenced through their reworked residues (MFT_C). The infilling of the depression by unaltered sediments points to abandonment phases indicating discontinuous charcoal production activities. This kind of multiperiod use was expected for this type of structure and activity (Dupin et al., 2019), but the assessment of the different types of activities conducted and their precise chronology remains a challenging endeavor because of their destructive nature and their taphonomic context (Raab et al., 2017).

The anthracological remains in such a structure are very abundant, but their state of preservation and location are clearly affected by charcoal production practices (e.g. raking out of charcoal, cleaning, reuse of burnt charcoal-rich earth) and also bioturbation and weathering processes (e.g. soil mesofauna, root action, frost cycles). Consequently, these charcoal remains are often subject to further fragmentation

(Elmer et al., 2015) and subsequent vertical and lateral displacement. As a result, charcoal fragments sampled from SUs 2 and 3 likely represent a palimpsest of several different charcoal production phases carried out on the terrace (MFT_C).

4.2. Accuracy of the CK master chronology

The statistical report for the chronology of Bernadouze's CK has a Student's t-test value of 10.4 and a mean correlation of 0.7. Comparison with similar studies (Annexe 5: Tableau 3) shows that results of our cross-dating are in the range of those obtained in previous studies (Student's t-test ranging between 3.7 and 12.2 and mean correlation between 0.6 and 0.7), which highlights the high robustness of the **chronology of Bernadouze's CK. Indeed, in France, the experimental study conducted by Blondel et al. (2018)** on the site of Saint-Paulien (Haute-Loire) gave a 67-year chronology built using 4 charcoal fragments and validated with 7 regional chronologies with Student's t-test values ranging between 3.7 and 5.5. In the Schwaz/Brixlegg region (Tyrol, Austria), charcoal fragments from the mine of Mauk E allowed the construction of a 149-year master chronology, based on 133 charcoal samples, which was cross-dated with two regional chronologies, giving Student's t-test values of 4.5 and 5 (Pichler et al., 2013). In Patagonia (Argentina), 3 charcoal fragments from the archaeological site of Cerro Pintado give a 50-year chronology with a mean correlation of 0.6 with a regional chronology (Fermé and Villalba, 2011). In the USA, the 72 charcoal samples from the CKs of Old Greenwood and Gray's Crossing (Truckee, California) allowed the reconstruction of a 122-year master chronology that was cross-dated with one regional chronology giving a Student's t-test value of 9.3 and mean correlation of 0.6. In Mt Hope (Central Nevada), a floating chronology of 100 years based on 12 samples was cross-dated with a local chronology giving a Student's t-test value of 10.6 and a mean correlation of 0.7. Finally, in Central Nevada, the 202-year floating chronology constructed based on 41 charcoal samples from the Cortez site was cross-dated with a Student's t-test value of 12.2 and a mean correlation of 0.6 (Strachan et al., 2013).

We are aware that the high Student's t-test and mean correlation values we obtained may be influenced by the short length of both the individual charcoal chronologies, for which we got a maximum length of 66 years, and the master chronology, 61 years.

However, the master chronology length is comparable to the length of the chronologies of Saint Paulien and Cerro Pintado, which were constructed with less than 5 samples. In addition, the CK charcoal master chronology has been cross-dated (contrary to some others except those of the USA) with a local living tree chronology built using beech trees growing on the same site. The high correlation values resulting from the cross-dating (charcoal vs living tree chronologies) allow us to confirm the hypothesis according to which, in the context of charcoal production, burnt wood is almost always collected close to the site of charcoal production. On the other hand, some samples showed strong correlation with very similar growth patterns suggesting an ecologically identical supply location (Blanc-Garidel and Wicha, 2019) or a common tree origin (Pichler et al., 2013).

Moreover, we used only charcoal which retained at least 30 rings to build the master chronology, although other studies suggested using charcoal fragments with at least 50 rings (Kuniholm, 2016; Blondel et al., 2018). The silvicultural treatment implemented in the “Forêt de Bernadouze” was the “coppice selection system” (*taillis fureté* in French), which was considered as the best suited for European beech (Salvador, 1930; Nicolescu et al., 2018a). This system consists of cutting on each stump only shoots that have reached a target diameter, which the age determines the rotation. In the Forêt de Bernadouze, before 1892, the total cycle of cut rotation was probably ca. 50 years (maximum age reached by trees) including several felling cycles probably fixed to ca. 15 years. From 1920, the total cycle of ca. 48 years included three rotations of 16 years. Consequently, the age reached by shoots used for charcoal making was in theory about 10-16 years old minimum and about ca. 48-50 years old maximum.

4.3. High-temporal chronological reconstruction of charcoal production activity on the target CK terrace

4.3.1. A non-intensive initial phase of charcoal making

The deeper MFT_C was observed in Bern 1_b and Bern 2-3_b layers and confirmed an early charcoal making phase on the terrace. The substratum was excavated by charcoal burners to make a flat area, slightly curved, and accommodate a wood pile of about 5 meters in diameter. This size corresponds with the average diameter of the CKs detected in the Forêt de Bernadouze with 5.1 x 4.7 meters in diameter, and

elsewhere in the mountains of the northern Pyrenees (Bonhôte et al., 2002). According to Bonhôte (1998, pp. 220–223), in mountain areas this diameter could correspond to **CKs consuming up to 15 to 20 “steres” (cubic metres) of wood. The construction** technique of the type of kiln used in the Pyrenees is less well known than those found in other regions such as Liguria or Portugal (Poggi and Métaillé, 1998). In the studied CK, the remains of this former episode were thoroughly scraped, thus there is very little evidence with which to reconstruct the process. However, it is not possible to conclude if this phase involved a single episode of the use of the terrace (only one CK) or different successive uses. In the Mediterranean region, several charcoal making episodes (up to five successive events) can take place on the same CK in a single year (Battesti, 1992). It is possible, therefore, that this first phase of exploitation probably hosted several episodes in a short period of time. However, there are no historical records from the Pyrenean area to support this hypothesis.

No charcoal was collected and studied from the Bern1_b and Bern2-3_b layers corresponding to SU 5 and the deepest part of MFT_C. Therefore it is not possible to date precisely this first charcoal production event. Based on our knowledge of the **charcoal production chronology in the “Forêt de Bernadouze”, we hypothesise that this** former phase is potentially attested to elsewhere in this area. In addition, it may be only a few years or decades ahead of the next. Indeed, two CKs were radiocarbon dated at the same time i.e. between the end of 19th and the beginning of the 20th c. with a high probability of dating from the 1811-1926 period (71.5% of probability) (Poz-73024, 65 ± 30 BP, 1691-1921 (95.4%) Cal AD and Lyon-14958 (SacA-53114), 80 ± 30 BP, 1690-1926 (95.4%) Cal AD)). The anthracological study of these two CKs also showed a taxonomic composition similar to the target CK discussed. While one CK was composed almost exclusively of beech (97.4%) with some trace of fir (1.5%), the other CK composition indicated the combined use of beech (75.5%) and fir (23.6%). It could therefore be envisaged that this first charcoal making event can be dated to the early 20th c. Historical documentation indicates that wood harvesting operations were conducted on a 16-year rotation and were characterised by 8 biennial cuts (Chassinat, 1892; Rochebrunel, 1920). The rotation set between 1906 and 1921 could therefore correspond to the initial phase of charcoal production recorded in the CK.

The MFT_B, observed both at the edge (Bern1_c) and in the middle of the terrace (Bern2-3_c) and corresponding to SUs 3 and 4, contained inputs of eroded sediment from the edge of the CK terrace. This partial filling of the terrace, attributed to the collapse of the edges, suggests an abandonment phase. However, the duration of this phase of abandonment, which probably ranged from one to several years remains difficult to accurately date. In mountain areas, the duration of the infilling process depends mainly on the instability of the environment (i.e erosion, landslides, often accentuated by acute slopes) and on the combined effects of climatic and edaphic factors (Izard, 1999; Langohr, 2000).

Dupin et al. (2019) showed that the reuse of a CK, without a long period of interruption, generally results in a homogeneous stratigraphy where abandonment markers are completely removed by cleaning. This evidence suggests that a more or less prolonged interruption in the use of a CK may result in the creation of an abandonment layer interspersed between the charcoal sequences. This hypothesis presents the best fit with the evidence collected from the present study. Comparable observations on other CKs have been interpreted as an indication of abandonment and multiperiod use of the terrace (Dubois et al., 1996; Izard, 1999; Montanari et al., 2000; Nelle, 2003; Gebhardt, 2007a; Rouaud, 2013; Raab et al., 2017).

Repeated combustion on one site can lead to relative sterility of the soil, which can take several decades to recover (Acovitsioti-Hameau, 2001b; Carrari et al., 2017) and lead to its abandonment. The abandonment also may be directly related to the management of the surrounding forest resource. The CK remains represent material **evidence for the management of a reduced surface area of the forest (called “parcel management” by Fabre and Gervet (1992)).** Availability of wood fuel is not infinite, and **this forces the temporary abandonment of a “parcel” for the time coppice/woodland** takes to regenerate (Battesti, 1992). This refers to the notion of the logging district, based on a rotation of cutting cycles (Acovitsioti-Hameau, 1995), in theory 8, 10, 12 or 15 years, which is a forest management method very often used in montane areas (Duhamel Du Monceau, 1761; Salvador, 1930) and also very well suited with charcoal production in order to ensure the sustainability of fuel resources.

The partial preservation of the filling layer also suggests that when the terrace was reoccupied for a new episode of charcoal making, (i) the charcoal burner did not

consider it necessary to clean-up and dig-up the flat area, or (ii) the layer of sediment filling the pit was so thick that it was not completely removed. Indeed, when preparing the terrace for a new burning, the charcoal maker would start by thoroughly cleaning the terrace. Due to its quality (fine, smooth and not very porous), this mixture of earth and charcoals was collected in order to cover the new wood pile, allowing a better insulation from the air (Battesti, 1992; Musset, 2000; Acovitsioti-Hameau, 2001a; Hanus, 2018; Rouaud and Allée, 2018). The reuse of abandoned terraces is often advised by modern technical treatises as well as by former and current charcoal burners because of specific soil properties (see the overall review in Krebs et al. (2017), Table 2). Indeed, charcoal production on an old terrace allows better control of pyrolysis and thus, increases charcoal productivity by up to 10% (Larcher, 1986).

4.3.2 The second phase of use of the CK terrace

Overlapping SUs 3 and 2, the MFT_C (observed in Bern 2-3_d and from Bern1_d to Bern1_f) suggested a new phase of charcoal production. In the center of the terrace (Bern2-3_d), the micromorphological analysis of oxidized sediment highlighted several CK uses, which appeared more regular and intense than in the previous phase as suggested by the high concentration of charcoal fragments (Dupin et al., 2017; 2019). The successive episodes of use led to significant mixing of the materials remaining inside the CK. Individual chronologies from two fragments collected in SU 3 (squares 1 and 2) suggested a restart date of activity in 1924 (Figure 34a, b). According to historical documentation, this date also corresponds to the phase of rotation of logging operations between 1922 and 1937, characterised by biennial cuts (Rochebrunel, 1920). Based on our results, we therefore assume that the first charcoal harvesting was carried out in 1924. In 1937, a third 16-year rotation from 1938 to 1953 was approved (Noiriel, 1965). Following the activity restart, several charcoal making episodes were identified based on individual chronologies of charcoal remains in the early 1930s. Two other individual chronologies constructed from a charcoal fragment extracted from SU 3 in square 1 and from another fragment extracted from SU 3 in square 2 provided two additional probable cutting dates in 1931 and 1932 respectively. Although no dates were obtained between 1924 and 1931, the absence of markers indicating the abandonment of the terrace suggests that the charcoal production was probably continuous and intensive (Dupin et al., 2019). It is also highly likely that

charcoal fragments from this period were completely removed during the systematic preparation of the CK to allow renewed use by the charcoal burner. In any case, three new dates provided by the individual chronologies of three other charcoal specimens extracted from SU 3 in squares 2 and 4 point to date a new event in 1935. This event may be linked to the intensification of charcoal production as revealed by micromorphology in this facies. Subsequently, three separate charcoal chronologies from SU 2 (2 charcoals) and SU3 (1 charcoal) (squares 2 and 3) provided three additional dating points in 1939. From 1939 onwards, the new dates obtained became annual: 2 charcoal fragments extracted from SU 2 and 1 fragment from SU 3 dated to 1940 (squares 2 and 4), 2 fragments from SU 3 dated to 1941 (squares 1 and 4) and finally 1 fragment collected in SU 3 (square 2) dated to 1942. These three consecutive dates characterise several successive, very brief and closely spaced, charcoal making episodes located at the transition from SU 3 to 2 (Figure 34a, b). For this period, historical documents confirm that at least three cuts occurred mainly between 1941 and 1942 (Noiriel, 1965). In addition, the presence of reworked, heterogeneous materials, mixing weathered sediments and charcoal fragments, at the top of the CK terrace fill testifies to the occurrence of one or more charcoal making operations. The lumpy microstructure, abundant earthworm droppings and the traces of root action in this part of the facies, are characteristic of the homogenization of this deposit. Once filled in, the terrace appears to have been permanently abandoned since pedogenesis resumed in the form of the establishment of a humus horizon (MFT_E, Bern1_g). The CK was definitively abandoned in 1942 (Figure 34a, b). Finally, the chronology demonstrates that the CK stratigraphy was totally mixed since both the most recent and the oldest charcoal making episodes were found in SU3, while the intermediate episodes were evidenced in SU2. This result is consistent with the CK complex history reconstructed through micromorphological analysis.

4.3.3 Some insights about charcoal burner practices and seasonality

The formation progress of the terminal ring provided new information about the seasonality of harvesting practices for supplying wood. Our results suggested that trees felling usually occurred at the end of the growing season, i.e. in autumn. Previous archeological works already highlighted that fuelwood harvesting for charcoal making was generally done from late autumn until the first sap rises at the end of winter

(Montanari et al., 2000; Fouédjeu et al., 2019a). The period from late winter up to early spring (before the beginning of growing season) is also considered to be the best time to cut coppices for new shoot growth (Nicolescu et al., 2018a). As the felled wood was rarely charred green, it was first stacked in the forest for a few months (Bond, 2007), providing a partially dry wood that was easier to burn. Thereafter, wood was charred, very often as early as the following spring, i.e. in the same year of felling or at the latest at the beginning of the following year (Duhamel Du Monceau, 1761; Percy, 1864; Py-Saragaglia et al., 2018). According to local modern and contemporary historical records charcoal burning season in the mountains of Ariège lasted generally from September, sometimes late August, to June or some cases to July, with a short stop during the months of January and February (Bonhôte, 1998, pp. 220–223). In addition, the log calibre reconstruction of charcoal fragments highlights that charcoal burners used mainly very small-calibre wood (0.8 to 3.6 cm), i.e. shoots with their terminal twigs, confirming that wood fuel came from coppice harvesting (Py-Saragaglia et al., 2018).

Various charcoal fragments lacked terminal rings; these 66 charcoals designate *terminus post quem* dates. However, even though we were unable to date accurately their felling dates, these fragments may highlight one or more additional phases/episodes of charcoal making and/or the continuity of practices on the CK terrace. Indeed, we cannot completely exclude the possibility that the last dated rings correspond to the felling of the shoot. In fact, it is not unusual in an archaeological context for excavation, sampling or sieving to increase the risk of charcoal fragmentation and bark detachment (bark cells are already poorly resistant to carbonisation) (Blondel et al., 2018). But in the absence of sapwood which is not visible on beech wood, it is impossible to validate that the last dated ring corresponds to the date of felling.

Conclusion

This paper (i) highlighted, through the implementation of an original and integrated approach, the complexity of the CK tool, archive and chronology of charcoal making practices, and (ii) provided new insights about the successive phases of use and abandonment of an ancient CK terrace. By combining micromorphology and

dendrochronology, we have also been able to characterise the rate of terrace reuse at high temporal resolution. Micromorphological analysis highlighted the multiperiod nature of the CK use. The dendrochronological study of charcoal fragments allows us to overcome the radiocarbon dating (AMS) limitation by improving the accuracy of CK use dates to an annual resolution. Our study reveals (i) a regular and repetitive use of the CK terrace and (ii) its operation over a very specific period of time. We therefore highlighted two major phases of charcoal production interspersed with a phase of abandonment resulting from the need for (to allow) the beech coppices to grow and to regenerate. The first phase has only been evidenced by the microstratigraphy analysis but cannot be dated due to the lack of charcoal fragments. The second phase was precisely dated between 1924-1942 and was characterised by an intensification of the felling cuts from 1939 onwards becoming annual.

Our study highlighted the relevance of an integrated approach to better characterise the long-term variation in intensity of charcoal production and of its pressure on local woodland. All results underline the need to develop such integrated approaches for the study of post-1650 CKs in order to refine the chronology of charcoal burner practices and better understand their impact on forest ecosystems. Locally, the construction of **the “Forêt de Bernadouze” master chronology has provided** a new dendrochronological reference for beech on the northern slope of the Pyrenees and highlights the need to build new reference sets, at least for the dominant species (beech, fir, oak, pine). As emphasized by [Deforce and Haneca \(2015\)](#), the comparison of charcoal growth patterns with those derived from current forest management models (coppice, coppice with standard, selection coppice system, high forest, etc.) may facilitate the reconstruction of past woodland management practices.

Chapitre V : Synthèse générale

1. Affiner la chronologie du charbonnage dans **l'espace**-temps

1.1. **L'approche globale du site de Bernadouze**

Contrairement aux études pionnières pyrénéennes (Bonhôte and Vernet, 1988; Davasse and Galop, 1994; Bonhôte et al., 2000; 2002; Davasse, 2000), où les enquêtes de terrain portaient simultanément sur de nombreux sites répartis dans une ou **plusieurs vallées, c'est l'approche systématique d'un site délimité, la forêt formant la couronne de la tourbière de Bernadouze, qui a été privilégiée dans le cadre de cette recherche (Figure 1, Figure 2).** Ce choix avait pour but de rendre possible une investigation de terrain *complète* sur une superficie raisonnable, avec des moyens de **prospection "ordinaires", c'est-à-dire essentiellement pédestre, et dont l'analyse des vestiges pour lesquels la datation par le radiocarbone était contrainte par un budget limité, pouvait également s'envisager dans le temps imparti à une thèse.**

L'enquête initiale s'est inspirée de démarches similaires entreprises par Dubois and Métailié (2001) dans la forêt royale de Lercoul (vallée de Siguer) ou encore, par Py-Saragaglia et al. (2017b) dans la vallée d'Aulus, ayant permis de restituer avec une relative précision l'histoire de peuplements exploités pour le charbonnage et les activités minières et métallurgiques depuis plusieurs siècles, voire millénaires dans le cas d'Aulus.

Au final, les différentes campagnes de terrain, qui ont été menées majoritairement **avant la coupe forestière de 2016, ont permis de détecter, d'échantillonner et d'enregistrer dans un système d'information géographique (SIG) dédié, 80 replats de charbonnage répartis sur environ 46 ha sur le site de Bernadouze (Figure 7, Figure 18, Figure 25).** Il reste toutefois difficile d'affirmer que l'exhaustivité recherchée durant les différentes campagnes de prospection ait été réellement atteinte. En effet, certaines zones, notamment celles fortement escarpées n'ont pu être investiguées en raison des **difficultés d'accès et des risques élevés d'accidents.** Il y a également la zone de pâturage actuelle, où en dépit d'un quadrillage assez fin de la zone, très peu de replats ont été retrouvés. Il n'est pas exclu, compte tenu du mauvais état de conservation de certains replats enregistrés dans ce milieu ouvert, que les fortes fréquentations (humaine,

pâturage des troupeaux aient contribué à les rendre difficilement détectables, même **par un œil averti. Le replat 62 est un exemple bien concret (Figure 35)**. Ce replat situé à proximité du chemin pastoral menant à la tourbière a été fortuitement découvert pendant la coupe forestière de 2016 au niveau de profondes ornières creusées par le passage des engins de débardage, mettant à jour **un replat dissimulé qui n'avait pas** été détecté lors de la prospection.



Figure 35: Photographie de la charbonnière 62 mise en évidence par le passage des engins de débardage

Dans le cadre de cette thèse, nous avons aussi entrepris de réaliser une prospection pédestre, non exhaustive, sur la soulane presque asylvatique du Pic des Trois Seigneurs, située en vis-à-vis avec le site de Bernadouze, afin de faire une analyse **comparative des deux sites. La prospection s'est principalement** concentrée sur les espaces pastoraux et les prés localisés sur le bassin versant du ruisseau de Menthé, et **a été étendue de l'aval vers l'amont du ruisseau de Suc en suivant les chemins de montagne menant à l'étang d'Arbu (Figure 36)**. Cette campagne a permis de **géolocaliser et d'échantillonner 21 replats dont 5 ont été datés sur une période allant du VI-VII^e siècles au XV^e-XVII^e siècles (Figure 14, Tableau 1)**. Néanmoins, la prospection **s'est avérée révélatrice d'un fait majeur: contrairement au versant de Bernadouze où quatre fois plus de replats ont été retrouvés, le versant d'Arbu se**

distingue par un nombre plus important des vestiges agropastoraux (cabanes, orri, enclos, cave à fromage etc.). En effet, seulement 6 de ces vestiges ont été retrouvés à **Bernadouze**, à l'opposé d'Arbu où l'on dénombre 14, soit un peu plus du double (Figure 36).

La vallée de Suc-et-Sentenac avait, au début des années 1990, fait l'objet d'une première prospection pédestre qui avait permis de localiser plusieurs zones de charbonnage (Izard, 1989) (Figure 36). Les emplacements des replats n'ayant été ni géolocalisés ni décomptés, il est impossible aujourd'hui d'évaluer précisément leur répartition spatiale et leur densité.

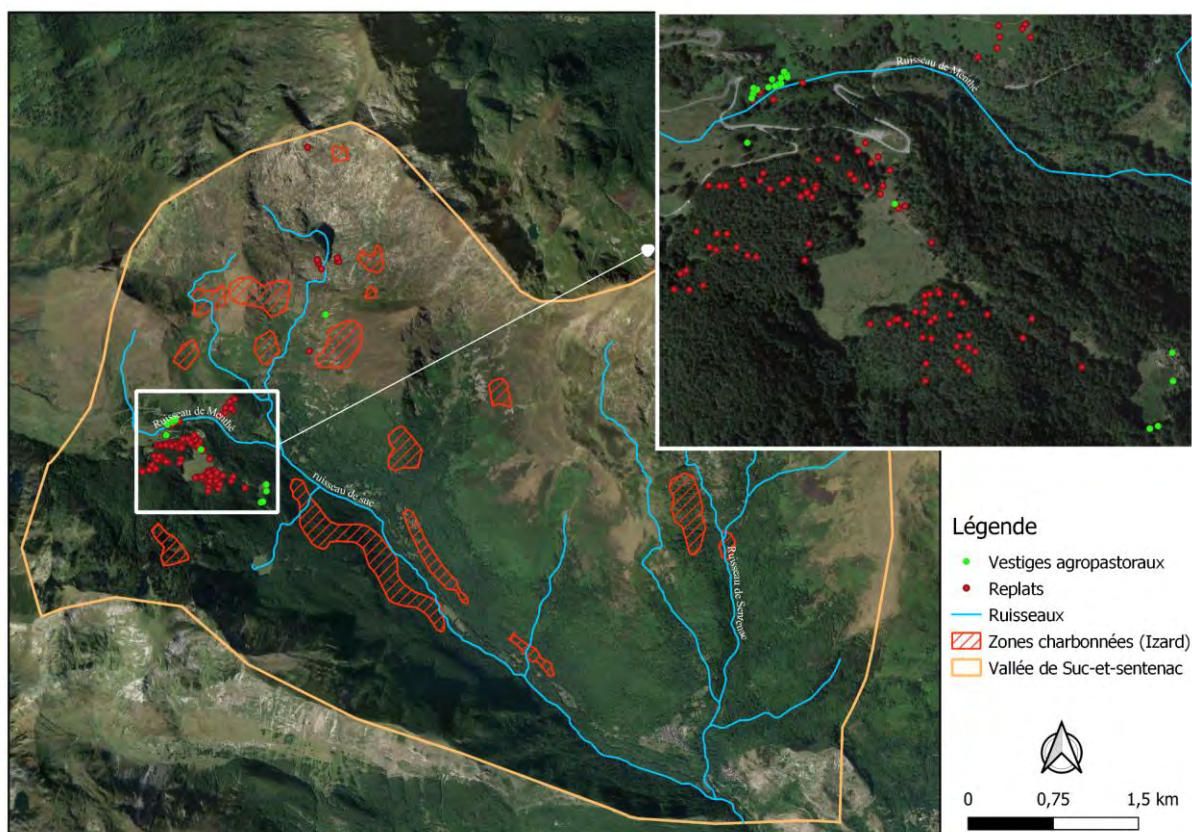


Figure 36: Carte de la vallée de Suc-et-Sentenac mettant en évidence les zones charbonnées déterminées par Izard (1989) et l'emplacement des vestiges archéologiques (charbonnières, oris, enclos etc.) géolocalisés dans le cadre des projets FODYNA et de cette thèse

Ce constat soulève les limites de la prospection pédestre sur de vastes superficies. Les conditions topographiques et de couverture du sol (milieux ouverts et dominance des feuillus décidus), nous paraissent optimales pour un recours efficace à la technologie LiDAR qui pourrait constituer une étude/un projet en soi, impliquant non seulement le traitement des nuages de points au sol, mais aussi la vérification des vestiges sur le

terrain. Une telle approche extensive et systématique permettrait de détecter les replats comme les vestiges agropastoraux qui auraient échappé au radar humain, et **d'étendre l'analyse spatiale de l'occupation du sol et des activités humaines à d'autres zones forestières d'ombrée et aux vastes milieux ouverts** de la soulane avec pour **objectif de vérifier l'hétérogénéité de la répartition des replats de charbonnage et des structures agropastorales**, avec les premières surtout concentrées en ombrée et les secondes en soulane.

Les 80 replats observés à Bernadouze sont distribués sur un transect altitudinal compris entre 1300 et 1500 m d'altitude (Figure 7, Figure 18, Figure 25). La distance moyenne entre les replats est de 320 m. Les plus proches sont distants de 3 m tandis que **les plus éloignés, d'environ 1 km. On observe une concentration élevée de replats** sur des secteurs à pente faible ou moyenne. En effet, 35 % des replats sont situés sur des pentes à inclinaison moyenne (20 à 50 %) et 33 % sur des pentes faibles à modérées (faible inclinaison, jusqu'à 20 %), tandis que 31 % ont été localisées sur des pentes raides (50 à 90 %). Les replats enregistrés sur les pentes raides, contrairement à ceux **des pentes faibles, montrent des signes visibles d'aménagement: les terrasses aplanies** pour y dresser les meules ont été directement excavées dans les pentes. En général, les replats situés sur des pentes raides sont plus petits (2-3 x 3-4 m). Les plus grands replats quant à eux, qui occupent des replats topographiques spacieux, mesurent **jusqu'à 7 x 9 m. Ces résultats semblent en adéquation avec ceux obtenus ailleurs dans** les Pyrénées (Dubois and Métailié, 2001; Bonhôte et al., 2002; Py-Saragaglia et al., 2017b). Toutefois, ces dimensions doivent être prises avec précaution. En effet, les **pent**es raides en zone de montagnes sont plus exposées aux phénomènes d'érosion importants, pouvant entraîner un recouvrement rapide du replat situé en amont après abandon. Dans ces cas précis, les dimensions enregistrées au moment du pointage de la plateforme correspondent davantage à des dimensions à minima que réelles.

La majorité des charbonnières est située dans la forêt à l'exception d'une dizaine localisée en marge, dans la zone de pâturage ouverte qui jouxte la tourbière (Figure 7, Figure 18, Figure 25). Les plateformes situées en forêt sont relativement bien conservées (surface plane et nette) et facilement détectables, qu'elles soient situées sur des pentes fortes ou moyennes. L'érosion potentielle a eu peu d'effet sur leur conservation contrairement aux charbonnières en milieu ouvert, qui révèlent un **niveau de conservation plus faible. L'état de conservation peut aussi varier en fonction**

de l'ancienneté du replat (Davasse and Galop, 1990). Certains auteurs ont fait le lien entre les spécificités des charbonnières (taille, forme, état de conservation) et les caractéristiques des charbons (dimension, poids etc.) retrouvés *in situ* avec leur période de fonctionnement (Ludemann and Nelle, 2002; Knapp et al., 2013). Selon ces chercheurs, les vieilles charbonnières (du point de vue de leur âge radiocarbone) se distinguent généralement par leur petite taille et leur mauvais état de conservation générale. Ce constat fait écho à certaines charbonnières de Bernadouze: les replats 8 et 62, qui sont les plus anciens trouvés à ce jour dans ce versant d'ombrée sont également mal conservés et de petite dimension: 5 x 3 m pour le premier et 3,5 x 3 m pour le second. **C'est aussi le cas du replat 17 détecté sur la soulane du Pic des Trois Seigneurs, à proximité directe de l'étang d'Arbu. Ce dernier est peu profond et mesure 4 x 3,2 m.** En outre, la concentration de charbons de bois conservés est plus faible que dans les autres replats datés de la fin du Moyen Âge et de l'époque moderne.

Une chose est certaine, la répartition géographique des replats permet déjà d'avoir une idée de l'extension spatiale de l'ancienne forêt charbonnée ou encore de la zone d'approvisionnement en bois. Mais qu'en est-il de l'intensité des activités au moment du charbonnage ?

La densité des replats observés à Bernadouze (1,7 replat par ha) et la proximité de certains replats pourraient supposer l'ampleur du charbonnage sur ce territoire. Dans la vallée d'Aulus voisine, les travaux de Py-Saragaglia et al. (2017b) ont mis évidence une densité de charbonnières deux fois plus petite, avec 0,6 replats par ha sur une superficie prospectée (50 ha) relativement proche de celle de Bernadouze (pour rappel, 46 ha). A Lercoul, les dernières prospections font mention de 0,8 replat par ha sur une superficie prospectée avoisinant en gros 95 ha. Ailleurs, il a été rapporté que **sur certaines zones, la densité peut atteindre jusqu'à 15 à 20 plateformes à l'hectare. C'est le cas par exemple, de certains secteurs de moyenne montagne tels que le Prat d'Albis (Foix), l'ombrée de Riverenert (Ariège) ou encore de la vallée de la Lentilla (massif du Canigou, Pyrénées-Orientales) (Izard, 1995; Dubois and Métaillé, 2001).**

Ces exemples montrent qu'il est difficile, en s'appuyant sur la seule base de la densité des replats, de construire une hypothèse solide d'une production de grande ampleur sur un site donné. Cette hypothèse ne peut être soulevée et confirmée sans ambiguïté, que si elle s'appuie sur des données suffisamment robustes, notamment sur une

chronologie à haute résolution de l'activité du charbonnage et surtout sur la **caractérisation de l'intensité des pratiques à l'échelle de chaque replat**. Ce dernier point est depuis plusieurs décennies, un problème majeur en anthracologie en particulier et en archéologie en général. L'intervalle de confiance des datations radiocarbone (60 à 200 ans voire plus, notamment pour la période moderne) **constitue un frein majeur à la perception à haute résolution de l'intensité des pratiques** humaines (faible et peu répétée ou au contraire intense et répétée sur une période dont **la durée pourrait être parfaitement mesurée**). Bien que l'archive conservée au niveau du replat offre une haute résolution spatiale des pratiques et des boisements, elle présente une faible résolution chronologique ne permettant pas de saisir la **temporalité des pratiques (cyclicité, phases d'intensification, phases de relâchement, abandons, reprises etc.)** et donc de mesurer de façon fiable le poids des prélèvements de bois et leur impact sur les capacités de régénération forestière.

1.2. Vers une meilleure connaissance des pratiques de charbonnage et de **la complexité de l'archive "charbonnière"**

Nous touchons ici à l'aspect novateur de cette thèse. Face à la difficulté d'affiner la résolution chronologique des pratiques sur un replat (voir *supra* et chapitre IV), nous **avons développé une approche méthodologique inédite et réussie impliquant l'analyse micromorphologique et dendrochronologique d'une charbonnière contemporaine (Figure 5)**. De la sorte, de nouveaux éclairages concernant la nature particulière de **"l'outil charbonnière"** (Davasse, 2000), son fonctionnement et la chronologie des pratiques ont pu être apportés. Il est désormais possible, en replicant notre méthode **d'obtenir à haute résolution chronologique et temporelle des informations sur le fonctionnement d'un replat ciblé**.

Certaines études récentes impliquant la micromorphologie avaient mis en évidence que les replats présentant une couche charbonneuse stratifiée résulteraient d'une utilisation occasionnelle de la terrasse, tandis que celles dites non-stratifiées étaient plutôt liées à des périodes de productions intensives et répétées (Dupin, 2018; Dupin et al., 2019). A Bernadouze, l'étude micromorphologique de la charbonnière contemporaine dont la fouille par sondage avait mis en évidence une faible stratification, montre deux principales phases de production entrecoupées d'une période d'abandon (Figure 28, Figure 29, Figure 30). Faute d'avoir suffisamment de

charbon de bois, la première phase, décrite comme non intensive par la micromorphologie, n'a pu être datée par la dendrochronologie. Les restes de cet ancien épisode ont été quasiment détruits par les différentes opérations de nettoyage de la charbonnière (chapitre IV). Il y a donc très peu de preuves avec lesquelles reconstruire les pratiques et leur temporalité. La deuxième phase a pu être datée sur la période 1924 à 1942. **L'analyse micromorphologique de cette phase a relevé des indices de réutilisation et d'intensification de la production. Même s'il reste encore difficile d'évaluer précisément leur nombre exact, ces résultats supposent que les épisodes de charbonnage sur un même replat pouvaient être très proches, probablement annuels.** La dendrochronologie a permis de confirmer cette hypothèse puisque nous avons daté plusieurs épisodes de charbonnage annuel à partir de 1939.

L'essentiel des replats de Bernadouze, qui s'étendent pour la majorité sur une profondeur de 40 à 60 cm présente un profil noir et homogène, qui serait caractéristique d'une production importante et régulière à une période donnée. En s'appuyant sur ce constat et sur les résultats dendrochronologiques et micromorphologiques de la charbonnière contemporaine, on peut supposer **concernant les replats datés aux époques plus anciennes, des phases d'exploitation plus ou moins importantes pouvant être continues ou ponctuelles.** Cette hypothèse doit toutefois être nuancée. En effet, en croisant les données historiques et archéologiques, on constate que parmi la centaine de replats détectés par les **archéologues sur le territoire de l'ancien consulat du Vicdessos, au moins 25 ont fonctionné entre le XVI^e et le XIX^e siècle.** Cette production locale qui a été régulièrement suppléée par des approvisionnements extérieurs (chapitre II) **nuancerait l'hypothèse initiale d'une exploitation forestière intensive pour le charbonnage local dès le Moyen Âge central. Il est donc nécessaire, d'éprouver les mêmes approches dendrochronologiques et micromorphologiques sur ces replats antérieurs afin de mieux évaluer leur fréquence de production.**

2. Diffusion spatiale de la pratique de charbonnage et régularisation des pratiques à partir de la fin du Moyen Âge

L'antraconalyse des 28 charbonnières sélectionnées et étudiées pour cette thèse a permis d'identifier 21 taxons déterminés au rang de l'espèce (5), du genre (12), de la famille (2) ainsi que deux taxons valises (Figure 15, Figure 22 ; Annexe 2. Tableau 1 ;

Annexe 2. Tableau 2). Le taxon valise regroupe deux (ou plusieurs) taxons qui présentent une anatomie très proche et/ou qui ne peuvent pas être différenciés. Les taxons potentiels, qu'ils soient au rang du genre ou de l'espèce, sont associés par un **trait d'union dans leur expression latine**, ce qui correspond aux conjonctions de coordination « et/ou » en langue française (Chabal, 1997).

En général, on suppose que le choix d'utiliser une ou plusieurs essences est motivé par sa disponibilité dans la zone d'approvisionnement directe du lieu de charbonnage ainsi que par la qualité du produit fini recherché (densité, pouvoir calorifique etc.) et son utilisation finale (chapitre III). A Bernadouze, les résultats indiquent par ordre de priorité que, les charbonniers auraient carbonisé le hêtre (81,2% du corpus), et le sapin (15,4% du corpus). **L'exploitation majoritaire du hêtre, justifiée par sa disponibilité dans l'environnement proche, serait aussi liée à sa capacité à produire un rendement important et un charbon répondant aux exigences qualité des métallurgistes (faible teneur en cendre, combustion lente idéale pour le minerais etc.).** Le sapin, quant à lui, malgré sa disponibilité attestée (comme il a également été mis en évidence dans la **vallée d'Aulus par Py-Saragaglia et al. (2017b)**, était priorisé pour la production de bois **d'œuvre (chapitre II et III)**. **Néanmoins, nos résultats ont montré qu'il était aussi carbonisé dans certains cas spécifiques, notamment à partir du XVII^e siècle où les proportions importantes de sapin observés dans les spectres anthracologiques ont été interprété comme la carbonisation des rémanents issus de la coupe des arbres destinés au bois d'œuvre (chapitre II)**. **Ce constat expliquerait le décalage important au niveau de la représentativité du sapin par rapport au hêtre dans le corpus final.** Les autres taxons quant à eux, ont des fréquences relatives moyennes inférieures à 2% (Figure 22).

Comme on l'a vu subséquentment, le bois carbonisé provenant d'activités spécifiques (cas du charbonnage ici) fait l'objet d'une sélection dans le milieu; en ce sens, les informations qu'il apporte concernent en premier lieu l'activité considérée (Chabal, 1997). Ce qui précède met donc en lumière le fait que les assemblages anthracologiques de Bernadouze ne reflètent pas totalement l'image et les proportions exactes des taxons constituant le peuplement exploité au moment du charbonnage. Par exemple, les 19 autres taxons présentant des fréquences absolues inférieures à 2% ne signifient **pas nécessairement leur rareté dans l'environnement mais probablement aussi, la volonté de ne pas les utiliser pour le charbonnage et de les réserver à d'autres usages**

pouvant être très diversifiés. En effet, le filtre induit par l'activité valorisant le peuplement forestier, en l'occurrence ici le charbonnage, ne permet pas de cerner toute la diversité des actions dans le milieu forestier, jetant ainsi le voile sur les autres pratiques comme la production de bois d'oeuvre, la récolte du bois d'affouage, la chasse etc. Le recoupement des données issues de l'archive anthracologique avec celles issues de l'archive historique permet à bien des égards d'éviter certains écueils et d'avoir une certaine idée de la diversité des pratiques en action dans une forêt (Chapitre II) (Py-Saragaglia et al., 2019).

L'analyse spatiale des replats datés répartis dans les différentes unités spatiales d'analyse (USA) permet d'améliorer notre regard sur l'histoire et l'évolution du charbonnage à Bernadouze. Les datations radiocarbone des charbonnières 8 et 62 montrent que les premiers indices du charbonnage s'inscrivent entre le IX^e et le X^e siècle (Tableau 2). Néanmoins, le "temps fort" de l'activité pourrait se situer entre la première moitié du XV^e siècle et les XVIII^e-XIX^e siècles en raison du nombre élevé de replats datés sur cette période (Tableau 2). Toutefois, l'imprécision des dates radiocarbone sur cette fourchette temporelle ne permet pas de dater avec précision cette phase d'intensification (chapitre II).

Au tout début du charbonnage, les pratiques étaient cantonnées dans l'actuelle zone de pâturage ouverte (ASU 1) (Figure 21, Figure 22). La présence de charbonnières sur cette zone indiquerait la présence ancienne de couvert forestier (dont la densité ne peut pas être précisément évaluée), les plateformes de charbonnage étant implantées prioritairement au plus près de la ressource en combustible. Par la suite, cette pratique s'est progressivement développée dans d'autres zones de la forêt (ASU 2, 3, 4), traduisant une spatialisation différente des pratiques, en particulier à partir du Moyen Âge central (Figure 21, Figure 22). De plus, l'analyse des spectres anthracologiques, classés chronologiquement par période historique sur la base des dates radiocarbone (Figure 21), permet quant à elle d'émettre l'hypothèse d'une forêt où se pratiquaient plusieurs usages (pratiques pastorales, production de bois d'oeuvre) et qui aurait progressivement été dédiée au charbonnage (chapitre II). En effet, si au début du charbonnage, on observe une grande diversité taxonomique dans les replats, cette tendance est progressivement remplacée par une utilisation presque exclusive du hêtre manifestement dictée par une gestion et une préférence du charbon de hêtre pour la métallurgie qui se développe (Figure 15). Pour mieux comprendre cette nouvelle

organisation, il faut placer Bernadouze dans un contexte économique-géographique **plus large. Comme cela a été démontré dans le chapitre II, l'économie de l'ancien** consulat du Haut-Vicdessos connaît une croissance et le nombre de charbonnières en fonctionnement dans les principaux foyers de production (Soulcem, Artigue, Arbu) subit concomitamment un boom important (Figure 17). Le glissement observé s'insère donc dans un contexte marqué par le boom des activités métallurgiques, notamment à partir du XVII^e **siècle avec l'apparition de la forge à la catalane** plus productive et plus demandeuse en charbon de bois (Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 13). Ce point est développé plus bas.

3. De la forêt charbonnée à la forêt *cellulose*

Si la forêt de Bernadouze a durant plusieurs siècles été majoritairement exploitée pour la production de charbon de bois en lien avec les activités métallurgiques, on peut se questionner sur les nouveaux usages de la forêt **au moment où l'économie du fer** commence à péricliter (fin XIX^e siècle). En effet, cette étude montre comment le **territoire s'est transformé de façon "abrupte", notamment entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle**, en territoire à dominance agro-sylvo-pastorale. Cette transformation prend plus ou moins source au lendemain des premières réformes forestières du XVII^e siècle à partir desquelles l'influence de l'État sur la gestion des **peuplements devient plus importante (chapitre II). L'emprise étatique est perceptible par (i) l'encouragement, par les autorités royales, malgré l'effectivité du traité d'échange avec le Couserans, à la production locale et à la valorisation par le charbonnage de certains bois jugés pas suffisamment exploités du fait de leur faible accessibilité et (ii) la volonté de convertir certains taillis de hêtre résultant de pratiques de charbonnage "échues" en futaie à partir de la fin du XIX^e siècle. L'Etat rompt donc** progressivement avec les pratiques traditionnelles ancestrales héritées de la fin du Moyen-Age. En effet, dès le XIX^e siècle à Bernadouze, de nouvelles politiques **d'aménagement imposent une nouvelle trajectoire** évolutive à la forêt (chapitres III et IV): les gestionnaires forestiers décident de convertir le taillis jugé peu productif en futaie. Des rotations semestrielles comprenant des coupes de nettoyage intégrant **l'enlèvement systématique du bois mort et dépérissant** sont planifiées tous les 16 ans, dont la première entre 1906 à 1921. En 1920, les rapports d'aménagement font **mention de pousses âgées de 20 à 70 ans et d'un renouvellement de la rotation suivant**

les mêmes conditions sur les périodes de 1922 à 1937 et 1938 à 1953. La conversion en **futaie fut en partie atteinte en 1965. Aujourd'hui la forêt de Bernadouze est majoritairement constituée d'une futaie de hêtre sur souche, progressivement remplacée par des arbres de pleins pieds.** Cette structure forestière montre bien une **forêt exploitée à d'autres fins que la production historique** de charbon et de bois **d'affouage. L'essentiel du bois récolté étant destiné à la production de fibres de cellulose** (chapitre III).

4. Forges et forêts

4.1. Histoire **de l'environnement et de l'industrie du fer**

Cette étude a permis d'apporter un éclairage nouveau sur la pression réelle des activités humaines en lien avec avec l'essor et le développement des activités métallurgiques sur les forêts du versant nord pyrénéen. En effet, sur toute la période étudiée, les données analysées montrent que les communautés valléennes et les seigneurs, ont très tôt pris des dispositions pour assurer la pérennité des ressources en réponse à l'accroissement de la demande et aux évolutions technologiques. Ce que cette étude met en évidence, en croisant les informations sur les années de construction, de destruction des forges et des durées estimées de leur fonctionnement, **ce sont les fluctuations du développement de l'industrie du fer** (Figure 12, Figure 13). On est loin, **d'une industrie médiévale et post-médiévale intense, effrénée et prédatrice des forêts dès le Moyen-Age, voire même dès l'Antiquité** (Dubois, 2000) (Figure 9, Figure 10, Figure 11). **Le débat reste d'ailleurs ouvert sur la datation exacte de son essor et de ses fluctuations (plutôt que continuité) depuis l'Antiquité tardive jusqu'au XIV^e siècle** (chapitre II).

