



HAL
open science

Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien. Déterminismes environnementaux et actions de l'Homme

Stéphanie Goepf

► **To cite this version:**

Stéphanie Goepf. Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien. Déterminismes environnementaux et actions de l'Homme. Sciences de l'Homme et Société. Université Louis Pasteur - Strasbourg I, 2007. Français. NNT: . tel-00553049

HAL Id: tel-00553049

<https://theses.hal.science/tel-00553049v1>

Submitted on 6 Jan 2011

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 présentée pour obtenir le grade de
- Docteur de l'Université Louis Pasteur
- Strasbourg I
-
-
- Discipline : Géographie
-
- par **Stéphanie Goepf** ■

Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien

Déterminismes environnementaux et actions de l'Homme

Soutenue publiquement le 29 novembre 2007 ■

Membres du Jury ■

- Directeur de Thèse :** **M. Dominique SCHWARTZ, Professeur,**
Université Louis Pasteur, Strasbourg
- Rapporteur Interne :** **M. Jean-Luc MERCIER, Professeur,**
Université Louis Pasteur, Strasbourg
- Rapporteur Externe :** **M. Hervé RICHARD, Directeur de Recherche CNRS,**
Université de Franche-Comté, Besançon
- Rapporteur Externe :** **Mme Marie-Françoise ANDRÉ,**
Directeur de Recherche CNRS,
Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand
- Examineur :** **M. Michel THINON, Chargé de Recherche CNRS,** Université
Paul Sézanne, Marseille
- Examineur :** **M. Michel HOFF, Maître de Conférences,**
Université Louis Pasteur, Strasbourg

A mon père

« Comment juger de l'équilibre ou du déséquilibre d'un système sans connaître sa périodisation à long terme ? Les couples réversibilité-irréversibilité et renouvelabilité - non renouvelabilité n'ont de sens que pour un " pas de temps " précis et, de toute façon, ils n'ont qu'une valeur relative dans des systèmes environnementaux en perpétuelle évolution. »

G. Bertrand, 2002

Remerciements

Je tiens à adresser ici mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont apporté soutien et conseils au cours ces années de doctorat.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à Dominique Schwartz pour avoir accepté de diriger ces recherches, pour son soutien et ses encouragements. Je tenais à le remercier aussi pour avoir été, durant ces années de thèse, plus qu'un simple directeur de thèse.

Je remercie vivement Michel Thinon, qui m'a permis d'être initiée à la pédoanthracologie, et pour son accueil et sa disponibilité lors de mes passages à l'Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie de Marseille.

Je souhaite également adresser mes remerciements à Marie-Françoise André, Directrice de Recherches du Laboratoire Geolab de Clermont-Ferrand, Hervé Richard, Directeur de Recherches du Laboratoire de Chrono-Ecologie de Besançon, Jean-Luc Mercier, Professeur à la Faculté de Géographie de Strasbourg, ainsi qu'à Michel Hoff, Maître de Conférences à l'ULP de Strasbourg d'avoir consenti à être membres du jury de ce doctorat. Je leur sais gré d'avoir accepté, malgré leurs nombreuses charges et un calendrier serré.

Même si on l'oublie parfois, une thèse se conçoit difficilement sans le soutien d'un laboratoire de recherches. Je tiens donc à ce que soient remerciés ici tous les membres du Laboratoire Image et Ville (UMR 7011), en particulier Christiane Weber sa directrice pour avoir accepté de m'accueillir au sein du laboratoire il y a 2 ans. Merci à tous les doctorants (et docteurs) du laboratoire ; à toutes et à tous, bon courage et bonne chance... la thèse n'est qu'une étape...

Je tiens ensuite à remercier Olivier Guyot de la Région Alsace, instance sans laquelle cette thèse n'aurait pu voir le jour. Mes remerciements vont également à Christian Schwoehrer et Yannick Despert du Bureau des Espaces Naturels du Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges, qui nous ont permis, grâce à leur soutien, de faire avancer la connaissance des espaces naturels dont ils ont la gestion. Merci de votre confiance et de votre patience.

Merci à tous les membres des différentes « instances » de l'archéologie alsacienne. Je pense en particulier à Christian Jeunesse et Anne-Marie Adam, Professeurs à l'Université Marc Bloch de Strasbourg ; Marina Lasserre, Georges Triantafillidis du Service Régional d'Archéologie ; Anne Gébhardt, Eric Boès et Nathalie Schneider-Schwien de l'INRAP Grand Est ; enfin, Matthieu Fuchs du Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhénan. A tous, merci de m'avoir fait découvrir votre discipline, au travers notamment de journées de terrain

souvent « pluridisciplinaires ». Leur rencontre a été pour moi telle une porte ouverte vers le monde inconnu de l'archéologie.

Mes remerciements vont également : à Anne Alexandre du CEREGE d'Aix-en-Provence, pour ses nombreux conseils et ses corrections ; à Tomasz Goslar et son équipe polonaise, pour sa grande efficacité administrative et scientifique lors des analyses ¹⁴C AMS effectuées dans son laboratoire.

Je n'oublie pas de remercier Martine Trautmann, du laboratoire d'analyses des sols et des formations superficielles (EOST), pour son humeur toujours enjouée, et tous les doctorants du « café du matin au labo », en particulier Damien, Romain, Carine et Yannick... pour nos discussions informelles ou plus sérieuses.

Merci à tous les étudiants et stagiaires de Master qui, de près ou de loin, sur le terrain ou en laboratoire, m'ont aidé dans ma tâche. Merci pour leur aide, en particulier lors de nos sorties de terrain, dans des conditions météo parfois exécrables !

Je ne saurai oublier de remercier ma famille, en particulier ma mère, sans qui je n'aurais pu effectuer aussi sereinement ma thèse. Un grand merci aussi à Valérie pour nos toutes nos discussions.

Un grand merci à Muriel, Cécile et Elisabeth pour leur amitié sans faille depuis toutes ces années et leurs encouragements dans les moments difficiles.

Mes pensées finales reviennent à Stéphane, pour sa compréhension, sa patience et sa confiance...

Que toutes les personnes que j'aurais omis de citer soient remerciées ici. J'espère qu'elles ne m'en veulent pas trop, le choix des personnes à citer dans les remerciements est parfois cornélien.