L'apparition de la forge hydraulique au début du XIV^e siècle (qui se traduit dans les **textes conservés par trois mentions**) **ne s'est pas traduite par une augmentation soudaine et significative** de la production de charbon de bois. Elle a plutôt entraîné une brève expansion de l'industrie du fer suivie d'un ralentissement dès le XV^e siècle (chapitre II). Ce constat indique que l'industrie du fer, comparée aux périodes ultérieures, était encore relativement modérée, et que la pression métallurgique sur les ressources forestières était faible à modérée. Les moulins émergentes, utilisant la force hydraulique pour la forge et la métallurgie, ont donc pu se développer en

s'appuyant sur des ressources forestières encore importantes. Le nouveau palier **technologique qu'implique l'apparition** de la mouline n'entraîne pas de crise forestière, mais plutôt la révision des chartes de réglementations (1272, 1301, 1303) visant à encadrer l'accès aux ressources pour des productions à vocation commerciale. Mais le fait majeur de ces politiques de réglementation (**que l'on pourrait qualifier à juste titre de "conservatoire" dans le sens de pérennisation de la ressource**), **reste le traité d'échange/fer charbon conclu entre le consulat du Haut-Vicdessos et le Couserans** voisin en 1347 (Figure 9, Figure 10, Figure 11). Notons que même si aucune crise forestière n'est réellement observée au **XIV^e siècle** (Bonhôte et al., 2000; 2002), la pression sur les ressources est quand même plus précoce, plus forte et plus localisée dans certaines forêts du consulat qu'**ailleurs dans les Pyrénées**. **Le traité d'échange/fer charbon** suppose donc la volonté du consulat du Haut-Vicdessos de préserver ses ressources forestières en s'approvisionnant en charbons de bois dans les forêts du Couserans. En contrepartie, le Couserans, désireux de développer sa propre industrie sidérurgique, a été autorisé à approvisionner ses moulins d'Ercé et de Massat en minerai de fer provenant des mines de Sem. Durant cette phase, force est de constater que l'effet combiné de la réglementation et le transfert d'une partie de l'approvisionnement en charbon de bois chez les communautés voisines par des traités d'échange commerciaux, a très probablement contribué à atténuer la pression des moulins sur les forêts du Vicdessos, qui ne sont manifestement pas **à l'origine d'une** crise forestière située approximativement entre le **XIV^e et le XV^e siècle**.

L'essor entrepreneurial du milieu du **XVI^e siècle s'est traduit par quelques nouvelles** usines sidérurgiques, mais éphémères (Figure 9, Figure 10, Figure 11), établies dans les hautes vallées et soumises à des aléas naturels importants (chapitre II). Contrairement à ce qui a été longtemps soutenu, le véritable essor industriel quant à lui ne se produit qu'à partir de la seconde moitié du **XVII^e siècle avec l'émergence de la technologie catalane qui succède à l'éphémère forge génoise**. **A partir de cette** période, le tissu industriel se concentre dans la partie basse des vallées, près des villages et des routes commerciales (Figure 8). **Durant l'essor industriel, le charbonnage s'intensifie et s'opère dans des forêts bien fournies et diversifiées** comme le révèlent les données anthracologiques (Figure 15A, Figure 17) (chapitre II). Malgré **l'approvisionnement extérieur en charbon de bois au XVIII^e siècle**, les données archéologiques et historiques prouvent la persistance d'un charbonnage local et même

son intensification dans plusieurs parties de la vallée jusqu'à l'interdiction de 1740 (chapitre II). En dépit de cette interdiction, la fabrication de charbon de bois continuait à être pratiquée (Figure 15A, Figure 17), sur autorisation de l'administration forestière, dans les bois privés et ce, sous la surveillance des gardes forestiers (Davassee, 2000).

À partir du XIXe siècle, la production de fer n'est plus le principal moteur de l'exploitation des forêts de montagne. La plupart des approvisionnements en charbon **de bois proviennent d'importations, notamment de basse Ariège, et parfois ils** provenaient des bois du propriétaire des forges, toujours situés en dehors de l'ancien consulat (Bonhôte, 1986; Cantelaube, 2005). Par ailleurs, avant la construction de chaque nouvelle forge, les maîtres de forge devaient également justifier auprès des conservateurs des Eaux et forêts, d'un approvisionnement extérieur en charbon et/ou indiquer dans leur demande, les lieux de leur approvisionnement en bois afin de **minimiser l'impact sur la forêt locale.**

En 1807, Dralet, conservateur des Eaux et Forêts, dépeint les forêts comme couvrant encore des surfaces importantes mais morcelées en raison de l'extension des établissements de moyenne altitude et des sites agropastoraux (Davassee, 2000). Le couvert forestier était principalement composé de taillis de hêtre de 10 à 20 ans, parfois mélangé à du sapin avec d'autres arbres à feuilles caduques comme le chêne, le buis, le noisetier et le tremble. La partie supérieure de la forêt de Suc était principalement composée d'une hêtraie-sapinière, et la partie inférieure de taillis de hêtres dégradés (Figure 37). Le couvert forestier a fortement diminué entre 1807 et 1860, atteignant son minimum historique (Davassee, 2000). Dans la vallée du Suc, la hêtraie-sapinière décrite en 1807 avait été presque entièrement transformée en taillis de hêtre en 1860, avec quelques sapins isolés (Davassee, 2000) (Figure 37). A Bernadouze, la fabrication de charbon de bois était encore pratiquée, probablement à des fins domestiques (chapitre IV). L'analyse des charbons de bois confirme la quasi-disparition du sapin vers les XIX^e-XX^e siècles (Figure 15, Figure 22). En 1892, la forêt de Bernadouze était gérée en taillis fureté, avec des hêtres âgés de 20 à 50 ans, puis a été progressivement convertie en futaie (chapitre III et IV).

Si la demande liée à la production de fer a progressivement cessé du fait des importations, les récoltes pour les besoins locaux ont, quant à elles, continuées et se

sont même accentuées. Dans le même temps, après une première expansion à partir du XVIII^e siècle, la population atteint son maximum au XIX^e siècle (Dengerma, 1934; Davasse, 2006; Gibert et al., 2012), augmentant ainsi la demande en bois, et en espaces agro-pastoraux (Davasse, 2006). En effet, le chômage induit par le déclin des activités proto-industrielles oblige les habitants des vallées à des reconversions **professionnelles; les métiers les plus visés étant le pastoralisme et l'agriculture. De ce temps, la forêt passe alors du statut de ressource économique (jusqu'ici gérée dans une perspective de durabilité) à celui de ressource de subsistance (Davasse and Galop, 1991) dont l'exploitation immodérée accouchera plus tard d'une crise écologique sans précédent. On est donc loin, au vu de ce qui précède, des concepts "d'hystérésis" ou de "processus anciens rémanents" souvent avancés par les précédents travaux pour expliquer la crise écologique du XIX^e siècle (Davasse, 2000; 2006). Cette hypothèse, qui implique de loin, la notion écologique d'extinction debt (Tilman et al., 1994) suppose que la crise forestière du Vicdessos est en partie le résultat du contre coup atemporel de plusieurs siècles d'activités métallurgiques et de charbonnage, cumulé à « l'extension contemporaine de l'espace agro-pastoral, due à la croissance démographique et à la reconversion du système socio-économique historique vers un pastoralisme spéculatif » (Davasse, 2000). La relecture historique des archives, opérée ici, permet de nuancer cette hypothèse. En effet, ce travail met clairement en évidence le fait que la surexploitation de l'espace montagnard par les sociétés locales n'a pas été une constante historique mais, au contraire, un phénomène contemporain au ralentissement, puis à l'arrêt des activités métallurgiques, associé au développement non maîtrisé des activités agropastorales.**

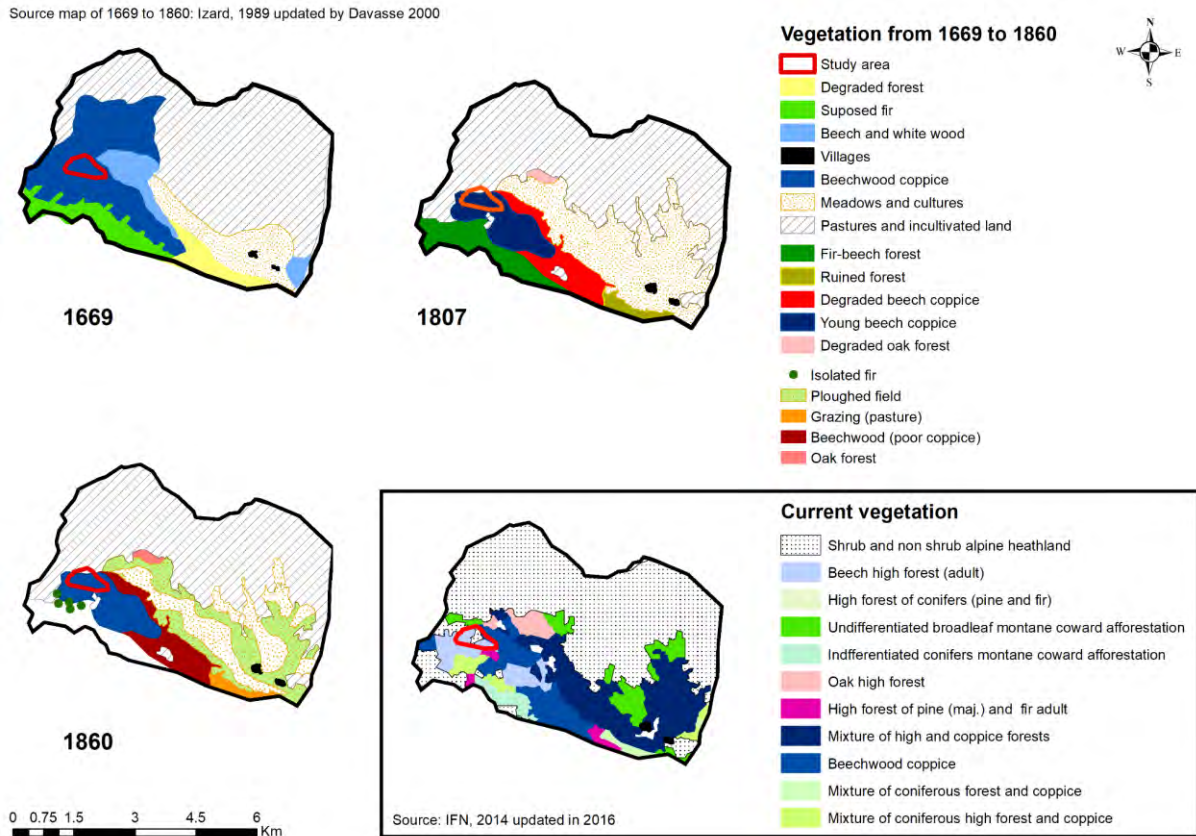


Figure 37: Evolution de la végétation de la vallée de Suc-et-Sentenac depuis 1669

4.2. Pratiques sociales et héritages

Nonobstant l'exploitation continue mis en évidence précédemment, les forêts ont été continuellement maintenues malgré des dégradations (coupe de trop nombreux arbres semenciers limitant la régénération, multi usages etc.) et d'importants changements dans leur structure et leur composition (Figure 15, Figure 23) (chapitre III). Ce maintien du couvert forestier est le résultat de la mise en place d'une gestion raisonnée: pérennisation de la ressource par une gestion adaptée et valorisation de la forêt par la production de combustible.

L'étude des pratiques des charbonniers au travers de l'analyse de plusieurs proxys liés aux pratiques dont le diamètre des bois, permet d'en savoir plus sur cette gestion adaptée à l'intensification des activités métallurgiques. En effet, au-delà des aspects réglementaires et commerciaux révélés par l'analyse des archives historiques, les progrès de l'analyse des charbons ont permis de révéler la pérennité et la cyclicité des usages (Figure 23). L'analyse des données a montré des usages étroitement connectés aux pratiques communautaires et aux politiques de gestion pour garantir la continuité

de la ressource dans une perspective économique et sociale. Cette organisation est **symbolisée par la mise en place d'une sylviculture répondant aux besoins de l'activité métallurgique** et aussi, par la transmission, sans changement significatif, des gestes techniques liés au charbonnage au fil des siècles (Figure 23) (chapitre III).

Les données dendro-anthracologiques (chapitre III) ont mis en évidence que le système sylvicole instauré pour **répondre aux exigences de l'activité métallurgique** était le taillis pour le hêtre (Figure 23, Annexe 4: Figure 3). Mais, parmi le large éventail de systèmes d'exploitation possibles (taillis simple, taillis fureté, l'étêtage ou taillis haut, etc.), il est encore difficile de caractériser avec précision le traitement passé du taillis à partir de la seule analyse des charbons de bois car nous ne disposons pas de référentiels dendro-anthracologiques (classes de diamètres présentent dans un taillis simple de hêtre, dans un taillis fureté etc.) et des patrons croissance propres aux différents taillis. Les données historiques, quant à elles, sont en reste, car avaries de **précisions sur le type de taillis historiquement exploité. C'est le cas par exemple des rapports de l'administration forestière de 1669, 1807 et 1860, où sont faite uniquement mention de la présence de taillis de hêtre. C'est seulement à partir de 1890 où le premier texte d'aménagement de la forêt de Bernadouze fait explicitement mention d'une forêt gérée en taillis fureté (chapitre III).**

Globalement, l'étude des charbonnières de Bernadouze montre que la forêt était gérée en taillis de hêtre (étage inférieur) sous futaie de sapin (étage supérieur) au début du charbonnage (Figure 23). Ce mode de gestion sylvicole intégrant les caractéristiques intrinsèques de chaque espèce (sciaphiles) a été privilégié pour répondre à des besoins différents: le hêtre, qui a la capacité à se maintenir même sous couvert relativement dense dans le jeune âge, et de produire une quantité importante de biomasse dans un **délai court, était prioritairement destiné au charbonnage et à l'affouage des communautés. Néanmoins, n'étant pas par essence une espèce très adaptée au taillis, il n'est pas exclu que les habitants des vallées aient instauré une sylviculture adaptée à cette espèce impliquant la sélection et l'élimination de certains brins au profit de tiges prometteuses. S'il est avéré que le hêtre est espèce qui rejette avec moins de vigueur que les autres essences, d'où son incompatibilité avec le taillis, Teissier Du Cros (1981)** lui reconnaît une exception pour les régions montagnardes et en particulier dans les Pyrénées, où il a été traité, avec réussite sous forme de taillis.

Au sein d'un même peuplement, le sapin était quant à lui manifestement géré et réservé à la production de bois d'œuvre (Figure 23, Annexe 4: Figure 4). Ce constat met en évidence la gestion multi-usage des forêts pour satisfaire tous les besoins des communautés (vie quotidienne, agriculture, bois de construction, artisanat etc.). Par la suite, cette composition forestière mixte et étagée évoluera vers un taillis monospécifique de hêtre (Figure 23). **Cette conversion s'amorce entre le milieu du XV^e et le milieu du XVII^e siècle avec l'intensification des prélèvements de sapins entraînant** sa raréfaction dans les peuplements et sa disparition progressive du couvert forestier limitant ses capacités de régénération (Figure 15A, Figure 22, Figure 23). Les données historiques et dendro-anthracologiques suggèrent que le mode de gestion sylvicole hérité du système précédent était le taillis fureté, répondant davantage aux exigences du charbonnage et surtout, plus adapté à la nouvelle structure forestière (Figure 15B, Figure 23) (chapitre III). **En effet, le hêtre s'adapte aussi au taillis fureté car il facilite** sa gestion et sa régénération naturelle. De plus, il s'accorde aisément à la multifonctionnalité de la forêt et à la combinaison de plusieurs pratiques.

Néanmoins, pour que ce système de taillis fureté soit réussi, il est nécessaire **d'instaurer une gestion particulière impliquant la mise en place d'un cycle de coupe** permettant de maintenir des arbres vigoureux pouvant facilement bien rejeter de souche. En effet, on ne prélève que les tiges d'âges et de diamètres cibles (par exemple, **les tiges de gros diamètre sont moins adaptés car la facilité de rejet s'atténue avec l'âge**), correspondant souvent à un tiers, un quart ou, rarement, à la moitié des rejets de souche (Marié de L'Isle, 1835). La période de coupe (abordée plus bas) joue aussi un rôle important dans la capacité des rejets à repartir vigoureusement (Nicolescu et al., 2018a; 2018b). A Bernadouze, l'analyse micromorphologique et dendrochronologique de la charbonnière contemporaine a mis en évidence une période d'abandon du replat (Figure 30) (chapitre IV). Cette phase d'abandon indique la discontinuité de la production. Au delà de cette discontinuité, ce résultat pourrait être interprété comme (i) la volonté délibérée de laisser le sol de la charbonnière se renouveler: la combustion répétée sur un même emplacement peut conduire à une stérilité relative du sol, pouvant mettre plusieurs décennies à se rétablir (Acovitsioti-Hameau, 2001a; 2001b; Carrari et al., 2017) ou, l'hypothèse pour laquelle nous penchons davantage, (ii) la nécessité de laisser les ressources en bois autour se développer et/ou se régénérer après une période de prélèvements. Il est important de

préciser que cette phase d'abandon correspond dans ce cas, à la période où les gestionnaires forestiers imposent des cycles de coupe tous les 16 ans. Même s'il est connu que ces coupes avaient pour objectif de convertir en futaie le taillis fureté hérité du charbonnage, l'analyse du nombre minimum de cernes de croissance des fragments issus de 28 charbonnières, combinée à l'analyse des données archivistiques conservées, indique qu'un système de rotation semblable aurait été adopté par les sociétés passées pour le hêtre de Bernadouze. En effet, l'âge minimum d'exploitation du hêtre variait de 6 à 15 ans pour 37,1 % des échantillons et de 16 à 30 ans pour 6,1 %. Ces données supposent un cycle total des coupes probablement étendu jusqu'à 30 ans, avec supposément, plusieurs rotations des bois récoltés entre 6 et 15 ans (Figure 23). Cette hypothèse trouve écho au mode de gestion du taillis fureté souvent appliqué en milieu forestier montagnard. En effet, dans les Pyrénées, certains auteurs ont mentionné que la rotation de coupe du taillis fureté est généralement estimée entre 10 à 15 ans pour un cycle total d'environ 30 ans (Salvador, 1930; Nicolescu et al., 2018a; 2018b). C'est presque également similaire dans les Alpes italiennes occidentales et les Apennins, où les rotations sont quant à elles estimées entre 6 à 12 ans pour un cycle total de 36 ans (Coppini and Hermanin, 2007; Nocentini, 2009).

Concernant le sapin, la nette prédominance des petits et moyens bois (2 à 15 cm) qui contrastent avec une faible proportion de la gamme de diamètre attendue pour du bois traité en futaie, c'est-à-dire, de très gros bois (>20 cm) (Figure 23, Annexe 4: Figure 4), suppose l'exploitation probable des rémanents (cime, branche, tige etc.) issus de la récolte des arbres ayant atteint le diamètre d'exploitabilité plutôt que des troncs entiers (chapitre III). Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse d'activités simultanées de production de charbon de bois et de bois d'œuvre dans une même zone forestière. Cette hypothèse est aussi corroborée par des données textuelles. En effet, les archives font mention de plusieurs scieries au XVI^e siècle, dont certaines qui appartenaient à des maîtres de forges étaient probablement situées à proximité de leurs établissements métallurgiques (chapitre II). Au regard de ces données textuelles qui mettent également en lumière la courte durée de fonctionnement de ces scieries, nous supposons que la production du bois d'œuvre dans le consulat de Vicdessos n'a jamais atteint une échelle industrielle comme cela a pu être le cas dans d'autres vallées.

A une échelle d'analyse plus fine, l'étude révèle aussi un calendrier du charbonnage bien calé avec les autres activités des habitants des villages (Figure 23). Les

charbonniers préféraient récolter le bois avec des diamètres bien calibrés entre la fin de la saison de croissance - c'est-à-dire le jaunissement automnal des feuilles des arbres à feuilles caduques - et la reprise végétative - premières montées de sève et **apparition des feuilles à la sortie de l'hiver** - (Figure 23, Annexe 4: Figure 2). Le choix de ces périodes permettait également d'assurer la régénération facile des taillis. En effet, certains auteurs ont montré que la croissance des pousses et la production de taillis sont optimisées lorsque les rejets sont coupés entre la fin de l'hiver et le début du printemps (Nicolescu et al., 2018a; 2018b). Concernant le diamètre des bois, le choix était porté préférentiellement sur des petits calibres (2 à 5 cm de diamètre) pour le hêtre, et des moyens (5 à 10 cm) et gros calibres (15 cm) pour le sapin (Figure 23, Annexe 4: Figure 3, Annexe 4: Figure 4) (chapitre III). Tout bois fraîchement abattu contient beaucoup d'eau, dans des proportions qui varient selon l'espèce, la partie de l'arbre et la saison de récolte (Percy, 1864). **L'analyse des données à Bernadouze suggère quasi systématiquement que le bois n'était pas charbonné au lendemain de la récolte.** En croisant nos données avec l'étude des traités savants contemporains abordant la question du charbonnage, nous avons mis en évidence une période de séchage comprise entre de 2 à 12 mois suivant la coupe (Figure 23, Annexe 4: Figure 6). Pour les charbonniers, le contrôle de la durée de séchage avait pour but de produire un bois moyennement sec qui donnerait un charbon de bonne qualité (Duhamel Du Monceau, 1761; Malepeyre, 1836; Percy, 1864; Svedelius et al., 1875). La recherche de cet équilibre était également synonyme de rendement important et de réduction des pertes. En effet, lorsque le bois est extrêmement sec, il chauffe trop vite et/ou trop fort et brûle davantage, ce qui donne des charbons plus légers qui dégagent peu de chaleur (Malepeyre, 1836). A l'opposé, lorsque le bois est trop humide, il brûle très lentement et produit des charbons de mauvaise qualité (Valerius, 1851). **A l'issue de la phase de séchage, la saison de brûlage démarrait dès le printemps suivant la coupe et se poursuivait au plus tard, jusqu'aux premières tombées de neige.**

Deux siècles après l'arrêt du charbonnage et des activités métallurgiques, le paysage autrefois dominé par le taillis pour le hêtre est aujourd'hui majoritairement recouvert de futaie. L'approche d'écologie forestière développée via le calcul de l'indice de biodiversité potentielle (IBP) a montré que le changement de structure et l'homogénéisation forestière consécutive à ces siècles d'exploitation, a induit une diminution de la capacité d'accueil de la biodiversité actuelle (Figure 24) (chapitre III).

L'enlèvement continu de bois ayant atteint le diamètre exploitable et de bois mort a **probablement contribué à la perte de la capacité d'accueil de la biodiversité, en particulier chez les espèces saproxyliques. Néanmoins, cette forêt ancienne (certitude établie d'un couvert forestier continu depuis au moins l'Âge du Bronze tardif jusqu'à aujourd'hui) et immature (absence et/ou rareté d'indices de maturité comme le bois mort, état biologique des arbres les plus âgés, dendro microhabitats etc.) nécessite une gestion dédiée de par son héritage bioculturel élevé (en raison des droits d'usage immémoriaux qui renforcent le sentiment d'appartenance des locaux à la forêt) et de sa riche et longue histoire forestière.**

5. Conclusion générale

Cette thèse aura, au final, apporté des éléments de réponses aux questions initialement posées. **En premier, l'interdisciplinarité assumée autour de l'étude des charbonnières a été riche d'enseignements tant au niveau du développement des approches méthodologiques inédites et reproductibles (dans d'autres contextes et terrains d'étude) que par la pertinence des résultats obtenus.**

En second, ce travail a permis de réexaminer la chronologie et l'intensité de l'industrie du fer à charbon de bois dans **le Vicdessos. Il en ressort qu'avant la crise écologique** observée à partir du milieu du XIX^e siècle, que les communautés locales ont toujours **œuvré à préserver la couverture forestière par l'institution d'une gestion efficace des ressources. Cette préservation s'est construite autour d'un certain nombre d'outils** réglementaires notamment des chartes réglémentant et/ou interdisant le charbonnage et aussi par des traités commerciaux avec les vallées voisines voire plus lointaines. **Cette étude a également permis de montrer que l'apparition et la diffusion des forges** hydrauliques au début du XIV^e siècle n'a pas entraîné la première crise forestière souvent mentionnée. La nouvelle chronologie révèle un développement non linéaire des activités métallurgiques caractérisé par des temps forts succédés de ralentissements, notamment entre le XIV^e et le XVI^e siècle. Les données montrent **aussi que la véritable impulsion de l'industrie du fer ne s'est produite qu'à partir du XVII^e siècle avec l'introduction de la forge à la catalane.**

En troisième lieu, l'étude de l'histoire de la forêt de Bernadouze et de sa gestion a montré qu'il s'agit d'une forêt ancienne dont l'héritage socioculturel est actuellement menacé. Les activités de production de charbon de bois s'y sont déroulées au moins des IX^e - X^e siècles aux XIX^e - X^e siècles. Par ailleurs, il en ressort que plusieurs siècles de pratiques humaines consécutives ont modifié sa structure verticale et sa diversité spécifique. Ce glissement, dont les grandes lignes sont l'élimination de l'if et du sapin au profit du hêtre, a entraîné l'homogénéisation de la forêt et la diminution de la capacité d'accueil de la biodiversité actuelle. Le taillis sous futaie (hêtraie-sapinière) a été progressivement transformé en taillis monospécifique (hêtraie), probablement traité en taillis fureté. Au-delà de ces aspects écologiques, l'étude de l'art du charbonnier au prisme de l'analyse des bioindicateurs (écorce, hyphes, effondrement

cellulaire, fentes radiales de retrait etc.) et du diamètre des bûches a donné un aperçu du cycle annuel du charbonnage et montré que les pratiques se sont transmises au cours des siècles sans changement majeur. Le bois était sélectionné suivant un calibre précis et selon les espèces. Il était toujours coupé à partir de l'automne et avant la reprise de l'activité végétative **puis séché sur une période pouvant aller jusqu'à 12 mois. La carbonisation débutait à partir du printemps et/ou de l'automne suivant la coupe** avant les premières chutes de neige.

En dernier, la complexité de l'étude des charbonnières s'est retrouvée en partie décomplexifiée par l'approche méthodologique expérimentale construite autour de la charbonnière contemporaine. Il est désormais possible de discerner avec une certaine **résolution la nature complexe d'une couche carbonneuse et de mettre en lumière l'enchevêtrement des pratiques (les différents épisodes de charbonnage, rupture, accélération etc.)** cumulé au fil des siècles dans une perspective chronologique. La perspective chronologique obtenue permet de dépasser les limites de la datation radiocarbone des charbonnières notamment sur celles ayant fonctionnées sur un plateau radiocarbone.

6. Perspectives

Cette partie porte sur les pistes de réflexion qu'il conviendrait de développer dans des travaux de recherche ultérieurs afin d'avoir une meilleure connaissance des phénomènes d'anthropisation sur la longue durée dans le Haut-Vicdessos. Ce sont les pistes suivantes:

1. Affiner la caractérisation des pratiques de charbonnage grâce à l'acquisition en cours de données expérimentales de référence sur le hêtre et le sapin. Ces référentiels **qui implique la carbonisation de toutes les parties de l'arbre (houppier, tronc, branche, tige, brindille, bois issus des coupes de nettoyage etc.)** permettra d'améliorer notre savoir sur les pratiques sylvicoles et la sélection du bois à carboniser. Combiner à cette approche, la caractérisation des bio-indicateurs tels que les fentes radiales de retrait permettra de consolider nos hypothèses sur le calendrier annuel du charbonnage.

2. Affiner la résolution chronologique des activités humaines et des pratiques de **gestion et d'exploitation des forêts montagnardes du Vicdessos, en (1) en précisant les phases d'utilisation d'un replat de charbonnage pour quantifier la production des charbonnières et mieux apprécier l'impact du prélèvement charbonnier sur les peuplements à différentes périodes, (2) en développant l'analyse dendrochronologique croisée des replats de charbonnage (charbons) et du bâti ancien (bois d'œuvre).** En plus, il serait judicieux de réaliser une étude dendrochronologique du taillis vieillis **hérité de l'abandon du charbonnage. La comparaison des patrons de croissance des charbons de bois avec ceux issus de ce taillis vieillis est une piste à explorer pour mieux cerner et restituer les pratiques passées de gestion forestière, précisément entre le XIX^e et le XX^e siècle à Bernadouze.**

3. **Les résultats expérimentaux, impliquant l'étude dendrochronologique et micromorphologique d'une charbonnière contemporaine,** confortent la nécessité de développer de telles approches intégrées à grande échelle sur des charbonnières post-1650 afin d'affiner la chronologie des pratiques et de mieux comprendre leur impact sur les écosystèmes forestiers, notamment sur les périodes situées sur le plateau **radiocarbone. Cette approche peut être complétée par le "wiggle matching" qui est une** méthode de datation qui utilise la relation non linéaire entre l'âge C14 et l'âge calendaire pour faire correspondre la forme d'une série de dates C14 étroitement

espacées avec la courbe d'étalonnage C14. Cette méthode permet de réduire à quelques années l'intervalle de confiance des datations radiocarbone. Elle peut aussi être utilisée plus directement sur des échantillons de bois avec de nombreuses cernes de croissance mais ne pouvant pas être datés par dendrochronologie, où la série de cernes d'arbres de date inconnue peut être comparée à la courbe d'étalonnage 14C construite de manière similaire à partir de bois d'âge connu (Kojo et al., 1994; Ramsey et al., 2001; Galimberti et al., 2004).

4. Intégrer les autres formes de pratiques humaines aux études futures. Il serait **intéressant à l'avenir d'intégrer à l'analyse les prélèvements pour les autres pratiques comme les usages domestiques, l'agropastoralisme, la production du bois d'œuvre, l'artisanat du bois, la chasse etc.** Cette approche plus intégrée impliquant une plus grande diversité des usages liés à la forêt viendra enrichir le débat, et améliorer les **connaissances sur leur impact sur les forêts.** L'agropastoralisme devrait être exploré davantage, notamment à partir du XIX^e siècle où l'information est abondante, afin de mieux évaluer leur impact sur la déforestation. Les périodes historiques antérieures, pour lesquelles la documentation est disparate, devront être abordées par l'archéologie, la datation des vestiges du pastoralisme comme les orris, les abris, les enclos pastoraux etc. Ces études devront permettre de mieux appréhender les modes **d'exploitations conjoints du territoire.**

5. **Comparer les données de l'ancien consulat du Haut-Vicdessos, avec les autres vallées sidérurgiques de l'Ariège ayant également connu plusieurs siècles de pression humaine liées aux activités minières et métallurgiques.** Une étude, pilotée par V. Py-Saragaglia et S. Burri, est actuellement en cours sur **l'ancien consulat de Siguer,** principalement sur la forêt domaniale de Lercoul où les études précédentes ont montré des trajectoires forestières différentes de celles observées dans le consulat du Haut-Vicdessos (Dubois and Métaillé, 2001; Di Rosa, 2017). Cette étude intègre la reconstitution fine de la chronologie des activités métallurgiques en intégrant **directement un questionnaire sur l'impact des autres sources de prélèvement du bois et d'exploitation des forêts (charbon de bois, agropastoralisme, artisanat du bois, affouage etc.).** Ce type d'approche peut se conclure par une réflexion de synthèse comparative sur la gestion des forêts pour la production du combustible par les sociétés passées sur les différentes vallées sélectionnées. Enfin, la chronologie et **l'intensité de l'industrie du fer avant le XIV^e siècle** devrait être davantage étudiée et

précisée. Deux projets axés sur l'archéologie des vestiges de cette activité (FERMAPYR et FERAPO, piloté par A. Dissier et G. Pagès) sont actuellement en cours pour compléter la chronologie déjà existante.

6. Les taillis âgés, qui résultent de l'allongement des cycles de rotation après l'arrêt de la production de charbon de bois, doivent être conservés afin de rompre avec le processus de conversion des peuplements en futaie initié à la fin du XIX^e siècle. Ces patches forestiers offrent des niches écologiques intéressantes en raison de leur structure hétérogène et de la présence de bois mort. Ces taillis nécessitent des pratiques sylvicoles adaptées pour maintenir ces caractéristiques et leurs niches écologiques associées.

7. Décrire et caractériser les peuplements montagnards actuels du Haut-Vicdessos en termes de biodiversité, structure, composition, maturité, ancienneté, mais aussi de résistance et de résilience aux perturbations. **L'ancienneté et la maturité d'une forêt contribuent de manière significative à sa patrimonialisation. Il est important d'étudier en profondeur ces aspects (comme cela a été fait à Bernadouze) et surtout de compiler la mémoire vivante des habitants natifs des l'ancien consulat du Vicdessos, afin (i) de mieux cerner l'importance du lieu dans l'attachement des populations locales à leur forêt et (ii) et de transmettre ces connaissances aux générations futures à travers des activités éducatives et culturelles retraçant l'histoire des forêts (par exemple, des sentiers de découverte, etc.). Une collaboration étroite entre aménagistes forestiers, scientifiques et habitants est, à cet effet, cruciale.**

Bibliographie

Acovitsioti-Hameau, A., 1995. **L'habitat des artisans de la forêt en Moyenne Provence: l'exemple des charbonniers. Provence Historique, n°181. p.411-426.**

Acovitsioti-Hameau, A., 2001a. Aller au charbon... Les sites de charbonnage et leur impact sur les paysages forestiers de la colline varoise. *Forêt méditerranéenne* 22, n°4 329–343.

Acovitsioti-Hameau, A., 2001b. **Pratiques et constructions de l'espace sylvopastoral dans le centre-Var : état présent et rétrospective (thesis).** Aix-Marseille 1.

Adeniji, O.A., Zaccheaus, O.S., Ojo, B.S., Adedeji, A.S., 2015. **Charcoal Production and Producers' Tree Species Preference in Borgu Local Government Area of Niger State, Nigeria.** *Journal of Energy Technologies and Policy* 5, 1.

Alcolea, M., Dufraisse, A., Royo, M., Mazo, C., Luis, M. de, Longares, L.A., Utrilla, P., Fábregas, R., 2021. Dendro-anthracological tools applied to Scots type pine forests exploitation as fuel during the Mesolithic-Neolithic transition in the southern central pre-Pyrenees (Spain). *Quaternary International, Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology* 593–594, 332–345. doi:10.1016/j.quaint.2020.10.029

Allée, P., Paradis, S., Boumédiène, F., Rouaud, R., 2010. **L'exploitation médiévale du plomb argentifère sur le mont Lozère: Archéologie spatiale d'un territoire proto-industriel montagnard.** *ArchéoSciences* 177–186. doi:10.4000/archeosciences.2741

Arnould, E., 1978. Métallurgie au bois et utilisation de la forêt. *Revue Forestière Française* 459. doi:10.4267/2042/21254

Arribet-Deroin, D., 2013. Quantifying iron production in medieval Europe : methodology and comparison with African metallurgy. In: Jane Humphris and Thilo Rehren (Eds), *The World of Iron*. London : Archetype Publications, p. 454-461.

- Arribet-Deroin, D., 2018. **La consommation de charbon de bois par l'industrie du fer : quel saut quantitatif du procédé direct au procédé indirect (Moyen Âge, première modernité) ?** In: Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières, Éd. S. Burri, S. Paradis-Grenouillet, R. Rouaud, Aix-En-Provence, p.133-142.
- Ashton, T.S., 1924. *Iron and Steel in the Industrial Revolution*. Manchester University Press.
- Asouti, E., Kabukcu, C., 2021. Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology. *Quaternary International*, Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology 593–594, 1–5. doi:10.1016/j.quaint.2021.05.013
- Assmann, T., 1999. The ground beetle fauna of ancient and recent woodlands in the lowlands of north-west Germany (Coleoptera, Carabidae). *Biodiversity & Conservation* 8, 1499–1517. doi:10.1023/A:1008974413376
- Audiard, B., Meignen, L., Blasco, T., Battipaglia, G., Théry-Parisot, I., 2020. New climatic approaches to the analysis of the middle Paleolithic sequences: Combined taxonomic and isotopic charcoal analyses on a Neanderthal settlement, Les Canalettes (Aveyron, France). *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2020.11.042
- Baby, F., 1972. *La guerre des Demoiselles en Ariège (1829-1872)*. Cairn, Montbel, Ariège.
- Backer, S., Dörfler, W., Ganzelewski, W., 1992. Frühgeschichtliche Eisengewinnung und -verarbeitung am Kamberg bei Joldelund. Frühe Industrie oder bäuerliche Selbstversorgung? In: Müller-Wille, M, Hoffmann, D (Eds) *Der Vergangenheit Auf Der Spur: Archäologische Siedlungsforschung in Schleswig-Holstein*. Neumünster: Wachholtz Verlag, p. 83–110.
- Backmeroff, C.E., Di Pasquale, G., 2001. Dendrochronological dating of charcoal kilns: a new method for dating historical land use at the upper timberline. In: Dobbertin, K., Bräker, O.U. (Eds.), *International Conference Tree Rings and People*. Davos, 22-26 September 2001, Abstracts. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL.

Backmeroff, C.E., Dobbertin, K., Bräker, O.U., 2001. Historical land-use and upper timberline dynamics determined by a thousand-year larch chronology made up of charcoal fragments from kilns and ancient trees. In: International Conference Tree Rings and People. Davos, 22-26 September 2001, Abstracts. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL.

Baraldi, E., 1993. Siderurgia in eta' moderna, ricerche minerarie, pratiche di fusione, produzione e consumo di carbone (XVI-XVII secoli). Quaderni n°18, Genova, Giugno.

Barbe, É., 1900. Extraits des minutes de maître Claude de Grandmont, notaire à Vicdessos au XVIe siècle, Typographie veuve Pomiès. ed. Foix. 83p.

Barbe, R., 1865. Recueil des titres authentiques, chartes, privilèges, franchises, actes de concessions, règlements divers, délibérations des conseils municipaux, protestations et enquêtes concernant les mines de Rancié. Toulouse.

Bardat, J., Bioret, F., Botineau, M., Bouillet, V., Delpech, R., Géhu, J.-M., Haury, J., Lacoste, A., Rameau, J.-C., Royer, J.-M., Roux, G., Touffet, J., 2004. **Prodrome des végétations de France. Museum National d'Histoire Naturelle, 61, pp.171,** 2004, Collection Patrimoines Naturels, 2-85653-563-1.

Barreteau, D., Dognin, R., Graffenried, **C. von (Eds.), 1997. L'Homme et le milieu** végétal dans le bassin du Lac Tchad, Séminaire du Réseau Méga-Tchad, Sèvres, du 18 au 20 Septembre 1991. IRD Editions.

Barrué-Pastor, M., Bertrand, G., 2000. Les temps de l'environnement, Paysage & environnement. Presses universitaires du Mirail, Toulouse.

Bartoli, M., 2011. Louis de Froidour, 1626?-1685: notre héritage forestier, Les Dossiers Forestiers n°23. Office national des forêts, Paris.

Battesti, V., 1992. Une charbonnière expérimentale. Méthodologie de l'antracologie sur charbonnière pour une approche de la gestion du milieu forestier en Languedoc. Mémoire de Maîtrise. Environnement et Société. Université Montpellier II. 115 p.

- Béal, J.-C. (Ed.), 1995. **L'arbre et la forêt, le bois dans l'Antiquité**. Bibliothèque Salomon-Reinach, Lyon, France.
- Beaune, S.A. de, 2007. Chasseurs-cueilleurs. Comment vivaient nos ancêtres du Paléolithique supérieur. CNRS Éditions.
- Beck, C., Guizard, F., 2019. La forêt ressources. In: Bépoix, S., Richard, H. (Eds.), *La Forêt Au Moyen-Age*. Les Belles Lettres, Paris, France, pp. 107–120.
- Béguier, I., Germain-Vallée, C., Hincker, V., 2011. Étude micromorphologique du Chemin Saulnier : apport à l'archéologie des paysages de la Plaine de Caen (Calvados, Basse-Normandie). *Norois* 121–142. doi:10.4000/norois.3693
- Belhoste, J.-F., 1990. Une sylviculture pour les forges, XVIe-XIXe siècles. In: Woronoff, D. (Ed.), *Forges et Forêts, Recherches Sur La Consommation Proto-Industrielle*,. École des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS), Paris, France. p. 219-261.
- Bellenghi, A., 1816. Articoli sulla coltivazione dei boschi nel Piceno e nell'Umbria e sulla utilita' degli alberi indigeni di d. Albertino Bellenghi abate camaldolese ...** Con note interessanti la medicina indigena, le arti meccaniche, e l'economia domestica. Francesco Bourliè, Roma.
- Benatti, A., Bal, M., Allée, P., Bosi, G., Dallai, D., Mercuri, A.M., 2018. Charcoal Kilns in the Northern Apennines (Italy): Forest Exploitation by Past Societies in Mountain Areas. *Interdisciplinaria Archaeologica - Natural Sciences in Archaeology* IX, 169–178. doi:10.24916/iansa.2018.2.4
- Bergès, L., Dupouey, J., 2020. Historical ecology and ancient forests: Progress, conservation issues and scientific prospects, with some examples from the French case. *Journal of Vegetation Science* jvs.12846. doi:10.1111/jvs.12846
- Bergès, L., Dupouey, J.-L., 2017. **Écologie historique et ancienneté de l'état boisé :** concepts, avancées et perspectives de la recherche. *Revue Forestière Française* 297. doi:10.4267/2042/67863
- Bertran, P., Bordes, J.-G., Todisco, D., Vallin, L., 2017. Géoarchéologie et taphonomie des vestiges archéologiques : impacts des processus naturels sur les

assemblages et méthodes d'analyse. In: in: Brugal, J.-P. (Ed.), *TaphonomieS*. Editions des Archives Contemporaines, Collection Sciences Archéologiques, Paris. pp. 125–166.

Bhattacharai, T.N., 1998. Charcoal and its Socio-Economic Importance in Asia: Prospects for Promotion 12.

Bielenin, K., 1974. Starożytne górnictwo i hutnictwo żelaza w Górach Świętokrzyskich (Ancient Mining and Iron Metallurgy in the Góry Świętokrzyskie (Holy Cross Mountains), Warszawa — Kraków.

Bielenin, K., 1992. Le combustible de la sidérurgie antique des Monts de Saint-Croix en Pologne. In: J.-P Métaillé (Éd.), *Protoindustries et Histoire Des Forêts, Les Cahiers de l'Isard*, p.317-329.

Billamboz, A., Neyses, M., 1999. Das Fürstengrab von Villingen Magdalenenberg im Jahrringkalender der Hallstattzeit. In: In Book: K. Spindler. *Der Magdalenenberg Bei Villingen. Führer Zu Archäologischen Denkmälern in Baden-Württemberg, Band 5*. Publisher: © Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Stuttgart.

Biondi, F., Strachan, S., 2009. An Expanded Tree-Ring Network for Eco-Hydro-Climatic Research in the Great Basin of North America. Presented at the Paper presented at the annual meeting of the Association of American Geographers, Las Vegas.

Biringuccio, V., 1556. *La pyrotechnie, ou Art du feu : contenant dix livres, ausquels est amplement traicté de toutes sortes & diversité de minieres, fusions & separations des metaux, des formes & moules pour getter artilleries, cloches & toutes autres figures. chez Claude Fremy, à l'enseigne saict Martin, rue saint laques.*

Birrell, J., 1969. Peasant craftsmen in the medieval forest. *The agricultural history review, British Agricultural History Society* 17, 91–107.

Blanc-Garidel, F., Wicha, S., 2019. Archéologie du bâti et rénovation urbaine. **La place de la dendrochronologie. L'exemple de Grasse (Alpes-Maritimes)**. In ARCADE.

- Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement. Séminaire interlaboratoires Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme (MMSH), Aix-en-Provence, 10-11 avril 2014, Apr 2014, Aix-en-Provence, France. pp.139-149. fihal-02143978f.
- Blanks, D.R., 1998. Mountain Society: Village and Town in Medieval Foix. In: Reyerson, K., Drendel, J.V. (Eds.), Urban and Rural Communities in Medieval France: Provence and Languedoc, 1000-1500, The Medieval Mediterranean. Presented at the International Congress on Medieval Studies, Brill, Leiden ; Boston, pp. 163–192.
- Blondel, F., Cabanis, M., Girardclos, O., Paradis-Grenouillet, S., 2018. Impact of carbonization on growth rings: Dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites. *Quaternary International* 463, 268–281. doi:10.1016/j.quaint.2017.03.030
- Bond, J., 2007. Medieval Charcoal-burning in England. In: Klápšte, J., Sommer, P. (Eds.), Arts and Crafts in Medieval Rural Environment. Brepols Publishers, Turnhout, pp. 277–294. doi:10.1484/M.RURALIA-EB.3.1147
- Bonhôte, J., 1986. Forges à la catalane et grandes essences forestières : éléments pour une histoire des forêts de l'Ariège. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen* 57, 395–402. doi:10.3406/rgpso.1986.4957
- Bonhôte, J., 1993. Forges à la catalane et évolution forestière dans les Pyrénées de la Haute-Ariège (thesis). <http://www.theses.fr>. Toulouse 2.
- Bonhôte, J., 1998. Forges et forêts dans les Pyrénées ariégeoises : pour une histoire de l'environnement. *Pyrégraph. Aspet*. 337p.
- Bonhôte, J., Cantelaube, J., 1986. Résultats et perspectives de la métallurgie ariégeoise **au XIXe siècle. Etude d'archéologie industrielle (1985-1986)**. Inventaire Général région Midi-Pyrénées, DRAC, Toulouse. 44p.
- Bonhôte, J., Fruhauf, C., 1990a. La métallurgie au bois et les espaces forestiers dans **les Pyrénées de l'Aude et de l'Ariège**. In: **Forges et Forêts. Recherches Sur La Consommation Proto-Industrielle de Bois** (Sous La Direction de D. Woronoff),

Recherches d'histoire et de Sciences Sociales. Ecole des Hautes Etudes Sciences Sociales, Paris, France, pp. 151–212.

Bonhôte, J., Fruhauf, C., 1990b. Métallurgie au bois et espaces forestiers pyrénéens dans l'Aude et l'Ariège. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Sud-Ouest Européen 61, 459–474. doi:10.3406/rgpso.1990.3225

Bonhôte, 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* 197. doi:10.4267/2042/25884

Bonhôte, J., Davasse, B., Dubois, C., Galop, D., Izard, V., Métaillé, J.-P., 2000. Histoire de l'environnement et cartographie du temps dans la moitié est des Pyrénées. Pour une chrono-chorologie. In: Barrué-Pastor, M., Georges, B. (Eds.), *Les temps de l'environnement*. Presses universitaires du Mirail, p. pp.501-515.

Bonhôte, J., Davasse, B., Dubois, C., Izard, V., Métaillé, J.-P., 2002. Charcoal kilns and environmental history in the eastern Pyrenees (France). A methodological approach. Second international meeting of anthracology, Oct 2000, Paris, France 219–228.

Bouget, C., Brin, A., Brustel, H., 2011. Exploring the “last biotic frontier”: Are temperate forest canopies special for saproxylic beetles? *Forest Ecology and Management* 261, 211–220. doi:10.1016/j.foreco.2010.10.007

Bouget, C., Larrieu, L., Brin, A., 2014. Key features for saproxylic beetle diversity derived from rapid habitat assessment in temperate forests. *Ecological Indicators* 36, 656–664. doi:10.1016/j.ecolind.2013.09.031

Bouget, C., Brustel, H., Noblecourt, T., Zagatti, P., 2019. Les coléoptères saproxyliques de France: catalogue écologique illustré. *Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris, 744p. (Patrimoines naturels ; 79).

Bourquin-Mignot, C., Girardclos, O., 2001. Construction d'une longue chronologie de hêtres au Pays-basque. *La forêt d'Iraty et le Petit Âge Glaciaire*. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Sud-Ouest Européen 11, 59–71.

- Bourquin-Mignot, C., Brochier, J.-E., Chabal, L., Crozat, S., Fabre, L., Guibal, F., Marinval, P., Richard, H., Terral, J.-F., Rhery, I., 1999. La botanique, Collections Archéologiques. Éditions Errance, Paris.
- Braadbaart, F., Poole, I., 2008. Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science* 35, 2434–2445. doi:10.1016/j.jas.2008.03.016
- Braemer, F., Sapin, J., 2001. Modes d’occupation de la steppe dans le Levant sud-est au Bronze ancien : les structures liées au pastoralisme. MOM Éditions 36, 69–88.**
- Brossier, B., Poirier, P., 2018. A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts. *Journal of Archaeological Science: Reports* 19, 115–126. doi:10.1016/j.jasrep.2018.02.020
- Buckley, P., Mills, J.E., 2015. Coppice silviculture: from the mesolithic to the 21st century. In: Kirby, K. J.; Watkins, C. (Eds), “Europe’s Changing Woods and Forests. From Wildwood to Managed Landscapes”, CABI, Oxfordshire, Boston, 77-92. pp. 77–92.
- Bühlera, È.A., Cavallé, F., Gambino, M., 2006. Le jeune chercheur et **l’interdisciplinarité en sciences sociales. Natures Sciences Sociétés Vol. 14, 392–398.**
- Büntgen, U., Krusic, P.J., Verstege, A., Sangüesa-Barreda, G., Wagner, S., Camarero, J.J., Ljungqvist, F.C., Zorita, E., Oppenheimer, C., Konter, O., Tegel, W., Gärtner, H., Cherubini, P., Reinig, F., Esper, J., 2017. New Tree-Ring Evidence from the Pyrenees Reveals Western Mediterranean Climate Variability since Medieval Times. *Journal of Climate* 30, 5295–5318. doi:10.1175/JCLI-D-16-0526.1
- Bürgi, M., Bieling, C., Hackwitz, K. von, Kizos, T., Lieskovský, J., Martín, M.G., McCarthy, S., Müller, M., Palang, H., Plieninger, T., Printsman, A., 2017. Processes and driving forces in changing cultural landscapes across Europe. *Landscape Ecology* 32, 2097–2112. doi:10.1007/s10980-017-0513-z

Burley, J., Youngquist, J., Evans, J., 2004. Encyclopedia of forest sciences. Elsevier, Oxford.

Burri, S., 2008. Enquête ethnoarchéologique sur le mode de vie et le savoir-faire des derniers charbonniers de Calabre (Italie) : entre tradition et modernité. Presented at the Cultures, Economies, Sociétés et Environnement du début de la Préhistoire au Moyen-Age : travaux en cours, Actes de la troisième table ronde des jeunes chercheurs en archéologie de la MMSH, Aix-en-Provence, 6 juin 2008, A. Boutet, C. Defrasne, T. Lachenal (dir.), <http://www.mmsch.univ-aix.fr/ecoledoctorale/trjca/burri.htm>.

Burri, S., 2012. Vivre de l'inculte, vivre dans l'inculte en Basse Provence centrale à la fin du Moyen Âge : Histoire, archéologie et ethnoarchéologie d'un mode de vie itinérant (These de doctorat). Aix-Marseille.

Burri, S., 2018. Être charbonnier en Provence à la fin du Moyen Âge. In: In: Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour **d'un Artisanat Méconnu (Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R., Eds.)**. Presses Universitaires de Provence, Aix-en-Provence, pp. 203–214.

Burri, S., Durand, A., Alilou, M., 2010. Way of Life and Technical Knowledge of Moroccan Charcoal Burners: an Ethnoarchaeological Approach (Gharb and Middle Atlas Morocco), Lugli F., Stoppiello A. et Biagetti S., Ethnoarchaeology Current Research and Field Methods Rome 13–14 May 2010 BAR British Archaeological Reports 2472, 2013, 123-128.

Cabau de Fauroune, P., **2021. Massat, vallée des Pyrénées. Volume 2. L'économie du fer.** 306p. Auto édition, Massat.

Cantelaube, J., 1992. Évolution technique et charbonnage des forêts. L'exemple des forges à la catalane dans les Pyrénées. In: In J.-P Métaillé (Éd.), **Protoindustries et Histoire Des Forêts, Les Cahiers de l'Isard, p. 73-83.**

Cantelaube, J., 2005. La forge à la catalane dans les Pyrénées ariégeoises: une industrie à la montagne, XVIIe-XIXe siècle. CNRS, Université de Toulouse-Le Mirail, Toulouse. 805p.

- Cantelaube, J., 2009. Le charbon de bois et la forge à la catalane (Pyrénées, XVIIe - XIXe siècles). in: Menozzi, M. J., Flipo, F., Pécaud, D., Eds, Énergie et société. Sciences, gouvernances et usages, écologie humaine, Edisud, 35–45.
- Carrari, E., Ampoorter, E., Verheyen, K., Coppi, A., Selvi, F., 2017. Former charcoal platforms in Mediterranean forest areas: a hostile microhabitat for the recolonization by woody species. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 10, 136–144. doi:10.3832/ifor1701-009
- Cateau, E., Larrieu, L., Vallauri, D., Savoie, J.-M., Touroult, J., Brustel, H., 2015. Ancienneté et maturité : **deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier**. *Comptes Rendus Biologies* 338, 58–73. doi:10.1016/j.crv.2014.10.004
- Cavin, L., Jump, A.S., 2017. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Global Change Biology* 23, 362–379. doi:10.1111/gcb.13366
- Cevasco, R., Moreno, D., 2015. Historical Ecology in Modern Conservation in Italy. In: **Kirby, K.J. and Watkins, Ch. (Eds). Europe's Changing Woods and Forests. From Wildwood to Managed Landscapes**, Cabi, Boston, Oxfordshire, 227-242. pp. 227–242.
- Chabal, L., 1997. Forêts et sociétés en Languedoc (néolithique final, antiquité tardive): **l'anthracologie, méthode et paléoécologie, Documents d'archéologie française. Editions de la Maison des sciences de l'homme, Paris.**
- Chassinat, E., 1892. Forêt domaniale de Suc-et-Sentenac, aménagement. (Inventaire - chap IV - n°33. **Archives départementales de l'Ariège. Cote archive: 7P1081.** 46p).
- Chevalier, M., 1956. La vie humaine dans les Pyrénées ariégeoises (Thèse). Université de Toulouse. Éditions M.-Th. Génin, Toulouse, France. p 1061.
- Chevalier, M. (Ed.), 1985. Le Bois dans la Gaule romaine et les provinces voisines: actes du colloque. Editions Errance.

- Chidumayo, E.N., Gumbo, D.J., 2013. The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: A synthesis. *Energy for Sustainable Development, Special Issue on Charcoal* 17, 86–94. doi:10.1016/j.esd.2012.07.004
- Chravzev, J., 2006. Collecte du bois de feu et paléoenvironnements au Paléolithique. Apport méthodologique et étude de cas. Paris, Mémoire de Master 2, Université de Paris I.
- Chravzev, J., 2013. Approche expérimentale de la conservation des charbons de bois dans les gisements paléolithiques : processus post-dépositionnels, fragmentation et représentativité des assemblages anthracologiques (These de doctorat). Nice.
- Commarmot, B., Bachofen, H., Bundziak, Y., Bürgi, A., Ramp, B., Shparyk, Y., Sukhariuk, D., Viter, R., Zingg, A., 2005. Structure of virgin and managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland): a comparative study. *Forest Snow and Landscape Research* 45–56.
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A., 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Springer Netherlands, Dordrecht. p394. doi:10.1007/978-94-015-7879-0
- Coppini, M., Hermanin, L., 2007. Restoration of selective beech coppices: A case study in the Apennines (Italy). *Forest Ecology and Management, Traditional knowledge, cultural heritage and sustainable forest management* 249, 18–27. doi:10.1016/j.foreco.2007.04.035
- Courty, M.-A., Allue, E., Henry, A., 2020. Forming mechanisms of vitrified charcoals in archaeological firing-assemblages. *Journal of Archaeological Science: Reports* 30, 102215. doi:10.1016/j.jasrep.2020.102215
- Courty-Fedoroff, M.-A., **1983. Une technique prometteuse pour l'étude des dépôts archéologiques : la micromorphologie.** *Les Nouvelles de l'archéologie* 13, 69–70. doi:10.3406/nda.1983.1190

- Crumley, C.L. (Ed.), 1994. Historical ecology: cultural knowledge and changing landscapes, 1st ed. ed, School of American Research advanced seminar series. School of American Research Press; Distributed by the University of Washington Press, Santa Fe, N.M. : [Seattle].
- Cunill Artigas, R., Métaillé, J.-P., Pélachs, A., Py-Saragaglia, V., Soriano, J.M., Saulnier, M., Badache, N., Galop, D., 2017. Current fir (*Abies alba*) forests in the Pyrenees, are they relictual woodlands of a Holocene glorious past? In: Communication à Colloque. Into the Woods, Overlapping Perspectives on the History of Ancient Forests, 18-20 April 2017, Padova, Italy.
- Cunill, R., Métaillé, J.-P., Galop, D., Poublanc, S., De Munnik, N., 2015. Palaeoecological study of Pyrenean lowland fir forests: Exploring midlate Holocene history of *Abies alba* in Montbrun (Ariège, France). *Quaternary International* 366, 37–50. doi:10.1016/j.quaint.2014.12.050
- Davasse, B., 1989. Restitution de la dynamique historique du paysage forestier des **Pyénées ariégeoises par l’anthraanalyse des charbonnières.**, **Mémoire de DEA**, Université Toulouse-II,.
- Davasse, B., 1998. La forêt du charbonnier et les forêts des paysans dans l’espace des Pyrénées de l’est (Moyen âge à nos jours): étude d’écologie historique : aspects biogéographique, écohistorique et anthracologique : contribution à une histoire de l’environnement (Thèse de doctorat). Université Toulouse-Jean Jaurès, France.**
- Davasse, B., 2000. Forêts, charbonniers et paysans dans les Pyrénées de l’est du moyen âge à nos jours: une approche géographique de l’histoire de l’environnement. Geode., Toulouse. 287p.**
- Davasse, B., 2006. La gestion sociale des ressources naturelles dans les espaces sylvo pastoraux des Pyrénées de l’est (du moyen âge au siècle actuel). In: Beck, C., Luginbühl, Y., Muxart, T. (Eds.), Temps et Espaces Des Crises de **l’environnement, Indisciplines. éditions Quæ, Paris, France, pp. 211–225.**
- Davasse, B., Galop, D., 1990. Le paysage forestier du Haut Vicdessos (Ariège) : l’évolution d’un milieu anthropisé.

- Davasse, B., Galop, D., 1991. Crise écologique, crise sociale et RTM dans une montagne protoindustrialisée : le Vicdessos (Pyrénées ariégeoises). In: Jean-Paul Métaillé (Resp.), *Le Torrent et Le Fleuve. Risques, Catastrophes et Aménagement Dans Les Pyrénées et Leur Piémont (Fin XVIIe-XXe Siècle)*, Toulouse, CIMA-URA 366 CNRS, Rapport Inédit CNRS-PIREN Histoire de **l'environnement**, 204-221. Toulouse, France.
- Davasse, B., Galop, D., 1994. Impact des activités pastorales et métallurgiques sur les **forêts d'altitude dans les Pyrénées ariégeoises (France)**. *Ecologie et biogéographie alpine*, Septembre 1990, La Thuile, Italie. 151–160.
- Davasse, B., Galop, D., Rendu, C., 1997. Paysages du Néolithique à nos jours dans les **Pyrénées de l'Est d'après l'écologie historique et l'archéologie pastorale**. In: *La Dynamique Des Paysages Protohistoriques, Antiques, Médiévaux et Modernes. XVIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Sous La Direction de Burnouf Joelle, Bravard Jean-Paul, Chouquer Gerard. Presented at the XVIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Éditions APDCA, Sophia Antipolis, pp. 577–599.*
- De Oliveira, R.R., Scheel-Ybert, R., 2018. A hidden landscape, the paleo-territory of charcoal makers in Rio de Janeiro, Brazil. In: Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), *Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu*. Presses Universitaires de Provence, Aix-en-Provence, pp. 33–38.
- De Vries, H., 1958. Variation in concentration of radiocarbon with time and location on Earth. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Proceedings, Series B 61*: p94–102.
- De Vries, H., 1959. Measurement and use of natural radiocarbon. In: In Abelson PH, Editor. *Researches in Geochemistry*. New York: John Wiley & Sons. p.69–89.
- Deforce, K., Haneca, K., 2015. Tree-ring analysis of archaeological charcoal as a tool to identify past woodland management: The case from a 14th century site from Oudenaarde (Belgium). *Quaternary International 366*, 70–80. doi:10.1016/j.quaint.2014.05.056

- Deforce, K., Boeren, I., Adriaenssens, S., Bastiaens, J., De Keersmaecker, L., Haneca, K., Tys, D., Vandekerckhove, 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, 681–689. doi:10.1016/j.jas.2012.07.009
- Deforce, K., Groenewoudt, B., Haneca, K., 2020. 2500 years of charcoal production in the Low Countries: The chronology and typology of charcoal kilns and their relation with early iron production. *Quaternary International* S1040618220306406. doi:10.1016/j.quaint.2020.10.020
- Della Fratta Montalbano, M.A., 1678. *Pratica minerale. Trattato del March*. Bologna.
- Delmas, M., 2015. The last maximum ice extent and subsequent deglaciation of the Pyrenees: an overview of recent research. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 41, 359. doi:10.18172/cig.2708
- Delmas, M., Calvet, M., Gunnell, Y., Braucher, R., Bourlès, D., 2012. Les glaciations quaternaires dans les Pyrénées ariégeoises : approche historiographique, données paléogéographiques et chronologiques nouvelles. *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* 61–85. doi:10.4000/quaternaire.6091
- Demoule, J.-P. (Ed.), 2019. *La révolution néolithique dans le monde, La révolution néolithique dans le monde, Histoire*. CNRS Éditions, Paris.
- Dengerma, J., 1934. **Suc et Sentenac, histoire d'un coin des Pyrénées ariégeoises**. Foix, Imprimerie France.
- Descartes, R., 1637. *Discours de la méthode*. Librairie des bibliophiles.
- Devèze, M., 1964. La crise forestière en France dans la 1ere moitié du XVIIIe s et les suggestions de Vauban, Réaumur, Buffon. In: *Actes Du 88e Congrès National Des Sociétés Savantes, Clermont-Ferrand, 1963*. Paris, France, pp. 595–616.
- Devèze, M., 1973. *Histoire des forêts, Que sais-je?* Presses universitaires de France.

- Di Rosa, M., 2017. Analyses anthracologique et dendro-anthracologique des sites de charbonnage de la forêt de Lercoul (Ariège), Mémoire de master II, Université Toulouse Jean Jaurès, 143 p. Mémoire de master II, Université Toulouse Jean Jaurès.
- Diedhiou, A.G., Dupouey, J.-L., Buee, M., Dambrine, E., Laure, L., Garbaye, J., 2009. Response of ectomycorrhizal communities to past Roman occupation in an oak forest. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 2206–2213.
- Disser, A., Dubois, C., 2017. Mines et métallurgie du fer pour les périodes historiques **dans le département de l'Ariège (Research Report No. 2017/346)**. **Service régional de l'archéologie d'Occitanie** ; CNRS, Ariège.
- Disser, A., Dubois, C., 2018. Mines et métallurgie du fer pour les périodes historiques **dans le département de l'Ariège (Research Report)**. **Service régional de l'archéologie d'Occitanie** ; CNRS.
- Disser, A., Dubois, C., 2019. Mines et métallurgie du fer pour les périodes **historiques dans le département de l'Ariège (Research Report No. 2019– 0419)**. **Service régional de l'archéologie d'Occitanie** ; CNRS, Ariège.
- 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, 882–893. doi:10.1016/j.jas.2007.06.013
- Dromart, E., 1880. *Traité de la carbonisation des bois en forêts*, E. Lacroix (Paris). ed, Collection : Bibliothèque des professions industrielles et agricoles ; n° 17.
- Dubois, C., 1995. Forêts charbonnées et archéologie métallurgique en Ariège (Pyrénées françaises). In: *Actes Du Colloque de Besançon, Novembre 1993*. Presented at **the La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie., Annales littéraires de l'Université de Besançon**, 536, série archéologie 40, Besançon, pp. 311–320.
- Dubois, C., 2000. Lercoul (Pyrénées ariégeoises). Un site sidérurgique du IIIe s. de notre ère. *Gallia* 57, 53–62. doi:10.3406/galia.2000.3209

- Dubois, C., Dissler, A., 2020. Mines et métallurgie du fer pour les périodes historiques dans le département de l'Ariège. **Rapport de prospection thématique 2020 (Research Report)**. Service régional de l'archéologie d'Occitanie ; CNRS.
- Dubois, C., Métaillé, J.-P., 2001. Anthropisation et dynamique forestière dans les **Pyrénées ariégeoises à l'époque gallo-romaine. L'exemple de la forêt de Lercoul**. In: Les Ressources Naturelles Des Pyrénées. Leur Exploitation Durant **l'Antiquité**. pp. 7–19.
- Dubois, C., Métaillé, J.-P., Izard, V., 1996. Archéologie de la forêt charbonnée : questions et méthodes, illustrées par l'exemple du site de Lercoul (Ariège). In: **XVII^e Rencontres Internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes**. Antibes, France, pp. 525–540.
- Dufau de Maluquer, A. de, 1900. Le pays de Foix sous Gaston Phoebus: rôle des feux du comté de Foix en 1390, Bulletin de la société des sciences, lettres et arts de Pau, 365p.
- Dufraisse, A., 2002. Les habitats littoraux néolithiques des lacs de Chalain et Clairvaux (Jura, France) : collecte du bois de feu, gestion de l'espace forestier et impact sur le couvert arboréen entre 3700 et 2500 av. J.-C. : analyses anthracologiques (thesis). Besançon.
- Dufraisse, A., 2006. Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. In: A. Dufraisse (Ed.), Charcoal analysis: new analytical tools and methods for archaeology. Papers from the TableRonde held in Basel 2004, BAR International Series S1483, Archaeopress, Oxford, 47-60.
- Dufraisse, A., Coubray, S., 2018. De l'arbre à la forêt domestiquée : apport de l'anthraco-typologie. Les Nouvelles de l'archéologie 54–61.**
doi:10.4000/nda.4533
- Dufraisse, A., García-Martínez, M.S., 2011. Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données. Anthropobotanica 02. 19.

- Dufraisse, A., Coubray, S., Girardclos, O., Nocus, N., Lemoine, M., Dupouey, J.-L., Marguerie, D., 2018. Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. *Quaternary International* 463, 232–249. doi:10.1016/j.quaint.2017.03.065
- Dufraisse, A., Bardin, J., Picornell-Gelabert, L., Coubray, S., García-Martínez, M.S., Lemoine, M., Vila Moreiras, S., 2020. Pith location tool and wood diameter estimation: Validity and limits tested on seven taxa to approach the length of the missing radius on archaeological wood and charcoal fragments. *Journal of Archaeological Science: Reports* 29, 102166. doi:10.1016/j.jasrep.2019.102166
- Dufraisse, A., Coubray, S., Picornell-Gelabert, L., Alcolea, M., Girardclos, O., Delarue, F., Nguyen Tu, T.-T., 2022. Taming Trees, Shaping Forests, and Managing Woodlands as Resources for Understanding Past Societies. Contributions and Current Limits of Dendro-Anthracology and Anthraco-Isotopy. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10.
- Duhamel Du Monceau, H.-L., 1761. *Art du charbonnier, ou Manière de faire le charbon de bois. Description des arts et métiers, faits ou approuvés par Messieurs de l'Académie royale des sciences. Chez Desaint et Saillant (ed.), Librairie, rue Saint Jean de Beauvais. p69.*
- Dupin, A., 2018. *Caractérisation du charbonnage moderne et contemporain bisontin (Franche-Comté, France) et de son impact sur les peuplements forestiers : le cas de la forêt de Chailluz (Thèse de doctorat). Bourgogne Franche-Comté.*
- Dupin, A., Girardclos, O., Fruchart, C., Laplaige, C., Nuninger, L., Dufraisse, A., Gauthier, E., 2017. Anthracology of charcoal kilns in the forest of Chailluz (France) as a tool to understand Franche-Comte forestry from the mid-15th to the early 20th century AD. *Quaternary International* 458, 200–213. doi:10.1016/j.quaint.2017.03.008
- Dupin, A., Sordoillet, D., Fréville, K., Girardclos, O., Gauthier, E., 2019. The taphonomic characterization of a charcoal production platform. *Contribution*

- of an innovative pair of methods: Raman analysis and micromorphology. *Journal of Archaeological Science* 107, 87–99. doi:10.1016/j.jas.2019.05.003
- Dupouey, J.-L., Sciama, D., Dambrine, É., Rameau, J.-C., Koerner, W., 2002. La Végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française* 521. doi:10.4267/2042/4940
- Durand, A., Duval, S., Vaschalde, C., 2010. Le charbonnage des Ericacées méditerranéennes : approches croisées archéologiques, anthracologiques et historiques. Editions ADPCA.
- Durand, A., Vaschalde, C., Daide, H., Abbadi, M. el, 2018. Le charbonnage en fosse : approche ethnoarchéologique **d'une pratique méconnue dans le Rif marocain**. In: Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), **Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu**. Presses Universitaires de Provence, Aix-en-Provence, pp. 12–22.
- Duvernoy, J., 1965. Le registre d'Inquisition de Jacques Fournier, évêque de Pamiers (1318-1325), ed. lat. ed. Toulouse, Privat.**
- Elmer, W.H., Lattao, C.V., Pignatello, J.J., 2015. Active removal of biochar by earthworms (*Lumbricus terrestris*). *Pedobiologia* 58, 1–6. doi:10.1016/j.pedobi.2014.11.001
- Emberger, C., Larrieu, L., Gonin, P., 2016. Dix facteurs clés pour la diversité des **espèces en forêt: comprendre l'Indice de biodiversité potentielle**, IBP. Centre national de la propriété forestière, Paris.
- Eschenlohr, L., 2011. Un atelier médiéval de sidérurgistes : le bas fourneau de Lajoux, Envers des Combes (JU), fouilles 2006 à 2008. doi:10.5169/SEALS-684622
- Euba, I., 2008. Análisis antracológico de estructuras altimontanas en el Valle de La Vansa-Sierra del Cadi (Alt Urgell) y en el Valle del Matriu (Andorra): explotación de recursos forestales del Neolítico a la época moderna (Thesis). **Institut Català d'Arqueologia Clàssica** ; Universitat Rovira i Virgili.
- 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 Cadí) et la vallée du Madriu (Andorre). Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire 305–316. doi:10.4000/quaternaire.5646**
- Fabre, L., 1996. Le charbonnage historique de la chênaie à *Quercus ilex* L. (Languedoc, France): conséquences écologiques (Thèse de doctorat). Université des sciences et techniques de Montpellier 2, 1970-2014, France.
- Fabre, L., Gervet, X., 1992. Première approche du charbonnage et de l'histoire de la forêt méditerranéenne: l'exemple du canton d'Aniane (Hérault). Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques 139, 617–625. doi:10.1080/01811789.1992.10827134**
- FAO, 1983. Techniques simples de carbonisation., Food and Agriculture Organization of the United Nations. ed.
- Feiss, T., Horen, H., Brasseur, B., Buridant, J., Gallet-Moron, E., Decocq, G., 2017. Historical ecology of lowland forests: Does pedomorphology support historical and archaeological data? *Quaternary International* 457, 99–112. doi:10.1016/j.quaint.2016.10.029
- Fermé, L.C., Villalba, R., 2011. Dendrochronological study of charred wood at the Cerro Pintado archaeological site (Patagonia, Argentina). *Saguntum, Valencia* pp.37-39.
- Foard, G., 2001. Medieval Woodland, Agriculture and Industry in Rockingham Forest, Northamptonshire. *Medieval Archaeology*. doi:10.1179/med.2001.45.1.41
- Foley, G., 1986. Charcoal making in developing countries, Technical report / Energy Information Programme. Earthscan-International Institute for Environment and Development, London.
- Fouédjeu, L., 2015. Les anciennes forêts charbonnées de Bernadouze (Suc-et-Sentenac, Pyrénées Ariégeoises) : Apports paléoécologiques et ethnobotaniques de l'analyse anthracologique des charbonnières. Mémoire de master II, Université Toulouse Jean Jaurès.

- Fouédjeu, L., 2016. Histoire des forêts et du charbonnage dans les Pyrénées ariégeoises : analyse anthracologique et dendroanthracologique des plateformes de charbonnage. Mémoire de master II, Université Montpellier 3.
- Fouédjeu, L., Py, V., Paradis-Grenouillet, S., Cunill, R., Saulnier, M., Brun, C., Métaillé, J.-P., Galop, D., 2017a. Reconstruction with high spatio-temporal resolution of past forest dynamics and charcoal-making activities in an upper metallurgical valley in the eastern Pyrenees: first geoarchaeological, dendro and anthracological results. In: Into the Woods. Overlapping Perspectives on the History of Ancient Forests. Poster.
- Fouédjeu, L., Py-Saragaglia, V., Paradis-Grenouillet, S., 2017b. Reconstruction with high spatio-temporal resolution of past forest dynamics and charcoal-making activities in an upper metallurgical valley in the eastern Pyrenees: First geoarchaeological, dendro- and anthracological results. In: Atelier Doctoral Interdisciplinaire; Études Environnementales et Sciences Sociales: Temporalités, Matérialités, Sources et Enquêtes. Rome, École Française de Rome: 24 - 27 Octobre 2017. Communication Orale.
- Fouédjeu, L., Py-Saragaglia, V., Saulnier, M., Artigas, R.C., Paradis-Grenouillet, S., Galop, D., 2018. Evolution de la forêt de Freychinède et des pratiques sur la longue durée : une approche interdisciplinaire à haute résolution spatio-temporelle. In: Séminaire annuel du Labex DRIIHM. Dispositif de recherche interdisciplinaire sur les interactions Hommes-milieus. 8,9 et 10 octobre 2018 - Marseille / La couronne. Poster. doi:10.13140/RG.2.2.19637.52968
- Fouédjeu, L., Saulnier, M., Cunill, R., Buscaino, S., Py-Saragaglia, V., 2019a. **Charcoal analysis of kiln terraces to reconstruct practices and wood uses' temporalities** for charcoal manufacturing activity : the case of the Bernadouze forest (Suc-et-Sentenac, Haut-Vicdessos). In: Anthraco2019. 7th International Anthracology Meeting, Sep 2019, Liverpool, United Kingdom. 2019. {hal-02331105}. Poster.
- Fouédjeu, L., Paradis-Grenouillet, S., Cunill, R., Buscaino, S., Py-Saragaglia, V., 2019b. Sustainable management of wood for charcoal manufacturing activity in the Northern Pyrenees : dendro-anthracological study of charcoal kilns in the Bernadouze forest (Suc-et-Sentenac, Haut-Vicdessos). In: Anthraco2019. 7th

International Anthracology Meeting, Sep 2019, Liverpool, United Kingdom. Poster.

Fouédjeu, L., Labbas, V., Dušátko, M., Lejay, M., Buscaino, S., Saulnier, M., Py-Saragaglia, V., 2019c. The need for dendrochronology to improve the temporal resolution of charcoal manufacturing activity in the French Eastern Pyrenees: the case of the ancient charcoal production forest of Bernadouze (Suc-et-Sentenac, Haut-Videssos). In: Anthraco2019, 7th International Anthracology Meeting, 2-9 September 2019, Liverpool (UK). Communication Orale.

Fouédjeu, L., Saulnier, M., Labbas, V., Lejay, M., Dušátko, M., Py-Saragaglia, V., 2020. Fouille et étude dendrochronologique et micromorphologique d'une charbonnière (Rapport d'opération archéologique No. n°1410978). Rapport SRA Occitanie, Toulouse, Commune de Suc-et-Sentenac (Ariège). 57p.

Fouédjeu, L., Saulnier, M., Lejay, M., Dušátko, M., Labbas, V., Jump, A.S., Burri, S., Buscaino, S., Py-Saragaglia, V., 2021a. High resolution reconstruction of modern charcoal production kilns: An integrated approach combining dendrochronology, micromorphology and anthracology in the French Pyrenees. *Quaternary International, Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology* 593–594, 306–319. doi:10.1016/j.quaint.2020.11.033

Fouédjeu, L., Paradis-Grenouillet, S., Larrieu, L., Saulnier, M., Burri, S., Py-Saragaglia, V., 2021b. The socio-ecological legacies of centuries-old charcoal making practices in a mountain forest of the northern Pyrenees. *Forest Ecology and Management* 502, 119717. doi:10.1016/j.foreco.2021.119717

Fouédjeu, L., Burri, S., Saulnier, M., Larrieu, L., Paradis-Grenouillet, S., Py-Saragaglia, V., 2022. Did the charcoal-based iron industry really drive the forest cover decline in the Northern Pyrenees? *Anthropocene* 38, 100333. doi:10.1016/j.ancene.2022.100333

Francis, R., Dufraisse, A., 2021. Firewood and timber collection and management strategies from early medieval sites in eastern England. Initial results from the anthraco-typological analysis of oak charcoal remains. *Quaternary*

International, *Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology* 593–594, 320–331. doi:10.1016/j.quaint.2020.10.070

François, J., 1837. Précis historique sur le traitement direct du fer dans l’Ariège, suivi de quelques détails statistiques sur l’industrie du fer dans ce département. Annales des Mines, 31^e série. Tome XII.

François, J., 1843. Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de **fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l’Ariège, suivies de considérations historiques, économiques et pratiques sur le travail du fer et de l’acier dans les Pyrénées.** Carilian-Goery et Dalmont, Paris.

Fregni, C., Maccaferri, D., 2010. Come eravamo, “I Carbonai”, ricostruzione storica di una carbonaia [CD-ROM]. Appennino Cinemafestival, CAI Gruppo Regionale Emilia-Romagna.

Fruhauf, C., 1980. Forêt et société : de la forêt paysanne à la forêt capitaliste en pays de Sault sous l’Ancien régime (vers 1670-1791).

Fruhauf, C., 1990. Les conséquences des aménagements des XVII^e et XVIII^e siècles **sur l’aspect actuel de la forêt pyrénéenne.** *Annales du Midi* 102, 587–598. doi:10.3406/anami.1990.2268

Furetière, A., 1690. Dictionnaire universel contenant généralement tous les mots françois tant vieux que modernes et les termes de toutes les sciences et des arts.

Gale, R., 2003. Wood-based industrial fuels and their environmental impact in lowland Britain. In: Murphy, P., Wiltshire, P. E. J. (Eds.), *The Environmental Archaeology of Industry. Symposia of the Association for Environmental Archaeology*, Vol. 20, 30-47.

Galimberti, M., Bronk Ramsey, C., Manning, S.W., 2004. Wiggle-Match Dating of Tree-Ring Sequences. 46. doi:10.1017/S0033822200035967

Galop, D., 1997. La forêt, l’homme et le troupeau. Six millénaires d’anthropisation du massif pyrénéen de la Garonne à la Méditerranée. Contribution palynologique à l’histoire de l’environnement et du paysage pyrénéen (thesis). Toulouse 2.

- Galop, D., 1998. **La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées.. 6000 ans d'histoire de l'environnement** entre Garonne et Méditerranée, contribution palynologique, Méridiennes. ed. Toulouse, France.
- Galop, D., 2000. Propagation des activités agropastorales sur le versant nord-pyrénéen entre le 6e et le 3e millénaire avant J.-C. **L'apport de la palynologie.** in Rencontres méridionales de préhistoire récente. Toulouse, Archives **d'écologie préhistorique** 101–108.
- Galop, D., 2005. La conquête de la montagne pyrénéenne au Néolithique. Chronologie, rythmes et transformations des paysages à partir des données polliniques 279.
- Galop, D., Jalut, G., 1994. Differential human impact and vegetation history in two adjacent Pyrenean valleys in the Ariège basin, southern France, from 3000 B.P. to the present. *Vegetation History and Archaeobotany* (1994) 3:225-244 21.
- Galop, D., Mazier, F., Lopez-Saez, J.A., Vannière, B., 2003. Palynologie et histoire des activités humaines en milieu montagnard. Bilan provisoire des recherches et nouvelles orientations méthodologiques sur le versant nord des Pyrénées. *Archéologie du Midi Médiéval* 159–170.
- Galop, D., Rius, D., Cugny, C., Mazier, F., 2013. A History of Long-Term Human–Environment Interactions in the French Pyrenees Inferred from the Pollen Data. In: Lozny, L.R. (Ed.), *Continuity and Change in Cultural Adaptation to Mountain Environments: From Prehistory to Contemporary Threats*, *Studies in Human Ecology and Adaptation*. Springer, New York, NY, pp. 19–30. doi:10.1007/978-1-4614-5702-2_3
- Galván, J.D., Büntgen, U., Ginzler, C., Grudd, H., Gutiérrez, E., Labuhn, I., Camarero, J.J., 2015. Drought-induced weakening of growth–temperature associations in high-elevation Iberian pines. *Global and Planetary Change* 124, 95. doi:10.1016/j.gloplacha.2014.11.011
- Gana, P.F.D., Malik, I., 2019. Environmental effects of historical charcoal burning associated with water-powered ferrous metallurgy (Mała Panew basin, southern Poland). *Geology, Geophysics & Environment*. doi:10.7494/geol.2019.45.3.231

- Gargani, J., Jouannic, G., 2015. Les liens entre la société, la nature et la technique durant les derniers 200 ans : analyse dans deux vallées françaises. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*. doi:10.4000/vertigo.16810
- Gebhardt, A., 2007a. Impact of charcoal production activities on soil profiles: the micromorphological point of view. *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie* 127–136. doi:10.4000/archeosciences.833
- Gebhardt, A., 2007b. Impacts anthropiques anciens sur les sols forestiers. Quelques études de cas en contexte archéologique et expérimental. In: *La Mémoire Des Forêts, Actes Du Colloque Forêt, Archéologie et Environnement, [Velaine-En Haye, En Moselle], 14-16 Décembre 2004.*, p. 211-218. pp. 211–218.
- Gerasimova, M., Lebedeva-Verba, M., 2010. Topsoils – Mollic, Takyric and Yermic Horizons. In: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, pp. 351–368. doi:10.1016/B978-0-444-53156-8.00016-7
- Gibert, M., Roumieu, A., Telmon, N., Sangoi, J.-C., Sevin, A., 2012. Structure des populations du Haut Vicdessos : distribution spatiale des patronymes et des activités économiques au début du XXe siècle. *Sud-Ouest européen. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 117–126. doi:10.4000/soe.340
- Girardclos, O., Dufraisse, A., Dupouey, J.-L., Coubray, S., Ruelle, J., Rathgeber, C.B.K., 2018. Improving identification of coppiced and seeded trees in past woodland management by comparing growth and wood anatomy of living sessile oaks (*Quercus petraea*). *Quaternary International* 463, 219–231. doi:10.1016/j.quaint.2017.04.015
- Glais, P., 2007. *Charbonniers de Brocéliande: l'art de la fouée. Les Amis de la Bibliothèque de Paimpont, Paimpont (1 Esplanade de Brocéliande, 35380).*
- Gmińska-Nowak, B., D'Agostino, A., Özarslan, Y., Orsi, V., Christopoulou, A., Mazzoni, S., Akkemik, Ü., Ważny, T., 2021. Dendrochronological analysis and radiocarbon dating of charcoal remains from the multi-period site of Uşaklı Höyük, Yozgat, Turkey. *Journal of Archaeological Science: Reports* 38, 103078. doi:10.1016/j.jasrep.2021.103078

- Gocel-Chalté, D., Guerold, F., Knapp, H., Robin, V., 2020. Anthracological analyses of charcoal production sites at a high spatial resolution: the role of topography in the historical distribution of tree taxa in the northern Vosges mountains, France. *Vegetation History and Archaeobotany* 29, 641–655. doi:10.1007/s00334-020-00769-z
- Gosselin, F., Larrieu, L., 2020. Developing and using statistical tools to estimate observer effect for ordered class data: The case of the IBP (Index of Biodiversity Potential). *Ecological Indicators* 110, 105884. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105884
- Gossner, M.M., Lachat, T., Brunet, J., Isacson, G., Bouget, C., Brustel, H., Brandl, R., Weisser, W.W., Müller, J., 2013. Current Near-to-Nature Forest Management Effects on Functional Trait Composition of Saproxylic Beetles in Beech Forests: Functional Diversity of Beetles. *Conservation Biology* 27, 605–614. doi:10.1111/cobi.12023
- Goux, N., 2011. Gestion forestière et biodiversité, les enjeux de conservation d'une espèce parapluie : Limoniscus violaceus (Coleoptera) (phdthesis). Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.**
- Groenewoudt, B., Spek, T., 2016. Woodland Dynamics as a Result of Settlement Relocation on Pleistocene Sandy Soils in the Netherlands (200 BC–AD 1400). *Rural Landscapes: Society, Environment, History* 3, 1. doi:10.16993/rl.20
- Groenewoudt, B.J., 2005. Sporen van houtskoolproductie en landschapsdynamiek in een verdwenen bos bij Anloo. *Nieuwe Drentse Volksalmanak* Volume 122, 152–162.
- Guillot, F., 2009. Seigneurs et castra en Sabartès (haute vallée de l'Ariège) aux XIe-XIIe siècles. In Châteaux pyrénéens au Moyen Âge, ss la dir. Florence Guillot, colloque de Seix 2007, 2009, p. 81-107.**
- Guillot, F., 2014. Rapport de sondages archéologiques [Soulcem, abris sous roche – Auzat (09)] Pour une archéologie de la montagne (Research Report). *Montagne et patrimoine*.

- Haaland, M.M., Czechowski, M., Carpentier, F., Lejay, M., Vandermeulen, B., 2019. Documenting archaeological thin sections in high-resolution: A comparison of methods and discussion of applications. *Geoarchaeology* 34, 100–114. doi:10.1002/gea.21706
- Hammersley, G., 1973. The Charcoal Iron Industry and Its Fuel, 1540-1750. *The Economic History Review* 26, 593–613. doi:10.2307/2593700
- Hanus, P., 2007. Urbain des bois, l'apprenti charbonnier. Les Cahiers de Framespa.** doi:10.4000/framespa.440
- Hanus, P., 2018. Charbonnier, fais fumer! Chronique ethnographique d'une fête du Vercors.** In: *Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu (Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R., Eds.)*. pp. 49–60.
- Hardy, B., Dufey, J.E., 2012a. Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Deuxième partie: Les besoins en superficie forestière. *Revue Forestière Française*. doi:10.4267/2042/51117
- Hardy, B., Dufey, J.E., 2012b. Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Première partie: Les besoins en charbon de bois. *Revue Forestière Française*. doi:10.4267/2042/48747
- Hart, J.L., Van De Gevel, S.L., Mann, D.F., Clatterbuck, W.K., 2008. Legacy of Charcoaling in a Western Highland Rim Forest in Tennessee. *The American Midland Naturalist* 159, 238. doi:10.1674/0003-0031(2008)159[238:LOCIAW]2.0.CO;2
- Hazell, Z., Crosby, V., Oakey, M., Marshall, P., 2017. Archaeological investigation and charcoal analysis of charcoal burning platforms, Barbon, Cumbria, UK. *Quaternary International, Anthracology: Local to Global Significance of Charcoal Science Part II* 458, 178–199. doi:10.1016/j.quaint.2017.05.025

- Heiss, A.G., Oeggli, K., 2008. Analysis of the fuel wood used in Late Bronze Age and Early Iron Age copper mining sites of the Schwaz and Brixlegg area (Tyrol, Austria). *Vegetation History and Archaeobotany* 17, 211–221. doi:10.1007/s00334-007-0096-8
- Henry, A., Théry-Parisot, I., 2014a. From Evenk campfires to prehistoric hearths: charcoal analysis as a tool for identifying the use of rotten wood as fuel. *Journal of Archaeological Science* 52, 321–336. doi:10.1016/j.jas.2014.09.005
- Henry, A., Théry-Parisot, I., 2014b. La gestion des combustibles au mésolithique : orientations actuelles de la recherche en archéobotanique. *Paletnologie*. doi:10.4000/paletnologie.1270
- Hermý, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., Lawesson, J.E., 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation* 91, 9–22. doi:10.1016/S0006-3207(99)00045-2
- Hillebrecht, M.-L., 1982. Die Relikte der Holzkohlewirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung: Untersuchungen an Beispielen aus Südniedersachsen, Göttinger geographische Abhandlungen. Goltze, Göttingen.
- Hirsch, F., Raab, T., Ouimet, W., Dethier, D., Schneider, A., Raab, A., 2017. Soils on Historic Charcoal Hearths: Terminology and Chemical Properties. *Soil Science Society of America Journal* 81, 1427–1435. doi:10.2136/sssaj2017.02.0067
- Hirsch, F., Schneider, A., Bauriegel, A., Raab, A., Raab, T., 2018. Formation, Classification, and Properties of Soils at Two Relict Charcoal Hearth Sites in Brandenburg, Germany. *Frontiers in Environmental Science* 6, 94. doi:10.3389/fenvs.2018.00094
- Horikoshi, K., 2008. L'industrie du fer en Lorraine: XIIe-XVIIe siècles.** D. Guéniot, Langres. 515p.
- Houzard, G., 1980. Les grosses forges ont-elles mangé la forêt ? *Annales de Normandie* 30, 245–269. doi:10.3406/annor.1980.6346

Houzard, G., 1983. **Consommation de bois, consommation d'espace forestier, conséquences. L'exemple des grosses forges de la Basse Normandie armoricaine (Wood consumption, space consumption and results. The example of ironworks in Normandy).** *Bulletin de l'Association de géographes français* 60, 215–224. doi:10.3406/bagf.1983.5415

Houzard, G., Hoyau, H., Martinetti, J.-L., Brunet, P.P., 1983. A la découverte du massif forestier de Perseigne. Université de Caen, Caen, France.