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	7
TABLE DES MATIERES.....	9
RESUME.....	15
SUMMARY.....	16
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	17
INTRODUCTION GENERALE.....	23
PREMIERE PARTIE : CONNAISSANCE ET COMPREHENSION DES ESPACES VOSGIENS	31
CHAPITRE 1 : FORETS ET PATURAGES VOSGIENS : LES LIEUX ET LEURS CARACTERISTIQUES	33
1.1. <i>Situation géographique</i>	33
1.2. <i>Grands ensembles lithologiques</i>	35
1.3. <i>Données climatiques.....</i>	36
1.4. <i>Les sols des Hautes-Vosges.....</i>	37
1.4.1. <i>Les sols brunifiés.....</i>	38
1.4.2. <i>Les sols podzolisés</i>	39
1.4.3. <i>Les sols humifères désaturés.....</i>	40
1.4.3.1. <i>Les rankers cryptopodzoliques</i>	40
1.4.3.2. <i>Les sols à caractères andosoliques.....</i>	41
1.4.4. <i>Conclusion.....</i>	43
1.5. <i>La végétation des Hautes-Vosges</i>	43
1.5.1. <i>L'étage montagnard inférieur (400 à 600 m)</i>	45
1.5.1.1. <i>La chênaie-charmaie</i>	45
1.5.1.2. <i>La chênaie acidiphile et la chênaie-hêtraie.....</i>	45
1.5.1.3. <i>Les autres groupements</i>	45
1.5.2. <i>L'étage montagnard moyen (500/700 à 1000/1100 m) et supérieur (> 1000/1100 m)</i>	46

1.5.2.1. La hêtraie-sapinière à canche flexueuse (<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.) et à luzules (<i>Luzula</i> ssp.)	46
1.5.2.2. La hêtraie-sapinière à fétuque des bois (<i>Festuca sylvatica</i> Poll.).....	46
1.5.2.3. La pessière	47
1.5.3. La hêtraie d'altitude et les Hautes-Chaumes.....	47
1.5.3.1. La hêtraie d'altitude ou hêtraie culminale (> 1000-1100 m).....	47
1.5.3.2. Les Hautes-Chaumes (> 1000 m).....	48
1.5.3.3. Physionomie de la limite supérieure de la végétation forestière, des arbres et de l'écotone forêt/pâturages.....	49
1.5.4. Conclusion	49
1.6. Conclusion	49

CHAPITRE 2 : LES EVOLUTIONS MAL CONNUES DES PAYSAGES VEGETAUX DES HAUTES-CHAUMES ; UN ETAT DE L'ART

2.1. <i>Le point de vue des palynologues</i>	51
2.1.1. Des études palynologiques pionnières.....	52
2.1.2. Le contexte Würmien reconstitué par les analyses effectuées à La Grande Pile	52
2.1.3. La tourbière du Gazon du Faing.....	52
2.1.4. Le Kastelberg et la source de la Moselotte	56
2.1.5. La tourbière du Tanet	57
2.1.6. Les autres analyses polliniques.....	58
2.1.6.1. La Grande Basse	58
2.1.6.2. Le Grand Etang.....	59
2.1.6.3. La Goutte Loiselot.....	59
2.1.7. Conclusion.....	59
2.2. <i>L'analyse des géomorphologues</i>	60
2.2.1. Les formations glaciaires et périglaciaires würmiennes	60
2.2.2. Les caractéristiques géomorphologiques des Vosges à l'Holocène.....	61
2.3. <i>Le point de vue des pédologues</i>	61
2.3.1. Utilisation des analyses polliniques dans les podzols à des fins paléoécologiques.....	62
2.3.2. Utilisation du $\delta^{15}\text{N}$ et de la composition chimique du sol dans la connaissance des anciennes pratiques agricoles	63
2.4. <i>L'approche des botanistes et biogéographes</i>	64
2.4.1. L'Ecole strasbourgeoise du XIX ^e siècle	64
2.4.2. Le point de vue des prédécesseurs de Carbiener (première moitié du XX ^e siècle).....	65
2.4.3. Le point de vue et les arguments de Carbiener.....	65
2.4.4. ...et celui de ses détracteurs.....	66
2.4.5. Conclusion.....	67
2.5. <i>Le point de vue des archéologues</i>	67
2.5.1. Le Néolithique (5300 av. J.-C. à 2300 av. J.-C.)	67
2.5.2. Faits marquants de la période protohistorique (2300 av. J.-C. - 50 av. J.-C.)...69	
2.5.2.1. L'âge du Bronze (2300 - 800/750 av. J.-C.).....	69

2.5.2.2. L'âge du Fer (800/750 - 50 av. J.-C.)	71
2.5.2.3. Des hiatus spatiaux	73
2.5.3. La période gallo-romaine (50 av. J.-C. - 400 apr. J.-C.)	74
2.5.3.1. La conquête et la paix romaines	74
2.5.3.2. Des incursions alamanes précoces (dès la fin du III ^e siècle)	74
2.5.4. Les débuts du Haut Moyen Age (V ^e - VII ^e siècles)	76
2.5.5. Conclusion	76
2.6. <i>Le point de vue des historiens : de Boyé à Garnier, un siècle d'intérêt historique pour les Hautes-Vosges</i>	76
2.6.1. Sur l'origine possible des chaumes	77
2.6.2. Les chaumes jusqu'au XII ^e siècle : de la « <i>Silva vosagus</i> » aux défrichements médiévaux	77
2.6.3. Le « Grand Pâturage » du XIII ^e siècle au XVI ^e siècle	78
2.6.3.1. Un Acte marquant, le Traité de Marquard (1339)	78
2.6.3.2. La fin du monopole alsacien	79
2.6.4. La Carte Perspective de Thierry Alix (1576-1578)	79
2.6.5. L'apogée du « Grand Pâturage » à la fin du XVI ^e et au début du XVII ^e siècle (1580 - 1630)	80
2.6.6. Le désastre de la Guerre de Trente Ans (1618-1648) et la rapide reconquête des pâturages	82
2.6.7. Les chaumes et forêts adjacentes au XVIII ^e siècle	82
2.6.7.1. Sur les chaumes, une reconquête lente et progressive	82
2.6.7.2. Les menaces qui pèsent sur la forêt	83
2.6.7.3. Le siècle des règlements	83
2.6.7.4. Les cartes des Cassini	84
2.6.8. La Révolution française et le XIX ^e siècle	84
2.6.9. L'époque contemporaine (XX ^e siècle)	84
2.7. <i>L'apport de la toponymie</i>	85
2.7.1. Les indices toponymiques de défrichements	85
2.7.2. Les défrichements par le feu	86
2.7.3. Les indices d'activité charbonnière	86
2.7.4. Les autres toponymes	86
2.8. <i>Synthèse</i>	87
2.8.1. La variabilité climatique holocène	87
2.8.2. Les relations entre formations superficielles holocènes et anthropisation du milieu	88
2.8.2.1. A l'échelle régionale	88
2.8.2.2. A l'échelle locale	89
2.8.3. Conclusion	89
2.9. <i>Conclusion</i>	90

DEUXIEME PARTIE : METHODES ET SITES D'ETUDE	93
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES.....	95
3.1. <i>Analyse des archives pédologiques</i>	96
3.1.1. Caractérisation des sols	96
3.1.2. L'analyse pédoanthracologique	97
3.1.2.1. Principes généraux	97
3.1.2.2. Méthode de prélèvements	97
3.1.2.3. Méthode de détermination	98
3.1.3. Les monomères de la lignine des sols	99
3.1.4. L'analyse des phytolithes des sols	100
3.1.5. Analyse du $\delta^{15}\text{N}$ des sols	102
3.2. <i>Analyse des archives historiques et documents anciens</i>	102
3.3. <i>Investigations de terrain</i>	103
3.3.1. Cartographies de terrain.....	103
3.3.2. L'étude des dynamiques actuelles de la végétation	104
3.3.3. Connaissance des processus de feux actuels	104
CHAPITRE 4 : SITES D'ETUDE.....	107
4.1. <i>Le massif du Hohneck</i>	109
4.1.1. Généralités	109
4.1.2. Les stations	109
4.1.2.1. Les stations du Falimont	109
4.1.2.2. Les stations des Trois-Fours.....	112
4.1.2.3. Les autres stations.....	112
4.1.3. Conclusion.....	124
4.2. <i>Le massif du Rossberg</i>	124
4.2.1. Généralités	124
4.2.2. Les stations	125
4.2.3. Conclusion.....	125
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	133
CHAPITRE 5 : L'ANALYSE PEDOANTHRACOLOGIQUE	
RESULTATS ET DISCUSSION	135
5.1. <i>Anthracomasses et répartition des charbons de bois des sols</i>	135
5.1.1. Les Anthracomasses Spécifiques par profil et la variabilité inter-stationnelle .	135
5.1.2. Répartition des charbons de bois	135
5.1.2.1. La variation des anthracomasses au sein des profils	135
5.1.2.2. Tendances générales des variations d'ASN	139
5.2. <i>Identification et datation des charbons de bois</i>	142

5.2.1. Le corpus de datations	142
5.2.2. Les corrélations entre âge des charbons et profondeur	145
5.2.3. Vitesses de migration	147
5.2.4. Identification des charbons et interprétation	147
5.3. <i>Discussion</i>	150
5.3.1. De l'origine possible des feux.....	150
5.3.2. ... à la richesse des sols en charbons	151
5.3.3. ... à leur répartition dans les sols	155
5.3.4. Comparaisons avec d'autres régions	157
5.3.5. Conclusion	158
CHAPITRE 6 : MONOMÈRES DE LA LIGNINE ET PHYTOLITHES LES AUTRES TEMOINS DES VEGETATIONS PASSEES	159
6.1. <i>Les monomères de la lignine</i>	159
6.1.1. Distribution des monomères de la lignine.....	159
6.1.2. Comparaison des rapports S/V et C/V	160
6.1.3. Discussion	162
6.1.4. Conclusion	163
6.2. <i>L'analyse phytolithique</i>	163
6.2.1. Utilisation des phytolithes en terme paléoenvironnemental	163
6.2.1.1. Résultats	163
6.2.1.2. Discussion.....	164
6.2.2. Distribution et conservation des phytolithes dans les sols	164
6.2.2.1. Résultats	164
6.2.2.2. Discussion.....	169
6.3. <i>Conclusion</i>	173
CHAPITRE 7 : LES APPROCHES SPÉCIFIQUES DES ÉVOLUTIONS PAYSAGERES AU COURS DES TEMPS HISTORIQUES	175
7.1. <i>Le couvert végétal appréhendé par les cartes anciennes</i>	175
7.1.1. Massif du Hohneck	175
7.1.2. Massif du Rossberg	179
7.2. <i>Les microtopographies liées à l'extension des chaumes et leur cartographie</i>	185
7.2.1. Les « paléo-chablis » et leur cartographie.....	185
7.2.2. Cartographie des charbonnières	189
7.3. <i>Etude des dynamiques actuelles de la végétation</i>	191
7.3.1. De l'étude des écosystèmes actuels.....	191
7.3.2. ...aux bilans spatio-temporels	192
7.4. <i>Conclusion</i>	195

QUATRIEME PARTIE : SYNTHESE ET CONCLUSIONS.....197**CHAPITRE 8 : ANCIENNETE ET IMPORTANCE DES INFLUENCES ANTHROPIQUES
SUR L'EVOLUTION DES VEGETATIONS DES HAUTES-CHAUMES 199**

<i>8.1. Comparaison des dates obtenues entre les massifs du Hohneck et du Rossberg</i>	199
<i>8.2. Approches de l'évolution de la végétation dans le massif du Falimont.....</i>	202
8.2.1. L'évolution de la végétation des périodes du Paléolithique supérieur et du Mésolithique	204
8.2.2. L'évolution au Néolithique	204
8.2.3. Les premiers défrichements protohistoriques du Bronze	208
8.2.3.1. Le Bronze ancien	209
8.2.3.2. Le Bronze moyen et final	210
8.2.4. Les défrichements secondaires protohistoriques du 1 ^{er} âge du Fer	210
8.2.5. Le long hiatus de La Tène au Haut Moyen Age	211
8.2.5.1. La Tène	211
8.2.5.2. L'évolution à la période gallo-romaine	212
8.2.5.3. L'évolution au début du Moyen Age.....	212
8.2.6. La « reprise d'activités » du Bas Moyen Age et de la période moderne.....	213
<i>8.3. Approches de l'évolution de la végétation dans le Massif du Rossberg</i>	214
8.3.1. Les évolutions de la végétation de l'Holocène ancien	214
8.3.1.1. La fin du Paléolithique.....	214
8.3.1.2. Mésolithique et Néolithique.....	219
8.3.2. Les fluctuations de l'évolution de la végétation de la Protohistoire (2300 cal BC) à la période actuelle	219
8.3.2.1. Périodes de défrichements supposées.....	220
8.3.2.2. Périodes d'absence de défrichements et/ou de défrichements par le feu	221
8.3.3. Conclusion	222
<i>8.4. Synthèse</i>	222

CHAPITRE 9 : BILAN FINAL, CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 225

<i>9.1. Le système éco-géographique des Hautes-Chaumes</i>	225
<i>9.2. Conclusion</i>	227
<i>9.3. Perspectives.....</i>	229

GLOSSAIRE.....251**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....253****ANNEXES.....273**

Résumé

Les « Hautes-Chaumes » des Vosges constituent des milieux naturels caractérisés par l'existence de vastes espaces pastoraux. Leur origine et leur évolution n'avaient jusqu'à présent donné lieu qu'à peu d'études paléoenvironnementales. Classiquement, une faible partie des Chaumes était jusqu'à présent considérée comme naturelle (chaumes « primaires »). Pour les autres (chaumes « secondaires »), en dessous, de 1300/1250 m d'altitude, il avait été proposé sur la base de l'analyse des archives historiques, qu'elles résultent des défrichements effectués pour créer des pâturages d'altitude vosgiens et qu'elles soient l'oeuvre des moines qui ont colonisé les vallées vosgiennes entre les VII^e et VIII^e siècles de notre ère. Notre travail a cherché à établir l'origine et l'évolution de ces milieux, à la fois à des échelles locales et à une échelle de temps longue (Holocène). La méthodologie employée ici repose sur l'analyse des sols et des macro et micro-restes végétaux des sols, seuls marqueurs en mesure de nous permettre de telles reconstitutions. La pédoanthracologie en particulier nous a permis de mettre en évidence les évolutions contrastées des chaumes.