Huffel, G., 1926. **Les Méthodes de l'aménagement forestier en France. Étude historique.**

Izard, V., 1989. Historique et dynamique du paysage forestier de la vallée de Suc et Sentenac (Vicdessos, Ariège). Mémoire de maîtrise, Université Toulouse II, 123 pages.

Izard, V., 1992. **La typologie des charbonnières: méthode d'inventaire pour l'étude diachronique du charbonnage.** In: Métaillé, J.-P. (Ed.), *Protoindustries et Histoires Des Forêts, Les Cahiers de l'ISARD Sous La Direction de Jean-Raymond Lanot.* Groupement de Recherche ISARD, Ariège, pp. 223–235.

Izard, V., 1994. Cartographie successive des entreprises métallurgiques dans les Pyrénées nord-catalanes ; support préliminaire à l'étude éco-historique des forêts charbonnées. *Archéologie du Midi médiéval* 12, 115–129. doi:10.3406/amime.1994.1258

Izard, V., 1995. Le charbonnage des forêts dans la vallée de la Lentilla. Paléo-métallurgie, anthracologie et histoire de **l'environnement (Conflent, Pyrénées-Orientales).** in *La farga catalana en el marc de l'arqueologia siderúrgica.* Simposi internacional sobre la farga catalana, Ripoçll, 1993, Andorra, 177–190.

Izard, V., 1999. Les montagnes du fer : éco-histoire de la métallurgie et des forêts dans les Pyrénées méditerranéennes (de l'Antiquité à nos jours) : pour une histoire de l'environnement (Thèse de doctorat). Toulouse 2. p752.

Jacquemin, F., Kervyn, T., Branquart, E., Delahaye, L., Dufrêne, M., Claessens, H., 2014. Les forêts anciennes en Wallonie. 1ère partie: Concepts généraux. Forêt.Nature.

Jalut, G., 1984. L'action de l'homme sur la forêt montagnarde des Pyrénées ariégeoises et orientales depuis 4000 d'après l'analyse pollinique. Actes du 106e congrès National des Sociétés Savantes, Section de Géographie, Perpignan 1981. Ministère de l'éducation nationale, comité des travaux historiques et scientifiques. Paris 163–172.

Jalut, G., 1988. Les principales étapes de l'histoire de la forêt pyrénéenne française depuis 15000 ans. Homenaje a Pedro Montserrat: 609 a 615. JACA y HUESCA 8p.

Jalut, G., Delibrias, G., Dagnac, J., Mardones, M., Bouhours, M., 1982. A palaeoecological approach to the last 21 000 years in the pyrenees: The peat bog of Freychinede (alt. 1350 m, Ariège, South France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 40, 321–359. doi:10.1016/0031-0182(82)90033-5

Jalut, G., Andrieu, V., Delibrias, G., Fontugne, M., Pages, P., 1988. Palaeoenvironment of the Valley of Ossau (Western French Pyrenees) during the last 27,000 years. *Pollen et spores*.

Jomelli, V., Chapron, E., Favier, V., Rinterknecht, V.R., Braucher, R., Tournier, N., Gascoïn, S., Marti, R., Galop, D., Binet, S., Deschamps-Berger, C., Tissoux, H., Aumaitre, G., Boulès, D., Keddadouche, K., 2020. Glacier fluctuations during the Late Glacial and Holocene on the Ariège valley, northern slope of the Pyrenees and reconstructed climatic conditions. *Mediterranean Geoscience Reviews* 2, 37. doi:10.1007/s42990-020-00018-5

Kabukcu, C., 2018a. Identification of woodland management practices and tree growth conditions in archaeological fuel waste remains: A case study from the site of Çatalhöyük in central Anatolia, Turkey. *Quaternary International, Anthracology: Local to Global Significance of Charcoal Science - Part III* 463, 282–297. doi:10.1016/j.quaint.2017.03.017

- Kabukcu, C., 2018b. Wood Charcoal Analysis in Archaeology. *Environmental Archaeology* 133–154. doi:10.1007/978-3-319-75082-8_7
- Karimi Moayed, N., Vandenberghe, D.A.G., Deforce, K., Bastiaens, J., Ghyselbrecht, E., Debeer, A.-E., De Smedt, P., De Clercq, W., De Grave, J., 2020. Bypassing the Suess-effect: Age determination of charcoal kiln remains using OSL dating. *Journal of Archaeological Science* 120, 105176. doi:10.1016/j.jas.2020.105176
- Kenla, J.-V., Jalut, G., 1979. Determinisme anthropique du developpement du hetre dans la sapiniere du Couserans (Pyrenees ariegeoises, France) durant le Subatlantique. *Geobios* 12, 735–738. doi:10.1016/S0016-6995(79)80100-X
- Kirby, K.J., Watkins, C. (Eds.), 1998. *The ecological history of European forests. Presented at the International Conference on Advances in Forest and Woodland History*, CAB International, Oxon, UK ; New York.
- Knapp, H., Robin, V., Kirleis, W., Nelle, O., 2013. Woodland history in the upper Harz Mountains revealed by kiln site, soil sediment and peat charcoal analyses. *Quaternary International* 289, 88–100. doi:10.1016/j.quaint.2012.03.040
- Kojo, Y., Kalin, R.M., Long, A., 1994. High-**Precision “Wiggle-Matching”** in Radiocarbon Dating. *Journal of Archaeological Science* 21, 475–479. doi:10.1006/jasc.1994.1047
- Kooistra, M.J., Pulleman, M.M., 2010. Features Related to Faunal Activity. In: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, pp. 397–418. doi:10.1016/B978-0-444-53156-8.00018-0
- Krebs, P., Pezzatti, G.B., Stocker, M., Bürgi, M., Conedera, M., 2017. The selection of suitable sites for traditional charcoal production: ideas and practice in southern Switzerland. *Journal of Historical Geography* 57, 1–16. doi:10.1016/j.jhg.2017.04.002
- Kuniholm, P.I., 2016. *How to Collect Archaeological Wood and Charcoal for Dendrochronological Analysis*. The Malcolm and Carolyn Wiener Laboratory for Aegean and Near Eastern Dendrochronology, Cornell Univ., Ithaca, New York. (www.arts.cornell.edu/dendr/howto.html; 5 March 1996).

Lambert, G.-N., Bernard, V., Dupouey, J.-L., Fraiture, P., Gassman, P., Girardclos, O., Lebourgeois, F., Ledigol, Y., Tegel, W., 2010. Dendrochronologie et dendroclimatologie du chêne en France, Questions posées par le transfert de données de bois historiques vers la dendroclimatologie. In: Astrade, L., Miramont, C. (Eds.), Actes Du Colloque Panorama de La Dendrochronologie En France, 8, 9 et 10 Octobre 2009, Digne-Les-Bains, Alpes de Haute Provence, Collection Edytem. Vol. 11. pp. 205–216.

Langohr, R., 2000. Creusement, érosion et comblement des fossés ; l'approche des sciences de la terre. *Revue archéologique de Picardie* 1, 57–65. doi:10.3406/pica.2000.2228

Lapassat, R., 1983. L'industrie du fer dans les Pyrénées Orientales et Ariégeoises au XIX^e siècle, Editions du Castillet. ed, Groupe de recherches historiques et archéologiques du Conflent, Prades. Perpignan.

Larcher, G., 1986. Les charbonniers à Paimpont : contribution à l'histoire d'une commune. *Le Châtenay - Journal de l'Association des Amis du Moulin du Châtenay*. 64p.

Larrieu, L., Gonin, P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (ibp) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*. doi:10.4267/2042/28373

Larrieu, L., Gonin, P., Deconchat, M., 2012. Le domaine d'application de l'indice de biodiversité potentielle (IBP). *Revue Forestière Française*. doi:10.4267/2042/50657

Larrieu, L., Cabanettes, A., Gonin, P., Lachat, T., Paillet, Y., Winter, S., Bouget, C., Deconchat, M., 2014a. Deadwood and tree microhabitat dynamics in unharvested temperate mountain mixed forests: A life-cycle approach to biodiversity monitoring. *Forest Ecology and Management* 334, 163–173. doi:10.1016/j.foreco.2014.09.007

Larrieu, L., Cabanettes, A., Brin, A., Bouget, C., Deconchat, M., 2014b. Tree microhabitats at the stand scale in montane beech–fir forests: practical

- information for taxa conservation in forestry. *European Journal of Forest Research* 133, 355–367. doi:10.1007/s10342-013-0767-1
- Larrieu, L., Cabanettes, A., Goux, N., Burnel, L., Bouget, C., Deconchat, M., 2017. Development over time of the tree-related microhabitat profile: the case of lowland beech–oak coppice-with-standards set-aside stands in France. *European Journal of Forest Research* 136, 37–49. doi:10.1007/s10342-016-1006-3
- Larrieu, L., Bouget, C., Courbaud, B., Goux, N., Goulard, M., Lachat, T., Stillhard, J., 2018. Spatial patterns of tree-related microhabitats: key factors and ecological significance for the conservation of the associated biodiversity. In: *Proceedings of the 5th European Congress of Conservation Biology*. Presented at the 5th European Congress of Conservation Biology, Jyväskylä University Open Science Centre, Jyväskylä, Finland. doi:10.17011/conference/eccb2018/107340
- Larrieu, L., Gosselin, F., Archaux, F., Chevalier, R., Corriol, G., Dauffy-Richard, E., Deconchat, M., Gosselin, M., Ladet, S., Savoie, J.-M., Tillon, L., Bouget, C., 2019a. Assessing the potential of routine stand variables from multi-taxon data as habitat surrogates in European temperate forests. *Ecological Indicators* 104, 116–126. doi:10.1016/j.ecolind.2019.04.085
- Larrieu, L., Cabanettes, A., Goux, N., Burnel, L., Bouget, C., Deconchat, M., 2019b. Post-harvesting dynamics of the deadwood profile: the case of lowland beech–oak coppice-with-standards set-aside stands in France. *European Journal of Forest Research* 138, 239–251. doi:10.1007/s10342-019-01164-8
- Larsson, T.-B. (Ed.), 2001. Biodiversity evaluation tools for European forests, *Ecological bulletins*. Enckell [u.a.], Lund.
- Latte, N., Debruxelles, J., Sohier, C., Degré, A., Claessens, H., 2012. La dendroécologie: **un outil pour affiner nos connaissances sur l'autoécologie des essences forestières**. *Forêt Wallonne* 116 : 3-17.
- Lepoivre, M., 1940. *Le charbon de bois*. Gloubik Sciences.
- Levainville, J.R., 1922. L'industrie du fer en France. A. Colin.**

- Lindsay, J.M., 1975. Charcoal iron smelting and its fuel supply; the example of Lorn furnace, Argyllshire, 1753–1876. *Journal of Historical Geography* 1, 283–298. doi:10.1016/0305-7488(75)90038-9
- Lisboa, S.N., Woollen, E., Grundy, I.M., Ryan, C.M., Smith, H.E., Zorrilla-Miras, P., Baumert, S., Ribeiro, N., Vollmer, F., Holland, M., Siteo, A., 2020. Effect of charcoal production and woodland type on soil organic carbon and total nitrogen in drylands of southern Mozambique. *Forest Ecology and Management* 457, 117692. doi:10.1016/j.foreco.2019.117692
- Ludemann, T., 2002. Anthracology and forest sites - the contribution of charcoal analysis to our knowledge of natural forest vegetation in south-west Germany. In: Thiébault, S. (Ed.), *Charcoal Analysis. Methodological Approaches, Palaeoecological Results and Wood Uses*. British Archaeological Reports, Vol. 1063. Archaeopress, Oxford. pp. 209–217.
- Ludemann, T., 2006. Anthracological analysis of recent charcoal-burning in the Black Forest, SW Germany. In: Dufraisse, A. (Ed.), *Charcoal Analysis: New Analytical Tools and Methods for Archaeology*. British Archaeological Reports, Vol. 1483. Archaeopress, Oxford, Pp. 61–70.
- Ludemann, T., 2010. Past fuel wood exploitation and natural forest vegetation in the Black Forest, the Vosges and neighbouring regions in western Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291, 154–165. doi:10.1016/j.palaeo.2009.09.013
- Ludemann, T., 2012. Airborne laser scanning of historical wood charcoal production sites – a new tool of kiln site anthracology at the landscape level. In: Badal, E., Macias, M., Ntinou, M. (Eds.), *Wood and Charcoal: Evidence for Human and Natural History*. pp. 247–252.
- Ludemann, T., Nelle, O., 2002. *Die Wälder am Schauinsland und ihre Nutzung durch Bergbau und Köhlerei*, Schriftenreihe Freiburger forstliche Forschung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanst. Baden-Württemberg, Freiburg (Breisgau).

- Ludemann, T., Nelle, O., 2017. Anthracology: local to global significance of charcoal science. *Quaternary International* 457, 1–5. doi:10.1016/j.quaint.2017.10.003
- Lugli, F. (Ed.), 2013. *Ethnoarchaeology: current research and field methods*, ; conference proceedings, Rome, Italy, 13th - 14th May 2010. BAR International series. Archaeopress, Oxford.
- Lugli, F., Pracchia, S., 1995. Modelli e finalità nello studio della produzione di carbone di legna in archeologia, *Origini*, XVIII, Roma, 1995, pp. 425-479.
- Maillat, J., 1942. La carbonisation dans la Haute-Garonne. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 13, 265–276. doi:10.3406/rgpso.1942.1177
- Malepeyre, A.F., 1836. *Maison rustique du XIXe siècle: Arts agricoles. 1836. Agriculture forestière, législation et administration rurale. Bureau [du Journal d'agriculture pratique]*.
- Máliš, F., Bobek, P., Hédl, R., Chudomelová, M., Petřík, P., Ujházy, K., Ujházyová, M., Kopecký, M., 2021. Historical charcoal burning and coppicing suppressed beech and increased forest vegetation heterogeneity. *Journal of Vegetation Science* 32, e12923. doi:https://doi.org/10.1111/jvs.12923**
- Mandement, J., 1934. Recherches et exploitations minières dans le Comté de Foix aux XVIe et XVIIe siècles. *Bulletin de la Société ariégeoise des sciences, lettres et arts* Vol. 18, n°6, 232–243.
- Marguerie, D., 1991. Évolution de la végétation sous l'impact anthropique en armorique du mésolithique au Moyen-ge: études palynologiques et anthracologiques des sites archéologiques et des tourbières associées (thesis). Rennes 1.**
- Marguerie, D., Hunot, J.-Y., 2007. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science* 34, 1417–1433. doi:10.1016/j.jas.2006.10.032
- Marguerie, D., Bernard, V., Bégin, Y., Terral, J.-F., 2010. Dendroanthracologie. In: *La Dendroécologie. Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, pp. 311–347.*

- Marié de L'Isle, E.-B.**, 1835. Manuel complet des marchands de bois et de charbons, ou Traité de ce commerce en général. La librairie encyclopédique de Roret, Paris.
- Mather, A.S., 1992. The Forest Transition. In: The Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographers) 24, 367–379.
- Mazoyer, M., Roudart, L., 2017. Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. Média Diffusion.
- McParland, L.C., Collinson, M.E., Scott, A.C., Campbell, G., Veal, R., 2010. Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science* 37, 2679–2687. doi:10.1016/j.jas.2010.06.006
- Métailié, J.-P. (Ed.), 1992. Protoindustries et histoire des forêts, Les cahiers de **l'ISARD sous la direction de Jean-Raymond Lanot**. Presented at the Colloque Protoindustries et Histoire des Forêts (Loubières, Ariège), les 10-13 octobre 1990, Groupement de Recherche ISARD, Ariège.
- Métailié, J.-P., Jalut, G., 1991. La forêt charbonnée. Histoire des forêts et impact de la métallurgie dans les Pyrénées ariégeoises au cours des deux derniers millénaires (Rapport PIREN).
- Montanari, C., Prono, P., Scipioni, S., 2000. The study of charcoal-burning sites in the Apennine mountains of Liguria (NW Italy) as a tool for forest history. In: Agnoletti, M., Anderson, S. (Eds.), *Methods and Approaches in Forest History. Papers Selected from a Conference Held in Florence, Italy in 1998*. CABI, Wallingford, pp. 79–91. doi:10.1079/9780851994208.0079
- Montanari, C.A., Scipioni, S., Calderoni, G., Leonardi, G., Moreno, D.T., 2002. Linking anthracology and historical ecology: suggestion from a post-medieval site in the Ligurian Apennines (north-west Italy). In: Thiébaud, S. (Ed.), *Charcoal Analysis. Methodological Approaches, Palaeoecological Results and Wood Uses*. British Archaeological Reports, Vol. 1063. Archaeopress, Oxford. pp. 209–217.

- Moreno, D., Cevalco, R., Pescini, V., Gabellieri, N., 2019. The Archeology of Woodland Ecology: Reconstructing Past Woodmanship Practices of Wooded Pasture Systems in Italy. In: Allende Álvarez, F., Gomez-Mediavilla, G., López-Estébanez, N. (Eds.), *Silvicultures - Management and Conservation*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.86101
- Moskal-del Hoyo, M., Wachowiak, M., Blanchette, R.A., 2010. Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science* 37, 2106–2116. doi:10.1016/j.jas.2010.02.007
- Musset, D., 2000. Charbonniers, le métier du diable ? *Le Monde alpin et rhodanien. Revue régionale d'ethnologie* 28, 133–150. doi:10.3406/mar.2000.1713
- Nelle, O., 2002. Charcoal burning remains and forest stand structure - Examples from the Black Forest (south-west Germany) and the Bavarian Forest (south-east Germany). In: Thiébault, S. (Ed.), *Charcoal Analysis, Methodological Approaches, Palaeoecological Studies and Wood Uses, Proceeding of the Second International Meeting of Anthracology (Paris, September 2000)*, Oxford, Archaeopress: 201-207 (BAR International Series 1063). pp. 201–207.
- Nelle, O., 2003. Woodland history of the last 500 years revealed by anthracological studies of charcoal kiln sites in the Bavarian Forest, Germany. *Phytocoenologia* 33, 667–682. doi:10.1127/0340-269X/2003/0033-0667
- Nelle, O., Robin, V., Talon, B., 2013. Pedoanthracology: Analysing soil charcoal to study Holocene palaeoenvironments. *Quaternary International, Pedoanthracology and Environmental Studies* 289, 1–4. doi:10.1016/j.quaint.2012.11.024
- Nicolescu, V.-N., Carvalho, J., Hochbichler, E., Bruckman, V.J., Piqué, M., Hernea, C., **Viana, H., Štochlová, P., Ertekin, M., Đodan, M., Dubravac, T., Vandekerkhove, K., Kofman, P.D., Rossney, D., Unrau, A.**, 2018a. Silvicultural Guidelines for European Coppice Forests. In: A. Unrau, G. Becker, R. Spinelli, D. Lazdina, N. Magagnotti, V.N. Nicolescu, P. Buckley, D. Bartlett, P.D. Kofman (Eds.), *Coppice Forests in Europe* (Pp. 46-63). Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig

- University of Freiburg., COST Action PF1301 EuroCoppice. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, pp. 46–63.
- Nicolescu, V.-N., Bartlett, D., Becker, G., Borlea, G.F., Buckley, P., Kofman, P.D., **Lazdiņa, D., Magagnotti, N., Rossney, D., Spinelli, R.**, Unrau, A., 2018b. Typology of European Coppice Forests. In: A. Unrau, G. Becker, R. Spinelli, D. Lazdina, N. Magagnotti, V.N. Nicolescu, P. Buckley, D. Bartlett, P.D. Kofman (Eds.), *Coppice Forest in Europe* (Pp. 18-21). Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig University of Freiburg., COST Action PF1301 EuroCoppice. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, pp. 29–63.
- Nicolussi, K., Kaufmann, M., Melvin, T.M., Plicht, J. van der, Schießling, P., Thurner, A., 2009. A 9111 year long conifer tree-ring chronology for the European Alps: a base for environmental and climatic investigations. *The Holocene* 19, 909–920. doi:10.1177/0959683609336565
- Nicosia, C., Stoops, G. (Eds.), 2017. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi:10.1002/9781118941065
- Nocentini, S., 2009. Structure and management of beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in Italy. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 2, 105–113. doi:10.3832/ifor0499-002
- Noiriel, 1965. Projet de révision d'aménagement (1966-1980) de la forêt de Suc-et-Sentenac (Rapport de présentation. Eaux et forêts - serie 12, n°28 - (double). Archive départementale de l'Ariège. Cote: J108.227. 56p).**
- Oillic, J.-C., 2011. *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire* (thesis). Rennes 1.
- Oliveira, C., Aravecchia, S., Pradalier, C., Robin, V., Devin, S., 2021. The use of remote **sensing tools for accurate charcoal kilns' inventory** and distribution analysis: Comparative assessment and prospective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 105, 102641. doi:10.1016/j.jag.2021.102641

- ONF, 2008. Document d'objectifs (DOCOB) de la Zone Spéciale de Conservation** « Mont Ceint, Mont Béas, tourbière de Bernadouze ». Site FR 7300825. Natura 2000, département de l'Ariège.
- Oury, B., 2020. Exploitation du fer et gestion des ressources forestières en Dauphiné médiéval: Enquête dans les sources historiques. *Histoire & Sociétés Rurales* 53, 71–115. doi:10.3917/hsr.054.0071
- Out, W.A., Vermeeren, C., Hänninen, K., 2013. Branch age and diameter: useful criteria for recognising woodland management in the present and past? *Journal of Archaeological Science* 40, 4083–4097. doi:10.1016/j.jas.2013.05.004
- Pailhès, C., 1992. D'or et de sang: le XVI^e siècle ariégeois. Conseil général de l'Ariège :** Archives départementales.183p., Foix.
- Pailhès, C., 2006. Le comté de Foix: un pays et des hommes : regards sur un comté pyrénéen au moyen âge. Louve.
- Paillet, Y., Pernot, C., Boulanger, V., Debaive, N., Fuhr, M., Gilg, O., Gosselin, F., 2015. Quantifying the recovery of old-growth attributes in forest reserves: A first reference for France. *Forest Ecology and Management* 346, 51–64. doi:10.1016/j.foreco.2015.02.037
- Paradis-Grenouillet, S., 2012. Étudier les forêts métallurgiques : analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques : exemple des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin (Thèse de doctorat). Limoges. 452p.
- Paradis-Grenouillet, S., Bazan, G., 2018. Chapter 11: The 'recent' forests of Mount Venda (Padua, Italy): when historical cartography and archaeobotany tell quite a different story.** In: Aspe, C., Burri, S., Paradis-Grenouillet, S. (Eds.), *Into the Woods. Overlapping Perspectives on the History of Ancient Forests*. Quae.
- Paradis-Grenouillet, S., Dufraisse, A., 2018. Deciduous oak/chestnut: Differential shrinkage of wood during charcoalification? Preliminary experimental results and implications for wood diameter study in anthracology. *Quaternary International* 463, 258–267. doi:10.1016/j.quaint.2017.06.074

- Paradis-Grenouillet, S., Leleu, J.-P., Allée, P., Belingard, C., Rouaud, R., 2010. AnthracoloJ un outil pour la simplification des mesures dendrométriques. *Edytem* 197–202.
- Paradis-Grenouillet, S., Dufraisse, A., Allée, P., 2013. Radius of curvature measurements and wood diameter: a comparison of different image analysis techniques. In : F. Damblon (ed.), *IVe International Meeting of Anthracology* (Bruxelles, septembre 2008).
- Paradis-Grenouillet, S., Allée, P., Vives, G.S., Ploquin, A., 2015. Sustainable management of metallurgical forest on Mont Lozère (France) during the Early Middle Ages. *Environmental Archaeology* 20, 168–183. doi:10.1179/1749631414Y.00000000050
- Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), 2018a. **Charbonnage, charbonniers, charbonnières: confluence de regards autour d'un artisanat méconnu.** Presses universitaires de Provence, Aix-en-Provence. p236.
- Paradis-Grenouillet, S., Aspe, C., Burri, S., 2018b. Into the woods. Overlapping perspectives on the history of ancien forest, *Update Sciences & technologies.* Editions Quae.
- Paradis-Grenouillet, S., Rouaud, R., Allée, P., 2018c. Retrouver le diamètre des bois charbonnés, validation de la chaîne opératoire dendro-anthracologique par **l'étude de trois charbonnières expérimentales.** In: **Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu. pp. 105–120.**
- Patzlaff, R.G., De Oliveira, R.R., Araùjo, D.S.D. de, Scheel-Ybert, R., 2018. Historical charcoal kilns. A method to compare the surrounding vegetation with the anthracological data in forested slopes of Rio de Janeiro Estate, RJ, Brazil. In: **Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu.** Presses Universitaires de Provence, Aix-en-Provence, pp. 197–202.
- Pèlachs, A., Nadal, J., Soriano, J.M., Molina, D., Cunill, R., 2009. Changes in Pyrenean woodlands as a result of the intensity of human exploitation: 2,000 years of

metallurgy in Vallferrera, northeast Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany* 18, 403–416. doi:10.1007/s00334-009-0218-6

Percy, J., 1864. *Traité complet de métallurgie*.

Pescini, V., 2013. *Fonti antracologiche per il paesaggio storico: il carbone vegetale come traccia dell'uso delle risorse forestali (Thesis)*. Università degli Studi di Genova, Genova, Italia.

Pescini, V., Montanari, C.A., Moreno, D.T., 2018. Multi-proxy record of environmental changes and past land use practices in a Mediterranean landscape: The Punta Mesco cape (Liguria - Italy) between the 15th and 20th century. *Quaternary International, Anthracology: Local to Global Significance of Charcoal Science - Part III* 463, 376–390. doi:10.1016/j.quaint.2017.03.060

Peterken, G.F., 1993. *Woodland conservation and management*, 2nd ed. ed. Chapman & Hall, London ; New York.

Petit, S., Watkins, C., 2004. Pratiques paysannes oubliées. **L'étêtage et l'émondage des arbres en Grande-Bretagne (1600-1900)**. *Études rurales* 197–214. doi:10.4000/etudesrurales.8062

Pichler, T., Nicolussi, K., Goldenberg, G., 2010. Dendrochronological dating of charcoal originating from an Early Iron Age fire-set pit in the mining area of Schwaz/Brixlegg (Tyrol, Austria). In: Anreiter, P., Goldenberg, G., Hanke, K., Krause, R., Leitner, W., Mathis, F., Nicolussi, K., Oeggli, K., Pernicka, E., Prast, M., Schibler, J., Schneider, I., Stadler, H., Stöllner, T., Tomedi, G., Tropper, P. (Eds.). *Mining in European History and Its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB HiMAT*, 12-15. November 2009, Innsbruck. Pp. 233–237. pp. 233–237.

Pichler, T., Nicolussi, K., Goldenberg, G., Hanke, K., Kovács, K., Thurner, A., 2013. Charcoal from a prehistoric copper mine in the Austrian Alps: dendrochronological and dendrological data, demand for wood and forest utilisation. *Journal of Archaeological Science* 40, 992–1002. doi:10.1016/j.jas.2012.09.008

- Picornell-Gelabert, L., Dufraisse, A., 2018. Wood for Building: Woodland Exploitation for Timber Procurement in the Prehistoric and Protohistoric Balearic Islands (Mallorca and Menorca; Western Mediterranean). *Environmental Archaeology* 1–16. doi:10.1080/14614103.2018.1521086
- Picornell-Gelabert, L., Servera-Vives, G., Carrión Marco, Y., Burjachs, F., Currás, A., Llergo, Y., Dufraisse, A., De Luís Arrillaga, M., Mus Amézquita, M., 2021. Late Holocene Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller) woodlands in Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean): Investigation of their distribution and the role of human management based on anthracological, dendro-anthracological and archaeopalynological data. *Quaternary International, Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology* 593–594, 346–363. doi:10.1016/j.quaint.2020.11.006
- Picot de Lapeyrouse, P., 1786. *Traité sur les mines de fer et les forges du comté de Foix*, Imprimerie de D. Desclassan (Toulouse). ed.
- Pleiner, R., 2000. Iron in archaeology. Archeologický ústav AVČR, Praha.**
- Ploquin, A., Allée, P., Bailly-Maître, M.-C., Baron, S., Beaulieu, J.-L. de, Carignan, J., Laurent, S., Lavoie, M., Le Carlier, C.M., Paradis, S., Peytavin, J., Pulido, M., 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. **ArcheoSciences. Revue d'archéométrie** 99–114. doi:10.4000/archeosciences.2669
- Poggi, G., Métaillie, J.-P., 1998. Carbonai **dell'Antola, video-cassetta 40'**, co-produzione CAV-UTM/Ente Parco Antola, realizzazione Bruno Bastard. https://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii_le_mirail/les_charbonniers_de_l_antola_jean_paul_metailie_guiseppina_poggi.4327.
- Poszwa, A., Mansuy-Huault, L., Gebhardt, A., Gocel-Chalte, D., Vincent, R., Guérol, F., 2018. Les charbonnières influencent-elles la qualité actuelle des sols forestiers des Vosges du Nord? In: Séminaire Annuel Du Labex DRIIHM.

Dispositif de Recherche Interdisciplinaire Sur Les Interactions Hommes-Milieus. 8,9 et 10 Octobre 2018 - Marseille / La Couronne. Poster.

Poszwa, A., Gebhardt, A., Mansuy-Huault, L., Guerold, F., Gocel-Chalte, D., Razafitianamarahavo, A., Robin, V., 2019. Les charbonnières du Bitcherland : quels héritages pour les sols? In: Séminaire de Restitution OHM Pays de Bitche. 3 Mai 2019. Communication Orale.

Poszwa, A., Gebhardt, A., Mansuy-Huault, L., Gocel-Chalté, D., Razafitianamamaharavo, A., Guerold, F., 2021. Impact of past charcoal activities on forest soils. In: Historical Ecology for the Future. International Conference on Historical Ecology. Online Conference 25-28 May 2021. Communication Orale.

Pott, R., Freund, H., Speier, M., 1992. Anthropogenic changes of landscape by extensive woodland management and charcoal production in Siegerland (Northrhine-Westphalia, Germany. In: Métaillé, J.-P. (Ed.), **Protoindustries et Histoire Des Forêts, Les Cahiers de l'Isard**, p.163-183.

Poublanc, S., 2019. Des forêts unanimement détruites au XVIIe siècle dans le Midi : une construction culturelle ?

Poublanc, S., 2020. Managing southern French forests under and before Colbert. Between law and custom, ca. 1500-1700. In: Dowling Abigail P. and Keyser **Richard (Eds), Conservation's Roots. Managing for Sustainability in Preindustrial Europe, 1110-1800.** Berghahn, New York-Oxford.

Poujade, P., 2008. Une société marchande : Le commerce et ses acteurs dans les Pyrénées modernes, Une société marchande : Le commerce et ses acteurs dans les Pyrénées modernes, Tempus. Presses universitaires du Midi, Toulouse.

Prior, J., Alvin, K.L., 1986. Structural Changes on Charring Woods of *Dichrostachys* and *Salix* from Southern Africa: The Effect of Moisture Content. *IAWA Journal* 7, 243–250. doi:10.1163/22941932-90000993

Prior, J., Gasson, P., 1993. Anatomical Changes on Charring Six African Hardwoods. *IAWA Journal* 14, 77–86. doi:10.1163/22941932-90000579

- Py, V., 2009. Mine, bois et forêt dans les Alpes du Sud au Moyen-ge : approches archéologiques, bio archéologiques et historiques. (Thesis).
- Py, V., Durand, A., Ancel, B., 2013a. Anthracological analysis of fuel wood used for firesetting in medieval metallic mines of the Faravel district (southern French Alps). *Journal of Archaeological Science* 40, 3878–3889. doi:10.1016/j.jas.2013.05.006
- Py, V., Ancel, B., Métaillé, J.-P., Baron, S., Artigas, R.C., 2013b. Prospection inventaire **n°388 Commune d'Aulus-les-Bains** (Ariège). doi:10.13140/2.1.5170.8484
- Py, V., Véron, A., Edouard, J.-L., Beaulieu, J.-L. de, Ancel, B., Segard, M., Durand, A., Leveau, P., 2014. Interdisciplinary characterisation and environmental imprints of mining and forestry in the upper Durance valley (France) during the Holocene. *Quaternary International, Environmental History of European High Mountains* 353, 74–97. doi:10.1016/j.quaint.2014.05.002
- Py, V., Métaillé, J.-P., Ancel, B., Baron, S., Cunill Artigas, R., Galop, D., Barcet, H., Paradis-Grenouillet, S., 2015a. Forest cover changes and trajectories in an ancient mining area of the Pyrenees from Antiquity to the 19th century (Aulus-les-Bains, France).
- Py, V., Métaillé, J.-P., Ancel, B., Baron, S., Cunill, R., Galop, D., Barcet, H., Paradis-Grenouillet, S., 2015b. Forest Cover Changes and Trajectories in an ancient Mining area of the Pyrenees from the Antiquity to the 19th c.
- Py, V., Durand, A., Mocci, F., Walsh, K., 2015c. Temps de la feuille, temps du boisillage ? Lire les données anthracologiques au prisme de l'économie alpestre médiévale. In: *Traces Du Végétal*. Presses Universitaires de Rennes, pp. 43–62.
- Py-Saragaglia, V., Ancel, B., Barcet, H., Baron, S., Cunill Artigas, R., Métaillé, J.-P., Paradis-Grenouillet, S., 2014. FORêts passées, DYNAMIQUES et processus de **recolonisation à travers l'étude des activités miNières et métAllurigiques** historiques du Haut-Vicdessos et de ses abords. In: *Séminaire de Restitution Des Projets Financés En 2012/2013 de l'OHM Pyrénées Haut Vicdessos*. Communication Orale. Toulouse, France.

- Py-Saragaglia, V., Fouédjeu, L., Saulnier, M., Cunill Artigas, R., Pescini, V., Paradis-Grenouillet, S., Métaillé, J.-P., Barcet, H., Buscaino, S., 2017a. Dynamiques forestières holocènes de la forêt de Bernadouze et impact des pratiques métallurgiques historiques (Suc-et-Sentenac, Haut-Videssos). In: Séminaire **de l'Observatoire Hommes-Milieus** Haut-Videssos et Haute Vallée Du Gave, 22-23 Mars 2017, Toulouse. Communication Orale.
- Py-Saragaglia, V., Cunill Artigas, R., Métaillé, J.-P., Ancel, B., Baron, S., Paradis-Grenouillet, S., Lerigoleur, E., Badache, N., Barcet, H., Galop, D., 2017b. Late Holocene history of woodland dynamics and wood use in an ancient mining area of the Pyrenees (Ariège, France). *Quaternary International* 458, 141–157. doi:10.1016/j.quaint.2017.01.012
- Py-Saragaglia, V., Fouédjeu, L., Saulnier, M., Cunill Artigas, R., Buscaino, S., 2017c. Origin of charcoal vitrification: new insights on seasonality of natural fire regime and/or human practices using fire? In: 3rd International Workshop of Pedoanthracology – The Memory of the Soils and the Wood Charcoals 2-3 Nov. 2017 Limoges. Communication Orale.
- Py-Saragaglia, V., Saulnier, M., Cunill Artigas, R., Fouédjeu, L., Paradis-Grenouillet, S., Buscaino, S., Galop, D., 2018. Chapter 10: Long-term forest evolution and woodland uses in an ancient charcoal-production forest of the eastern French Pyrenees: an interdisciplinary approach at high spatio-temporal resolution. In: Aspe, C., Burri, S., Paradis-Grenouillet, S. (Eds.), *Into the Woods. Overlapping Perspectives on the History of Ancient Forests*. Quae.
- Py-Saragaglia, V., Burri, S., Fouédjeu, L., 2019. Les forêts montagnardes du versant nord des Pyrénées. In: Bépoix, S., Richard, H. (Eds.), *La Forêt Au Moyen Âge*. Paris, France, pp. 276–299.
- Py-Saragaglia, V., Fouédjeu, L., Burri, S., Saulnier, M., Labbas, V., Paradis, S., Cunill Artigas, R., Larrieu, L., Lejay, M., Buscaino, S., Métaillé, J.-P., 2020. De Fodyna à Transylve : autres regards sur les forêts des Pyrénées ariégeoises. In: Ohmpyr2020 : Séminaire de Restitution Des Projets 2018-**2019 de l'OHM** Pyrénées Haut Videssos 2020. Communication Orale. CNRS UMR 5602 GEODE, Toulouse, France.

- R Core Team, 2018. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raab, A., Takla, M., Raab, T., Nicolay, A., Schneider, A., Rösler, H., Heußner, K.-U., Bönisch, E., 2015. Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination. *Quaternary International* 367, 111–122. doi:10.1016/j.quaint.2014.09.041
- Raab, T., Hirsch, F., Ouimet, W., Johnson, K.M., Dethier, D., Raab, A., 2017. Architecture of relict charcoal hearths in northwestern Connecticut, USA. *Geoarchaeology* 32, 502–510. doi:10.1002/gea.21614
- Rackham, O., 2003. Ancient woodland: its history, vegetation and uses in England. Castlepoint, Dalbeattie, Kirkcudbrightshire.
- Ramsey, C.B., Plicht, J. van der, Weninger, B., 2001. ‘Wiggle Matching’ Radiocarbon Dates. *Radiocarbon* 43, 381–389. doi:10.1017/S0033822200038248**
- Rassat, G., Crouzevialle, R., Cerbelaud, F., Allée, P., Bal, M.C., Toumazet, J.-P., Dieudonné-Glad, N., 2018. **L’utilisation et l’apport des données LiDAR pour l’étude des forêts en Charente.** In: Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), *Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d’un Artisanat Méconnu.* pp. 105–120.
- Reille, M., Lowe, J.J., 1993. A re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the last glacial to the present. *Quaternary Science Reviews* 12, 47–77. doi:10.1016/0277-3791(93)90048-Q
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., Plicht, J. van der, 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–

50,000 Years cal BP. Radiocarbon 55, 1869–1887.
doi:10.2458/azu_js_rc.55.16947

Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., Plicht, J. van der, Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon 62, 725–757.
doi:10.1017/RDC.2020.41

Rendu, C., 2003. La montagne d’Enveig, une estive pyrénéenne dans la longue durée. Trabucaire.

Rendu, C., Calastrenc, C., Le Couédic, M., Berdoy, A., 2016. Estives d’Ossau. 7000 ans de pastoralisme dans les Pyrénées, Le Pas d’oiseau. ed.

René, P., 2011. Régression des glaciers pyrénéens et transformation du paysage depuis le Petit Âge Glaciaire. Sud-Ouest européen. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest 5–19. doi:10.4000/soe.639

Riera, S., Esteve, X., Nadal, J., 2007. Systèmes d’exploitation et anthropisation du paysage méditerranéen du Néolithique ancien au premier Âge du Fer. In: Richard, H., Magny, M., Mordant, C. (Eds.), **Environnements et Cultures à l’âge Du Bronze En Europe Occidentale.** pp. 121–142.

Rinn, F., 2003. TSAP-Win User Reference (Version 0.53). RinnTech, Heidelberg.

Rochebrunel, 1920. Forêt domaniale de Suc-et-**Sentenac, révision d’aménagement,** service des aménagements et du reboisement (Inventaire chpa IV n°77. Archive **départementale de l’Ariège. 26p).**

Rose, F., 1993. British Wildlife | Ancient British Woodlands and their Epiphytes. Br. Wildl. 5 83–93.

- Rosset, T., Gandois, L., Roux, G.L., Teisserenc, R., Jimenez, P.D., Camboulive, T., Binet, S., 2019. Peatland Contribution to Stream Organic Carbon Exports From a Montane Watershed. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 124, 3448–3464. doi:<https://doi.org/10.1029/2019JG005142>
- Rostain, S., Saulieu, G. de, 2018. *Ecologie historique*, Première édition. ed. Éditions **de la Maison des sciences de l'homme, Paris.**
- Rouaud, R., 2013. Les forêts de pente de la haute vallée de la Dordogne : enjeux écologiques et énergétiques d'une ancienne forêt charbonnée (Auvergne, Limousin, France) (thesis.). <http://www.theses.fr>. Limoges. 450p.
- Rouaud, R., Allée, P., 2018. Les forêts de pente de la haute vallée de la Dordogne: **retour sur le passé d'une forêt charbonnée. In: Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu** (Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R., Eds.). pp. 177–188.
- Rouzaud, H., 1908. La mine de rancié (Comté de Foix) depuis le Moyen Âge jusqu'à la Révolution.** Université de Toulouse.
- Rueda, C.V., Baldi, G., Gasparri, I., Jobbágy, E.G., 2015. Charcoal production in the Argentine Dry Chaco: Where, how and who? *Energy for Sustainable Development* 27, 46–53. doi:10.1016/j.esd.2015.04.006
- Ruffié, H., 1997. Le minutier Barba, 1510-1513 (lecture **et traduction**) [**minutier d'un notaire de Vicdessos**], dactylographié.
- Ruffié, J.-L., 2003. **Une population de montagnards dans les tribulations de l'histoire. Le consulat de Vicdessos à l'orée du monde moderne, 1510-1710.** Etude sociale, politique, religieuse, économique. Paris, EHESS, 2 vol. 849 et 102 p.
- Ryvarden, L., Melo, I., 2014. Poroid fungi of Europe, Oslo : Fungiflora. ed, Synopsis fungorum, 31. 455p.
- Salisbury, E.J., Jane, F.W., 1940. Charcoals from Maiden Castle and their Significance in Relation to the Vegetation and Climatic Conditions in Prehistoric Times. *Journal of Ecology* 28, 310–325. doi:10.2307/2256232

- Salvador, J., 1930. Simples notes sur l'aménagement et l'exploitation des forêts pyrénéennes françaises.** *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 1, 58–74. doi:10.3406/rgpso.1930.3944
- Samojlik, T., Rotherham, I.D., Jedrzejewska, B., 2013. Quantifying Historic Human Impacts on Forest Environments: A Case Study in Bialowieza Forest, Poland. *Environmental History* 18, 576–602. doi:10.1093/envhis/emt039
- Saulnier, M., Py-Saragaglia, V., Fouédjeu, L., Cunill Artigas, R., 2017a. The pre-charcoal making activity vegetation in a Vicdessos upper valley: a pedoanthracological approach in the Bernadouze catchment area (Pyrenees, France). In: *Into the Woods, Overlapping Perspectives on the History of Ancient Forests*, 18-20 April 2017, Padova, Italy. Communication Orale.
- Saulnier, M., Cunill Artigas, R., Benatti, A., Garcia-Alvarez, S., Bal, M.-C., Robin, V., Py-Saragaglia, V., 2017b. Update the pedoanthracological methodology: Discussion from the recent insights to new interactive tools. In: *3rd International Workshop of Pedoanthracology – The Memory of the Soils and the Wood Charcoals* 2-3 Nov. 2017 Limoges. Communication Orale.
- Saulnier, M., Cunill Artigas, R., Fouédjeu, L., Buscaino, S., Métaillié, J.-P., Galop, D., Py-Saragaglia, V., 2020. A study of late Holocene local vegetation dynamics and responses to land use changes in an ancient charcoal making woodland in the central Pyrenees (Ariège, France), using pedoanthracology. *Vegetation History and Archaeobotany* 29, 241–258. doi:10.1007/s00334-019-00740-7
- Schmidt, M., Mölder, A., Schönfelder, E., Engel, F., Fortmann-Valtink, W., 2016. Charcoal kiln sites, associated landscape attributes and historic forest conditions: DTM-based investigations in Hesse (Germany). *Forest Ecosystems* 3, 8. doi:10.1186/s40663-016-0067-6
- Schweingruber, F.H., 1990. *Anatomy of european woods: An atlas for the identification of european trees, shrubs and dwarf shrubs*, Haupt, Stuttgart. Birmensdorf :Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
- Scipioni, S., 2002. *Dati antracologici da due pratiche attuali : la produzione del carbone vegetale nelle alte valli Scrivia e Trebbia (Appennino Ligure)*.

Archeologia Postmedievale: società, ambiente, produzione: 4, 2000.
doi:10.1400/210836

Sclafert, T., 1926. L'Industrie du fer dans la région d'Alleverd au moyen âge. Facultés
des Lettres de Paris. Imprimerie Allier père et fils, Grenoble. 120p.

Sebastien, L., 2020. The power of place in understanding place attachments and
meanings. *Geoforum* 108, 204–216. doi:10.1016/j.geoforum.2019.11.001

Smith, P., 1984. L'archéologie d'une transformation sociale : le passage de la chasse-
cueillette à l'agriculture. *Anthropologie et Sociétés* 8, 45–61.
doi:10.7202/006175ar

Stokes, M.A., Smiley, T.L., 1996. An introduction to tree-ring dating, Nachdr. ed.
University of Arizona Press, Tucson. p73.

Stokland, J.N., Siitonen, J., Jonsson, B.G., 2012. Biodiversity in dead wood, Ecology,
biodiversity, and conservation. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Stoops, G., 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin
sections. Soil Science Soc. of America., Madison. p184.

Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F., 2010. Interpretation of micromorphological
features of soils and regoliths. Elsevier Science. p752.

Stouvenot, C., Beauchêne, J., Bonnissent, D., Oberlin, C., 2013. **Datations
radiocarbone et le “ problème vieux bois ” dans l'arc antillais** : état de la
question. In: 25to Congreso Internacional de Arqueología Del Caribe - 25th
International Congress for Caribbean Archeology - 25e Congrès International
de l'Archéologie de La Caraïbe. Instituto de Cultura Puertorriqueña, el Centro
de Estudios Avanzados de Puerto Rico y el Caribe y la Universidad de Puerto
Rico, Recinto de Río Piedras, San-Juan, Puerto Rico, pp. 459–494.

Strachan, S., Biondi, F., Lindström, S.G., McQueen, R., Wigand, P.E., 2013.
Application of Dendrochronology to Historical Charcoal-Production Sites in the
Great Basin, United States. *Historical Archaeology* 47, 103–119.
doi:10.1007/BF03377126

- Strachan, S.D., 2011. Dendrochronological Dating of Historic Charcoal Oven Platforms in the Great Basin, North America (Thesis). University of Nevada, Reno. p59.
- Stuiver, M., 1961. Variations in radiocarbon concentration and sunspot activity. *Journal of Geophysical Research* 66, 273–276. doi:10.1029/JZ066i001p00273
- Svedelius, G., Anderson, R.B., Nicodemus, W.J.L., 1875. *Handbook for Charcoal Burners*. John Wiley & Son. 246p.
- Szabó, P., 2015. Historical ecology: past, present and future. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 90, 997–1014. doi:10.1111/brv.12141
- Taillefer, F., 1939. Le Vicdessos. Étude géographique. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 10, 161–268. doi:10.3406/rgpso.1939.1132
- Tans, P.P., De Jong, A.F.M., Mook, W.G., 1979. Natural atmospheric ¹⁴C variation and the Suess effect. *Nature* 280, 826–828. doi:10.1038/280826a0
- Teissier Du Cros, É., 1981. *Le Hêtre*. INRA, Département des recherches forestières, Paris.
- Théry-Parisot, I., Henry, A., 2012. Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science* 39, 381–388. doi:10.1016/j.jas.2011.09.024
- Théry-Parisot, I., Costamagno, S., Henry, A., 2008. Gestion des combustibles au Paléolithique et au Mésolithique : nouveaux outils, nouvelles interprétations.
- Théry-Parisot, I., Dufraisse, A., Chrzavzez, J., Henry, A., Paradis-Grenouillet, S., 2011. Charcoal analysis and wood diameter : inductive and deductive methodological approaches for the study of firewood. In : E. Badal, Y. Carrion, E. Grau, M. Garcia , M. Ntinou (eds), *Ve International Meeting of charcoal analysis . The charcoal as cultural and biological heritage*. *Saguntum extra* 11 : 31-32. 31–32.
- Théry-Parisot, I., Henry, A., Chrzavzez, J., 2016. Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques sociétales en anthracologie : gestion et utilisation du bois de feu dans les sociétés préhistoriques. *Cadernos do Lapaarq* 13, 484–509. doi:10.15210/LEPAARQ.V13I25.7410**

- Théry-Parisot, I.A., 2001. Économie des combustibles au paléolithique : expérimentation, taphonomie, anthracologie. CNRS. Paris.
- Tilman, D., May, R.M., Lehman, C.L., Nowak, M.A., 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature* 371, 65–66. doi:10.1038/371065a0
- Tolksdorf, J.F., Elburg, R., Schröder, F., Knapp, H., Herbig, C., Westphal, T., Schneider, B., Fülling, A., Hemker, C., 2015. Forest exploitation for charcoal production and timber since the 12th century in an intact medieval mining site in the Niederpöbel Valley (Erzgebirge, Eastern Germany). *Journal of Archaeological Science: Reports* 4, 487–500. doi:10.1016/j.jasrep.2015.10.018
- Tolksdorf, J.F., Kaiser, K., Petr, L., Herbig, C., **Kočár, P., Heinrich, S., Wilke, F.D.H., Theuerkauf, M., Fülling, A., Schubert, M., Schröder, F., Křivánek, R., Schulz, L., Bonhage, A., Hemker, C.**, 2020. Past human impact in a mountain forest: geoarchaeology of a medieval glass production and charcoal hearth site in the Erzgebirge, Germany. *Regional Environmental Change* 20, 71. doi:10.1007/s10113-020-01638-1
- Trenet, Y., 1997. Alus-les-Bains. Notice, Carte géologique de la France 1/50000. BRGM.
- Trier, Ø.D., Reksten, J.H., Løseth, K., 2021. Automated mapping of cultural heritage in Norway from airborne lidar data using faster R-CNN. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 95, 102241. doi:10.1016/j.jag.2020.102241
- Unrau, A., Becker, G., Spinelli, R., Lazdina, D., Magagnotti, N., Nicolescu, V.-N., Buckley, P., Bartlett, D., Kofman, P.D. (Eds.), 2018. *Coppice Forests in Europe*, 1. Auflage. ed, COST Action PF1301 EuroCoppice. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg.
- Valade, B., 2018. Une exigence insatisfaite : **l'interdisciplinarité**. *Hermès, La Revue* 80, 68–74.
- Valerius, J.-B., 1851. *Traité théorique et pratique de la fabrication de la fonte*. Kissling et Company.

- Vaschalde, C., 2018. Les charbonnières rectangulaires actuelles de Guadeloupe. In: Paradis-Grenouillet, S., Burri, S., Rouaud, R. (Eds.), **Charbonnage, Charbonniers, Charbonnières. Confluence de Regards Autour d'un Artisanat Méconnu**. pp. 23–32.
- Verna, C., 1994. Le temps des moulins : le fer et son exploitation du comté de Foix à la vicomté de Béarn (fin du XIIe siècle - fin du XVe siècle) (thesis). Paris 1.
- Verna, C., 1996. Une nouvelle page de l'histoire des mines d'argent européennes: le cas des Pyrénées centrales (XIVème-XVème siècle)**. Bulletin de la Société Ariégeoise Sciences Lettres et Arts. p 201-232.
- Verna, C., 2001. Le temps des moulins: fer, technique et société dans les Pyrénées centrales (XIIIe-XVIe siècles). Publications de la Sorbonne, 2001, Paris, France.
- Verna, C., 2003. Fer, bois, houille : forge hydraulique et gestion des combustibles (Pyrénées-Languedoc, XIVe siècle). In *Economia e energia, secc. XIII-XVIII. XXXIV Settimana di Studi* (Istituto internazionale di storia economica Francesco Datini), Prato, avril 2002 Florence, 2003 341–356.
- Verna, C., Cantelaube, J., 2000. Les forges à la génoise dans les Pyrénées centrales au **XVIe siècle: quel transfert d'innovation?** In: **Dans Éd. C. Cucini-Tizzoni et M. Tizzoni, Il Ferro Nelle Alpi, Giacimenti, Miniere e Metallurgia Dall'antichità al XVI Secolo**, Atti Del Convegno, Bienno, 1998 Breno. pp. 152–163.
- Vernet, J.L., 1997. **L'homme et la forêt méditerranéenne: de la préhistoire à nos jours**, Collection des Hespérides. Éditions Errance, Paris.
- Vernet, J.L., Ogereau, P., Figueiral, I., 2001. Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents: sud-ouest de l'Europe**: France, péninsule ibérique, et îles Canaries. CNRS, Paris.
- Vidal-Matutano, P., Henry, A., Théry-Parisot, I., 2017. Dead wood gathering among Neanderthal groups: Charcoal evidence from Abric del Pastor and El Salt (Eastern Iberia). *Journal of Archaeological Science* 80, 109–121. doi:10.1016/j.jas.2017.03.001

- Vidal-Matutano, P., Alberto-Barroso, V., Marrero, E., García, J.C., Pou, S., Rosa, M.A. de la, 2019. Vitrified wood charcoal and burnt bones from the pre-Hispanic site of Chasogo (Tenerife, Canary Islands, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports* 28, 102005. doi:10.1016/j.jasrep.2019.102005
- Villalba, R., Veblen, T.T., 1997. Spatial and temporal variation in *Austrocedrus* growth along the forest-steppe ecotone in northern Patagonia.
- Vliet-Lanoë, B.V., 2010. Frost Action. In: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, pp. 81–108. doi:10.1016/B978-0-444-53156-8.00006-4
- Voss, O., 1995. Snorup, an iron producing settlement in West Jutland, 1 st-7th century AD. In: *The Importance of Ironmaking. (1) Technical Innovation and Social Change*. [1]. Papers Presented at the Norberg Conference on May 8-13, 1995. Jernkontoret, Stockholm, pp. 132–139.
- Ward, J.H.J., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* 58, 236–244. doi:10.1080/01621459.1963.10500845
- Warde, P., 2006. Fear of Wood Shortage and the Reality of the Woodland in Europe, c.1450-1850. *History Workshop Journal* 62, 28–57. doi:10.1093/hwj/dbl009
- Warde, P., 2015. Early modern “resource crisis”: the wood shortage debates in Europe.** In: Brown, A.T., Burn, A., Doherty, R. (Eds.), *Crisis in Economic and Social History*. Woodbridge: Boydell & Brewer, pp. 137–160.
- Watkins, C., 2015. Methods and approaches in the study of woodland history. In: **Kirby, K.J., Watkins, C. (Eds.), Europe’s Changing Woods and Forests: From Wildwood to Managed Landscapes**. CABI, Wallingford, pp. 18–32. doi:10.1079/9781780643373.0018
- Whited, T.L., 2000. *Forests and peasant politics in modern France*, Yale agrarian studies series. Yale University Press, New Haven.
- Woronoff, D., 1984. Forges prédatrices, forges protectrices. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 55, 213–218. doi:10.3406/rgpso.1984.2976

Woronoff, D. (Ed.), 1990. Forges et forêts: recherches sur la consommation proto-
industrielle de bois, Recherches d'histoire et de sciences sociales. École des
Hautes Études en Sciences Sociales, Paris. 263p.

Zutautas, V., 2017. Charcoal Kiln Detection from LiDAR-derived Digital Elevation
Models Combining Morphometric Classification and Image Processing
Techniques.

Table des illustrations de la thèse

Liste des figures de la thèse

Figure 1: carte de localisation du terrain d'étude 37

Figure 2: Peuplement actuel de la forêt de Bernadouze. (i) Futaie jardinée issue de la **conversion d'anciens taillis fureté. (ii) Taillis vieillis issue de l'abandon du taillis fureté.** (iii) Taillis rabougris. Au centre, la tourbière de Bernadouze 41

Figure 3: Échantillonnage. (A) localisation de la charbonnière 17. (B) Échantillonnage avec la tarière pédologique montrant la succession couche charbonneuse-sol ocre. (C) Profil de la couche charbonneuse de la charbonnière 17 montrant des successions de sol riche en charbons et de terre ocre (gauche) et croquis illustrant le replat et les **points d'échantillonnage (droite).** (D) **Profil stratigraphique d'une charbonnière fouillée** montrant une couche charbonneuse homogène du sommet à la base du replat 46

Figure 4: Protocole pour restituer la gestion historique des forêts et la saisonnalité des pratiques liées au charbonnage et leur héritage sur le peuplement actuel. (A) Mesure du rayon de courbure. (B) Analyse des bio-indicateurs. (C) Indice de Biodiversité Potentiel (IBP) 52

Figure 5: Protocole test illustrant les étapes de l'analyse dendrochronologique (A) et micromorphologique (B). Le croisement des résultats des deux approches (A et B) **permettent de dater à haute résolution chronologique l'histoire des pratiques de la charbonnière fouillée.** 55

Figure 6: Les **différentes échelles d'analyse de cette étude.** 57

Figure 7: (A) European and national location; (B) consulat de Vicdessos location in Ariège administrative district; (C) Mapping of the consulat de Vicdessos and locations of study areas (Bernadouze forest -focus area-, Arbu, Artigue, Soulcem -Tignalbu, La Glise, La Cruets-), (D) Focus area with (i) platforms recorded and sampled (red points), (ii) platforms dated by C14 (white squares), (iii) 28 platforms with charcoal analysis (yellow points), (iv) sampling points for pedoanthracological analysis (small fires) published in Saulnier et al. (2020), (v) pastoral sites (orange points). The focus area is divided into four Analysis Spatial Units (ASU) surrounded by white dotted lines. ... 65

Figure 8: General location of the water-powered bloomery in the consulat de Vicdessos.	72
Figure 9: Restitution of bloomery activity in Auzat territory	73
Figure 10: Restitution of bloomery activity in Suc territory.....	73
Figure 11: Restitution of bloomery activity in Vicdessos territory	74
Figure 12: Evaluation of the maximum running duration for each bloomery (colors correspond to successive phases of activity).....	74
Figure 13: Number of bloomeries over time in the consulat de Vicdessos according to written records (Only the years for which we have an overview of the total number of bloomeries are represented; contracted undocumented periods in grey)	74
Figure 14: Radiocarbon dates of platforms showing 15 centuries of charcoal manufacturing	78
Figure 15: (A) Anthracological diagram of the focus area showing the relative frequencies of taxa classified by reference spatial unit. Points represent taxa with relative frequencies of lower than 1%; (B) Results of wood diameter reconstruction carried on Fouédjeu et al. (2021b); (C) Historicals periods.....	80
Figure 16: Hierarchical clustering conducted on the basis of the similar taxonomic composition of dated and undated platforms highlighting three groups (green, red, yellow)	81
Figure 17: Anthracological diagram of Artigue and Soulcem showing the relative frequencies of taxa. Points represent taxa with relative frequencies of lower than 1% (Davasse, 1989; 2000).	87
Figure 18: Sampling design of the Bernadouze forest green points represent the totality of recorded and sampled CKs (n=80); red points, CKs (n=17) dated by C14; red squares, CKs with dendro-anthracological analysis (n=25); red circles, IBP plots (n=13); “fires” represent pedoanthracological pits (n=3) ; yellow points represent pastoral sites (n=5).....	100

Figure 19: Photos illustrating: terminal growth rings of charcoal fragments that retained their bark (A), hyphae fungi contamination (B), cellular collapse (C), and radial cracks (D)	103
Figure 20: Illustration of the three steps required to find wood diameter (Paradis-Grenouillet et al., 2015, modified).	104
Figure 21: Plot of radiocarbon dates for charcoal kilns in the Bernadouze forest distributed into five historical periods. Data were calibrated with OxCal v4.4.4 Bronk Ramsey (2021); r:5 Atmospheric data from Reimer et al. 2020	106
Figure 22: Results of charcoal analysis by charcoal kilns (CKs) and by charcoal layers (CLs) in the Bernadouze forest	107
Figure 23: Chronological representation of radiocarbon dated charcoal kilns (CKs). The oldest CKs are at the bottom and the most recent at the top. All data concerning the taxa found through anthracological analysis have been represented, including data on harvest seasonality, wood diameter reconstruction, the decay and moisture stage of the wood, and the number of growth rings.....	109
Figure 24: IBP results (in %): A) related to the seven factors describing current stand; B) Related to the three factors describing context	110
Figure 25: The Forêt de Bernadouze represented with sampling points of charcoal kilns (CK). Green squares represent four CKs near to CK target and red square CKs dated by radiocarbon between 19th and 20th c. White circles, the 46 dendrochronological samples analysed for this study. The red star represents the CK selected for the micromorphological and dendrochronological study.....	129
Figure 26: Protocol illustrating excavation and sampling of the CK. (a) White dotted circle shows the CK boundary after removal of litter. Grid with 1 x 1 m squares. Sampling of a bucket of 10 litres of sediment per tiles and SU. (b) Excavation of a quarter of the CK	130
Figure 27: (a): North section of the trench. (b) and (c). Detail of the western and the central part of the section after an additional 10 cm, discovery of a fifth SU and the localization of micromorphological samples. (d): Schematic survey of the trench ..	132

Figure 28: Scans and microphotography of samples Bern2 (A, C) and 3 (B, D). (A, B) Scan of the indurated samples (A: Bern3, B: Bern2) with schematic organization of micro-facies (a to d). (C, D) Scans of the two thin-sections. (E) Bern2-3_a: channel infilling including fragmented charcoal. (F) Bern2-3_b: aggregates, mostly of biological origin, made of combustion residues rich heterogeneous material (red arrow) or of mineral components similar to the local regolith. (G) Bern2-3_c: Oxidized upper part of the micro-facies. (H) Bern2-3_b: General organization and microstructure with mixture of aggregates enriched in combustion residue (red arrow) and others similar to the surrounding regolith (yellow arrow)..... 136

Figure 29: Scans and microphotography of Bern1 sample. (A) Scan of the indurated sample with schematic organization of micro-facies (a to g). (B, C and D) Scans of the three thin-sections. (E) Bern1_a: main coarse mineral materials; (red arrow: phlogopite; yellow arrows: dolomite) surrounded by carbonated clay-silt. (F) Bern1_b: centimetric charcoal surrounded by a mix of mineral and organic materials. (G) Bern1_b: heterogeneous constituents and organization with both unaltered aggregates (yellow arrow), oxidized aggregates (red arrow) and carbonaceous material (blue arrow). (H) Bern1_c: integration of combustion residues-rich material as mesofauna faecal pellets (yellow arrows) and a large rounded aggregate of unaltered sediment (red arrow). (I) Bern1_d: aggregate of oxidized sediment in secondary position within a heterogeneous matrix including abundant combustion residues and biological features. (J) Bern1_g: Topsoil organic layer with abundant leaf fragments (red arrows) 137

Figure 30: A synthesis of the organization of the identified MFTs in samples (images from resin-indurated blocs cut, wetted and taken on a flatbed scanner). 138

Figure 31: Correlation matrix illustrating the very good synchronization of live trees (a) and charcoal (b). Black color indicates the quality of correlation 140

Figure 32: Comparison of the master chronology of the Forêt de Bernadouze (red) with the chronologies of the Iraty Forest (green, French Basque Country) and Baish Aran (blue, Spanish Pyrenees). The table at the foot of the figure indicates the main statistical results of the cross-dating processes..... 141

Figure 33: Interdating charcoal chronology with live wood chronology. The table at the bottom indicates the main statistical results of the cross-dating processes	142
Figure 34: Diagram of the 82 dated charcoal series presented as horizontal bars. Stars represent the number of the stratigraphic units (SU) from which the charcoal fragments come. Fragments without bark are indicated in green and fragments with bark in red. Blue points indicate the last ring produced by the tree only on charcoal with bark and yellow vertical lines indicate dates of felling. (b): Time course of use of the terrace illustrating the trend of charcoal production on the CK. Green color represents charcoal without bark and red color charcoal with bark. We can see an intensification from 1939	143
Figure 35: Photographie de la charbonnière 62 mise en évidence par le passage des engins de débardage.....	156
Figure 36: Carte de la vallée de Suc-et-Sentenac mettant en évidence les zones charbonnées déterminées par Izard (1989) et l'emplacement des vestiges archéologiques (charbonnières, oris, enclos etc.) géolocalisées dans le cadre des projets FODYNA et de cette thèse.....	157
Figure 37: Evolution de la végétation de la vallée de Suc-et-Sentenac depuis 1669.	169
Liste des tableaux de la thèse	
Tableau 1: Combine Accelerator Mass Spectrometry (AMS) dates of the focus area, Soulcem, Arbu and Artigue	77
Tableau 2: Historical periods based on radiocarbon range of charcoal production in the Bernadouze forest	105
Tableau 3: Synthesis and description of stratigraphic units (SU).....	131

Annexes

Annexe 1 : Détail des archives étudiés

N° doc	Date	Brief description	Archival location	Relevant references to the document
1	1272, March	Charter of franchises granted by Roger-Bernard, earl of the County of Foix, to Vicdessos community	Lost original document. Transcript of this charter in a 1294 (n. st.) vidimus and in two 14th c. Vidimus - Arch. Dép. Ariège, E 96, documents n°21;22; 27.	(Verna, 2001, pp. 116–117, 167–168)
2	1281, June 21th	Compromise concluded between the Vicdessos and Junac representatives about the dispute of their reciprocal use of the woodland of Teillet	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°26. Translated copy in Vicdessos cartulary (17th-18th c.) - Arch. dép. Ariège, E 95, fol. 19-20.	(Verna, 2001, pp. 128–129)
3	1294 (n. st.), February 13th	Charter of franchise granted by Roger-Bernard III, earl of the County of Foix, to Vicdessos community regulating several rights concerning iron ore extraction and the trade of iron within the Consulat and its export	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°27; 1304 copy - , Arch. dép. Ariège, E 96, document n°22; 14th-early 15th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°21; 17th c. copy - Arch. dép. Haute-Garonne, B, Maîtrise de Pamiers, F 1; 18th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°29; 19th copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°30	(Barbe, 1865, pp. 7–15; Rouzaud, 1908, pp. 118–127; Blanks, 1998, pp. 177–178; Verna, 2001, pp. 168–171)
4	1297	Dispute about the access to natural resources (pastures, wood etc) in the <i>Consulat de Vicdessos</i> : beside people from the Consulat, only external person paying taxes in the Consulat were allowed to use them	Original - Arch. dép. Ariège, E96, fol. 8v-9r; n°12; copy - Arch. Dép. Ariège 17th-18th c. copy, E95, fol. 8v-9.	Unpublished
5	1301, September 20th	Privileges granted by Roger-Bernard III, earl of the County of Foix, to the inhabitants of Vic and Nabiès, among those the common rights of freely cutting wood in all the forests and mountains of the Consulat, but prohibiting charcoal burning	Lost original document. Mentioned in the Cartulary of the archives from the Castle of Foix for the Abbey of Boulbonne - Bib. mun. de Toulouse, ms. 638, p. 77.	(Verna, 2001, p. 121)
6	1303 (n. st.), January 30rd	Proclamation by the judicial officer (<i>bayle</i>) of the valley of Vicdessos, in presence of the counsellors of the community, of an order from the seneschal of the Earl of	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°23; 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège, E 95, fol. 5v-6; Mentioned in the inventory of titles of	Verna 2001, p.122-125

		Foix, regulating charcoal making. The representatives of the community appealed this decision.	Vicdessos community (18th c.) - Arch, dép. Ariège, 1 C 163, p. 13.	
7	1304, December 9th	Charter of franchises granted by Gaston 1st, Earl of Foix, confirming the previous charters (modification concerning the taxation of iron ore)	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°22; 14th-early 15th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°21; 17th c. copy - Arch. dép. Haute-Garonne, B, Maîtrise de Pamiers, FED; 18th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°29; 19th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°30.	Verna 2001, p. 171-173
8	1324, July 4th	Bernard Marty's deposition before Jacques Fournier (Bishop of Pamiers). Memories of events dated from around 1299.	Bibl. Apostolica Vaticana, Ms Vat. Lat. 4030	Edited in t. III Duvernoy, 1965, pp. 259, 285; Interpreted in Verna 2001, p. 89-93
9	1324, September 12th - 1325 (n. st.) January 16th	Arbitral award concluded between the inhabitants on the one hand from Seuillac and Siguer and on the other those from Vicdessos, concerning the uses that the inhabitants from the first two communities claimed to enjoy on the Pla de Savingre and the woodland of Teillet	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°17. 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège E 95 fol. 24-25v; Mentioned in the inventory of titles of Vicdessos community (18th c.) - Arch, dép. Ariège, 1 C 163, p. 19 et 28	Verna 2001, p. 128-129
10	1325 (n. st.), January 3rd	Nomination of arbitrators to resolve the conflict between on the one hand the inhabitants of Seuillac and Siguer, and on the other those of Vicdessos concerning the claimed uses enjoyed by the first two communities on the Pla de Savingre and the woodland of Teillet.	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n° 15. 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège E 95 fol. 23v-24.	Verna 2001, p. 128-129
11	1329, 15 mai	Arbitral award concluded between on the one hand the representatives of the lord and inhabitants of Junac, and on the other those of the communities of Vicdessos, Arconac, Illier and Sem concerning the previous disputes, especially the claimed use enjoyed by the Junac on the woodland of Teillet	Lost original document. 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège, E 95, fol. 25v-26v. Mentioned in the inventory of titles of Vicdessos community (18th c.) - Arch, dép. Ariège, 1 C 163, p. 19-20	Verna 2001, p. 128-129
12	1333, March 12th	Confirmation by Gaston II, Earl of Foix, of the franchises granted by his predecessors to the community of Vicdessos with some new rights	Lost original document. 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège, E 95, fol. 38v-41v. Mentioned in the inventory of titles of Vicdessos community (18th	Verna 2001, p. 189-190

			c.) - Arch, dép. Ariège, 1 C 163, p.33.	
13	1338 (n. st.), March 3rd	Confirmation by Gaston II, Earl of Foix, of the agreement concluded between the representatives of Junac and those of Vicdessos, Arconac, Illier and Sem on all their disputes	Original scroll - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°16	Verna 2001, p. 128-129
14	1341, May 25th	Donation project of the silver mines located in Vicdessos valleys	Mentioned in the Cartulary of the archives from the Castle of Foix for the Abbey of Boulbonne - Bib. mun. de Toulouse, ms. 638, p. 77; Arch. dép. Ariège, E8, p. 77; E6, p. 312.	Mandement, 1934, pp. 234–235; Verna, 1996, p. 210; 2001, pp. 277–280
15	1343, April 17th	Mandamus of the Earl of Foix to his seneschal and his treasurer requiring the new enfeoffments of the inactive silver mines	Mentioned in the Cartulary of the archives from the Castle of Foix for the Abbaye of Boulbonne - Bib. mun. de Toulouse, ms. 638, p. 62; Arch. dép. Ariège, E8, p.62	Verna 1996, p. 210
16	1348 (n. st.), January 12th	Proclamation and registration of the negotiations and agreement concluded between Raimond-Roger de Comminges, viscount of Couserans, Gaston III de Foix, Aliénor de Comminges and the community of Vicdessos concerning the exchange of Vicdessos iron ore against Couserans wood and charcoal	Original scroll (very badly preserved) - Arch. dép. Ariège, E96, document n°11; 16th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document n°12; 18th c. copy - Arch. dép. Ariège, E 96, document, n°28.	Verna 2001, p. 125-128
17	1348 (n. st.), January 13th	Acknowledgement by Raimond-Roger de Comminges, viscount of Couserans, of the agreement concluded between him and the community of Vicdessos concerning the transportation of iron ore. Following the discussions between his representatives and those of Vicdessos about the rights enjoyed by the latter in the woodlands of Couserans, he specifies the terms of the agreement	17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège, E 95, 26v-27.	Verna 2001, p. 125-128
18	1369, October 23rd	Restoration of the permission of the people of Vicdessos to freely build and run sawmills on the Salex, Ournac and Artiès given by the seneschal of the County of Foix	Original document lost. 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège, E 95, fol. 37-38	Verna 2001, p. 127-128; 183
19	1381, June 21th	Compromise concluded between the Vicdessos and Junac representatives about the dispute of their	Original document lost. 17th-18th c. translated copy - Arch. Dép. Ariège, E 95, fol. 19r-20	Unpublished

		reciprocal use of the woodland of Teillet		
20	1383, July 22th	Mention of a charcoal burner, originated from Arbas (Couserans), living in Vicdessos	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 357, fol. 37 (act n°124)	Unpublished
21	1390	<i>Rôle des feux</i> (fiscal survey) of the County of Foix mentioning <i>moulines</i>	Original paper register - Arch. dép. Pyrénées-Atlantiques, E 414.	Dufau de Maluquer 1900; Verna 2001 (numerous quotations)
22	1394, May 29th	Proclamation of the patents letters of the ordinary judge of the County of Foix addressed to the conseillers of Vicdessos, at the request of Raimon Caze, owner of Girent <i>mouline</i> , near to Ournac, about the modification of the path passing near his <i>mouline</i> and going to Castelbon. Nomination of experts to carry out the work. Raimon Caze is declared responsible of the maintenance of the new bridge to be built	Lost original document. 17th-18th c. translated copy - Arch. dép. Ariège, E 95, 17v-18v. Mentioned in the inventory of titles of Vicdessos community (18th c.) - Arch, dép. Ariège, 1 C 163, p. 21.	Verna 2001, p. 90; 204; 253
23	1447, prior to January 14th	Inventory of the property and feudal rights of the earl of Foix in the valley of Vicdessos	Lost original document. Mentioned in the inventory of the titles of the House of Foix collected by Michel du Bernis from December, 7th 1445 to January 14th 1447 - Arch. dép. Pyrénées-Atlantiques, E 392, fol. 67-68.	Verna 2001, p. 253
24	Between 1491- 1505	Census of the incomes of the County of Foix	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, 36 J 661 (doc n°9).	Unpublished
25	1506	Census of the incomes of the County of Foix	Original paper register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, E 450.	Unpublished
26	1511, Februar y 11th	Acquittance concerning several debts of Bartholomeus de Cassanca, from Vicdessos (some of them concerning the repairs of the Ginier <i>mouline</i>)	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, 5E 12979, fol. 6v.	Ruffié 1997, p.9-10; Ruffié 2003, p. 744
27	1511, Februar y 11th	Repair commitment of the Ginier <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, 5E 12979, fol. 7r.	Ruffié 1997, p.10
28	1511, March 24th	Granting ot the right of building an aqueduct to supply a sawmill built at the place Al Prat del Moly, in Goulhier	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, 5E 12979, fol.11v.	Ruffié 1997, p.15
29	1513, Februar y 9th	Mention of the " <i>nemore sive veda de Single</i> " as a plot boundary at Pla de Crambas (Auzat)	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, 5E 12979, fol. 67v	Ruffié 1997, p.74

30	1521, Novemb er 23rd	Mention of Jean Jollin, <i>ferreri</i> of the <i>mouline</i> of Videssos	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 359, fol. 60.	Barbe 1900, p.52- 55; Verna and Cantelaube 2000
31	1521, Decemb er 1st	Act of debt concluded in the <i>mouline</i> of Videssos	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 359, fol. 60.	Barbe 1900, p.52- 55; Verna and Cantelaube 2000
32	1530 (n. st.), March 21st	Sale in favor of Jean Jolin, <i>ferrerio</i> from Videssos, concluded in the <i>mouline</i> of Ginier	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 85v-86	Unpublished
33	1530 (n. st.), March 22nd	Debt in favor of Jean Jolin, <i>ferrerio</i> from Videssos, concluded in the <i>mouline</i> of Ginier	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 86	Unpublished
34	1530 (n. st.), March 23rd	Act concluded in the <i>mouline</i> of Ginier	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 86v	Barbe 1900, p. 10-11
35	1530 (n. st.), March 26th	Act concluded in the <i>mouline</i> of Ginier	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 87v	Unpublished
36	1530, May 15th	Debt in favor of Jean Jollin, <i>ferrerio</i> of Videssos, to be sold in charcoal	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 59.	Barbe 1900, p.52- 55
37	1531, Decemb er 29th	Debt from Arnaud Dengerma, charcoal burner from Suc in favor of Jean Jolin from Videssos to be sold in producing charcoal	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 99v	Barbe 1900, p.52- 55
38	1532, March 27th	Act contracted in the <i>mouline</i> of Ginier, in Auzat	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 112v-113r	Barbe 1900, p.52- 55
39	1532, May 23rd	Quote concerning lumber supply for some construction work in the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 124-v; 125v	Barbe 1900, p. 52-55; Verna and Cantelaube 2000
40	1532, July 20th	Quote concerning construction work of the house of the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 127v	Barbe 1900, p.52- 55
41	1532, July 20th	Debt to be paid in charcoal transportation to the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 127v	Barbe 1900, p. 52
42	1532, July 22th	Quote concerning construction work of the house and stable of the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 128r	Barbe 1900, p. 52. Verna and Cantelaube 2000
43	1532, August 17th	Debt to be paid in iron ore transportation to the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 129v	Barbe 1900, p.52- 55
44	1532, August 26th	Purchase act concluded at the Ginier bloomery (Auzat)	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 130r	Barbe 1900, p.52- 55
45	1533, March 8th	Quote for the expansion work of the charcoal storage building of the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 140rv	Barbe 1900, p.52- 55; Ruffié 2003, p. 745
46	1533, July 13th	Protest about some iron ore to be delivered in the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 150.	Barbe 1900, p.52; Ruffié 2003, p. 753

47	1533, July 13th	Protest about some iron ore to be delivered in the Ferraziel <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 150.	Barbe 1900, p.52; Ruffié 2003, p. 753
48	1533, November 10th	4-years enfeoffment of Ginier <i>mouline</i> (Auzat)	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 158-v	Barbe 1900, p.53; Verna and Cantelaube 2000
49	1534, July 13th	Timber supply contract for the restoration works to be done on the dam of Ginier <i>mouline</i>	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 176	Barbe 1900, p. 54
50	1535, February 22nd	Debt contracted by a charcoal burner from Gestès to the bloomery master Jean Jolin (from Vicdessos ?)	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 198	Unpublished
51	1536, April 17th	Debt - some charcoal burners from Illier were witnesses of the act	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 199	Unpublished
52	1536, April 17th	Debt - some charcoal burners from Illier were witnesses of the act	Original paper register - Arch. Dép. Ariège, E 360, fol. 199-v	Unpublished
53	1553	List of the water-powered bloomeries located in the County of Foix	Original document - Arch. dép. Haute-Garonne, C 3458	Pailhès 1992, p. 60; Verna and Cantelaube 2000
54	1560, November 6th	Deed of sale of Ferraziel <i>mouline</i> with its house	Lost original document. Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E 8, p. 319	Verna and Cantelaube 2000
55	1560, November 16th	Deed of sale of Ferraziel <i>mouline</i> with its house	Original copy - Arch. Dép. Tarn-et-Garonne, A315, fol. 164r-168v	Unpublished
56	1560- 1561	Inventory of the property and feudal rights of the earl of Foix in the County of Foix	Original register - Arch. Dép. Ariège, 36J660.	Unpublished
57	1563, January 12th	New enfeoffment act of Pla Mouré-Tignac <i>mouline</i> and sawmill	Original copy - Arch. Dép. Tarn-et-Garonne, A315, fol. 10r-15r	Unpublished
58	1563, January 12th	New enfeoffment act of Pla Mouré-Tignac <i>mouline</i> and sawmill	Fragment of the original scroll - Arch. Dép. Ariège, B 271 (fragment used as a register cover)	Unpublished
59	1564, May 16th	Application for the new enfeoffment and construction of Pla Nizar <i>mouline</i>	Lost original document. Brief summary - Arch. Dép. Ariège, E8, p. 318	Verna and Cantelaube 2000
60	1564, May 29th	New enfeoffment act of Pla Nizar <i>mouline</i>	Original copy - Arch. Dép. Tarn-et-Garonne, A315, fol. 20r-25v	Unpublished
61	1564, December 26th	Application for the new enfeoffment and construction of a mill located next to its <i>mouline</i> (Ginier)	Lost original document. Brief summary - Arch. Dép. Ariège, E8, p. 318	Verna and Cantelaube 2000
62	1567, November 28th	Registration of the Ferraziel <i>mouline</i> purchase	Original document - Arch. Dép. Tarn-et-Garonne, A315, fol. 164r-168v	Unpublished
63	1573- 1574	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Dép. Pyrénées Atlantiques, B1069	Unpublished
64	1574- 1575	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1070	Ruffié 2003, p. 746

65	1575-1576	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1071	Unpublished
66	1576-1577	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1072	Unpublished
67	1576, December 18th	Enfeoffment of Pont d'Artiès/Campasses bloomery	Lost original document. Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E8, p. 137	Verna and Cantelaube 2000
68	1577, February 2nd	Enfeoffment of Pla Mouré bloomery	Lost original document. Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E8, p. 137; E 6 p. 522	Verna and Cantelaube 2000
69	1577, February 7th	Enfeoffment of Guilhe bloomery	Lost original document. Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E8, p. 138; E 6 p. 523	Verna and Cantelaube 2000
70	1578-1579	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1073	Unpublished
71	1578	Plee concerning the enfeoffment of the place of Pla de Magot (Auzat) for the establishment of a water-powered bloomery	Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E8, p. 299	Verna and Cantelaube 2000
72	1579 January 9th	Enfeoffment of the place of Pla de Magot (Auzat) for the establishment of a water-powered bloomery	Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E8, p. 318	Verna and Cantelaube 2000
73	1579, February 1579	Enfeoffment of blomery and water-mill at Coste d'Ardes/pla de Molinas (Auzat)	Brief summary. Arch. Dép. Ariège, E8, p. 299	Verna and Cantelaube 2000
74	1580	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1074	Unpublished
75	1581	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1075	Ruffié 2003, p. 744
76	1581	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1077bis	Unpublished
77	1582	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1078	Ruffié 2003, p. 746
78	1583	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1079	Unpublished
79	1583, September 6th	Debt of iron from the <i>moulines</i> of Vicdessos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 435, fol. 136v	Unpublished
80	1584	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1077	Unpublished
81	1588, June 13th	Debt to be paid in iron ore transportation to the Moulinas bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 444, fol. 88-v	Unpublished
82	1590	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1080	Unpublished

83	1590, March 16th	Debt of iron from moulines of Vicdessos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 445, 1590 cahier, fol. 47v	Unpublished
84	1590, October 2nd	Debt of iron from moulines of Vicdessos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 445, 1590 cahier, fol. 138v	Unpublished
85	1591	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1082	Unpublished
86	1591, February 9th	Debt to be paid in charcoal transportation to the Pla Nizar bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 446, cahier 1, fol. 15	Unpublished
87	1591, February 19th	Debt to be paid in charcoal transportation to the Pla Nizar bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 446, cahier 1, fol. 24	Unpublished
88	1591, April 6th	Debt to be paid in charcoal transportation to the Pla Nizar bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 446, cahier 1, fol. 38	Unpublished
89	1591, May 31st	Debt to be paid in charcoal transportation to the Pla Nizar bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 446, cahier 2, fol. 15	Unpublished
90	1591, November 1st	Debt of iron from the <i>moulines</i> of the <i>Consulat de Vicdessos</i>	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 446, cahier 2, fol. 77	Unpublished
91	1592	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1083	Unpublished
92	1593	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1084	Unpublished
93	1594	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1085	Unpublished
94	1595	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1086	Unpublished
95	1595, February 20th	Debt - charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 550, fol. 30	Unpublished
96	1596	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1087	Unpublished
97	1596, March 4th	Debt - charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 551, fol. 12v	Unpublished
98	1596, March 4th	Debt - charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 551, fol. 12v	Unpublished
99	1597	Account book of the County of Foix (including bloomeries fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1088	Ruffié 2003, p. 746
100	1597	Mention of the enfeofment of the mouline of Guille in the 1604 Account book of the County of Foix	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1094	Unpublished
101	1597	Mention of the enfeofment of the mouline of Las Moulinas in the 1604 Account book of the County of Foix	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1094	Unpublished

102	1598	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1089	Unpublished
103	1599	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1090	Unpublished
104	1599, February 30	Plee for the enfeoffment of the Capounta bloomerie	Mentionned in Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1177	Ruffié 2003, p. 744
105	1599, May 24th	Debt of iron from the <i>moulines</i> of the <i>Consulat de Vicdessos</i>	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E 553, fol. 23v	Unpublished
106	1600	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1091	Unpublished
107	1600, August 16th	Enfeoffment of the Capounta bloomerie	Original scroll- Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1177 and mentionned in Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1092	Unpublished
108	1601, November 6th	Enfeoffment of the Ournac bloomerie	Original scroll - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1179	Unpublished
109	1602	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1092	Unpublished
110	1603	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1093	Pailhès 1992, p. 60, 66; Cantelaube 2005, p. 79, 439
111	1604	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1094	Unpublished
112	1605	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1095	Unpublished
113	1606	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1097	Unpublished
114	1607	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1098	Unpublished
115	1617, March 6th	Agreement between the owner of La Moulinasse (Pla Molinas?) bloomerie and two traders from Foix about the rental payment	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1926, fol. 89v-91	Ruffié 2003, p. 753
116	1620-21	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1099	Unpublished
117	1622	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1100	Unpublished
118	1623	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1101	Unpublished
119	1623	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1102	Unpublished

120	1624-25	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1103	Unpublished
121	1625-26	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1105	Unpublished
122	1626-27	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1107	Unpublished
123	1628	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1108	Unpublished
124	1629	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1108	Unpublished
125	1630	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1109	Unpublished
126	1631	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1110	Unpublished
127	1632	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1111	Ruffié 2003, p. 745
128	1633	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1112	Unpublished
129	1634	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1113	Unpublished
130	1634, May 21st	Debt charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1026	Unpublished
131	1634, June 1634	Mixed debt with charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1026	Unpublished
132	1634, July 3rd	Mixed debt with charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1026	Unpublished
133	1634, August 7th	Mixed debt with charcoal - delivery Laprade Bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1026	Ruffié 2011, p. 335
134	1635	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1114	Unpublished
135	1636	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1114	Unpublished
136	1637	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1114	Unpublished
137	1638	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1115	Unpublished
138	1639	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1116	Unpublished
139	1639, December 22nd	Sale of the 1/4 of Laprade bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E622, fol. 164v-165v	Ruffié 2003, p. 745

140	1640	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1117	Unpublished
141	1641	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1118	Unpublished
142	1641, April 12th	Account book of the treasurer of the County of Foix	Original register - Arch. Dép. Ariège, 36J76	Unpublished
143	1642	Account book of the County of Foix (including bloomerie fee incomes)	Original register - Arch. Dép. Pyrénées Atlantiques, B1119	Unpublished
144	1646-47	Census of the incomes of the County of Foix	Original register - Arch. Dép. Ariège, 36J661 (doc n°1)	Unpublished
145	1648, November 25th	Agreement about the 1/10 part of Laprade bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E630, fol. 121v-122r	Ruffié 2003, p. 753
146	1648, December 11th	Sale of the 1/9 part of a bloomery located in the consulat of Vicdessos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E630, fol. 139r-140r	Ruffié 2003, p. 747
147	1651, May 10th	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E502, fol. 101v-103r	Ruffié 2003, p. 750
148	1651, May 10th	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E502, fol. 103r-104v	Ruffié 2003, p. 750
149	1652, May 5th	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1027, fol. 6v-7v	Ruffié 2003, p. 750
150	1652, December 15th	Debt - charcoal (Guilhe, Cabre, Capounta or other ones) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1027, fol. 38v-39v	Cantelaube 2005, p. 441
151	1655, January 10th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, fol 1-v	Unpublished
152	1655, January 10th	Debt with migere (Ournac) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, fol 2-v	Unpublished
153	1655, February 9th	Mixed debt with charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, fol 20-21	Unpublished
154	1655, February 9th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, fol 21-22	Unpublished
155	1655, nc	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, fol 38-v	Unpublished
156	1655, April 13th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, fol 40v-41	Unpublished
157	1655, May 20th	Debt - transportation of charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 14-15v	Unpublished
158	1655, May 23rd	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 20v-21	Unpublished
159	1655, June 6th	Debt with migere (whatever the bloomery)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 23-v	Unpublished

160	1655, July 25th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 38-39	Ruffié 2003, p. 750; Poujade 2008, p. 94
161	1655, July 25th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 39-v	Ruffié 2003, p. 750
162	1655, July 25th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 39v-40v	Ruffié 2003, p. 750
163	1655, July 25th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 2nd cahier, fol 40v-41	Ruffié 2003, p. 750
164	1655, Decemb er 7th	Purchase of a 2-year cutting of a common woodland (Auzat) for charcoal burning	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 3rd quire	Poujade 2008, p. 94
165	1655, Decemb er 20th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 3rd quire	Unpublished
166	1655, Decemb er 27th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 3rd quire	Unpublished
167	1655, Decemb er 27th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1028, 3rd quire	Unpublished
168	1657, May 1st	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, E342, quire year 1657, fol. 25v-26r	Unpublished
169	1659, January 28th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 2v-3v	Unpublished
170	1659, Februar y 24th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 16	Unpublished
171	1659, April 2nd	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 28v-29	Unpublished
172	1659, April 2nd	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 29-v	Cantelaube 2005, p. 80
173	1659, April 2nd	Debt-charcoal with migere (Cabre?)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 30	Unpublished
174	1659, April 2nd	Debt-charcoal with migere (Cabre?)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 30v-31	Unpublished
175	1659, June 3rd	Debt-charcoal with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 41-42	Poujade 2008, p. 94
176	1659, June 17th	Debt-charcoal (Ournac) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 46v-47	Unpublished
177	1659, June 25th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 48	Cantelaube 2005, p. 80
178	1659, October 15th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 84-85	Unpublished
179	1659, October 29th	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 95v-98	Unpublished