Nos résultats établissent qu'il n'y a pas de chaumes « primaires », mais qu'elles résultent toutes de défrichements. L'ensemble des chaumes et des forêts sommitales a subi, depuis la fin du Néolithique, les influences répétées de l'Homme - notamment des défrichements par le feu. Dans le massif du Hohneck, ces défrichements datent au moins de l'âge du Bronze ancien, démontrant la précocité de l'utilisation par l'Homme de ces espaces comme pâturages. Quant au massif du Rossberg, les premiers défrichements ont une origine légèrement plus tardive (Bronze moyen). Les évolutions de ces milieux ont depuis été contrastées, avec des alternances d'abandons et de ré-exploitations pastorales. Quoi qu'il en soit, les défrichements intervenants plus tard au cours de la Protohistoire, l'Antiquité et l'Histoire peuvent être considérés comme des reconquêtes d'espaces ouverts par le feu puis abandonnés (donc secondaires). Ce travail remet donc en cause à la fois l'existence de chaumes « primaires » et l'âge supposé médiéval des premiers défrichements sur les chaumes considérées comme « secondaires » par les historiens, telles que celles du Rossberg. Les contrastes chronologiques des épisodes de défrichement entre les deux massifs soulignent également la nécessité d'aborder cette thématique à des échelles très locales.

Mots-clés : Pédoanthracologie, paléobotanique, défrichements forestiers, âge du Bronze, âge du Fer, charbons, paléoenvironnements, déboisements, feux, pâturages, écotone forêt/pâturage, pastoralisme, Hautes-Chaumes, Vosges, France

Summary

The « Hautes-Chaumes des Vosges » constitute natural environments characterized by the existence of vast grasslands. Their origin and their evolution were not often studied by paleo-environmental studies. Classically, a weak part of these « Chaumes » was until yet considered as natural (« primary » grasslands). For the others (« secondary » grasslands), under 1250/1300 m a.s.l., it was proposed that, on the base of historical archives, they result from clearings with the aim of creating altitudinal pastures. Moreover, it was assumed that the forest clearings were linked with the colonization from the the Vosges valleys by the monks, between the 6th and the 8th centuries after J.-C. Our purpose was to establish the origin and evolution from these ecosystem, on local scale and on a long scale of time (Holocene). The methodology used here is based on soil analyses and on vegetation macro and micro-remains from soils, which are the only markers able to establish these type of reconstitutions. Pedoanthracology in particular can highlight the contrasted evolutions of the chaumes.

Our results establish that there are no « primary » grasslands, but that all grasslands result from clearings. The whole grasslands and forest/pastures ecotone have undergone, since the end of the Neolithic era, the repeated influences from the Man, in particular clearings by fire. In the Hohneck and its surroundings, the clearings are at least from the Early Bronze Age, showing the precocity from the human exploitation from these spaces as pastures. In the Rossberg, the first clearings seems to have a later origin (at least the Late Bronze Age). Since then the environment have undergone contrasted evolutions with alternations between abandonment and pastoral re-exploitations. The later clearings at the Protohistorical period, Antiquity and History can be considered as reconquest from species cleared by fire and abandoned (so considered like secondary clearings). This work calls in question (i) the existence of « primary » grasslands and (ii) the supposed medieval age from the first clearings on the grasslands considered as « secondary » by the historians, as those from the Rossberg. The chronological constrasts from the clearings between the two study sites highlight too the need for approaching this set of themes on very local scales.

Key words : Pedoanthracology, paleobotany, forest clearings, Iron Age, charcoals, palaeoenvironments, clearings, fires, grasslands, forest/grassland ecotone, pastoralism, Hautes-Chaumes, Vosges, France

Table des illustrations

Liste des figures

<i>Fig. 1.1 : Carte de situation du massif vosgien</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 1.2 : Carte structurale simplifiée du socle vosgien.....</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 1.3 : Coupe ouest - est de l'ensemble plateau lorrain - Vosges - fossé rhéna - Forêt Noire - Jura souabe.....</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 1.4 : Transect ouest-est du massif vosgien entre Gérardmer et Colmar, et diagrammes ombro-thermiques des stations du Chitelet (1986-1990) et de Colmar (1981-2003</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 1.5 : Nombre de jours de neige au Chitelet (moyenne 1986 - 1990)</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 1.6 : Sol brun ocreux humifère vosgien.....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 1.7 : Profil de podzol humo-ferrugineux vosgien.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 1.8 : Sol ocre podzolique vosgien</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 1.9 : Profil de ranker cryptopodzolique vosgien</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 1.10 : Schéma d'un profil d'andosol vosgien</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 1.11 : Schéma d'un profil de sol brun andique vosgien.....</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 1.12 : Etagement de la végétation sur les versants vosgiens</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 1.13 : Les grands types de peuplements forestiers du massif vosgien.....</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 2.1 : Séquence palynologique simplifiée de la tourbière de la Grande Pile, N.E. de la France, à 330 m d'altitude</i>	<i>53</i>
<i>Fig. 2.2 : Diagramme pollinique de la tourbière du Gazon de Faing.....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 2.3 : Diagramme pollinique du sol tourbeux des Hautes Chaumes, en amont du Gazon de Faing.</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 2.4 : Diagramme palynologique simplifié de la Moselotte I.</i>	<i>56</i>
<i>Fig. 2.5 : Analyse palynologique de la tourbière du Tanet</i>	<i>57</i>
<i>Fig. 2.6 : Relation graphique entre la distribution des âges apparents ¹⁴C de B_n de podzols humo-ferrugineux de dégradation sur grès vosgiens et l'âge d'apparition des landes à callune</i>	<i>63</i>
<i>Fig. 2.7 : Cartographie des entités archéologiques paléolithiques et néolithiques des Hautes-Vosges</i>	<i>68</i>
<i>Fig. 2.8 : Cartographie des entités archéologiques protohistoriques des Hautes-Vosges.....</i>	<i>69</i>
<i>Fig. 2.9 : Carte synthétique de la répartition des tertres Protohistoriques en Alsace.....</i>	<i>70</i>
<i>Fig. 2.10 : Carte synthétique des sites hallstattiens du Haut-Rhin.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig. 2.11 : Carte des sites de La Tène ancienne dans le Haut-Rhin.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig. 2.12 : Carte des sites et voies gallo-romains</i>	<i>75</i>
<i>Fig. 2.13 : Scène de surcenage</i>	<i>79</i>
<i>Fig. 2.14 : Carte perspective des Hautes-Chaumes des Vosges établie par Thierry Alix</i>	