180	1659, December 14th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 116v-117	Unpublished
181	1659, December 14th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 117-v	Unpublished
182	1659, December 28th and 31st	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1029, fol. 124v-125v	Unpublished
183	1661, April 4th-16th	Procedure for the enfeoffment of the Vexanelle <i>mouline</i> (Videssos)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, DD1 n°53 (piece 1)	Ruffié 2011, p. 352
184	1661, August 27th	Enfeoffment of the Vexanelle <i>mouline</i> (Videssos)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, DD1 n°53 (piece 2)	Ruffié 2011, p. 352
185	1663, January 5th	Dispute about the right on water of the Vexanelle bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, G227, folder 22	Ruffié 2003, p. 753, p. 747
186	1664, April 20th	Debt to be sold in working in the J.A. Galy's bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°12)	Unpublished
187	1664, April 30th	Debt-charcoal (Ournac) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°18)	Unpublished
188	1664, May 22nd	Debt-charcoal (Ournac) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°31)	Unpublished
189	1664, June 8th	Debt-charcoal (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°39)	Unpublished
190	1664, July 6th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°45)	Unpublished
191	1664, September 18th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°84)	Unpublished
192	1664, September 18th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°85)	Unpublished
193	1664, October 26th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°101)	Unpublished
194	1664, October 29th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°103)	Unpublished
195	1664, December 13rd (?)	Debt with migere (From any bloomery)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1040 (act n°119)	Unpublished
196	1666, January 4th	Property purchase - with charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°2)	Unpublished
197	1666, January 10th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°7)	Unpublished
198	1666, January 17th	Debt-charcoal (2 parts: Ournac and Capounta or Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°13)	Unpublished

199	1666, January 24th	Mixed Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°18)	Unpublished
200	1666, January 25th	Mixed Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°19)	Unpublished
201	1666, Februar y 4th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°24)	Unpublished
202	1666, Februar y 9th	Debt-charcoal (Capounta or Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°35)	Unpublished
203	1666, Februar y 10th	Mixed Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°39)	Unpublished
204	1666, Februar y 19th	Mixed Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°50)	Unpublished
205	1666, Februar y 19th	Debt-charcoal (Guilhe or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°51)	Unpublished
206	1666, Februar y 21st	Mixed Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°53)	Unpublished
207	1666, Februar y 24th	Debt-charcoal (Guilhe or Vexanelle) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°60)	Unpublished
208	1666, Februar y 26th	Mixed Debt-charcoal (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°62)	Unpublished
209	1666, Februar y 28th	Mixed Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°63)	Unpublished
210	1666, March 2nd	Debt with migere (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°68)	Unpublished
211	1666, March 11th	Ratification of the sale of 1/3 part of the Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E645, fol. 40v-41v	Ruffié 2003, p. 747
212	1666, March 21st	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°83)	Unpublished
213	1666, March 22nd	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°91)	Unpublished
214	1666, March 22nd	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°92)	Unpublished
215	1666, March 26th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°99)	Unpublished
216	1666, March 27th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°101)	Unpublished
217	1666, April 4th	Debt with migere	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°109)	Unpublished
218	1666, April 4th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°110)	Unpublished

219	1666, April 5th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°114)	Unpublished
220	1666, April 17th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°125)	Unpublished
221	1666, May 2nd	Debt with migere (Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°133)	Unpublished
222	1666, June 21st	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°159)	Unpublished
223	1666, June 21st	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°159bis)	Unpublished
224	1666, July 13rd (1666, July 7th)	Debt with migere (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°173)	Unpublished
225	1666, July 15th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°174)	Unpublished
226	1666, August 5th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°184)	Unpublished
227	1666, December 6th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°253)	Unpublished
228	1666, December 5th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°259)	Unpublished
229	1666, December 21st	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°273)	Unpublished
230	1666, December 26th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1041 (act n°274)	Unpublished
231	1667	Reformation of water and forest (Couserans)	Original document - Arch. Dép. Ariège, 2B29	Davasse 2000 (numerous quotes)
232	1667, January 24th	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 8-9	Unpublished
233	1667, January 24th	Debt with migere	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 9-10	Unpublished
234	1667, January 31st	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 16-17	Unpublished
235	1667, January 31st	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 17-18	Unpublished
236	1667, February 6th	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 20-21	Unpublished
237	1667, February 22nd	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 23-25	Unpublished

238	1667, November 27th	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1030, fol. 132-133	Unpublished
239	1668, March 5th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°19)	Unpublished
240	1668, March 5th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°22)	Unpublished
241	1668, March 31st	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°25)	Unpublished
242	1668, April 4th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°26)	Unpublished
243	1668, April 12th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°27)	Unpublished
244	1668, May 13th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°46)	Unpublished
245	1668, July 17th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°53)	Unpublished
246	1668, October 14th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°94)	Unpublished
247	1668, October 14th	Debt-charcoal (Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1042 (act n°95)	Unpublished
248	1669	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1031	Unpublished
249	1669- 1670	Reformation of water and forest (County of Foix)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 2B31; Arch. Dép. Haute-Garonne, 2B22	Cantelaube 2005, p. 441; Davasse 2000 (numerous quotes), table 1-2, p. 237-238
250	1669	Reformation of water and forest (County of Foix)	Original document - Arch. Dép. Haute-Garonne, 8B127, F1	Davasse 2000 (numerous quotes)
251	1670	Reformation of water and forest (County of Foix)	Original document - Arch. Dép. Haute-Garonne, 2B22, F6	Davasse 2000 (numerous quotes)
252	1670	Reformation of water and forest (County of Foix)	Original document - Arch. Dép. Haute-Garonne, 2B22, F3	Davasse 2000 (numerous quotes)
253	1670	Reformation of water and forest (County of Foix)	Original document - Arch. Dép. Haute-Garonne, 2B22, F6	Davasse 2000 (numerous quotes)
254	1670, January 1st	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°1)	Unpublished
255	1670, January 26th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°21)	Unpublished
256	1670, February 14th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°31)	Unpublished

257	1670, February 16th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°37)	Unpublished
258	1670, February 16th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°39)	Unpublished
259	1670, February 16th	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°40)	Unpublished
260	1670, February 16th	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°41)	Unpublished
261	1670, February 23rd	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°47)	Unpublished
262	1670, March 10th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°63)	Unpublished
263	1670, March 11th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°69)	Unpublished
264	1670, April 20th	Debt with migere (Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°99)	Unpublished
265	1670, May 15th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°113)	Unpublished
266	1670, June 16th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°125)	Unpublished
267	1670, June 16th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°126)	Unpublished
268	1670, June 16th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°127)	Unpublished
269	1670, June 16th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°128)	Unpublished
270	1670, June 22nd	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°129)	Unpublished
271	1670, July 1st	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°132)	Unpublished
272	1670, July 2nd	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°135)	Unpublished
273	1670, July 2nd	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°136)	Unpublished
274	1670, November 9th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°169)	Unpublished
275	1670, November 23rd	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°178)	Unpublished
276	1670, December 31st	Debt-charcoal (Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1043 (act n°194)	Unpublished

277	1671, February 11th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°25)	Unpublished
278	1671, February 14th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°28)	Unpublished
279	1671, February 14th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°29)	Unpublished
280	1671, March 9th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°47)	Unpublished
281	1671, March 9th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°48)	Unpublished
282	1671, March 16th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°52)	Unpublished
283	1671, April 5th	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°69)	Unpublished
284	1671, May 2nd	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°77)	Unpublished
285	1671, May 8th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°81)	Unpublished
286	1671, May 10th	Debt with migere (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°85)	Unpublished
287	1671, May 26th	Debt with migere (Vexanelle or Laprade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°90)	Unpublished
288	1671, July 19th	Debt with migere (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°101)	Unpublished
289	1671, July 26th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°103)	Unpublished
290	1671, July 29th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°104)	Unpublished
291	1671, July 29th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°130)	Unpublished
292	1671, October 26th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°131)	Unpublished
293	1671, October 26th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°132)	Unpublished
294	1671, October 26th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°133)	Unpublished
295	1671, October 27th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°135)	Unpublished
296	1671, Decemb er 28th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°168)	Unpublished

297	1671, Decembre 30th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°172)	Unpublished
298	1671, Decembre 30th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1044 (act n°173)	Unpublished
299	1672, January 18th	Debt-charcoal (Capouta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1032	Unpublished
300	1672, January 20th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°8)	Unpublished
301	1672, ante February 5th	Debt-charcoal (Ournac or Capouta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1032	Unpublished
302	1672, February 5th	Debt-charcoal (Laprade or Guilhe) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°10)	Unpublished
303	1672, February 10th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°11)	Unpublished
304	1672, February 17th	Debt-charcoal (Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°13)	Unpublished
305	1672, February 18th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°14)	Unpublished
306	1672, February 22th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°17)	Unpublished
307	1672, February 22th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°19)	Unpublished
308	1672, February 23rd	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle or Capouta) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°21)	Unpublished
309	1672, February 23rd	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°22)	Unpublished
310	1672, February 25th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°24)	Unpublished
311	1672, February 25th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°26)	Unpublished
312	1672, March 2nd	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°28)	Unpublished
313	1672, March 9th	Census of the <i>Consulat de Siguer</i>	Original register - Arch. Dép. Ariège, E 4, fol. 56-59v	Unpublished
314	1672, March 10th	Census of the <i>Consulat de Vicdessos</i>	Original register - Arch. Dép. Ariège, E 4, fol. 16-19v	Unpublished
315	1672, March 13th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°36)	Unpublished

316	1672, April 3rd	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°42)	Unpublished
317	1672, April 10th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°44)	Unpublished
318	1672, May 27th	Debt-charcoal (Guilhe or Laprade or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°52)	Unpublished
319	1672, June 12th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°65bis)	Unpublished
320	1672, July 27th	Debt-charcoal (Guilhe or Vexanelle) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°74)	Unpublished
321	1672, July 31st	Debt-charcoal (Guilhe or Vexanelle) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°76)	Unpublished
322	1672, Septem ber 9th	Debt-charcoal (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°101)	Unpublished
323	1672, Decemb er 4th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°144)	Unpublished
324	1672, Decemb er 4th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°145)	Unpublished
325	1672, Decemb er 4th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°146)	Unpublished
326	1672, Decemb er 4th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°148)	Unpublished
327	1672, Decemb er 4th	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1045 (act n°149)	Unpublished
328	1675, January 21st	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
329	1675, January 23rd	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
330	1675, January 23rd	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
331	1675, Februar y 15th	Debt-charcoal (Guilhe or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
332	1675, Februar y 15th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
333	1678, January 10th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°14)	Unpublished
334	1678, January between 10th and 20th	Debt-charcoal / Lease agreement of the Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°16)	Ruffié 2003, p. 746

335	1678, January between 10th and 20th	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°24)	Unpublished
336	1678, January between 10th and 20th	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°25)	Unpublished
337	1678, January 20th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°28)	Unpublished
338	1678, January 27th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°32)	Unpublished
339	1678, January 27th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°33)	Unpublished
340	1678, January 27th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°37)	Unpublished
341	1678, January 30th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°39)	Unpublished
342	1678, between January 31st and Februar y 3rd	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°41)	Unpublished
343	1678, between Februar y 3rd and 9th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°44)	Unpublished
344	1678, Februar y 12th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°51)	Unpublished
345	1678, Februar y 17th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°53)	Unpublished
346	1678, Februar y 17th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°54)	Unpublished
347	1678, March 15th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°67)	Unpublished
348	1678, March 23rd	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°74)	Unpublished
349	1678, May 13th ou 30	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°107)	Unpublished
350	1678, June 9th ou 29	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°130)	Unpublished

351	1678, July 24th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta or Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°142)	Unpublished
352	1678, September 21st	Property purchase -charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°155)	Unpublished
353	1678, September 21st	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°156)	Unpublished
354	1678, November 6th ou 16	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°191)	Unpublished
355	1678, November 16th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°206)	Unpublished
356	1678, December 13th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°212)	Unpublished
357	1678, December 14th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°218)	Unpublished
358	1678, December 21st	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1046 (act n°223)	Unpublished
359	1679, April 5th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°62)	Unpublished
360	1679, October 14th	Debt with migere	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°137)	Unpublished
361	1679, October 31st	Debt-charcoal (Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°153)	Unpublished
362	1679, November 6th	Debt-charcoal (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°158)	Unpublished
363	1679, November 8th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°161)	Unpublished
364	1679, November 27th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°168)	Unpublished
365	1679, November 27th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1047 (act n°169)	Unpublished
366	1680, January 27th	Debt-charcoal (whatever bloomery)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
367	1680, January 30th	Debt-charcoal (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
368	1680, February 3rd	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
369	1682, October 5th	Dispute about the ownership of the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B11/237	Unpublished
370	1683	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished

371	1683, January 9th	Debt-charcoal (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
372	1683, January 10th	Debt-charcoal (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
373	1683, January 10th	Debt-charcoal (Cabre or Laprade or Vexanelle) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
374	1683, January 10th	Debt-charcoal (wherever the creditor wants except Ournac or Capounta) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
375	1683, January 12th	Debt-charcoal (creditor's house) (beech)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
376	1683, January 18th	Debt-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
377	1683, March 23rd	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
378	1683, March 23rd	Debt-charcoal (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
379	1683, August 26th	Dispute about the property of the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B13/135	Unpublished
380	1683, December 4th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
381	1684, June 17th	Dispute about the ownership of the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B13/134	Unpublished
382	1684, November 20th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
383	1684, August 5th	Enfeoffment of the 1/4 part of the Ournac bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E672, fol. 75v-76r	Ruffié 2003, p. 747
384	1684, October 13th	Agreement about the purchase of some part of the Galy's bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E673, fol. 64v	Ruffié 2003, p. 745
385	1685, November 22nd	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
386	1686	Accounting book including bloomeries incomes	Original register - Arch. Dép. Tarn et Garonne, C512	Cantelaube 2005, 386
387	1686, January 2nd	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°2)	Unpublished
388	1686, January 9th	Debt-charcoal (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°10)	Unpublished
389	1686, January 17th	Debt-charcoal (wherever except Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°23)	Unpublished
390	1686, January 25th	Property purchase - charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°30)	Unpublished

391	1686, January 25th	Debt-charcoal (wherever except Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°33)	Unpublished
392	1686, February 2nd	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°37)	Unpublished
393	1686, February 4th	Debt-charcoal (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°39)	Unpublished
394	1686, February 10th	Debt with migere (unspecified bloomery)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°51)	Unpublished
395	1686, March 2nd	Acquittance-charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°68)	Unpublished
396	1686, March 2nd	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°74)	Unpublished
397	1686, March 25th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°94)	Unpublished
398	1686, March 26th	Debt-charcoal (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°97)	Unpublished
399	1686, April 2nd	Debt with migere (whatever bloomery except Ournac)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°108)	Unpublished
400	1686, April 9th	Debt-charcoal (Ournac or Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°115)	Unpublished
401	1686, April 28th	Debt-charcoal (Suc)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°133)	Unpublished
402	1686, June 7th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°174)	Unpublished
403	1686, September 13th	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1049 (act n°203)	Unpublished
404	1688, August 7th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
405	1688, November 30th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
406	1689, January 21st- 22nd	Dispute about some repairs of the Cabre bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B19, folder 93	Ruffié 2003, p. 753
407	1690, January 31st	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
408	1692, November 30th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
409	1693, February	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished

410	1693, November 30th	Debt with migere (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
411	1693, December 13th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
412	1693, December 13th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1033	Unpublished
413	1694, January	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1034	Unpublished
414	1694 January 11th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
415	1694 February 7th	Debt-charcoal (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1035	Unpublished
416	1694, April 17th	Debt-iron ore (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1036	Unpublished
417	1694, April between the 18th and 27th	Debt-charcoal (whatever bloomery except Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1037	Unpublished
418	1694, May between 10th and 16th	Debt with migere (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1038	Unpublished
419	1694, June 8th	Debt-charcoal (wherever the creditor wants)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1050	Unpublished
420	1694, June 15th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
421	1694, November 30th	Debt-charcoal (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1050	Unpublished
422	1695, February 20th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
423	1695, April 13th	Debt-charcoal (Capounta)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1051, fol. 13v	Unpublished
424	1695, June 29th	Debt with migere (Cabre)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1051, fol. 22v	Unpublished
425	1695, July 18th	Debt with migere (Vexanelle)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1051, fol. 25	Unpublished
426	1695, August 12th	Enfeoffment of the 6th part of the Guilhe bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1051, fol. 25- v	Ruffié 2003, p. 747
427	1695, August 12th	Debt with migere (Guilhe)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E1051, fol. 25v	Unpublished
428	1696, April 6th	Vicdessos Council deliberations on the non- compliance of the exchange	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB2	Unpublished

		agreement by the hauliers from Massat		
429	1696, April 17th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
430	1696, May 1696	Vicdessos Council decision against some inhabitants of Suc who illegally traded charcoal with Massat contrary to the exchange agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB2	Unpublished
431	1696, October 19th	Enfeoffment of the Cabre bloomery with its meadow for 3 years	Original register - Arch. Dép. Ariège, E 351, quire year 1696, fol. 100-101	Unpublished
432	1697, September 26th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
433	1697, December 8th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
434	1698, December 21th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
435	1699, February 7th	Agreement about the sale of various properties, among which Cabre bloomery (it is said to be ruined)	Original register - Arch. Dép. Ariège, E352, fol. 24v-27	Ruffié 2003, p. 744
436	1699, March 22th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
437	1700, February 6th	Receipt concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
438	1702, December 9th	Value estimation of the new Laprade bloomery (after reconstruction)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 5E747, fol. 216v-217	Ruffié 2003, p. 746
439	1704, October 1st	Debts concerning the Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Unpublished
440	1705, May 28th	Dispute about acts of vandalism at the Guilhe bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B31, folder n°97	Ruffié 2003, p. 747; 754
441	1705, June 3rd	Dispute about acts of vandalism at the Guilhe bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B31, folders n°98 and 99	
442	1706, January 10th	Vicdessos Council deliberations on the repair of the bridges of the valley, including the particular bridge of Vexanelle bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished
443	1706, May 6th	Due to problems about the implementation of the exchange agreement, Vicdessos council statement on the prohibition of iron ore exportation to Massat, Ercé and Aulus until further notice	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished
444	1706, May 26th	Vicdessos council authorizes iron ore exportation to the Ercé Viscount's bloomeries in exchange of charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished

445	1707, November 19th	Vicdessos Council deliberations on the respect of the exchange agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished
446	1707, November 19th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in the Consulat woodlands	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished
447	1709, April 27th	Vicdessos Council deliberations on the respect of the exchange agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished
448	1709, June n.d.	Vicdessos Council deliberations on the respect of the exchange agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB3	Unpublished
449	1715, August 29th	Repairs in Guilhe bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B50, folder n°119	Ruffié 2003, p. 748
450	1717, April 4th	General Police Regulation for the Consulat de Vicdessos	Original document - Arch. Dép. Ariège, E 95, fol. 70-73v	Unpublished
451	1720	Memorandum of the intendant Andrezel on the bloomeries	Original document - Arch. Minist. de la Guerre, château de Vincennes, mémoire de l'Intendant d'Andrezel, art. 5, section 1 , document 29.	Cantelaube 2005, p. 442
452	1721, May 18th	Due to problems about the implementation of the exchange agreement, Vicdessos council statement on the prohibition of iron ore exportation to Couserans bloomeries until further notice	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
453	1721, June 3rd	Due to problems about the implementation of the exchange agreement, Vicdessos council statement on the prohibition of iron ore exportation to Couserans bloomeries until further notice. It is authorized only in exchange of regular amount of charcoal	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
454	1721, July 9th	Vicdessos Council deliberations on the respect of the exchange agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
455	1722, March 29th	Vicdessos Council deliberations on the negotiation on an new iron ore-charcoal exchange with the Viscount of Alos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
456	1722, July 12th	Vicdessos Council deliberations on the abuse of authority of a Auzat counsellor who has allowed some inhabitants to produce charcoal in several places of Auzat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished

457	1722, June 2nd	Copy of the iron ore-charcoal exchange agreement signed with the Viscount of Ustou (1721, September 2nd)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
458	1722, June 28th	Vicdessos Council deliberations on the respect of the exchange agreement (illegal charcoal trade)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
459	1722, August 30th	Due to problems about the implementation of the exchange agreement, Vicdessos council statement on the prohibition of iron ore exportation to Massat, Ercé and Aulus until further notice	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
460	1722, September 13th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in the Teillet woodland (wood and charcoal forfeiture, legal proceedings against the offenders, obligation to have legal authorization from the Council for charcoal burning)	Original register - Arch. dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Davasse 2000, p. 106
461	1722, October 22nd	Creation of Forge-Neuve bloomery	Original register - Arch. dép. Ariège, 5E1060 (act n°17)	Cantelaube 2005, p. 445
462	1722, November 14th	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B66/70	Unpublished
463	1722, November 14th	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B66/71	Unpublished
464	1722, November 14th	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B66/72	Unpublished
465	1722, December 21st	Act about the new Forge-Neuve bloomery	Original register - Arch. dép. Ariège, 5E1060 (act n°31)	Cantelaube 2005, p. 445
466	1723, April 15th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in the Teillet woodland	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Davasse 2000, p. 106
467	1723, May 2nd	Vicdessos Council deliberations on problems in the implementation of the ore-charcoal exchange with the Viscount of Ustou	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
468	1723, July 18th	Vicdessos Council deliberations on the trial against the Viscount of Massat and the Earl of Ercé.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
469	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/95	Unpublished
470	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/96	Unpublished
471	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/97	Unpublished
472	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/98	Unpublished

473	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/99	Unpublished
474	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/100	Unpublished
475	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/101	Unpublished
476	1723	Dispute about a robbery of charcoal at Laramade	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B68/102	Unpublished
477	1723, February 19th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
478	1723, April 15th	Vicdessos Council decision to check if the wood charred in the charcoal kilns located in the Teillet woodland comes from legal or illegal exploitation	Original register - Arch. dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
479	1724, February 9th	Vicdessos Council decision to prohibit to the inhabitants of the Consulat from producing charcoal in the forest of Massat, Ercé and Aulus on their own. They must exchange their ore against charcoal in accordance with the 1347 ore-charcoal exchange agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
480	1724, September 20th	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange with the Earl of Alos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
481	1725, September 17th	Vicdessos Council deliberations on the trial with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
482	1725, November 18th	Vicdessos Council deliberations on some problems in the implementation of the ore-charcoal exchange with the earl of Alos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
483	1726, May 11th	Vicdessos Council deliberations on a new iron ore-charcoal exchange with the Viscount of Montegut, Lord of Rouze and Souex	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
484	1726, August 18th	Vicdessos Council deliberations on a new iron ore-charcoal exchange with the Viscount of Montegut, Lord of Rouze and Souex. Continuation of trial with Ercé	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
485	1727, April 15th	Vicdessos Council deliberations on the respect of the ore-charcoal exchange agreement: prohibition of iron ore exportation to Massat. Agreement to send the iron ore to the Earl of Alos' widow	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished

486	1727, April 15th	Continuation of trial with the Earl of Ercé	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB4	Unpublished
487	1729, June 22nd	Query of the Siguer bloomery owners to the Waters and Forests administration asking to stop the exportation of charcoal produced in Siguer woodlands to the <i>Consulat de Vicdessos</i> bloomeries	Original document -Arch. Dép. Ariège, 2 B 26 60	Cantelaube 2005, p. 527
488	1729, July 17th	Vicdessos Council decision to sue some inhabitants who stole charcoal coming from Massat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
489	1729, November 13th	In the aftermath of a complaint letter of the Earl of Alos' widow, the Vicdessos council decides to send the iron ore to her bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
490	1730, September 29th	Vicdessos Council deliberations on the abuse of Massat inhabitants who hijacked the charcoal convoy geared towards Alos bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Cabau de Fauroune 2021, p. 274
491	1731, January 30th	Piece of legal proceeding against some people of Siguer exporting charcoal to the Vicdessos bloomeries	Original document - Arch. Dép. Ariège, 2 B 26 66	Cantelaube 2005, p. 527
492	1731, February 15th	Piece of legal proceeding against some people of Siguer exporting charcoal to the Vicdessos bloomeries	Original document -Arch. Dép. Ariège, 2 B 26 61	Cantelaube 2005, p. 527
493	1731, February 19th	Piece of legal proceeding against some people of Siguer exporting charcoal to the Vicdessos bloomeries	Original document -Arch. Dép. Ariège, 2 B 26 62	Cantelaube 2005, p. 527
494	1731, March 6th-8th	Piece of legal proceeding against some people of Siguer exporting charcoal to the Vicdessos bloomeries	Original document -Arch. Dép. Ariège, 2 B 26 65	Cantelaube 2005, p. 527
495	1731, March 9th	Piece of legal proceeding against some people of Siguer exporting charcoal to the Vicdessos bloomeries	Original document -Arch. Dép. Ariège, 2 B 26 64	Cantelaube 2005, p. 527
496	1733, October 12th	Vicdessos Council deliberations on ore-charcoal exchange for the Lispatens bloomery (Massat)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Cabau de Fauroune 2021, p. 274-275
497	1733, October 12th	Vicdessos Council deliberations on a case of illegal charcoal production in Labegède debès (Suc)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
498	1735, June 18th	Vicdessos Council deliberations on the non-compliance of the rules of the ore-charcoal exchange	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Cabau de Fauroune 2021, p. 274-275
499	1738, June 17th	Vicdessos Council deliberations on the discovery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished

		of a dead man close to the Capounta bloomery dike		
500	1738, October 28th	Vicdessos Council deliberations on a certain quantity of charcoal at the Vexanelle bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
501	1739, January 29th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in some debès at Auzat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Davasse 2000, p. 106
502	1739, May 18th	Vicdessos Council deliberations on day and night illegal charcoal burning in the forests of the Consulat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
503	1739, Septem- ber 29th	Vicdessos Council deliberations on the non-compliance of the rules of the ore-charcoal exchange with Massat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
504	1739, Decemb- er 12th	Vicdessos Council deliberations on a certain quantity of charcoal and iron at the Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB5	Unpublished
505	1740, March 23rd	Vicdessos Council renew the prohibition to export iron mine to the Massat bloomeries	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
506	1740, Decemb- er 3rd	Vicdessos Council state the prohibition of charcoal burning in the Consulate	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Davasse 2000, p. 107
507	1741, June 11th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in the Labegède debès (Suc)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
508	1741, July 2nd	Vicdessos Council deliberations on the non-compliance of the rules of the ore-charcoal exchange (illegal charcoal purchase in Couserans)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
509	1741, July 16th	In the aftermath of the earl of Ercé complaint, Vicdessos Council deliberations renew the prohibition of charcoal purchases in Couserans and order the respect of the ore-charcoal exchange	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
510	1741, July 30th	Vicdessos Council deliberations on an illegal charcoal purchase in Massat. The buyers are authorized to retrieve the charcoal. Renewal of the prohibition to buy charcoal in Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
511	1742, May 15th	Vicdessos Council give an extra delay to the precedent buyers to retrieve their charcoal due to the long-lasting winter	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished

512	1742, May 27th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal production by inhabitants from Auzat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Davasse 2000, p. 107
513	1743, May 3rd	Dispute about property and use of the Vexanelle bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J498	Unpublished
514	1743, July 10th	Vicdessos Council deliberations on the continuation of the ore-charcoal exchange with Massat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
515	1744, June 28th	Vicdessos Council deliberations on the payment of tax asked by Royal administration to the owners of the Capounta, Guilhe, Laprade and Forge-Neuve bloomeries contrary to their privileges	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
516	1745, Novemb er 4th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal purchase in Massat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
517	1748, May 26th	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat bloomeries owners in the ore-charcoal exchange with Couserans. Only Vicdessos have this privilege.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
518	1748, July 21st	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat and Gourbit in the ore-charcoal exchange with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
519	1749, January 2nd	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat, Rabat and Gourbit in the ore-charcoal exchange with Couserans. Legal proceedings.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
520	1749, January 25th	Judgement of the Council of State stating the prohibition to cut trees or to favorize the cutting and charcoal burning made by Aulus people	Cited in Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6 (April 5th)	Unpublished
521	1749, May 4th	Vicdessos Council deliberations on the prohibition to export iron ore to the Pontets bloomery (Massat) until the owner confirms the iron-ore exchange agreement. Confiscation of illegal charcoal.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
522	1750, April 5th	Ordinance of the royal intendant in favor of the conservation of Aulus forests against the <i>Consulat de Vicdessos</i>	Original document - Arch. dép. Ariège, 36J548	Unpublished

523	1750, April 5th	Vicdessos Council deliberates on the latter ordinance	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
524	1750, April 26th	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat and Rabat in the ore-charcoal exchange with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
525	1750, September 6th	Vicdessos Council deliberations on a great flooding (on August 2nd and 5th) that have destroyed part of the bloomeries equipments	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB6	Unpublished
526	1751, August 19th	Vicdessos Council opposes the will of the Lord of Niaux to export iron ore from Sem mines to the Tor bloomery in Spain	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unpublished
527	1751, October 3rd	Reminder of the charcoal burning prohibition by the Vicdessos Council	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Davasse 2000, p. 107
528	1752	Complaint of the Earl of Ercé against Vicdessos about the ore-charcoal exchange, at the Court of the Intendant	Original register - Arch. Dép. Gers, C3, fol. 82v	Unpublished
529	1752, November 26th	In the aftermath of several Couserans bloomery owners' complaints, the Vicdessos council authorizes iron ore exportation as soon as the passes open	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unpublished
530	1752, December 27th	Vicdessos Council deliberations on the activity stop of several bloomeries of the Consulat caused an iron ore shortage (mines closures), such as Capounta, Forge-Neuve and Cabre. The royal intendant asks the council for an explanation	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unpublished
531	1753, September 23rd	Vicdessos council opposes the authorization given by the Royal intendant to the Lord of Niaux to export iron ore to the Tor bloomery in Spain in exchange of the charcoal needed to fuel the Niaux bloomery, because it is contrary to the privileges of the <i>Consulat de Vicdessos</i>	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Davasse 2000, p. 142
532	1754, July 21st	Vicdessos Council deliberations on charcoal hijacking by the Aulus bloomery owner	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
533	1754, November 1754	Vicdessos Council deliberations on the defense of the ore-charcoal exchange implementation. Legal proceeding at the Intendant court in Auch	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced

534	1755, July 6th	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat, Bedeillac and Rabat in the ore-charcoal exchange with Couserans. Legal proceedings at the Seneschal court in Pamiers	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Cabau de Fauroune 2021, p. 275-276
535	1755, July 20th	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat, Bedeillac and Rabat in the ore-charcoal exchange with Couserans. Legal proceedings at the Seneschal court in Pamiers	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Cabau de Fauroune 2021, p. 275-276
536	1756, June 8th	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Niaux in the ore-charcoal exchange with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Cabau de Fauroune 2021, p. 275-276
537	1756, November 12th	Dispute about the authorization of rebuilding the Vexanelle bloomery. Debate in the Vicdessos Council	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
538	1757, January 2nd	Vicdessos council decides to sue someone who has exported charcoal - acquired in the frame of the ore-charcoal exchange outside the Consulat. Renewal of the prohibition of exporting charcoal because of its scarcity	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
539	1757, June 26th	Dispute about the authorization of rebuilding the Vexanelle bloomery. Construction of a new tank in the Guilhe bloomery. External supply in Val Ferrera. Illegal tilt-hammer.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Davasse 2000, p. 97, 142; Cantelaube 2005, p. 232
540	1757, July 3rd	Dispute about the authorization of rebuilding the Vexanelle bloomery. Debate in the Vicdessos Council. External supply in Val Ferrera.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
541	1757, September 4th	Dispute about the authorization of rebuilding the Vexanelle bloomery. Debate in the Vicdessos Council. External supply in Val Ferrera. Copy of the minutes of 2 experts (charcoal burners) of the survey and evaluation of the woodlands of Bouët and Fontaillade, located in Val Ferrera.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Davasse 2000, p. 142; Cantelaube 2005, p. 232

542	1757, September 12th	Official authorization of the Areu Council to use the woodlands of Bouët and Fontaillade (Val Ferrera) to produce charcoal and timber	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
543	1757, September 21st	Dispute about property and use of Laprade bloomery (Vicdessos) + mentions of Capounta bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B169, 108	Cantelaube 2005, p. 113, 116, 128, 154, 182
544	1757, September 24th	Dispute about property and use of Laprade bloomery (Vicdessos) + mentions of Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1B169, 110; 111; 112; 113	Cantelaube 2005, p. 113, 116, 128, 154, 182
545	1757, October 8th	Dispute about property and use of Laprade bloomery (Vicdessos) + mentions of Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1B169, 109	Cantelaube 2005, p. 113, 116, 128, 154, 182
546	1757, November 6th	Dispute about property and use of Laprade bloomery (Vicdessos) + mentions of Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1B169, 114	Cantelaube 2005, p. 113, 116, 128, 154, 182
547	1759, June 25th	Vicdessos Council deliberations on charcoal hijacking by the Aulus bloomery owner	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Davasse 2000, p. 135; Cantelaube 2005, p. 227
548	1760 April 22nd	Dispute about property and use of Laprade bloomery (Vicdessos) + mentions of Capounta bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1B169, 115	Cantelaube 2005, p. 113, 116, 128, 154, 182
549	1760, June 4th	Query of the Lispartens and Pontets blomeriers (Massat) to have an extra iron ore delivery. Vicdessos Council refuses because of non-compliance of the rules of the ore-charcoal exchange	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
550	1762, July 8th	Vicdessos Council deliberations on ore-charcoal exchange with Couserans. The closest woodlands are exhausted. Fear of charcoal shortage	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Davasse 2000, p. 135; Cantelaube 2005, p. 228
551	1764, May 27th	Vicdessos Council deliberations on illicit competition of Saurat in the ore-charcoal exchange with Couserans.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
552	1764, October 15th	Vicdessos Council authorizes the felling of timber for reconstructing the bridge of Forge-Neuve bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB7	Unreferenced
553	1766, September 21st	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange with the viscount of Alos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
554	1766, October 12th	Vicdessos Council deliberates on the legality of some timber felled at Goulier to repair the Laprade bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced

555	1766, November 23rd	Videssos Council deliberates that a verification survey in Lescoul woodland (Goulier) will be done before each authorization of cutting large pieces of wood for bloomeries repairs	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
556	1766, December 21th	Complaint of Videssos council about the construction of new bloomeries in the Province that lead to a ore and charcoal shortage	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
557	1767, March 14th	Several bloomeries owners request authorization to fell trees for repairing their bloomeries	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
558	1767, May 3rd	The owner of Laprade bloomery ask an authorization to cut some timber for repairs. Cutting is authorized except at Lescoul and Nagot districts which are preserved for mine timber production	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Davasse 2000, p. 109
559	1767, July 30th	Laprade bloomery owner requests authorization from the Videssos council to cut wood pieces at Lescoul woodland (Goulier). After verification, the council agrees.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
560	1767, September 13th	Videssos Council deliberations on illicit competition in the ore-charcoal exchange with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
561	1767, October 7th	9-year lease agreement concerning the 2/3 of Forge Neuve bloomery for + Lease agreement of the rights on the Bouët woodlands (Val Ferrera) for supplying the latter bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J498	Unreferenced
562	1767, October 11th	Videssos Council authorize the Capounta bloomery owner to cut several wood pieces in common woodlands for repairs	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
563	1768, October 22nd	Dispute about damage at the Capounta bloomeries	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B189, 164	Cantelaube 2005, p. 182
564	1768, March 27-28th	The owners of the Vexanelle, Guilhe and Cabre bloomeries ask wood cutting authorizations to the Videssos Council. Decision is postponed.	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Davasse 2000, annex 4, p. 242

565	1768-1769	Fights between some inhabitants from Suc who illegally produced charcoal in Massat territory and shepherds from Massat	Original document - Arch. Dép. Ariège, 3B102	Cabau de Fauroune 2021, p. 235-237
566	1769, July 2nd	Vicdessos Council deliberations on the construction of a tilt-hammer at Suc. The counsellors ask the owner to prove the legality of such construction by 8 days	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
567	1770, January 7th	Vicdessos Council deliberations on negotiation to sign a new ore-charcoal exchange with the Marquis of Bonac (charcoal from Donnezan forests)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
568	1770, February 11th	Vicdessos Council deliberations on negotiation to sign a new ore-charcoal exchange with the Marquis of Bonac (charcoal from Donnezan forests)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Davasse 2000, p. 114; Cantelaube 2005, p. 230
569	1770, March 28th	Vicdessos Council deliberations on negotiation to sign a new ore-charcoal exchange with the Marquis of Bonac (charcoal from Donnezan forests)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
570	1770, April 8th	Copy of the ore-charcoal exchange concluded with the Marquis of Bonac (charcoal from Donnezan forests)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Davasse 2000, p. 114; Cantelaube 2005, p. 230
571	1770, June 21st	Ratification of the the ore-charcoal exchange by the Marquis of Bonac (charcoal from Donnezan forests)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
572	1771, February 25th	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange with Couserans and Donnezan	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9; 1J212	Cantelaube 2005, p. 227
573	1771, May 14th	Ruling of the Toulouse parliament about the ore-charcoal exchange signed between Vicdessos and the Marquis of Bonac (charcoal from Donnezan forests)	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J212	Cantelaube 2005, p. 227-230
574	1773, January 31st	Accountings of the reparations of the Vexanelle bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1J498	Unreferenced
575	1771, October 2nd	Vicdessos Council opposes the Val Ferrera decision to ask to the King of Spain to prohibit charcoal exportation to the <i>Consulat of Vicdessos</i>	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Davasse 2000, p. 143; Cantelaube 2005, p. 232
576	1771, October 2nd	Vicdessos Council deliberations on the harvesting of beech seeds for replanting at Berquié	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced

		(Vicdessos) and other woodlands		
577	1772, April 1st	Census of the bloomeries	Original register - Arch. dép. Ariège, 1 C 165	Cantelaube 2005, p. 442
578	1773, September 5th	Vicdessos Council deliberations on the appropriation of the Bouët and Fontaillade woodlands (Val Ferrera) by the Kingdom of Spain and the prohibition of charcoal exportation to the Consulat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Davasse 2000, p. 143; Cantelaube 2005, p. 232
579	1774, October 10th	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB9	Unreferenced
580	1774, October 30th	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange with Couserans. They authorize a charcoal delivery to Alos bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
581	1774	Agreement about the ore-charcoal exchange with the owner of a new bloomery built in Oust (Couserans)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1Mi10/R1, n° 77F615	Cabau de Fauroune 2021, p. 278-279
582	1775, April 29th-May 26th	Robbery of a hammer in the Laprade bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 3B194	Unreferenced
583	1775, June 25th	Vicdessos Council deliberations on the appropriation of the Bouët and Fontaillade woodlands (Val Ferrera) by the Kingdom of Spain and the prohibition of charcoal exportation to the Consulat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
584	1776, September 16th	Vicdessos Council authorizes the cutting of several wood pieces for a bloomery repair	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
585	1776, March 16th	Vicdessos Council authorizes the cutting of several wood pieces for the Laprade bloomery repair	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
586	1776, April 27th	Vicdessos Council rejects the request to cut wood for the reconstruction of Vexanelle bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
587	1776, April 27th	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange with Couserans (Oust)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
588	1777, November 16th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning of roots uprooted in Teillet woodland and charred in the Siguer jurisdiction	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced

589	1777, November 16th	Vicdessos Council authorizes wood cutting for repairs at Capounta and Guilhe bloomeries	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
590	1777, December 14th	Vicdessos Council authorizes wood cutting for repairs at Laprade bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unreferenced
591	1778, February 20th	Vicdessos Council deliberations on the construction of a bloomery at Arbas (Couserans) supplied by commercial purchases (iron ore sold by merchants from Tarascon and Saurat) contrary to the rules of the iron-ore exchange	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Cabau de Fauroune 2021, p. 280
592	1778, May 24th	In the aftermath of Madame de Polignac, Vicdessos Council deliberates on the ore-charcoal exchange for Oust bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
593	1778, July 27th	Criminal investigation about a murder - a charcoal burner of Auzat is witness (charcoal burning at Singré - Auzat)	Original document - Arch. Dép. Ariège, 3B195	Unpublished
594	1778, October 4th	Vicdessos Council deliberations on the Arbas bloomery (Couserans) to sign and respect an ore-charcoal agreement	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
595	1778, October 4th	Vicdessos Council deliberations on the refusal of the Arbas bloomery owner to sign such an agreement, arguing he is free to buy ore as he wants to. Déliberated to send the mayor to the Council of State for defence	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
596	1778, November 2nd	Vicdessos Council deliberations on the refusal of the Arbas bloomery owner to sign such an agreement, arguing he is free to buy ore as he wants to. Déliberated to send the mayor to the Council of State for defence	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
597	1779, October 12th	Vicdessos Council deliberations on the non-compliance of the ore-charcoal exchange agreement with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
598	1779, October 30th	Vicdessos Council deliberations on the non-compliance of the ore-charcoal exchange agreement with Couserans	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
599	1783, April 11th	Plee against the owner of Arbas bloomery about the ore-exchange privilege of Vicdessos	Original register - Arch. Dép. Ariège, 3J16.	Cantelaube 2005, p. 229

600	1781, April 29th	Vicdessos Council deliberations on the legal dispute with Arbas bloomery owner (Couserans)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
601	1783, May 25th	Vicdessos Council deliberations on the ore-charcoal exchange breakdown with Massat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
602	1783, December 7th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in the Artiès valley (Auzat)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Davasse 2000, p. 107
603	1783, December 14th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning in the Artiès valley (Auzat)	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Davasse 2000, p. 107
604	1783, December 21st	Vicdessos Council orders the seizure of all the wood and charcoal illegally produced	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
605	1784, June 14th	Vicdessos Council deliberations on the non-compliance of the ore-charcoal exchange agreement with Massat	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB10	Unpublished
606	1785, January 21st	Vicdessos Council authorize wood cutting for the repair of Vexanelle bloomery	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB11	Unpublished
607	1785, March 9th	Reparation work to Forge-Neuve between 1779 and 1783	Original register - Arch. Dép. Ariège, 1J498	Unpublished
608	1785, July 2sd	Vicdessos Council deliberations on charcoal hijacking by the Ercé bloomery owner	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB11	Unpublished
609	1786, September 10th	Vicdessos Council deliberations on illegal charcoal burning of roots uprooted in Teillet woodland and charred in the Siguer jurisdiction	Original register - Arch. Dép. Ariège, 145 EDT, BB11	Unpublished
610	1786, April 10th- 27th	Dispute about the property of the forge of Capounta	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1B268, 174-179	Cantelaube 2005, p. 529
611	1787, June 23rd	Lease agreement concerning the Forge-Neuve bloomery	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J498	Unpublished
612	1787, August 16th	Accountings of the bloomery master from Forge-Neuve	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J498	Unpublished
613	1788, June 27th	Legal action against the inhabitants from Auzat cutting timber and producing charcoal in Val Ferrera despite the prohibition (procuration from Alins and Area consuls to the Auzat consul)	Original document - Arch. Dép. Ariège, 1J318	Davasse 2000, p. 143 ; Cantelaube 2005, p. 232
614	1796, July 3rd	In the aftermath of new illicit charcoal burning case, the Political Council of the	Original document - Arch. Dép. Ariège, 5L175	Davasse 2000, p. 117

		<i>Canton de Vicdessos</i> renews the prohibition to produce charcoal in the common woodlands. Charcoal burning is only authorized in private woodland, located far away from common ones.		
615	1796, November 27th	Illicit charcoal burning in Teillet woodland. Renewal of the charcoal burning prohibition	Original document - Arch. Dép. Ariège, 5L175	Davasse 2000, p. 118
616	1797, November 1st	Mention of the 5 bloomeries of the former <i>Consulat de Vicdessos</i>	Original document - Arch. Dép. Ariège, 5L176	Davasse 2000, p. 119
617	1799, September 22nd	Robbery of charcoal and degradation in reserved woodlands (Auzat)	Original document - Arch. Dép. Ariège, 3B195	Unpublished

Annexe 1. Tableau 1 : numéro, description et localisation des 600 documents d'archives historiques étudiés

Annexe 2 : Liste et pourcentages des taxons identifiés

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	0-20	9.6	0	0	0	0.9	0	0	82.6	0	1.7	0	3.5	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	115	0.8	0	3.3	120
1	40-60	14.3	0	0	0	0	0	0	83.1	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	1.3	0	0	77	6	0	2.4	84
1	20-40	34.1	0	0	0	0.5	0	0	63	0	1.9	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208	5.8	0	1.8	225
4	0-40	1.5	0	0	0	0	0	0	97.5	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	198	2.9	0.5	0	205
6	0-20	49.8	1.1	0	0	0	0	0	46.7	0	1.1	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	261	7.3	2.3	3.3	300
6	40-60	76.5	3.7	0	0	0	0	0	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	17.3	0	0	98
6	20-40	81	0.4	0	0	0.4	0	0	17.5	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	263	9	0	6.1	310
7	20-40	15.7	0	0	0	0	0	0	83.6	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	140	6	0	0.7	150
7	0-20	17.7	1.8	0	0	0	0.9	0	77.9	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113	14.6	1.5	1.5	137
7	40-60	37	0.8	0	0	0	0	0	62.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	18.5	1.8	8.9	168
8	20-40	10.9	6.5	0	0	0	0	0	71.7	1.1	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	3.3	1.1	0	92	4	3	1	100
8	0-20	11.5	3.1	0	0	0	0	0	74	1	0	7.3	0	1.0	0	0	0	0	0	2.1	0	0	96	3	1	0	100
9	20-40	11.0	6.6	0	0	0	0	0	79.1	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	8	0	1	100
9	0-20	13.7	4.2	0	0	0	0	0	77.9	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	5	0	0	100
10	0-20	69.5	0	0	0	0	0	0	29.5	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	3	1	1	100
10	20-40	76.1	2.3	0	0	0	0	0	19.3	0	0	0	1.1	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	88	5	3	4	100
11	0-20	1.1	3.2	0	0	0	0	0	94.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	94	8.7	0	0	103
11	20-30	0	0	0	0	0	0	0	97.1	0	0	0	0	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	35	10.3	0	0	39
14	0-40	4.1	0	0	0	0	0	0	95.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	10.9	0	0	138
14	40-50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	16.7	0	0	24
17	0-20	6.4	0	0	0	0	0	0	93	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	171	3.7	0	6.3	190
17	20-40	20.9	1.3	0	0	1.3	0	0	72.8	0	0.6	0	0	1.9	0	0	0	0	0.6	0.6	0	0	158	5.0	0	6.7	179
17	40-60	50.6	0	0	0	0	0	0	48.1	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	160	15.1	1	5.9	205
17	60-100	59.4	1.4	0	0	0	0	0	37	0	0.5	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	219	3.9	0.9	0	230
18	0-30	17.4	1.5	0	0	0	0	0	77.3	0	0	0	0	2.3	0	0	0	0	1.5	0	0	0	132	2.2	0	0	135
19	0-40	26.8	0.3	0	0	0	0	0	65.1	0	0	1	0.3	5.4	0	0	0	0	0.7	0	0	0.3	298	7.7	0.9	3.3	338
19	40-80	42	1	0	0	0	0	0	55.1	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	1	0	0	0	207	6.3	0.4	7.1	240
27	0-20	0	1.1	0	0	0	0	0	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	4	0	4.0	100
27	20-40	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	0	0	0	87
29	0-20	0	1.0	0	0	0	0	0	99.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	1	0	1.0	100
29	20-40	0	0	0	0	0	0	1.1	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	6	0	1.0	100

29	40-60	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	8.8	0	0	34
31	0-40	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147	0.7	0	0	148
34	0-40	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	1.1	0	2.2	93
35	20-40	1.1	2.1	0	0	0	0	0	96.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	2	0	4	100
35	0-20	2.1	2.1	0	0	0	0	0	95.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	4	1	0	100
36	0-20	1.3	0	0	0	0	0	0	98.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	3.5	0	2.4	85
36	20-40	3	0	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	4.2	0	1.4	71
44	0-20	1.3	0	0	0	0	0	0	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	2.5	0	1.3	80
44	20-40	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	2.5	0	1.3	80
44	40-50	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	28.6	0	0	28
47	20-40	1.4	0	0	0	0	0	0	98.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	4.9	2.5	1.2	81
47	0-20	2.1	0	0	0	0	0	0	94.8	0	0	0	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	96	2	1	1	100
47	40-60	0	6.3	0	0	0	0	0	93.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	16
48	20-40	2	1	0	0	0	0	0	95.9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	98	1.9	1	1.9	103
48	0-20	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112	0	0	1.8	114
49	0-20	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	241	3.2	0	1.6	253
49	20-40	0	0	0	0	0	0	0	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0	151	3.7	0	2.5	161
62	0-20	18.1	4.3	3.2	0	0	0	0	69.1	0	0	4.3	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	188	4.5	1.5	0.5	201
62	20-40	18.9	9.7	6.3	0.6	0	0	0	53.7	0	0	10.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	3	4	5.5	200
63	0-20	3	0	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
63	20-40	12.0	0	0	0	0	0	0	87	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
65	20-40	7.0	0	0	0	0	0	0	87.3	0	0	1.4	0	2.8	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	71	12.6	2.3	3.4	87
65	0-20	8.2	0	0	0	0	0	0	83.5	0	0	0	1.2	4.7	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	85	14.7	1	1	102
73	0-20	10.3	0.9	0	0	0	0	0	88.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	2.5	0	2.5	122
73	20-40	0	0	0	0	0	0	0	95.9	0	0	0	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	73	3.8	1.3	3.8	80
74	0-20	2	0	0	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	2.7	4.5	110
74	20-40	4.6	0	0	0	0	0	0	94.6	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	5	0	2.1	140
74	40-60	23.9	0	0	0	0	0	0	76.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109	0	0.9	0	110
74	60-80	40.9	4.5	0	0	0	0	0	54.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	8	4	25
79	40-80	15.1	0	0	0	0	0	0	84.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152	3.1	0	3.1	162
79	0-40	20.0	0	0	0	0	0	0	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	200	0	0	0	200
Mean		15.4	1.2	0.2	0.01	0.05	0.01	0.02	81.2	0.03	0.1	0.6	0.1	0.5	0.1	0.02	0.02	0.01	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	7307	5.5	0.7	2	7990

Annexe 2. Tableau 1 : Fréquences relatives des taxons à l'échelle des charbonnières étudiées. Voir le détail de la codification dans le tableau ci-dessous.