(1576-1578).....	81
Fig. 2.15 : Synthèse chronologique et correspondances entre périodes sur le Tardiglaciaire et l'Holocène.....	87
Fig. 3.1 : Distribution des monomères phénoliques de la lignine : rapport S/V en fonction du rapport C/V.....	100
Fig. 4.1 : Localisation des sites d'étude.....	107
Fig. 4.2 : Localisation des fosses pédologiques dans le massif du Hohneck.....	110
Fig. 4.3 : Extrait de la carte géologique de Munster dans le massif du Hohneck et localisation des fosses pédologiques.....	111
Fig. 4.4 : Description du profil de sol de Fali 1.....	113
Fig. 4.5 : Description du profil de sol de Fali 2.....	114
Fig. 4.6 : Description du profil de sol de Fali 3.....	115
Fig. 4.7 : Description du profil de sol de Fali 4.....	116
Fig. 4.8 : Description du profil de sol de Fali 5.....	117
Fig. 4.9 : Description du profil de sol de Trois-Fours 1.....	118
Fig. 4.10 : Description du profil de sol de Trois-Fours 2.....	119
Fig. 4.11 : Description du profil de sol de Trois-Fours 3.....	120
Fig. 4.12 : Description du profil de sol du Col du Schaeferthal.....	121
Fig. 4.13 : Description du profil de sol du Petit-Hohneck.....	122
Fig. 4.14 : Description du profil de sol du Kastelberg.....	123
Fig. 4.15 : Localisation des fosses pédologiques dans le massif du Rossberg.....	126
Fig. 4.16 : Extrait de la carte géologique du secteur.....	127
Fig. 4.17 : Description du profil de sol de Ross 1.....	128
Fig. 4.18 : Description du profil de sol de Ross 2.....	129
Fig. 4.19 : Description du sol de Ross 3.....	130
Fig. 4.20 : Description du profil de sol de Ross 4.....	131
Fig. 5.1 a : Anthracomasses des profils de Fali 1 à Fali 5.....	140
Fig. 5.1 b : Anthracomasses des profils de 3FO 1, 3FO 2, 3FO 3, C-Sch, P-Hoh et Kas 1.....	141
Fig. 5.1 c : Anthracomasses des profils de Ross 2 et Ross 4.....	142
Fig. 5.2 : Histogramme des fréquences de feux par site.....	143
Fig. 5.3 : Histogramme des fréquences de feux pour chaque station, étalement des dates et moyenne par profil de sol des âges des charbons datés (BP).....	145
Fig. 5.4 : Corrélations entre l'âge des charbons et leur profondeur dans le sol.....	146
Fig. 5.5 : Vitesses moyennes de migration des charbons et l'âge des charbons.....	147
Fig. 5.6 : Corrélations entre Anthracomasses Spécifiques Globales et (a) l'altitude, (b) la pente (c), l'orientation du versant, (d) l'épaisseur des sols, et droites de corrélations correspondantes.....	153
Fig. 5.7 : Anthracomasses en fonction des types de sols et d'écosystèmes.....	154
Fig. 5.8 : Répartition en « écailles » des charbons.....	157
Fig. 6.1 : Variations en profondeur de la teneur en unité syringique (a), vanillique (b) et cinnamique (c).....	161
Fig. 6.2 : Distribution des profils de sols en fonction des rapports S/V et C/V.....	162
Fig. 6.3 : Indice D/P des échantillons de référence et variations avec la profondeur au Rossberg, sous prairies (Ross 1 et 4), sous hêtraie-sapinière (Ross 3) et sous chaumes dites « primaires » (Fall 2).....	164
Fig. 6.4 : Comparaisons entre teneurs en carbone et teneurs en phytolithes en fonction de la	

<i>profondeur pour les stations Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2</i>	167
<i>Fig.6.5 : Comparaisons entre stocks de carbone et stocks de phytolithes en fonction de la profondeur pour les stations Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2</i>	168
<i>Fig. 6.6 : Stocks cumulés en phytolithes et en carbone dans les quatre profils de sols étudiés</i>	168
<i>Fig. 6.7 : Rapport entre stocks de phytolithes et stocks de carbone</i>	169
<i>Fig. 6.8 : Pourcentage de phytolithes indéterminables dans les 4 stations étudiées</i>	170
<i>Fig. 6.9 : Distribution bi-compartmentale des phytolithes par analogie avec la distribution bi-compartmentale des matières organiques.</i>	172
<i>Fig. 7.1 : Extrait du « Plan et arpentage du Ban de La Ville et Dépendances de Münster au Val Saint Grégoire ».</i>	176
<i>Fig. 7.2 : Extraits de la carte de Cassini représentant la crête centrale des Vosges dans le secteur du Hohneck ; (a) édition en couleur de 1761, levés effectués entre 1758 et 1761 (Luxeuil n° 144, Feuille 55) (b) réédition en N/B de 1815.</i>	176
<i>Fig. 7.3 : Carte militaire de 1785. - Carte des frontières Est de la France.</i>	177
<i>Fig. 7.4 : Extrait de la carte des Vosges de 1787</i>	178
<i>Fig. 7.5 : Carte de 1722 - Massif du Rossberg</i>	180
<i>Fig. 7.6 : Détails de deux feuilles de la carte de Cassini dans le secteur du massif du Rossberg.</i>	180
<i>Fig. 7.7 : Extrait du plan d'arpentage en couleur de 1762 de la commune de Saint Amarin...</i>	181
<i>Fig. 7.8 : Carte partielle de l'état des chaumes en 1762 sur les communes de Rimbach-près-Masevaux, Masevaux, Bitschwiller, Willer, Moosch et Mitzach</i>	181
<i>Fig. 7.9 : « Plan géométrique d'une montagne » de 1772</i>	182
<i>Fig. 7.10 : Carte militaire de 1785 dans le secteur du Rossberg.</i>	183
<i>Fig. 7.11 : Carte de 1787 des vallées de Masevaux et de Saint-Amarin</i>	183
<i>Fig. 7.12 : Limite supposée des pâturages au Rossberg vers 1813-1832 établie pour les communes de Mitzach (1813), Moosch (1813), Willer (1829), Bitschwiller (1829) et Wegscheid (1832)</i>	184
<i>Fig. 7.13 : Limites des chaumes d'après la carte topographique allemande de 1942</i>	185
<i>Fig. 7.14 : Photo d'une micro-topographie dans le massif du Rossberg.</i>	186
<i>Fig. 7.15 : Photographie d'une coupe amont-aval faite dans un « paléo-chablis »</i>	186
<i>Fig. 7.16 : Croquis de différents type de chablis et leurs conséquences en terme de réorganisation pédologique.</i>	188
<i>Fig. 7.17 : Cartographie des microtopographies dans le massif du Rossberg</i>	188
<i>Fig. 7.18 : Cartographie des charbonnières dans le massif du Rossberg</i>	190
<i>Fig. 7.19 : Photographie du versant orienté sud-est à l'amont de la ferme du Gsang montrant des plate-formes charbonnières</i>	190
<i>Fig. 7.20 : Hêtre bonsaï dans le massif du Petit Ballon</i>	193
<i>Fig. 7.21 : Forêt de reconquête du massif du Rossberg, composée de hêtres adultes à troncs multiples et épaissis</i>	193
<i>Fig. 7.22 : Au Petit Ballon, lande envahie de genévriers, avec en arrière plan (sur la droite) l'apparition sur cette lande d'épicéas</i>	193
<i>Fig. 7.23 : Lac des Perches au début du XX^e siècle (a) et un siècle plus tard (b)</i>	194
<i>Fig. 7.24 : Ferme-auberge du Gsang il y a une centaine d'années (a) et actuellement (b)</i> .	196
<i>Fig. 8.1 : Calibration des datations pour les périodes les plus récentes (à partir du</i>	