Code	Signification
A	N° Charcoal Kiln
B	Depth (cm)
C	Silver fir (<i>Abies alba</i> Mill.)
D	Fir/juniper (<i>Abies alba</i> Mill./ <i>Juniperus</i>)
E	Alder (<i>Alnus</i>)
F	Grey alder (<i>Alnus incana</i> L.)
G	Birch (<i>Betula</i>)
H	Hazel (<i>Corylus</i>)
I	Legume family (Fabaceae)
J	European beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.)
K	Ash (<i>Fraxinus</i>)
L	Holly (<i>Ilex aquifolium</i> L.)
M	Juniper (<i>Juniperus</i>)
N	Scots/ mountain pine (<i>Pinus</i>)
O	Wild cherry (<i>Prunus</i>)
P	Evergreen oak (<i>Quercus</i>)
Q	Deciduous oak (<i>Quercus</i>)
R	Rose (<i>Rosa</i>)
S	Apple sub-family (<i>Rosaceae, Maloideae</i>)
T	Mountain ash (<i>Rosaceae, Maloideae</i> cf. <i>Sorbus</i>)
U	Willow (<i>Salix</i>)
V	Common yew (<i>Taxus baccata</i> L.)
W	Elm (<i>Ulmus</i>)
X	Number of charcoal identified
Y	Bark
Z	Indeterminate charcoal
AA	Indeterminable charcoal
AB	Number of charcoal analyzed

Annexe 2. Tableau 2 : Liste des taxons avec le code de signification

Annexe 3 : Le protocole dendro-anthracologique

1. Detailed of the three-step methodology to retrieve wood diameters used in CKs

Step 1: Measure of the radius of curvature, i.e. estimate the position of the charcoal in relation to the heart of part of the branch or trunk from which it originates (Ludemann and Nelle, 2002; Dufraisse, 2006; Paradis-Grenouillet et al., 2013; Dufraisse et al., 2020). Measurements of the radii of curvature were carried out only on larger charcoals (transverse section width greater than 3 mm and with at least 3 visible rings) using AnthracoLoJ and the method developed by Paradis-Grenouillet et al. (2010) and Paradis-Grenouillet (2012).

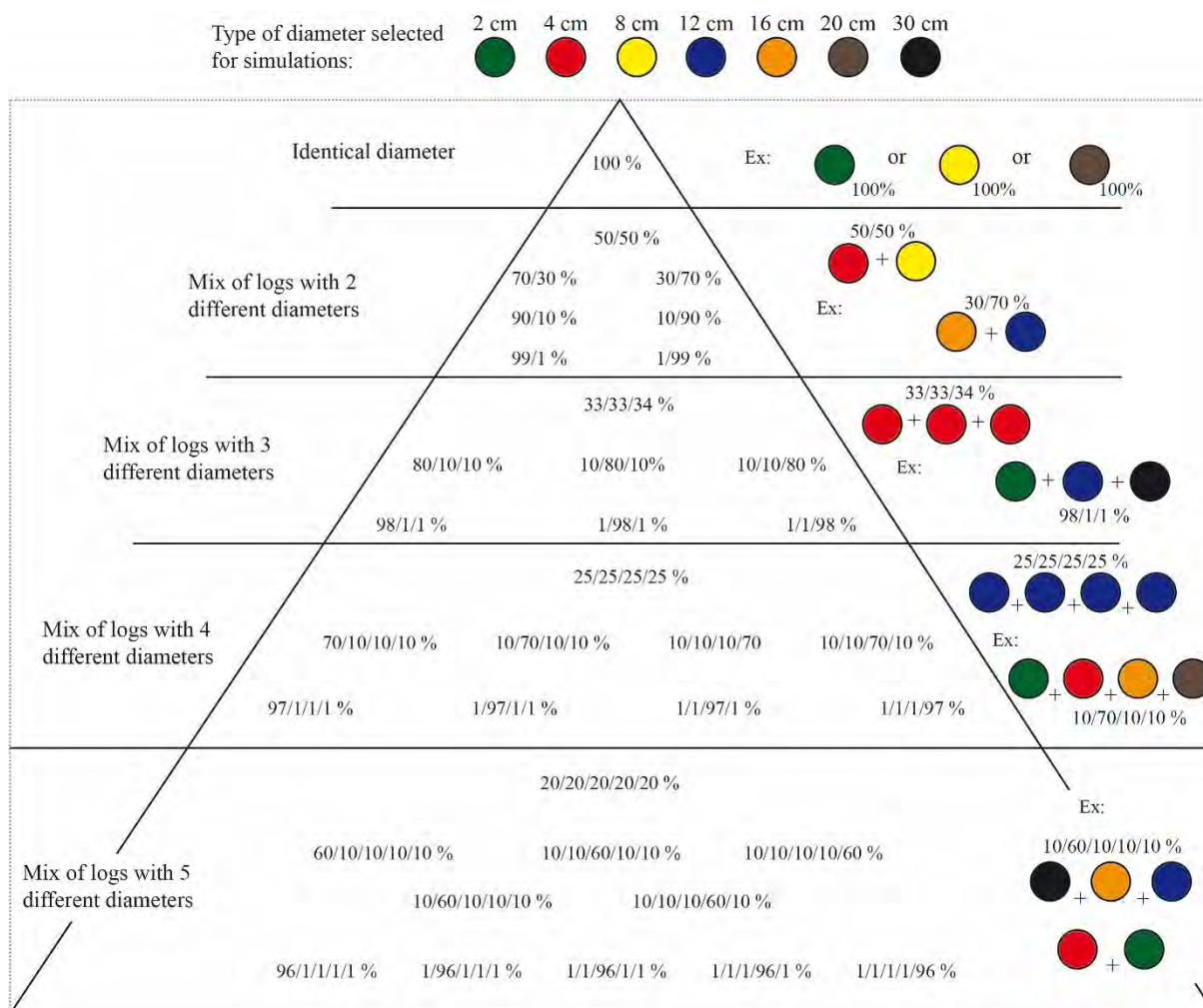
In order to ensure statistical safety of the data, "effort/yield" curves for each charcoal layer have been performed. Results show that the data stabilize from 30 to 40 charcoals measured. Even if stabilization is quickly achieved, for each CK and each level, as far as possible, a minimum of 40 charcoals of the same taxa were systematically measured.

Wood shrinkage phenomena (loss of volume) during carbonization requires correction of radii of curvature measurements. Previous study carried out for oak and chestnut has shown a differential shrinkage between both species, i.e. 24% for oak and 17% for chestnut (Paradis-Grenouillet and Dufraisse, 2018). Around 20% has been obtained for pine (Dufraisse and García-Martínez, 2011). For this study, an experiment was carried out on 10 beech discs previously prepared as for the experiments of Dufraisse and Martínez (2011) and Paradis-Grenouillet and Dufraisse (2018) (i.e. markers were placed every 5 mm along 2 perpendicular axes crossing at the level of the pith). The beech discs were placed in metal boxes filled with sand into a charcoal kiln. Measurements between these different marks before and after carbonization showed a greater shrinkage than in previous experiments, between 20 and 30%. Consequently, an average value of +25% was applied for this study.

The corrected radii of curvature were grouped into five diameter classes as it has been done by Paradis-Grenouillet (2012). For each class, the volume is calculated and then reported as a percentage.

Step 2: Restitute the different log diameters composing stacks of woods used by charcoal burners. This step is based on a comparison between data obtained from charcoals and mathematical simulations. These simulations have been obtained from the virtual decomposition of logs into five hollow cylinders using the same radius classes as for charcoal analysis (Dufraisse, 2002; 2006; Paradis-Grenouillet, 2012; Paradis-Grenouillet et al., 2015). They have been generated from a wide range of cylinder diameters (1, 2, 4, 8, 12, 18, 20 and 30 cm).

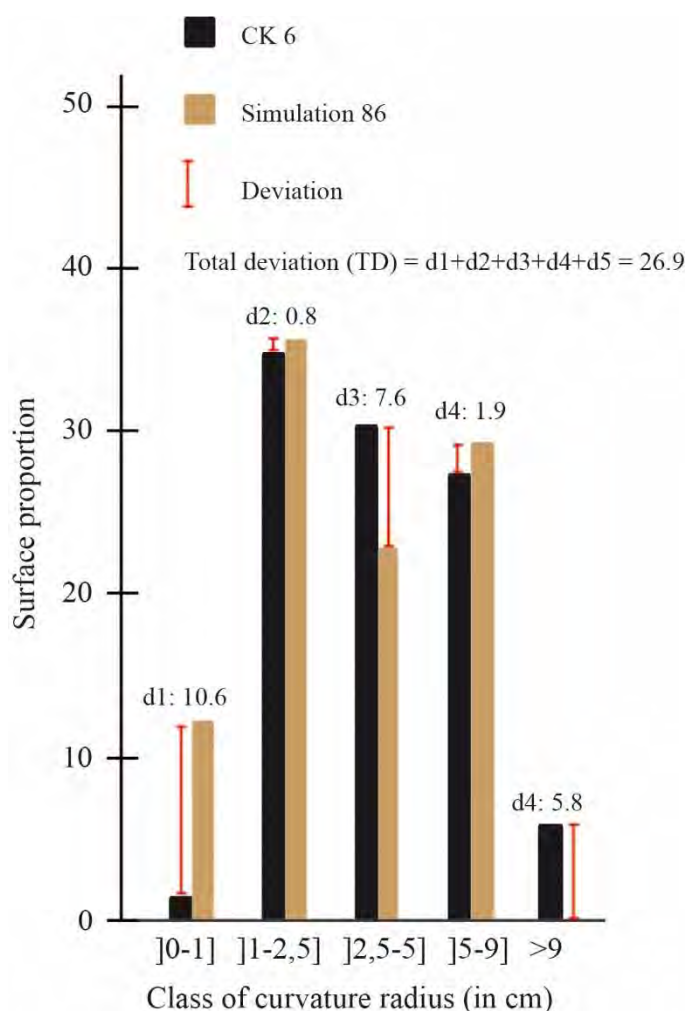
In order to detect the potential diversity of wood supply strategies (e.g. selective harvesting of a single type of diameter or a random harvest of small, medium and large woods) we calculated 405 mathematical simulations (Annexe 3. Tableau 3) in which several types of theoretical mixtures have been generated following a pyramidal logic described in Annexe 3. Figure 1. Homogeneous assemblages with 100% of a single diameter and heterogeneous ones including different diameters in different proportions have been generated.



Annexe 3. Figure 1 : Illustration of the pyramidal logic used to generate the theoretical simulations. These simulations aim to represent the diversity of wood diameter harvesting/supply, ranging from a strict selection (100% of the same diameter at the top of the pyramid) to a large mix of wood calibers (bottom of the pyramid).

To compare theoretical simulations with charcoal analysis results, the difference in absolute value (deviation: d_{1-5}) for each radius class, between both groups, has been calculated (Annexe 3. Figure 2). Thus, the total deviation (TD) has been calculated (sum of the five deviations). The TD (expressed in percent) allows us to identify the simulations that are closest to charcoal analysis results.

The reliability of TD ranges has been tested on charcoals from 3 experimental CKs for which the diameters of woods before carbonization have been measured (Paradis-Grenouillet et al., 2018). (i) A TD value between 0 to 20% means a high correlation between theoretical simulations and charcoal data; (ii) a value between 20 to 40 % means that diameter classes are well correlated but their proportions differ slightly; (iii) a value beyond 40 % means that diameter classes have been correctly identified but their proportions are quite different from experimental charcoal data.



Annexe 3. Figure 2 : Graphical presentation of the calculation method of the total deviation (TD). The example is based on the comparison of the data acquired on CK 6 in our study area with the 405 theoretical simulations. The simulation n°86 present the lowest TD

Step 3: Characterize the form/morphology of harvested stands (i.e. different types of coppice forest, high forest). This last step requires references related to different stands that may be formed by the main identified tree species (e.g. knowing different diameters composing a beech coppice tree, from the base of the shoots to the branch endpoints) (Paradis-Grenouillet, 2012; Dupin, 2018). These references not being available for beech and fir, diameter data have been interpreted in terms of silvicultural practices using currently existing knowledge (Unrau et al., 2018), local historical archives i.e. forestry reports (Chassinat, 1892; Rochebrunel, 1920; Noiriél, 1965) and modern encyclopedic documentation (scholarly and technical treatises) (e.g. Duhamel Du Monceau, 1761; Marié de L'Isle, 1835; Malepeyre, 1836; Percy, 1864; Huffel, 1926).

2. Évaluation de la représentativité des échantillons de hêtre et de sapin en fonction des courbes effort/rendement

N° CK	Depth (cm)	Number of charcoals in CL	Charcoals measured by radius classes					Stabilized	Total charcoals measured
			]0-1]	]1-2,5]	]2,5-5]	]5-9]	>9		
1	0-20	115	34	10	6	0	1	40	51
	20-40	208	41	7	5	0	2	33	55
4	0-40	199	80	14	6	0	0	92	100
6	0-20	268	34	11	7	3	3	53	58
7	20-40	140	17	20	6	5	2	30	50
11	0-20	94	11	16	9	8	2	44	46
14	0-40	123	20	18	10	7	6	50	61
17	0-20	171	28	24	11	0	6	59	69
	20-40	158	31	8	1	4	0	44	44
	60-100	221	8	19	3	15	5	43	50
18	0-30	132	42	7	5	0	1	40	55
19	0-40	300	47	24	6	2	0	79	79
	40-80	208	37	16	10	2	2	59	67
27	0-20	92	37	14	5	4	0	57	60
	20-40	87	7	18	14	8	3	50	50
29	0-20	98	24	18	10	3	1	54	56
	20-40	93	18	17	6	8	0	45	49
31	0-40	147	32	15	7	1	2	40	57
34	0-40	90	19	24	1	2	5	39	51
35	0-20	96	23	18	10	4	0	49	55
	20-40	94	11	17	5	11	3	33	47
36	0-20	80	31	17	2	2	0	45	52
	20-40	67	8	23	8	6	1	30	46
44	0-20	77	42	10	0	0	0	34	52
	20-40	77	20	21	5	2	1	30	49
47	0-20	97	34	13	2	2	0	43	51
	20-40	75	18	17	4	1	2	30	42
48	0-20	112	46	12	2	0	0	30	60
	20-40	99	29	11	4	0	2	45	46
49	0-20	241	24	51	40	17	2	91	134
	20-40	151	16	22	29	10	4	64	81
62	0-20	191	23	18	25	6	10	82	82
	20-40	180	12	10	19	16	3	35	60
63	0-20	100	64	11	1	1	0	54	77
	20-40	100	49	11	3	2	0	39	65
65	0-20	86	13	13	13	7	3	43	49
73	0-20	116	11	29	16	7	3	42	66
	20-40	72	7	19	14	5	4	36	49
74	0-20	103	38	13	0	1	1	40	53
	20-40	129	21	22	4	6	1	30	54
	40-60	110	12	24	14	5	1	30	56

79	0-40	200	83	15	4	1	0	30	103
	40-80	152	28	28	7	0	2	50	65
Total		6784	1230	745	359	184	84		2602

Annexe 3. Tableau 1 : Number of beech charcoals studied per charcoal kilns and per level and distribution within the different radius of curvature classes. Evaluation of the representativeness of the samples based on effort/yield curvatures.

N° CK	Depth (cm)	Number of charcoals in CL	Charcoals measured by radius classes					Stabilized	Total Charcoals measured
			]0-1]	]1-2.5]	]2,5-5]	]5-9]	>9		
1	20-40	208	2	9	13	12	13	35	49
6	0-20	268	1	3	11	16	18	30	49
	20-40	263	8	16	37	21	11	91	93
17	40-60	162	2	6	10	18	14	46	50
	60-100	221	2	3	20	13	25	53	63
19	0-40	300	9	10	14	10	9	40	52
	40-80	208	2	5	8	18	12	45	45
Total		1630	26	52	113	108	102		401

Annexe 3. Tableau 2 : Number of fir charcoals studied per charcoal kilns and per level and distribution within the different radius of curvature classes. Evaluation of the representativeness of the samples based on effort/yield curvatures.

3. Table detailed the 405 mathematical simulation used to detect the potential diversity of wood supply strategies

N°	Composition of wood diameter (cm)	]0-1]	]1-2.5]	]2-5-5]	]5-9]	>9
1	90 log of 2 et 10 log of 4	77	23	0	0	0
2	70 log of 2 + 30 log of 4	53	47	0	0	0
3	50 log of 2 + 50 log of 4	40	60	0	0	0
4	30 log of 2 + 70 log of 4	32	68	0	0	0
5	10 log of 2 + 90 log of 4	27	73	0	0	0
6	90 log of 2 + 10 log of 8	40	21	39	0	0
7	70 log of 2 + 30 log of 8	18	29	53	0	0
8	50 log of 2 + 50 log of 8	12	31	57	0	0
9	30 log of 2 + 70 log of 8	9	32	59	0	0
10	10 log of 2 + 90 log of 8	7	33	61	0	0
11	90 log of 2 + 10 log of 12	22	12	42	24	0
12	70 log of 2 + 30 log of 12	9	14	49	29	0
13	50 log of 2 + 50 log of 12	5	14	51	30	0
14	30 log of 2 + 70 log of 12	4	14	51	30	0
15	10 log of 2 + 90 log of 12	3	15	52	30	0
16	90 log of 2 + 10 log of 16	14	7	26	53	0
17	70 log of 2 + 30 log of 16	5	8	28	59	0
18	50 log of 2 + 50 log of 16	3	8	29	60	0
19	30 log of 2 + 70 log of 16	2	8	29	61	0
20	10 log of 2 + 90 log of 16	2	8	29	61	0

21	90 log of 2 + 10 log of 20	9	5	17	51	17
22	70 log of 2 + 30 log of 20	3	5	18	55	19
23	50 log of 2 + 50 log of 20	2	5	19	55	19
24	30 log of 2 + 70 log of 20	1	5	19	56	19
25	10 log of 2 + 90 log of 20	1	5	19	56	19
26	90 log of 4 + 10 log of 8	19	62	19	0	0
27	70 log of 4 + 30 log of 8	13	48	38	0	0
28	50 log of 4 + 50 log of 8	10	41	49	0	0
29	30 log of 4 + 70 log of 8	8	37	55	0	0
30	10 log of 4 + 90 log of 8	7	34	59	0	0
31	90 log of 4 + 10 log of 12	14	45	26	15	0
32	70 log of 4 + 30 log of 12	7	27	41	24	0
33	50 log of 4 + 50 log of 12	5	21	47	28	0
34	30 log of 4 + 70 log of 12	4	17	50	29	0
35	10 log of 4 + 90 log of 12	3	15	51	30	0
36	90 log of 4 + 10 log of 16	10	32	19	39	0
37	70 log of 4 + 30 log of 16	5	17	26	53	0
38	50 log of 4 + 50 log of 16	3	12	28	57	0
39	30 log of 4 + 70 log of 16	2	10	29	59	0
40	10 log of 4 + 90 log of 16	2	9	29	61	0
41	90 log of 4 + 10 log of 20	7	24	14	41	14
42	70 log of 4 + 30 log of 20	3	11	17	51	17
43	50 log of 4 + 50 log of 20	2	8	18	54	18
44	30 log of 4 + 70 log of 20	1	6	18	55	19
45	10 log of 4 + 90 log of 20	1	6	19	56	19
46	90 log of 8 + 10 log of 12	6	29	59	6	0
47	70 log of 8 + 30 log of 12	5	24	57	15	0
48	50 log of 8 + 50 log of 12	4	20	55	21	0
49	30 log of 8 + 70 log of 12	3	18	54	26	0
50	10 log of 8 + 90 log of 12	3	15	53	29	0
51	90 log of 8 + 10 log of 16	5	25	51	19	0
52	70 log of 8 + 30 log of 16	3	17	41	38	0
53	50 log of 8 + 50 log of 16	3	13	36	49	0
54	30 log of 8 + 70 log of 16	2	11	32	55	0
55	10 log of 8 + 90 log of 16	2	9	30	59	0
56	90 log of 8 + 10 log of 20	4	22	44	23	8
57	70 log of 8 + 30 log of 20	2	13	30	41	14
58	50 log of 8 + 50 log of 20	2	9	25	48	16
59	30 log of 8 + 70 log of 20	1	7	21	52	18
60	10 log of 8 + 90 log of 20	1	6	19	55	19
61	90 log of 12 + 10 log of 16	3	14	48	36	0
62	70 log of 12 + 30 log of 16	2	12	42	44	0
63	50 log of 12 + 50 log of 16	2	11	38	50	0
64	30 log of 12 + 70 log of 16	2	9	34	55	0
65	10 log of 12 + 90 log of 16	2	9	31	59	0
66	90 log of 12 + 10 log of 20	2	12	44	37	4
67	70 log of 12 + 30 log of 20	2	10	34	44	10

68	50 log of 12 + 50 log of 20	1	8	28	49	14
69	30 log of 12 + 70 log of 20	1	6	23	53	16
70	10 log of 12 + 90 log of 20	1	6	20	55	18
71	90 log of 16 + 10 log of 20	1	8	28	60	3
72	70 log of 16 + 30 log of 20	1	7	25	59	8
73	50 log of 16 + 50 log of 20	1	6	23	58	12
74	30 log of 16 + 70 log of 20	1	6	21	57	15
75	10 log of 16 + 90 log of 20	1	5	19	56	18
76	33.3 log of 2 + 33.3 log of 4 + 33.4 log of 8	14	39	46	0	0
77	80 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 8	36	29	35	0	0
78	10 log of 2 + 80 log of 4 + 10 log of 8	20	60	20	0	0
79	10 log of 2 + 10 log of 4 + 80 log of 8	8	34	59	0	0
80	33.3 log of 2 + 33.3 log of 4 + 33.4 log of 12	7	20	46	27	0
81	80 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 12	21	17	39	23	0
82	10 log of 2 + 80 log of 4 + 10 log of 12	14	42	27	16	0
83	10 log of 2 + 10 log of 4 + 80 log of 12	3	15	51	30	0
84	33.3 log of 2 + 33.3 log of 4 + 33.4 log of 16	6	15	35	44	0
85	80 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 16	16	14	31	39	0
86	10log of 2 + 80 log of 4 + 10 log of 16	12	36	23	29	0
87	10 log of 2 + 10 log of 4 + 80 log of 16	3	11	38	48	0
88	33.3 log of 2 + 33.3 log of 4 + 33.4 log of 20	3	8	18	53	18
89	80 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 20	9	7	17	50	17
90	10log of 2 + 80 log of 4 + 10 log of 20	8	22	14	42	14
91	10 log of 2 + 10 log of 4 + 80 log of 20	1	6	19	56	19
92	33.3 log of 2 + 33.3 log of 8 + 33.4 log of 12	6	20	54	21	0
93	80 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 12	17	18	48	18	0
94	10log of 2 + 80 log of 8 + 10 log of 12	6	29	59	7	0
95	10 log of 2 + 10 log of 8 + 80 log of 12	3	15	52	29	0
96	33.3 log of 2 + 33.3 log of 8 + 33.4 log of 16	4	13	35	48	0
97	80 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 16	11	12	32	44	0
98	10log of 2 + 80 log of 8 + 10 log of 16	5	24	50	20	0
99	10 log of 2 + 10 log of 8 + 80 log of 16	2	9	30	59	0
100	33.3 log of 2 + 33.3 log of 8 + 33.4 log of 20	3	9	24	48	16
101	80 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 20	8	8	23	45	15
102	10log of 2 + 80 log of 8 + 10 log of 20	4	21	42	24	8
103	10 log of 2 + 10 log of 8 + 80 log of 20	1	6	20	55	19
104	33.3 log of 2 + 33.3 log of 12 + 33.4 log of 16	3	10	37	50	0
105	80 log of 2 + 10 log of 12 + 10 log of 16	9	10	35	46	0
106	10log of 2 + 80 log of 12 + 10 log of 16	3	13	48	36	0
107	10 log of 2 + 10 log of 12 + 80 log of 16	2	9	31	59	0
108	33.3 log of 2 + 33.3 log of 12 + 33.4 log of 20	2	8	27	49	14
109	80 log of 2 + 10 log of 12 + 10 log of 20	7	7	26	47	13
110	10log of 2 + 80 log of 12 + 10 log of 20	3	12	43	37	5
111	10 log of 2 + 10 log of 12 + 80 log of 20	1	6	20	55	18
112	33.3 log of 2 + 33.3 log of 16 + 33.4 log of 20	2	6	23	58	12
113	80 log of 2 + 10 log of 16 + 10 log of 20	6	6	22	55	11
114	10log of 2 + 80 log of 16 + 10 log of 20	2	8	28	60	3

115	10 log of 2 + 10 log of 16 + 80 log of 20	1	5	20	56	18
116	33.3 log of 4 + 33.3 log of 8 + 33.4 log of 12	5	24	51	20	0
117	80 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12	12	41	34	13	0
118	10log of 4 + 80 log of 8 + 10 log of 12	6	30	58	7	0
119	10 log of 4 + 10 log of 8 + 80 log of 12	3	16	52	29	0
120	33.3 log of 4 + 33.3 log of 8 + 33.4 log of 16	4	16	34	46	0
121	80 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 16	9	31	25	35	0
122	10log of 4 + 80 log of 8 + 10 log of 16	5	26	49	20	0
123	10 log of 4 + 10 log of 8 + 80 log of 16	2	9	30	59	0
124	33.3 log of 4 + 33.3 log of 8 + 33.4 log of 20	2	11	24	47	16
125	80 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 20	7	23	19	38	13
126	10log of 4 + 80 log of 8 + 10 log of 20	4	22	42	24	8
127	10 log of 4 + 10 log of 8 + 80 log of 20	1	6	19	55	19
128	33.3 log of 4 + 33.3 log of 12 + 33.4 log of 16	3	13	36	48	0
129	80 log of 4 + 10 log of 12 + 10 log of 16	8	26	28	38	0
130	10log of 4 + 80 log of 12 + 10 log of 16	3	14	47	36	0
131	10 log of 4 + 10 log of 12 + 80 log of 16	2	9	31	59	0
132	33.3 log of 4 + 33.3 log of 12 + 33.4 log of 20	2	10	27	48	14
133	80 log of 4 + 10 log of 12 + 10 log of 20	6	21	22	40	11
133	80 log of 4 + 10 log of 12 + 10 log of 20	3	13	43	37	5
134	10log of 4 + 80 log of 12 + 10 log of 20	1	6	20	55	18
135	10 log of 4 + 10 log of 12 + 80 log of 20	2	8	22	57	11
136	33.3 log of 4 + 33.3 log of 16 + 33.4 log of 20	5	18	19	48	10
137	80 log of 4 + 10 log of 16 + 10 log of 20	2	8	27	60	3
139	10 log of 4 + 10 log of 16 + 80 log of 20	1	6	19	56	18
140	80 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 16	4	23	51	22	0
141	10log of 8 + 80 log of 12 + 10 log of 16	3	14	49	35	0
142	10 log of 8 + 10 log of 12 + 80 log of 16	2	9	32	57	0
143	33.3 log of 8 + 33.3 log of 12 + 33.4 log of 20	2	10	31	44	13
144	80 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 20	4	20	44	25	7
145	10log of 8 + 80 log of 12 + 10 log of 20	2	13	44	36	5
146	10 log of 8 + 10 log of 12 + 80 log of 20	1	6	21	54	18
147	33.3 log of 8 + 33.3 log of 16 + 33.4 log of 20	2	9	26	53	11
148	80 log of 8 + 10 log of 16 + 10 log of 20	3	18	40	33	7
149	10log of 8 + 80 log of 16 + 10 log of 20	2	8	28	59	3
150	10 log of 8 + 10 log of 16 + 80 log of 20	1	6	20	55	17
151	33.3 log of 8 + 33.3 log of 16 + 33.4 log of 20	1	8	28	53	10
152	80 log of 12 + 10 log of 16 + 10 log of 20	2	12	41	40	4
153	10log of 12 + 80 log of 16 + 10 log of 20	2	8	29	58	3
154	10 log of 12 + 10 log of 16 + 80 log of 20	1	6	21	55	17
155	25 log of 2 + 25 log of 4 + 25 log of 8 + 25 log of 12	7	24	50	19	0
156	70 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12	16	21	45	17	0
157	10 log of 2 + 70 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12	12	39	35	14	0
158	10 log of 2 + 10 log of 4 + 70 log of 8 + 10 log of 12	7	29	57	7	0
159	10 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 8 + 70 log of 12	4	16	52	28	0
160	25 log of 2 + 25 log of 4 + 25 log of 8 + 25 log of 16	5	16	34	46	0
161	70 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 16	11	15	31	43	0

162	10 log of 2 + 70 log of 4 + 10 log of 8 +10 log of 16	9	29	26	36	0
163	10 log of 2 + 10 log of 4+ 70 log of 8 + 10 log of 16	6	25	48	22	0
164	10 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 8 + 70 log of 16	2	10	30	58	0
165	25 log of 2 + 25 log of 4 + 25 log of 8+ 25 log of 20	3	11	24	46	16
166	70 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8 + 10 log of 20	8	11	22	44	15
167	10 log of 2 + 70 log of 4 + 10 log of 8 +10 log of 20	7	22	20	39	13
168	10 log of 2 + 10 log of 4+ 70 log of 8 + 10 log of 20	5	21	40	26	9
169	10 log of 2 + 10 log of 4 + 10 log of 8 + 70 log of 20	1	6	20	54	18
170	25 log of 2 + 25 log of 8+ 25 log of 12 + 25 log of 16	3	13	40	43	0
171	70 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 16	8	13	38	41	0
172	10 log of 2 + 70 log of 8 + 10 log of 12 +10 log of 16	5	22	50	23	0
173	10 log of 2 + 10 log of 8+ 70 log of 12 + 10 log of 16	3	14	48	35	0
174	10 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 70 log of 16	2	9	32	57	0
175	25 log of 2 + 25 log of 8+ 25 log of 12 + 25 log of 20	3	10	31	44	12
176	70 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 20	6	10	30	42	12
177	10 log of 2 + 70 log of 8 + 10 log of 12 +10 log of 20	4	19	42	27	8
178	10 log of 2 + 10 log of 8+ 70 log of 12 + 10 log of 20	3	13	43	36	5
179	10 log of 2 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 70 log of 20	1	6	21	54	18
180	25 log of 2 + 25 log of 12+ 25 log of 16 + 25log of 20	2	8	28	53	9
181	70 log of 2 + 10 log of 12 + 10 log of 16 + 10 log of 20	5	8	27	51	9
182	10 log of 2 + 70 log of 12 + 10 log of 16 +10 log of 20	2	11	40	41	5
183	10 log of 2 + 10 log of 12+ 70 log of 16 + 10 log of 20	2	8	29	58	3
184	10 log of 2 + 10 log of 12 + 10 log of 16 + 70 log of 20	1	6	21	55	17
185	25 log of 4 + 25 log of 8+ 25 log of 12 + 25 log of 16	3	16	39	42	0
186	70 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 16	7	26	33	35	0
187	10 log of 4 + 70 log of 8 + 10 log of 12 +10 log of 16	5	23	49	23	0
188	10 log of 4 + 10 log of 8+ 70 log of 12 + 10 log of 16	3	15	48	35	0
189	10 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 70 log of 16	2	10	32	56	0
190	25 log of 4 + 25 log of 8+ 25 log of 12 + 25 log of 20	3	12	30	43	12
191	70 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 20	6	20	26	37	11
192	10 log of 4 + 70 log of 8 + 10 log of 12 +10 log of 20	4	20	42	27	8
193	10 log of 4 + 10 log of 8+ 70 log of 12 + 10 log of 20	3	14	43	36	5
194	10 log of 4 + 10 log of 8 + 10 log of 12 + 70 log of 20	1	7	21	53	18
195	25 log of 4 + 25 log of 12+ 25 log of 16 + 25 log of 20	2	9	28	52	9
196	70 log of 4 + 10 log of 12 + 10 log of 16 + 10 log of 20	4	16	25	46	8
197	10 log of 4 + 70 log of 12 + 10 log of 16 +10 log of 20	2	12	40	41	5
198	10 log of 4 + 10 log of 12+ 70 log of 16 + 10 log of 20	2	9	29	58	3
199	10 log of 4 + 10 log of 12 + 10 log of 16 + 70 log of 20	1	6	21	55	17
200	25 log of 8 + 25 log of 12+ 25 log of 16 + 25log of 20	2	10	31	49	9
201	70 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 16 + 10 log of 20	3	17	40	34	6
202	10 log of 8 + 70 log of 12 + 10 log of 16 +10 log of 20	2	12	41	40	4
203	10 log of 8 + 10 log of 12+ 70 log of 16 + 10 log of 20	2	9	30	57	3
204	10 log of 8 + 10 log of 12 + 10 log of 16 + 70 log of 20	1	6	22	54	16
205	20 log of 2 + 20 log of 4+ 20 log of 8+ 20 log of 12 + 20 log of 16	4	15	39	41	0
206	60 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 16	8	15	38	40	0
207	10 log of 2 + 60 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 16	7	24	34	35	0
208	10 log of 2 + 10 log of 4+ 60 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 16	5	22	48	25	0

209	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 60 log of 12 + 10 log of 16	3	15	47	35	0
210	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 12 + 60 log of 16	2	10	32	56	0
211	20 log of 2 + 20 log of 4+ 20 log of 8+ 20 log of 12 + 20 log of 20	3	12	30	43	12
212	60 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 20	6	12	29	41	12
213	10 log of 2 + 60 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 20	6	19	27	38	11
214	10 log of 2 + 10 log of 4+ 60 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 20	4	19	41	28	8
215	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 60 log of 12 + 10 log of 20	3	13	42	36	6
216	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 12 + 60 log of 20	2	7	21	53	17
217	20 log of 2 + 20 log of 4+ 20 log of 8+ 20 log of 16 + 20 log of 20	3	10	26	51	10
218	60 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 16 + 10 log of 20	5	10	25	50	10
219	10 log of 2 + 60 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 16 + 10 log of 20	5	16	23	46	9
220	10 log of 2 + 10 log of 4+ 60 log of 8+ 10 log of 16 + 10 log of 20	4	17	36	36	7
221	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 60 log of 16 + 10 log of 20	2	9	28	57	4
222	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 8+ 10 log of 16 + 60 log of 20	1	7	21	55	17
223	20 log of 2 + 20 log of 4+ 20 log of 12+ 20 log of 16 + 20 log of 20	2	9	27	52	9
224	60 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	5	9	27	50	9
225	10 log of 2 + 60 log of 4+ 10 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	4	15	25	47	8
226	10 log of 2 + 10 log of 4+ 60 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	3	12	39	42	5
227	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 12+ 60 log of 16 + 10 log of 20	2	9	29	57	4
228	10 log of 2 + 10 log of 4+ 10 log of 12 + 10 log of 16 + 60 log of 20	1	6	21	55	16
229	20 log of 2 + 20 log of 8+ 20 log of 12+ 20 log of 16 + 20 log of 20	2	10	30	49	9
230	60 log of 2 + 10 log of 8+ 10 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	5	9	30	48	9
231	10 log of 2 + 60 log of 8+ 10 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	3	16	39	36	6
232	10 log of 2 + 10 log of 8+ 60 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	3	12	40	41	5
233	10 log of 2 + 10 log of 8+ 10 log of 12+ 60 log of 16 + 10 log of 20	2	9	30	56	4
234	10 log of 2 + 10 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 16 + 60 log of 20	1	7	22	54	16
235	20 log of 4 + 20 log of 8+ 20 log of 12+ 20 log of 16 + 20 log of 20	2	11	30	48	9
236	60 log of 4 + 10 log of 8+ 10 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	4	16	28	44	8
237	10 log of 4 + 60 log of 8+ 10 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	3	17	38	35	6
238	10 log of 4 + 10 log of 8+ 60 log of 12+ 10 log of 16 + 10 log of 20	3	13	40	40	5
239	10 log of 4 + 10 log of 8+ 10 log of 12+ 60 log of 16 + 10 log of 20	2	9	30	56	4
240	10 log of 4 + 10 log of 8+ 10 log of 12 + 10 log of 16 + 60 log of 20	1	7	22	54	16
241	100 log of 2	100	0	0	0	0
242	100 log of 4	25	75	0	0	0
243	100 log of 8	6	33	61	0	0
244	100 log of 12	3	15	52	31	0
245	100 log of 16	2	8	29	61	0
246	100 log of 20	1	5	19	56	19
247	100 log of 30	0	2	8	25	64
248	90 log of 2 + 10 log of 30	4	2	8	24	62
249	90 log of 4 + 10 log of 30	4	12	7	21	55
250	90 log of 8 + 10 log of 30	3	14	29	15	39
251	90 log of 12 + 10 log of 30	2	10	34	28	26
252	90 log of 16 + 10 log of 30	1	7	23	51	18
253	90 log of 20 + 10 log of 30	1	5	17	50	28
254	99 log of 2 + 1 log of 4	97	3	0	0	0
255	1 log of 2 + 99 log of 4	25	75	0	0	0

256	99 log of 2 + 1 log of 8	87	5	8	0	0
257	1 log of 2 + 99 log of 8	6	33	61	0	0
258	99 log of 2 + 1 log of 12	74	4	14	8	0
259	1 log of 2 + 99 log of 12	3	15	52	31	0
260	99 log of 2 + 1 log of 16	61	3	12	24	0
261	1 log of 2 + 99 log of 16	2	8	29	61	0
262	99 log of 2 + 1 log of 20	50	3	9	28	10
263	1 log of 2 + 99 log of 20	1	5	19	56	19
264	99 log of 4 + 1 log of 8	24	73	2	0	0
265	1 log of 4 + 99 log of 8	6	33	61	0	0
266	99 log of 4 + 1 log of 12	23	70	4	3	0
267	1 log of 4 + 99 log of 12	3	15	52	31	0
268	99 log of 4 + 1 log of 16	22	66	4	8	0
269	1 log of 4 + 99 log of 16	2	8	29	61	0
270	99 log of 4 + 1 log of 20	20	61	4	11	4
271	1 log of 4 + 99 log of 20	1	5	19	56	19
272	99 log of 8 + 1 log of 12	6	32	61	1	0
273	1 log of 8 + 99 log of 12	3	15	52	30	0
274	99 log of 8 + 1 log of 16	6	32	60	2	0
275	1 log of 8 + 99 log of 16	2	8	29	61	0
276	99 log of 8 + 1 log of 20	6	31	58	3	1
277	1 log of 8 + 99 log of 20	1	5	19	56	19
278	99 log of 12 + 1 log of 16	3	14	52	31	0
279	1 log of 12 + 99 log of 16	2	8	29	61	0
280	99 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
281	1 log of 12 + 99 log of 20	1	5	19	56	19
282	99 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
283	1 log of 16 + 99 log of 20	1	5	19	56	19
284	98 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8	85	7	8	0	0
285	1 log of 2 + 98 log of 4 + 1 log of 8	24	73	2	0	0
286	1 log of 2 + 1 log of 4 + 98 log of 8	6	33	61	0	0
287	98 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 12	72	6	14	8	0
288	1 log of 2 + 98 log of 4 + 1 log of 12	23	70	4	3	0
289	1 log of 2 + 1 log of 4 + 98 log of 12	3	15	52	31	0
290	98 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 16	60	5	11	23	0
291	1 log of 2 + 98 log of 4 + 1 log of 16	22	65	4	9	0
292	1 log of 2 + 1 log of 4 + 98 log of 16	2	8	29	61	0
293	98 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 20	50	4	9	28	9
294	1 log of 2 + 98 log of 4 + 1 log of 20	20	61	4	11	4
295	1 log of 2 + 1 log of 4 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
296	98 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 12	67	7	19	7	0
297	1 log of 2 + 98 log of 8 + 1 log of 12	6	32	61	1	0
298	1 log of 2 + 1 log of 8 + 98 log of 12	3	15	52	30	0
299	98 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 16	56	6	16	22	0
300	1 log of 2 + 98 log of 8 + 1 log of 16	6	32	60	2	0
301	1 log of 2 + 1 log of 8 + 98 log of 16	2	8	29	61	0
302	98 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 20	47	5	13	26	9

303	1 log of 2 + 98 log of 8 + 1 log of 20	6	31	58	3	1
304	1 log of 2 + 1 log of 8 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
305	98 log of 2 + 1 log of 12 + 1 log of 16	51	5	19	25	0
306	1 log of 2 + 98 log of 12 + 1 log of 16	3	14	52	31	0
307	1 log of 2 + 1 log of 12 + 98 log of 16	2	8	29	61	0
308	98 log of 2 + 1 log of 12 + 1 log of 20	43	4	16	29	8
309	1 log of 2 + 98 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
310	1 log of 2 + 1 log of 12 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
311	98 log of 2 + 1 log of 16 + 1 log of 20	38	4	14	36	7
312	1 log of 2 + 98 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
313	1 log of 2 + 1 log of 16 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
314	98 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12	23	69	6	2	0
315	1 log of 4 + 98 log of 8 + 1 log of 12	6	33	61	1	0
316	1 log of 4 + 1 log of 8 + 98 log of 12	3	15	52	30	0
317	98 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 16	21	65	6	8	0
318	1 log of 4 + 1 log of 8 + 98 log of 16	6	32	60	2	0
319	1 log of 4 + 1 log of 8 + 98 log of 16	2	8	29	61	0
320	98 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 20	20	60	6	11	4
321	1 log of 4 + 98 log of 8 + 1 log of 20	6	31	58	3	1
322	1 log of 4 + 1 log of 8 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
323	98 log of 4 + 1 log of 12 + 1 log of 16	20	62	8	10	0
324	1 log of 4 + 98 log of 12 + 1 log of 16	3	15	52	31	0
325	1 log of 4 + 1 log of 12 + 98 log of 16	2	8	29	61	0
326	98 log of 4 + 1 log of 12 + 1 log of 20	19	58	7	13	4
327	1 log of 4 + 98 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
328	1 log of 4 + 1 log of 12 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
329	98 log of 4 + 1 log of 16 + 1 log of 20	18	55	7	17	3
330	1 log of 4 + 98 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
331	1 log of 4 + 1 log of 16 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
332	33.3 log of 8 + 33.3 log of 12 + 33.4 log of 16	3	14	41	43	0
333	98 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	6	31	60	3	0
334	1 log of 8 + 98 log of 12 + 1 log of 16	3	15	52	31	0
335	1 log of 8 + 1 log of 12 + 98 log of 16	2	8	30	61	0
336	98 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	6	31	58	4	1
337	1 log of 8 + 98 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
338	1 log of 8 + 1 log of 12 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
339	98 log of 8 + 1 log of 16 + 1 log of 20	6	30	57	5	1
340	1 log of 8 + 98 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
341	1 log of 8 + 1 log of 16 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
342	98 log of 12 + 1 log of 16 + 1 log of 20	3	14	51	32	1
343	1 log of 12 + 98 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
344	1 log of 12 + 1 log of 16 + 98 log of 20	1	5	19	56	19
345	97 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12	65	9	19	7	0
346	1 log of 2 + 97 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12	23	68	6	2	0
347	1 log of 2 + 1 log of 4 + 97 log of 8 + 1 log of 12	6	32	61	1	0
348	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 97 log of 12	3	15	52	30	0
349	97 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 16	55	7	16	22	0

350	1 log of 2 + 97 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 16	21	64	6	8	0
351	1 log of 2 + 1 log of 4 + 97 log of 8 + 1 log of 16	6	32	60	2	0
352	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 97 log of 16	2	8	29	61	0
353	97 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 20	46	6	13	26	9
354	1 log of 2 + 97 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 20	20	60	6	11	4
355	1 log of 2 + 1 log of 4 + 97 log of 8 + 1 log of 20	6	31	58	3	1
356	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 97 log of 20	1	5	19	56	19
357	1 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 97 log of 16	2	8	30	61	0
358	1 log of 2 + 1 log of 8 + 97 log of 12 + 1 log of 16	3	15	52	31	0
359	1 log of 2 + 97 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	6	31	59	3	0
360	97 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	47	7	22	23	0
361	97 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	40	6	19	27	8
362	1 log of 2 + 97 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	6	31	58	4	1
363	1 log of 2 + 1 log of 8 + 97 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
364	1 log of 2 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 97 log of 20	1	5	19	56	19
365	97 log of 2 + 1 log of 12 + 1 log of 16 + 1 log of 20	34	5	19	36	6
366	1 log of 2 + 97 log of 12 + 1 log of 16 + 1 log of 20	3	14	51	32	1
367	1 log of 2 + 1 log of 12 + 97 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
368	1 log of 2 + 1 log of 12 + 1 log of 16 + 97 log of 20	1	5	19	56	19
369	97 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	20	61	9	10	0
370	1 log of 4 + 97 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	6	32	59	3	0
371	1 log of 4 + 1 log of 8 + 97 log of 12 + 1 log of 16	3	15	52	31	0
372	1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 97 log of 16	2	8	29	61	0
373	97 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	19	57	9	12	4
374	1 log of 4 + 97 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	6	31	58	4	1
375	1 log of 4 + 1 log of 8 + 97 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
376	1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 97 log of 20	1	5	19	56	19
377	97 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16 + 1 log of 20	6	30	57	6	1
378	1 log of 8 + 97 log of 12 + 1 log of 16 + 1 log of 20	3	14	51	32	1
379	1 log of 8 + 1 log of 12 + 97 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
380	1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16 + 97 log of 20	1	5	19	56	19
381	96 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	46	9	22	23	0
382	1 log of 2 + 96 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	20	61	9	10	0
383	1 log of 2 + 1 log of 4 + 96 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 16	6	32	59	3	0
384	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 96 log of 12 + 1 log of 16	3	15	52	31	0
385	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 96 log of 16	2	8	29	61	0
386	96 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	40	7	19	27	8
387	1 log of 2 + 96 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	19	57	9	12	4
388	1 log of 2 + 1 log of 4 + 96 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	6	31	58	4	1
389	113 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 1 log of 20	3	14	51	31	1
390	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 12 + 96 log of 20	1	5	19	56	19
391	96 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 16 + 1 log of 20	36	7	17	34	7
392	1 log of 2 + 96 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 16 + 1 log of 20	18	54	8	17	3
393	1 log of 2 + 1 log of 4 + 96 log of 8 + 1 log of 16 + 1 log of 20	6	30	57	6	1
394	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 96 log of 16 + 1 log of 20	2	8	29	61	0
395	1 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 8 + 1 log of 16 + 96 log of 20	1	5	19	56	19
396	96 log of 2 + 1 log of 4 + 1 log of 12 + 1 log of 16 + 1 log of 20	33	6	19	35	6

397	1 log of 2 + 96 log of 4+ 1 log of 12+ 1log of 16 + 1log of 20	17	52	10	18	3
398	1 log of 2 + 1 log of 4+ 96 log of 12+ 1log of 16 + 1log of 20	3	14	51	32	1
399	1 log of 2 + 1 log of 4+ 1 log of 12+ 96log of 16 + 1log of 20	2	8	29	61	0
400	1 log of 2 + 1 log of 4+ 1 log of 12+ 1log of 16 + 96log of 20	1	5	19	56	19
401	96 log of 2 + 1 log of 8+ 1 log of 12+ 1log of 16 + 1log of 20	32	7	21	34	6
402	1 log of 2 + 96 log of 8+ 1 log of 12+ 1log of 16 + 1log of 20	6	30	57	6	1
403	1 log of 2 + 1 log of 8+ 96 log of 12+ 1log of 16 + 1log of 20	3	14	51	32	1
404	1 log of 2 + 1 log of 8+ 1 log of 12+ 96log of 16 + 1log of 20	2	8	29	61	0
405	1 log of 2 + 1 log of 8+ 1 log of 12+ 1log of 16 + 96log of 20	1	5	19	56	19

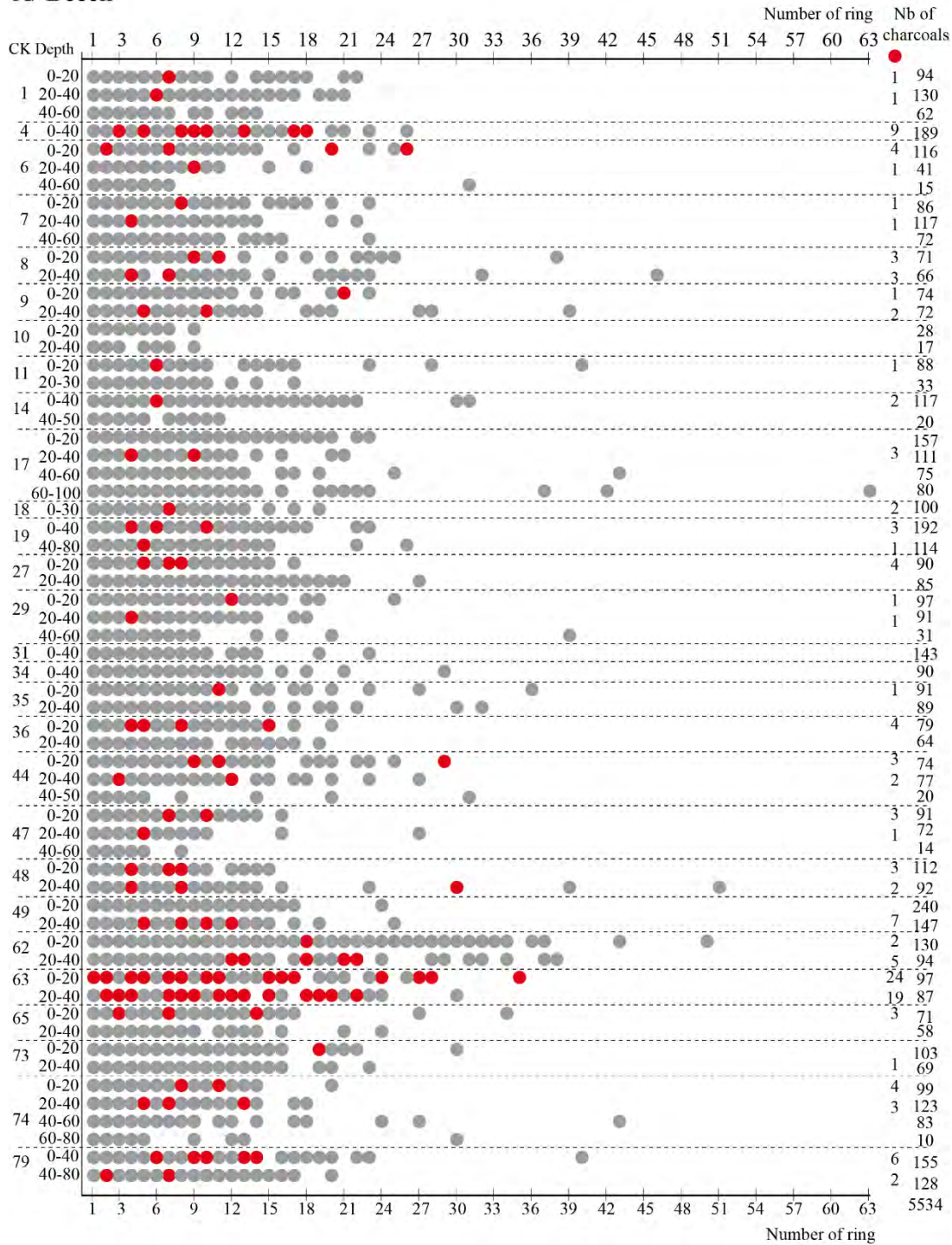
Annexe 3. Tableau 3 : Table detailed the 405 mathematical simulation used to detect the potential diversity of wood supply strategies. e.g. Simulation n°1 mean that a wood pile is composed of 90 logs of 2 cm and 10 logs of 4 cm in diameter

Annexe 4 :

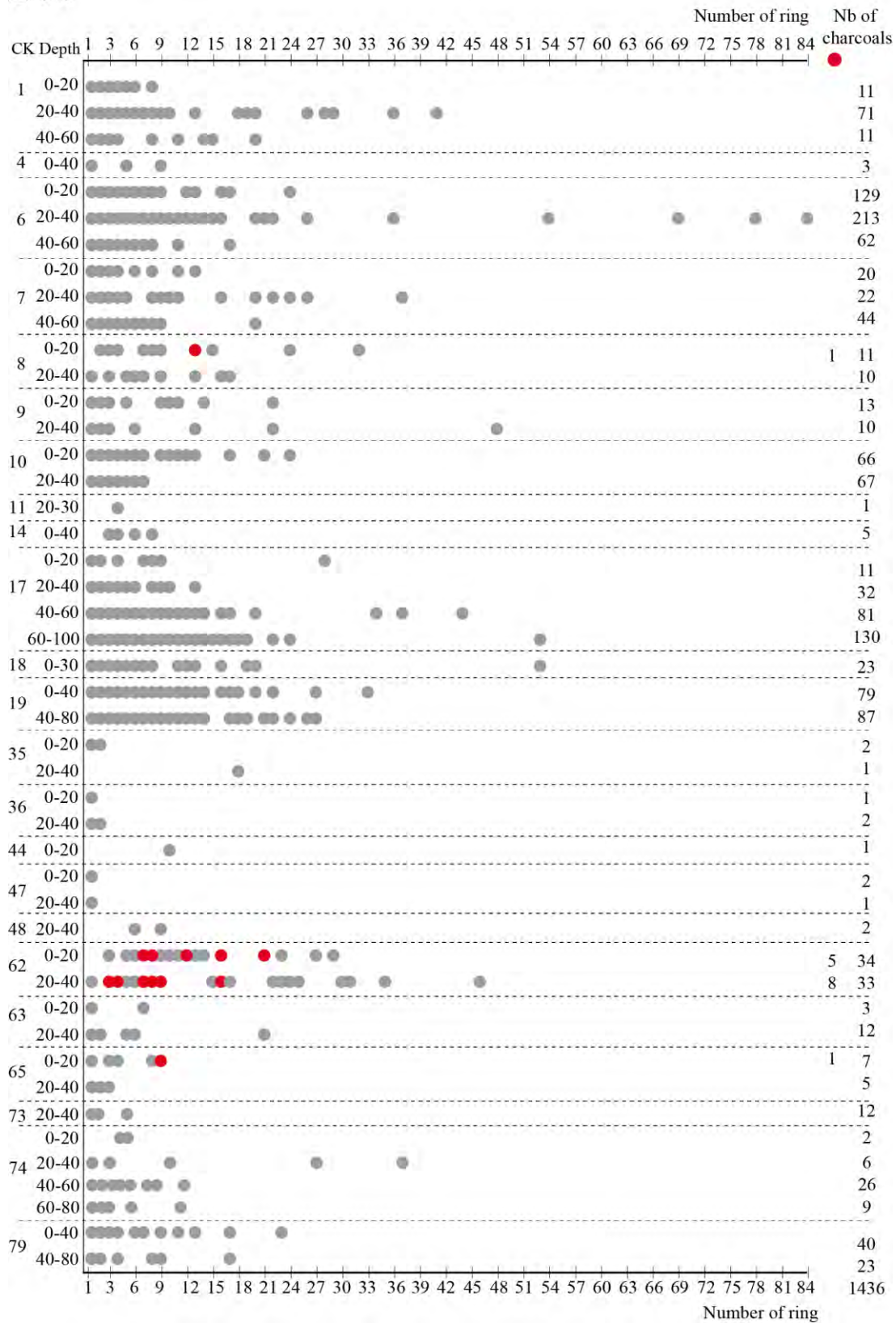
Catégories	Type of factor	Factor	Succinct definition	Scoring system
Stand and its current management	compositional	A: Tree richness	Number of autochthonous tree genera (dead or living trees)	1 or 2 genera: 0 points 3 or 4 genera: 2 5 genera and more: 5
	structural	B: Vertical structure	Number of vegetation layers (max 4 layers)	1 or 2 layers: 0 3 layers: 2 4 layers: 5
		C: Standing deadwood	Number of snags (dbh≥40cm)	Less than 1 snag/ha: 0 ≥ 1 and < 3 snag(s)/ha: 2 At least 3 snags/ha: 5
		D: Lying deadwood	Number of logs (diameter at the larger end ≥40cm)	Less than 1 log/ha: 0 ≥ 1 and < 3 log(s)/ha: 2 At least 3 logs/ha: 5
		E: Very large trees (VLT)	Number of trees with dbh≥70cm	Less than 1 VLT/ha: 0 ≥ 1 and < 5 VLT/ha: 2 At least 5 VLT/ha : 5
		F: Habitat-trees (HT)	Number of live trees with at least one tree-related microhabitat (reference list of tree-microhabitats to observe)	Less than 1 HT/ha: 0 ≥ 1 and < 5 HT /ha: 2 At least 5 HT /ha: 5
		G: Openness	% per ha of open areas (clearings, edges and other areas with a well-developed herb layer composed of flowering plants)	0% : 0 < 1% or > 5% : 2 1 to 5%: 5
Context	historical	H: Temporal continuity of the woody state	Presence of the stand on an ancient map (19 th c.)	Surely no: 0 Probably: 2 Surely yes: 5
	structural	I: Wet macrohabitats	Number of wet-habitat types (reference list of macrohabitats to observe)	none: 0 only 1 type: 2 2 or more types : 5
		J: Rocky macrohabitats	Number of rocky-habitat types (reference list of macrohabitats to observe)	none: 0 only 1 type: 2 2 or more types: 5

Annexe 4. Tableau 1 : Definition of the ten factors that constitute the Index of Biodiversity Potential (IBP) and scoring system (version for Atlantic and Continental context. For more details, see [Larrieu and Gonin \(2008\)](#); dbh: diameter at breast height

A/ Beech

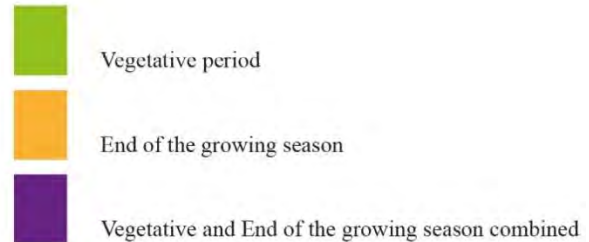


B/ Fir



Annexe 4: Figure 1 : Graphics representation of the minimum number of rings observed on the charcoals for each level for beech (A) and fir (B). The number of charcoals on which the observations were made is also shown. Red dots represent charcoal that kept pith and bark, representing therefore samples for which the exact age is known

A/ Beech								B/ Fir							
CK	Depth	EW	EEW	LW	ELW	Total	Seasonality	CK	Depth	EW	EEW	LW	ELW	Total	Seasonality
1	0-20	1	2	5	1	9	Orange	1	0-20	0	0	1	0	1	Orange
	20-40	1	0	12	2	15	Orange	6	20-40	0	0	2	0	2	Orange
	40-60	2	1	2	0	5	Purple	7	40-60	0	0	1	0	1	Orange
4	0-40	6	7	8	9	30	Purple	8	0-20	0	1	1	0	2	Purple
6	0-20	3	0	9	1	13	Orange	17	40-60	0	0	3	0	3	Orange
	20-4	0	0	2	0	2	Orange		60-100	0	0	1	0	1	Orange
	40-60	0	0	0	1	1	Orange	19	0-40	1	0	0	0	1	Green
7	0-20	3	1	2	0	6	Purple	62	0-20	6	0	3	0	9	Purple
	20-40	1	2	11	0	14	Orange		20-40	3	1	4	0	8	Purple
	40-60	1	0	8	0	9	Orange	65	0-20	1	0	0	0	1	Green
8	0-20	1	0	3	0	4	Orange	Total		11	2	16	0	29	
	20-40	4	1	0	0	5	Green								
9	0-20	0	0	1	0	1	Orange								
	20-40	2	0	2	0	4	Purple								
10	0-20	1	0	2	0	3	Orange								
	20-40	0	0	2	0	2	Orange								
11	0-20	2	0	5	0	7	Orange								
	20-30	0	0	4	2	6	Orange								
14	0-40	0	0	5	3	8	Orange								
17	0-20	3	0	3	1	7	Purple								
	20-40	1	0	7	2	10	Orange								
	40-60	0	1	0	1	2	Purple								
	60-100	1	0	3	0	4	Orange								
18	0-30	4	3	5	0	12	Purple								
19	0-40	4	4	12	1	21	Purple								
	40-80	5	0	8	0	13	Purple								
27	0-20	3	1	8	0	12	Orange								
	20-40	0	0	2	0	2	Orange								
29	0-20	5	0	5	0	10	Purple								
	20-40	1	0	7	0	8	Orange								
	40-60	0	0	2	0	2	Orange								
31	0-40	0	1	9	0	10	Orange								
34	0-40	0	2	5	0	7	Orange								
35	0-20	1	0	4	0	5	Orange								
	20-40	0	0	2	0	2	Orange								
36	0-20	5	0	9	0	14	Purple								
	20-40	4	0	3	0	7	Purple								
44	0-20	6	0	9	0	15	Purple								
	20-40	1	1	5	0	7	Orange								
47	0-20	5	1	10	0	16	Purple								
	20-40	4	0	2	0	6	Purple								
	40-60	0	0	1	0	1	Orange								
48	0-20	5	2	8	0	15	Purple								
	20-40	0	0	12	0	12	Orange								
49	0-20	1	0	0	0	1	Green								
	20-40	5	0	6	0	11	Purple								
62	0-20	1	0	3	0	4	Orange								
	20-40	3	1	2	0	6	Purple								
63	0-20	12	3	30	0	45	Orange								
	20-40	13	2	16	0	31	Purple								
65	0-20	4	0	4	0	8	Purple								
73	20-40	0	1	0	0	1	Green								
74	0-20	3	0	6	0	9	Orange								
	20-40	1	1	4	0	6	Orange								
	40-60	0	0	1	0	1	Orange								
79	0-40	10	0	16	0	26	Purple								
	40-80	3	0	6	0	9	Orange								
Total		142	38	318	24	522									



Annexe 4: Figure 2 : Progress of formation of the last ring systematically recorded on charcoal from beech (A, left table) and fir (B, right table). EW : early wood (spring), EEW : end of early wood (summer), LW : late wood (autumn) and ELW : off-season (winter)

N° CK	A) Archaeological data						B) Comparison with simulations							Total deviation (%)
	Depth (cm)	Dendroanthracological results (%)					Simulation(s) best correlation	Wood diameter classes (cm)						
		]0-1]	]1-2.5]	]2.5-5]	]5-9]	>9		0-2	2-5	5-10	10-15	15-20	>20	
1	0-20	55	32	0	13	0	2							32
	20-40	55	32	0	13	0	2							30
4	0-40	70	23	6	1	0	1							14
6	0-20	59	20	12	4	5	287, 296, 345							32-38
7	20-40	47	36	8	6	3	2							34
11	0-20	25	38	17	17	3	82, 397							27-28
14	0-40	29	34	19	8	11	82, 31							43-44
17	0-20	35	38	16	0	12	77							40
	20-40	82	11	1	6	0	284							19
	60-100	16	38	6	30	10	86							34
18	0-30	76	13	9	0	2	284							17
19	0-40	63	31	5	1	0	1							27
	40-80	57	22	13	6	2	345							30
27	0-20	59	29	7	5	0	1, 2							36
	20-40	11	37	31	17	3	31, 82, 117							13-15
29	0-20	44	31	17	7	1	77							35
	20-40	30	40	16	15	0	82, 31							30-31
31	0-40	58	27	9	1	5	1							38
34	0-40	27	60	1	3	11	294, 270							26
35	0-20	27	31	28	12	2	82, 77, 157							31-34
	20-40	17	37	13	25	8	86							29
36	0-20	48	42	7	0	3	2							19
	20-40	10	55	14	19	2	397, 292, 329							15-17
44	0-20	67	32	2	0	0	1							20
	20-40	46	35	12	3	4	2							38
47	0-20	69	21	4	6	0	1							19
	20-40	38	48	6	2	6	3							28
48	0-20	59	35	4	2	0	2							25
	20-40	59	32	3	0	6	2							32
49	0-20	11	35	39	13	2	157							11
	20-40	20	30	35	11	4	157							23
62	0-20	15	15	20	20	30	250							35
	20-40	19	10	23	40	8	85, 166, 101							22-25
63	0-20	86	12	1	1	0	284, 256							14-16
	20-40	70	19	6	5	0	1, 287							22-25
65	0-20	20	30	28	18	4	82							25
73	0-20	20	45	23	7	6	31, 82							23-27
	20-40	15	43	28	7	8	82							18
74	0-20	79	20	0	1	1	1							7
	20-40	38	49	6	6	1	3							25
	40-60	11	39	28	20	1	82, 31, 117							12-16
79	0-40	78	18	4	1	0	1							11
	40-80	39	52	8	0	1	3							18

Highly dominant (80-100%)
 Significant attendance (40-60%)
 Punctual attendance (1-20%)
 Dominant (60-80%)
 Moderate attendance (20-40%)
 Complete absence

Annexe 4: Figure 3 : Beech. A) Presentation of the charcoal data by radius classes (in percentage of volume) for each charcoal layer studied. B) Results of the comparison of theoretical simulations. The simulations closest to the data are mentioned, then a representation using a color scale allows the dominance or the punctual presence of the different categories of wood diameter to be identified. The

degree of reliability of each of the simulations is also represented by the total deviation in % (TD) from the data.

		A) Archaeological data						B) Comparison with simulations						
N° CK	Depth (cm)	Dendroanthracological results (%)					Simulation(s) best correlation	Wood diameter classes (cm)						Total deviation (%)
		]0-1]	]1-2.5]	]2.5-5]	]5-9]	>9		0-2	2-5	5-10	10-15	15-20	>20	
1	20-40	8	11	29	28	24	251				■		■	15
6	0-20	2	10	27	30	31	251				■		■	15
	20-40	1	35	30	27	6	86, 121	■	■	■		■		26-29
17	40-60	1	15	12	31	41	249, 250		■	■			■	34-38
	60-100	2	2	33	11	51	250		■	■			■	34
19	0-40	15	12	28	16	29	250			■			■	25
	40-80	8	14	14	34	31	90, 41	■	■	■		■		34-35

Highly dominant (80-100%)
 Significant attendance (40-60%)
 Punctual attendance (1-20%)
 Dominant (60-80%)
 Moderate attendance (20-40%)
 Complete absence

Annexe 4: Figure 4 : Fir. A) Presentation of the charcoal data by radius classes (in percentage of volume) for each charcoal layer studied. B) Results of the comparison of theoretical simulations. The simulations closest to the data are mentioned, then a representation using a color scale allows the dominance or the punctual presence of the different categories of wood diameter to be identified. The degree of reliability of each of the simulations is also represented by the total deviation in % (TD) from the data

A/ Beech

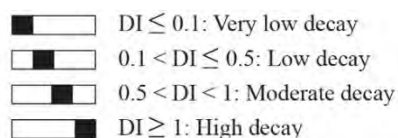
CK	Depth	Di	Nb charcoal	Decay stages
1	0-20	0.9	95	
	20-40	0.6	131	
	40-60	0.4	64	
4	0-40	0.6	193	
6	0-20	1	122	
	20-40	0.8	46	
	40-60	0.3	16	
7	0-20	0.6	88	
	20-40	0.3	117	
	40-60	0.3	74	
8	0-20	0.6	71	
	20-40	0.4	66	
9	0-20	0.8	74	
	20-40	0.5	72	
10	0-20	0.7	28	
	20-40	0.8	17	
11	0-20	0.5	89	
	20-30	0.5	34	
14	0-40	0.9	118	
	40-50	1.1	20	
17	0-20	0.4	159	
	20-40	0.6	115	
	40-60	0.5	77	
	60-100	0.4	81	
18	0-30	0.9	102	
	0-40	0.6	194	
19	40-80	0.2	114	
	0-20	0.8	91	
27	0-20	0.8	87	
	20-40	0.8	87	
	0-20	0.6	97	
29	20-40	0.4	92	
	40-60	0.3	31	
	0-40	0.8	147	
34	0-40	1	90	
35	0-20	0.8	91	
	20-40	0.8	91	
36	0-20	1	79	
	20-40	0.7	65	
44	0-20	0.8	76	
	20-40	0.6	77	
	40-50	0.2	20	
47	0-20	0.5	91	
	20-40	0.4	73	
	40-60	0.7	15	
48	0-20	1	112	
	20-40	0.7	94	
49	0-20	0.5	241	
	20-40	0.5	149	
62	0-20	0.5	130	
	20-40	0.1	94	
63	0-20	0.6	97	
	20-40	0.5	87	
65	0-20	0.7	71	
	20-40	0.8	62	
73	0-20	0.7	103	
	20-40	0.7	70	
74	0-20	1.1	100	
	20-40	0.7	123	
	40-60	0.4	83	
	60-80	0.3	12	
79	0-40	0.5	158	
	40-80	0.2	129	

Nb total 5605

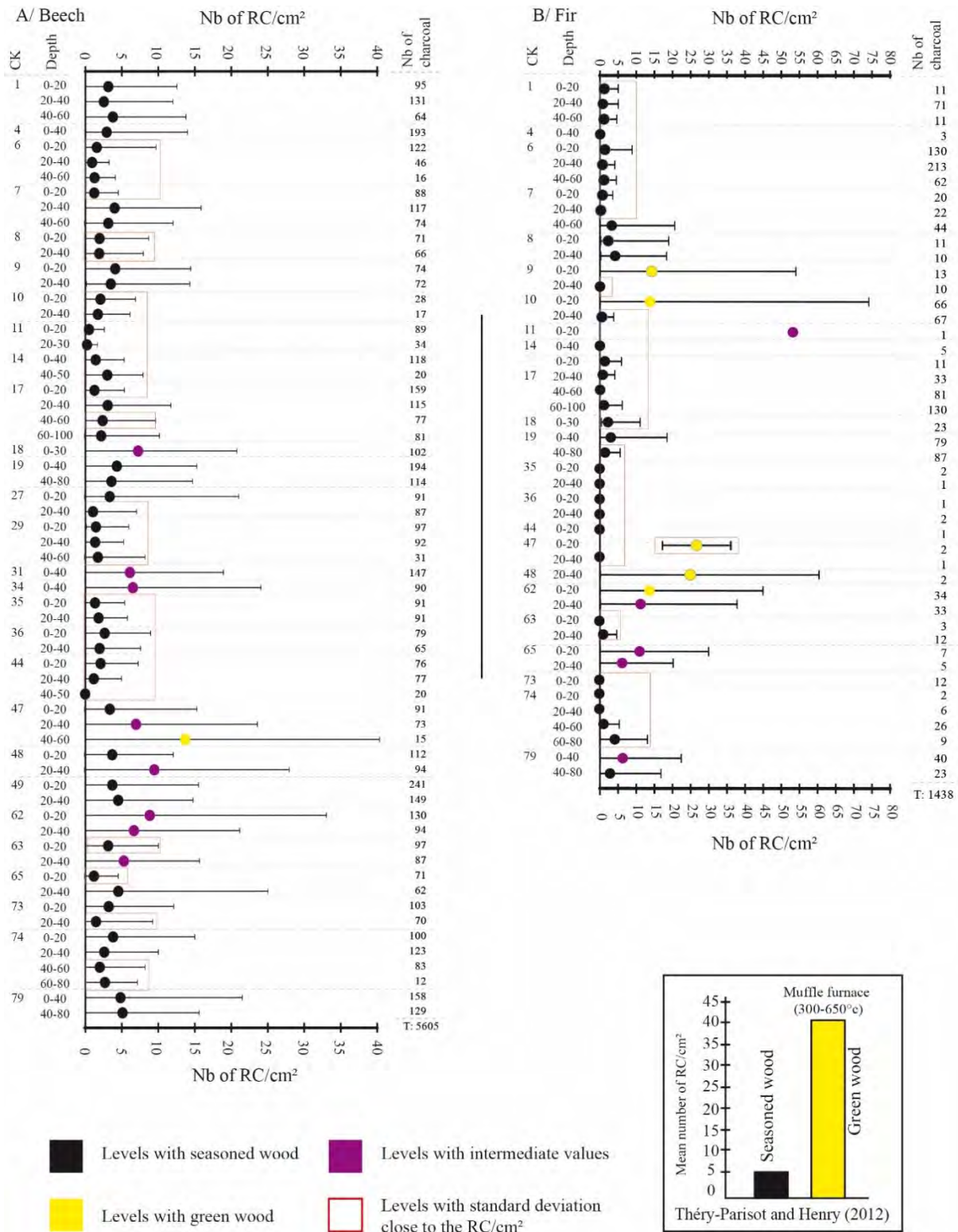
B/ Fir

CK	Depth	Di	Nb charcoal	Decay stages
1	0-20	1.5	11	
	20-40	0.5	71	
	40-60	1.1	11	
4	0-40	0	3	
6	0-20	1.1	130	
	20-40	1	213	
	40-60	0.5	62	
	0-20	0.9	20	
7	20-40	0.7	22	
	40-60	0.4	44	
	0-20	0.6	11	
8	20-40	0.2	10	
	0-20	0.4	13	
9	20-40	0.2	10	
	0-20	0.7	66	
10	20-40	0.9	67	
	0-20	2	1	
11	0-20	2	1	
14	0-40	0.8	5	
17	0-20	1.1	11	
	20-40	0.7	33	
	40-60	0.5	81	
18	60-100	0.4	130	
	0-30	0.9	23	
	0-40	0.6	79	
19	40-80	0.6	87	
	0-20	1.5	2	
35	20-40	1	1	
	0-20	2	1	
36	20-40	0.5	2	
	0-20	1	1	
44	0-20	1	1	
47	0-20	0	2	
	20-40	0	1	
48	20-40	0	2	
	0-20	0.2	34	
62	20-40	0.1	33	
	0-20	0.7	3	
63	20-40	0.9	12	
	0-20	0.7	7	
65	20-40	1	5	
73	0-20	0.3	12	
74	0-20	1.5	2	
	20-40	0.8	6	
	40-60	0.2	26	
79	60-80	0.6	9	
	0-40	0.6	40	
	40-80	0.3	23	

Nb total 1438



Annexe 4: Figure 5 : Graphical representation of the degree of wood decay in beech (A) and fir (B). The number of charcoal samples and the raw value of the Decay Index (DI) are provided for each charcoal layer.



Annexe 4: Figure 6: Average number of radial cracks (RC) /cm² counted in each charcoal layer for beech (A) and fir (B). Data were then compared with the results of the experiment carried out in a muffle furnace by [Théry-Parisot and Henry \(2012\)](#).

Contamination level (CL)	Cellular collapse	Without hyphae fungi	Low hyphae fungi	High hyphae fungi
CL 0	x	v	x	x
CL 1	x	x	v	x
	v	v	x	x
CL 2	x	x	x	v
	v	x	v	x
CL 3	v	x	x	v
	v	x	v	v

Annexe 4. Tableau 2 : Presentation of the different combinations that made it possible to establish the four levels of contamination

Annexe 5:

Sample	Facies	Description	SU
Bern 1	Bern1_g	Organic material in various states of degradation. Microstructure very loose with well-separated crumbs.	2
Bern 1	Bern1_f	Mineral materials including frequent fragments of charcoal. Their microstructure is essentially friable, with small, well-separated aggregates. The more massive and larger aggregates seem to correspond essentially to earthworm pellets. Faecal pellets of various sizes (earthworms, enchytraeidae) and fresh root tissues are observed.	2
Bern 1	Bern1_e	Charcoals (from a few μm to several centimetres) are abundant. The microstructure evolves vertically from a relatively porous and friable assemblage (microstructure of separate crumbs) to a more massive top. The presence of channels their filling with faecal pellets and frequent fresh root tissue indicate marked biological activity.	3
Bern 1	Bern1_d	The limit is clear, but irregular with Bern1_c. The microstructure and constituents are similar to those of Bern1_b. The presence of charcoals and micro-charcoals is significant and aggregates of oxidized sediments are occasionally observed. The biological features frequently intersect these usual elements of superficial horizons affected by successive freeze/thaw cycles.	3
Bern 1	Bern1_c	The contact is clear with underlying facies and mineral materials are similar to those of Bern1_a. Frequent charcoals and microcharcoals (less than in Bern1_b however) are present in the porosity. Moreover, aggregates of materials similar to those Bern1_b as well as centimetric and sub-rounded aggregates of yellow silty-clay are observed.	3 and 4
Bern 1	Bern1_b	The contact with Bern1_a is diffuse. The materials are similar to those of Bern1_a, with, however, a markedly higher proportion of organic constituents, notably millimeter- to centimeter-sized charcoal. Aggregates of oxidised sediments are also observed. The biological activity is materialized by numerous fillings formed by faecal pellets and root tissues.	5
Bern 1	Bern1_a	Reworked material with a crumby/granular microstructure and rounded aggregates. Mixed with combustion residues (burned sediments, charcoal) through biological activity (mesofauna channels, roots).	6

Bern 2-3	Bern2-3_d	Heterogeneous mixture of materials: local sediments, sometimes rubefied, abundant charcoal. Significant bioturbation including channels and associated dejections. Root tissues are also frequently observed.	2 and 3
Bern 2-3	Bern2-3_c	The contact with the underlying facies is diffuse. Organization is characterised by the accumulation of more or less rounded centimetric aggregates. Biological features are always present, notably through the integration of combustion residues in the faecal pellets filling the porosity and root tissues.	3
Bern 2-3	Bern2-3_b	The constituents are heterogeneous but enriched in charcoals and microcharcoals and brown to greyish in PPL. Crumbly and micro aggregated microstructure. The traces of biological activity are abundant, whether in the form of channels, root tissues in the porosity or faecal pellets attributable to soil mesofauna.	5
Bern 2-3	Bern2-3_a	Massive carbonated clay-silt with dolomite and tremolite sands. Few biological features, few organic constituents.	6

Annexe 5: Tableau 1 : Detailed micromorphological description of the five soil thin sections

Material types	Individual chronology characteristics									Master chronologies				
	Number of elementary series			Length			Ring width (mm)			Number of individual chronologies	Length	Ring width (mm)		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean			min	max	mean
wood	1	4	2.72	89	162	145.34	0	30.9	9.97	24	137	0	24	10
charcoal	1	3	1.25	6	66	31.18	0	24.8	3.6	49	60	0	22	4

Annexe 5: Tableau 2 : Description of individual and master chronologies built on felled trees and charcoals

	Chronology	Species	Student t-test	Mean Corr	Overlap	Authors / Source
Bernadouze	Bernadouze	Beech	10.4	0.7	61	Fouedjeu et al. (2021)
Mine E Mauk	EACC	Cembro pine	4.5	N/A	149	Nicolussi et al. (2009)
	TA_Mag1i	Fir	5.0	N/A	105	Billamboz and Neyses, (1999)
St Paulien	Bourgogne.Classic.Beta	Oak	5.5	0.4	115	LCE University UBFC
	ClassicOaks-Cor	Oak	4.6	0.4	115	LCE University UBFC
	NEF3	Oak	4.2	0.4	115	Dendronet
	Lorraine.Classic4	Oak	4.1	0.3	115	Dendronet
	Auvergne.Classic	Oak	3.9	0.3	115	LCE University UBFC
	Franche-Comté/Classic.beta	Oak	3.9	0.3	115	LCE University UBFC
	Belgium-GR	Oak	3.7	0.4	115	University ULG
Cero Pintado	Austrocedrus chilensis	Chilean cedar	N/A	0.6	50	Villalba and Veblen (1997)
Old Greenwood and Gray's Crossing	Truckee, California	yellow pines	9.3	0.6	122	Strachan et al. (2013)
Mt. Hope	Central Nevada	Single-leaf Pinyon	10.6	0.7	100	Biondi and Strachan (2009)
Cortez			12.2	0.6	202	

Annexe 5: Tableau 3 : Synthesis of the different charcoal-based chronologies used to compare the new Bernadouze charcoal chronology

Table des illustrations des annexes

Liste des figures des annexes

Annexe 3. Figure 1 : Illustration of the pyramidal logic used to generate the theoretical simulations. These simulations aim to represent the diversity of wood diameter harvesting/supply, ranging from a strict selection (100% of the same diameter at the top of the pyramid) to a large mix of wood calibers (bottom of the pyramid). 285

Annexe 3. Figure 2 : Graphical presentation of the calculation method of the total deviation (TD). The example is based on the comparison of the data acquired on CK 6 in our study area with the 405 theoretical simulations. The simulation n°86 present the lowest TD 286

Annexe 4. Figure 1 : Graphics representation of the minimum number of rings observed on the charcoals for each level for beech (A) and fir (B). The number of charcoals on which the observations were made is also shown. Red dots represent charcoal that kept pith and bark, representing therefore samples for which the exact age is known.....300

Annexe 4. Figure 2 : Progress of formation of the last ring systematically recorded on charcoal from beech (A, left table) and fir (B, right table). EW : early wood (spring), EEW : end of early wood (summer), LW : late wood (autumn) and ELW : off-season (winter) 301

Annexe 4. Figure 3 : Beech. A) Presentation of the charcoal data by radius classes (in percentage of volume) for each charcoal layer studied. B) Results of the comparison of theoretical simulations. The simulations closest to the data are mentioned, then a representation using a color scale allows the dominance or the punctual presence of the different categories of wood diameter to be identified. The degree of reliability of each of the simulations is also represented by the total deviation in % (TD) from the data..... 302

Annexe 4. Figure 4 : Fir. A) Presentation of the charcoal data by radius classes (in percentage of volume) for each charcoal layer studied. B) Results of the comparison of theoretical simulations. The simulations closest to the data are mentioned, then a

representation using a color scale allows the dominance or the punctual presence of the different categories of wood diameter to be identified. The degree of reliability of each of the simulations is also represented by the total deviation in % (TD) from the data..... 303

Annexe 4. Figure 5 : Graphical representation of the degree of wood decay in beech (A) and fir (B). The number of charcoal samples and the raw value of the Decay Index (DI) are provided for each charcoal layer. 304

Annexe 4. Figure 6: Average number of radial cracks (RC) /cm² counted in each charcoal layer for beech (A) and fir (B). Data were then compared with the results of the experiment carried out in a muffle furnace by Théry-Parisot and Henry (2012). 305

Liste des tableaux des annexes

Annexe 1. Tableau 1 : numéro, description et localisation des 600 documents d'archives historiques étudiés..... 279

Annexe 2. Tableau 1 : Fréquences relatives des taxons à l'échelle des charbonnières étudiées. Voir le détail de la codification dans le tableau ci-dessous..... 281

Annexe 2. Tableau 2 : Liste des taxons avec le code de signification 282

Annexe 3. Tableau 1 : Number of beech charcoals studied per charcoal kilns and per level and distribution within the different radius of curvature classes. Evaluation of the representativeness of the samples based on effort/yield curvatures..... 288

Annexe 3. Tableau 2 : Number of fir charcoals studied per charcoal kilns and per level and distribution within the different radius of curvature classes. Evaluation of the representativeness of the samples based on effort/yield curvatures. 288

Annexe 3. Tableau 3 : Table detailed the 405 mathematical simulation used to detect the potential diversity of wood supply strategies. e.g. Simulation n°1 mean that a wood pile is composed of 90 logs of 2 cm and 10 logs of 4 cm in diameter 297

Annexe 4. Tableau 1 : Definition of the ten factors that constitute the Index of Biodiversity Potential (IBP) and scoring system (version for Atlantic and Continental

context. For more details, see Larrieu and Gonin (2008); dbh: diameter at breast height 298

Annexe 4. Tableau 2 : Presentation of the different combinations that made it possible to establish the four levels of contamination 306

Annexe 5. Tableau 1 : Detailed micromorphological description of the five soil thin sections..... 308

Annexe 5. Tableau 2 : Description of individual and master chronologies built on felled trees and charcoals 309

Annexe 5. Tableau 3 : Synthesis of the different charcoal-based chronologies used to compare the new Bernadouze charcoal chronology 309