Néolithique final).....	200
Fig. 8.2 : Schéma de comparaison des dates entre les massifs du Hohneck et du Rossberg, placées sur une échelle des périodes archéologiques.....	200
Fig. 8.3 : Calage des datations du massif du Hohneck au cours de l'Holocène avec les paramètres climatiques et anthropiques	202
Fig. 8.4 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au cours de la période mésolithique (8200-5500/5300 cal BC).....	205
Fig. 8.5 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au cours du Néolithique final (3500-2300 cal BC).....	205
Fig. 8.6 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont à l'âge du Bronze ancien (2300-1500 cal BC)..	206
Fig. 8.7 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au Hallstatt (1 ^{er} âge du Fer, 800/750-450 cal BC).....	206
Fig. 8.8 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont du début de La Tène (450 cal BC) à la fin du Haut Moyen Age (1000 cal BC).....	207
Fig. 8.9 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au Bas Moyen Age.....	207
Fig.8.10 : Calage des datations du massif du Hohneck au cours de l'Holocène avec les paramètres climatiques et anthropiques:	214
Fig. 8.11 : Périodes du Néolithique et du Bronze ancien (avant 1500 cal BC).	216
Fig. 8.12 : Période du Bronze moyen/final (1500-800 cal BC)	216
Fig 8.13 : Périodes de La Tène (450-50 cal BC) et gallo-romaine (50 cal BC - 500 cal AD).	216
Fig. 8.14 : Période du Haut Moyen Age (500-1000 cal AD).....	217
Fig. 8.15 : Fin du XV ^e siècle. Première apogée historique du système agro-pastoral.	217
Fig. 8.16 : Situation au début du XVIII ^e siècle	217
Fig. 8.17 : Situation à la fin du XVIII ^e siècle.....	218
Fig. 8.18 : Situation au début du XIX ^e siècle, vers 1830	218
Fig. 8.19 : Situation actuelle	218
Fig. 9.1 : Schéma systémique de l'écosystème des Hautes-Chaumes.....	226
Fig. 9.2 : Evolutions spatiales et temporelles contrastées de la végétation, et hypothèses de l'origine des rankers crypopodzoliques.	230

Liste des tableaux

Tab. 4.I : Caractéristiques et localisation des stations étudiées.....	108
Tab. 5.I a : Valeurs des anthracomasses spécifiques (AS en mg.kg ⁻¹).....	136
Tab. 5.I b : Valeurs des anthracomasses spécifiques (AS en mg.kg ⁻¹).....	137
Tab. 5.I c : Valeurs des anthracomasses spécifiques (AS en mg.kg ⁻¹).....	138
Tab. 5.II : Anthracomasses Spécifiques Générales (ASG en mg.kg ⁻¹) des profils, classés par ordre décroissant.....	138
Tab. 5.III : Datations ¹⁴ C et cal BP de charbons de bois, classées par site et par profondeur pour le massif du Hohneck et du Rossberg.....	144

<i>Tableau 5.IV : Rappel des caractéristiques des stations, et coefficient de détermination (R^2) entre les ASG et plusieurs paramètres physiques</i>	<i>152</i>
<i>Tab. 6.I : Analyse des monomères de la lignine</i>	<i>160</i>
<i>Tab. 6.II : Teneurs, stocks et stocks cumulés en phytolithes et en carbone organique des profils Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2</i>	<i>165</i>
<i>Tab. 6.III : Corrélations entre phytolithes et carbone, en terme de teneurs et en terme de stocks.....</i>	<i>165</i>
<i>Tab. 8.I : Ensemble des datations, classées par ordre chronologique et par site.....</i>	<i>201</i>

INTRODUCTION GENERALE

Le contexte général de l'étude

Les Hautes-Chaumes vosgiennes offrent une gamme de paysages variée, d'un grand intérêt écologique, patrimonial ou simplement esthétique. Pour ces raisons, ils ont suscité de nombreuses recherches dans différents domaines. Cependant, l'histoire de ces vastes espaces sommitaux est encore très mal connue, et de nombreuses « certitudes » scientifiques sont, dans ce domaine précis, fondées sur des affirmations mal étayées ou sur des travaux très anciens qui n'ont pas été suivis par des études bénéficiant d'outils et d'un environnement scientifique plus modernes.

Cela n'est pas le moindre des paradoxes en ce qui concerne les Vosges, massif étudié depuis très longtemps, qui a suscité et suscite toujours un engouement certain de la part des naturalistes. Cette méconnaissance de l'histoire des paysages vosgiens nous paraît très préjudiciable. En effet, les études d'archéologie et/ou histoire des paysages n'obéissent pas seulement à un objectif académique, celui de la simple connaissance sur les milieux passés. Elles sont fondamentales pour comprendre la composition et la structure des paysages actuels, quels qu'en soient les compartiments analysés. Elles permettent de donner une dimension temporelle à un ensemble de processus naturels ou sociétaux ; cette dimension temporelle s'exprime non seulement par des chronologies, mais par l'appréhension des vitesses auxquelles se déroulent ces processus. Elles permettent d'appréhender des phénomènes comme les effets de seuil, les ruptures, les contraintes, le degré de pression qui s'exerce sur un milieu, phénomènes qui sont tous fondamentaux pour comprendre le fonctionnement et la dynamique des systèmes écogéographiques. La prise en compte de son histoire éclaire aussi la plus ou moins grande (bio)diversité d'un espace donné. Pour toutes ces raisons, ce type d'études constitue un outil d'aide à la décision en ce qui concerne la gestion sur le long terme des espaces, notamment lorsque ceux-ci sont remarquables sur le plan paysager, patrimonial ou écologique.

Le présent travail s'imprègne de cette philosophie, qui est celle développée au sein de l'équipe du LIV dont l'étude de la dynamique des paysages constitue la thématique centrale. Nous avons essayé d'aborder les espaces étudiés de façon intégratrice et systémique, même si certaines méthodes ont été privilégiées par rapport à d'autres. Sans détailler, il est clair que les structures, les morphologies des paysages résultent en très grande partie de leur histoire et de leurs évolutions passées. La connaissance des processus liés à ces évolutions permet d'en comprendre les étapes et les causes, et de fournir des clefs pour prévoir leurs évolutions futures. Causes et processus sont, selon le type, naturels ou anthropiques. Ils en sont autant de déterminants, ou de forçages. Ils sont multiples, et peuvent exercer une action directe ou indirecte. Ainsi, la pression anthropique peut s'exercer directement par un défrichement, ou plus indirectement par une diminution de la pression démographique consécutive à une guerre... Causes et processus peuvent être de type « catastrophique » ou s'exercer de façon moins abrupte, mais plus continue. Ils peuvent avoir un effet immédiat, ou n'être perçus qu'après franchissement d'un seuil de tolérance. L'ensemble de ces facteurs doit être pris en compte. En ce qui concerne les échelles temporelles, notre thématique nécessite de s'intéresser à l'ensemble de l'Holocène. C'est en

effet lors de cette période que se mettent en place les conditions environnementales qui permettront la genèse des écosystèmes actuels. La deuxième moitié de cette période est particulièrement intéressante, car elle voit un phénomène nouveau : l'influence grandissante, dès le Néolithique, de l'Homme dans l'évolution du couvert végétal, des paysages et plus généralement de l'écosphère. Sur toute cette période il devient nécessaire de réfléchir à la part respective des facteurs naturels, climatiques en particulier, et de l'Homme sur les espaces géographiques. Cette part de l'Homme devient prépondérante pour les derniers siècles. Aussi seront-ils parfois abordés de manière spécifique, et cela d'autant plus que les méthodes qui permettent de les traiter diffèrent de celles qui permettent d'aborder l'ensemble de l'Holocène : l'étude des archives historiques, par exemple, remplace en partie celle des archives naturelles, pour ce qui est de l'étude environnementale, et plus encore pour ce qui concerne la question des datations.

Cependant, même si les paysages actuels portent de façon prépondérante la marque des derniers siècles, nous serons régulièrement amenés à travailler à une échelle temporelle multiscalaire pour en comprendre la genèse. Cette approche multiscalaire sera également appliquée aux échelles spatiales, et cela pour au moins deux raisons. En premier lieu, le domaine de validité spatiale des conclusions tirées de l'étude des archives biologiques est très différent d'un type d'archive à un autre. En second lieu, le mode d'occupation des sols lié aux activités humaines est susceptible de fortement varier à des échelles spatiales très variées.

Les Hautes-Chaumes : quelques clefs de compréhension

Dans le massif vosgien, moyenne montagne tempérée culminant à 1424 m, il est indéniable que le climat constitue un facteur de répartition en étages de la végétation. Pour autant, la faible altitude de ce massif, la forte recolonisation actuelle de certains versants et sommets par des ligneux liée à la déprise agricole débutée au XIX^e siècle, et l'anthropisation croissante du massif au cours de l'Holocène sont autant de motifs de soulever la question de la « naturalité » de cet étagement de végétation. L'écotone forêts/pâturages d'altitude est particulièrement intéressant à étudier, d'une part parce que cet écosystème bien spécifique peut traduire les variations des évolutions climatiques et/ou anthropiques, et d'autre part pour sa richesse en terme écologique, pour sa biodiversité floristique et faunistique notamment.

La présence d'espaces pastoraux sur les principaux sommets vosgiens a souvent fait l'objet d'un questionnement en ce qui concerne leur origine et leur évolution (Boyé, 1903 ; Issler, 1924, 1926, 1927-28 ; Carbiener 1963 a, 1964 a, 1966 a, 1966 b ; Ochsenbein, 1963, 1966, 1972 ; Hoff, 1978). A l'origine de ce questionnement, la richesse floristique des *Hautes-Chaumes*, avec en particulier la présence d'espèces rares, reliques des périodes glaciaires.

Il convient de revenir sur ce terme de « chaumes ». D'après Boyé (1903), certains auteurs qu'il ne cite cependant pas, ont voulu voir dans l'origine du terme de « chaumes », sans preuve aucune, la traduction du latin « *calvi montes* », montagnes chauves. Pour Boyé (1903), ce terme proviendrait plutôt du bas latin « *calmae* » ou encore du vieux français « *calmes* », et désignerait des « *terrains maigres, stériles, isolés, déserts* ». Pour étayer ses

pires, Boyé procède par similarité avec les toponymes d'autres régions, par exemple dans la Nièvre, où les termes de Chaume, La Chaume ou Les Chaumes constituent des formes dont la dénomination primitive était *Calma*, *Calmae*, *Calmeia*, etc. On trouve aussi ces termes, plus ou moins déformés, dans les régions montagneuses, dont les Alpes françaises, le massif du Jura et la Suisse romande... Le terme de « chaumes » désigne donc des terrains dénudés et considérés comme incultes – dans le sens qu'ils ne peuvent pas être cultivés – sur lesquels s'étendent de maigres pâturages de montagne. Quant au terme de Hautes-Chaumes, il s'agit d'une région, d'un territoire, constitué par les espaces sommitaux des Hautes-Vosges consacrés aux usages pastoraux. Ces Hautes-Chaumes constituent un ensemble relativement vaste, qui couvre l'ensemble des crêtes principales du massif vosgien. Un dernier terme, « la chaume », est le territoire exploité par une ferme, une ferme-auberge ou une marcairie. Elle peut être délimitée par les espaces forestiers adjacents. Egalement nommée Wasen, ou Gazon en traduction française, on lui adjoint souvent un nom propre qui l'individualise et la localise (Kahlenwasen, Rothwasen, Rouge-Gazon, Gazon du Faing,...).

Classiquement, il est admis que les chaumes situées au-dessus de 1250/1300 m d'altitude sont « primaires », c'est-à-dire naturelles, tandis que les autres sont « secondaires », et liées à des défrichements supposés médiévaux, mais dont l'âge réel est hypothétique, car ils n'ont jamais été datés directement (Boudot, 1983 ; Hergès, 1983 ; Nonn, 1983 ; Sell *et al.*, 1998). La « primarité » des « chaumes primaires » se fonde principalement sur les travaux de Carbiener (1963 b, 1964 a, 1964 b, 1966 a, 1966 b), suivi par d'autres auteurs (De Valk, 1981, etc), alors qu'auparavant, de nombreux chercheurs avaient soulevé la question sans pouvoir y répondre (Boyé, 1903 ; Issler, 1924, 1926, 1927-28). Carbiener (1964 a, 1966 a) utilise deux arguments : la rudesse du climat, qui n'aurait pas permis l'installation de la forêt, et surtout la présence de rankers cryptopodzoliques (Carbiener, 1963 b), sols dont la formation est liée à la présence de prairies. Ces deux arguments nous paraissent cependant discutables.

- l'argument climatique : selon Carbiener, les conditions climatiques actuelles (sous-entendu : également pendant tout l'Holocène) sont défavorables à la forêt. Or on note encore actuellement 4 mois consécutifs à plus de 10 °C de moyenne (Köppen, 1920, 1931) ce qui permet sur le plan théorique l'existence de forêt. D'autre part, l'Holocène comprend des périodes plus chaudes que l'actuelle, telle que la période de l'Atlantique ancien par exemple, vers 8800 - 7500 cal BP, au cours desquelles la présence de forêt se serait heurtée à des contraintes bien moins fortes. Comment argumenter en faveur de milieux actuellement ouverts pour des raisons climatiques alors que les conditions climatiques actuelles semblent pouvoir autoriser la forêt et que les conditions climatiques passées y ont été encore plus favorables ?
- l'argument pédologique : dans les Vosges, les rankers s'étendent au-dessus de 1250/1300 m d'altitude, où ils succèdent à des alocrisols. Carbiener se fonde sur une affirmation de Duchaufour (1960), à savoir que les rankers cryptopodzoliques ne se forment que sous les prairies alpines. Le raisonnement de Duchaufour mérite cependant des explications. Il se fonde en fait sur deux axiomes : (i) que les limites altitudinales actuelles de la zonation de végétation dans les Alpes sont naturelles et (ii) que les

pelouses alpines sont par conséquent aussi naturelles, climaciques. Dans le contexte scientifique de 1960, ces deux faits sont considérés comme des certitudes. Les rankers ne s'observant que sous les pelouses alpines, Duchaufour en déduit fort logiquement que ces sols sont des « climax stationnels » ne se formant que sous végétation prairiale. Carbiener s'inspire directement de ce résultat – à savoir que les rankers se forment sous pelouse – pour affirmer que les pelouses qui occupent les rankers ont une origine naturelle dans les Vosges. En juxtaposant les écrits de Duchaufour et de Carbiener, il apparaît clairement que le raisonnement de Carbiener est circulaire : de l'affirmation de Duchaufour « les pelouses sont naturelles, donc les rankers se forment sous pelouses », Carbiener en déduit que « les rankers se forment sous pelouses, celles-ci sont naturelles ». La logique ultime du raisonnement est que, les rankers s'étendant dans les Vosges au-dessus de 1250/1300 m d'altitude, les pelouses situées au-dessus de ces altitudes sont naturelles, « primaires ». Le résultat pouvait être admis au vu des connaissances des années 1960. Il n'empêche que le raisonnement est dès le départ circulaire, ce qui est d'autant plus gênant que les travaux de Carbiener ont longtemps fait office de dogme dans certaines sphères, bloquant même parfois la réflexion.

D'autres faits et arguments méritent également d'être discutés ici.

- en premier lieu, les chaumes « primaires » et « secondaires » ne se différencient que peu d'un point de vue phytosociologique. Les botanistes reconnaissent qu'elles sont relativement similaires en terme floristique. On peut l'interpréter de deux manières contradictoires : (a) l'ensemble des chaumes peut résulter de défrichements au vu du cortège floristique des chaumes « secondaires » ; (b) c'est à la présence de chaumes « primaires » que les chaumes « secondaires » doivent leur richesse floristique.
- la conservation jusqu'à nos jours d'espèces reliques des temps glaciaires sur les chaumes résulterait, selon certains botanistes (Ochsenbein 1977), de l'existence en continu sur l'Holocène de milieux ouverts. Ceci est vraisemblable mais difficile à démontrer. Certes, il peut sembler peu probable que des essences paléoarctiques aient pu s'implanter sur les chaumes depuis les défrichements, suggérant par là-même l'existence de zones refuges. Toutefois, les migrations des plantes à des échelles de temps millénaires sont encore peu connues, et il est également possible que les refuges aient été constitués par des zones de très petites tailles, comme des rochers et leurs proches alentours.
- la limite supraforestière dans les Vosges semble, par comparaison, beaucoup plus basse que celle des autres régions montagneuses, Alpes, Massif Central, Pyrénées, Jura... Cette exception vosgienne a été expliquée par le fait que les conditions climatiques qui y règnent ne sont pas celles qui règnent dans les autres régions françaises aux mêmes altitudes, mais sont plus proches de celles des régions boréales. Ceci n'est pas contestable, même si, on le répètera, la présence de 4 mois à plus de 10 °C autorise théoriquement la présence de forêt. Mais il convient de souligner que de nombreux travaux remontent la limite altitudinale originelle de plusieurs centaines de mètres. Pour les Alpes, notons les travaux de Carcaillet (1996, 1998), Carcaillet & Thion (1996), Carcaillet & Brun (2000), Carcaillet *et al.* (1998), ainsi que Talon (1997), Talon *et al.* (1998), ou encore Carnelli (2002), Carnelli *et al.* (2004), Ali *et al.* (2003). Il en est de même dans le Massif Central (Quilès *et al.*, 2002) et dans les Pyrénées (Galop & Jalut,

1994 ; Galop *et al.*, 2002 ; Bal, 2006 par exemple). Ce sont les défrichements précoces, dès le Néolithique, qui sont responsables dans ces régions de l'extension à plus basse altitude des prairies. Ceci souligne l'importance de l'Homme sur les milieux pastoraux d'altitude, et son influence sur les limites supra-forestières. Une conséquence directe de ces travaux récents dans les Alpes et les Pyrénées est d'accentuer encore la différence entre les Vosges et les autres régions, ce qui rend encore moins probable « l'exception vosgienne ».

On voit bien que le schéma proposé par Carbiener est fragile et que la validité de ses arguments doit donc être remise en question.

Objectifs du travail

Le but de notre travail est donc de reprendre cette thématique, quarante ans après les travaux de Carbiener, en utilisant de nouvelles approches permises par le progrès des techniques, mais aussi en portant sur ces lieux un nouveau regard incluant les activités humaines, de manière à préciser si, comme dans d'autres régions, l'Homme a pu jouer un rôle majeur dans l'évolution du couvert végétal depuis le Néolithique.

Plus précisément, nos objectifs sont de répondre à un certain nombre de questions, pour certaines en suspens depuis longtemps :

- Quelle est l'origine des chaumes ? Chaumes « primaires » et chaumes « secondaires » ont-elles une origine commune ou des origines distinctes ?
- Quel est l'âge, l'histoire et l'évolution des chaumes et de l'écotone forêt/pâturage au cours de l'Holocène ?
- Dans le cas d'une influence humaine sur les chaumes, est-il possible d'appréhender les modalités et les périodes de cette anthropisation ?
- Dans ce cas, une distinction entre signal climatique et signal anthropique est-elle possible ?

Méthodes

Afin de répondre à ces différentes questions, nous nous intéresserons à plusieurs types d'objets et nous nous appuierons sur différentes méthodes appliquées à ces objets :

- les archives naturelles : Certains marqueurs de végétation se conservant dans les sols, il est possible de les collecter, d'en faire une analyse et une interprétation. Ainsi, les sols sont riches en charbons de bois, qui feront l'objet d'une analyse pédoanthracologique (Thinon, 1992), mais aussi en monomères des lignines et en phytolithes.
- les datations radiochronologiques ^{14}C par Spectrométrie de Masse par Accélérateur (ou AMS en anglais) : certains marqueurs, charbons de bois et matières organiques des sols en particulier, peuvent être datés, ce qui permet de fixer un cadre chronologique aux évolutions paléoenvironnementales des Hautes-Chaumes.
- les archives historiques : elles sont d'une utilité certaine pour l'analyse de l'évolution des paysages des derniers siècles, à partir des premières archives du Moyen Age. Cartes et

documents anciens, bien que de qualités variables, constituent des outils de reconstitution indispensables sur des périodes souvent peu ou mal couvertes par les archives naturelles, dont la résolution temporelle est généralement plus longue. Il en est de même pour les photographies aériennes et les cartes postales, pour les périodes les plus récentes.

- les investigations de terrain : elles permettent parfois de révéler une partie de l'histoire d'un territoire. Tout objet géographique requiert une observation *in situ*. Ceci permet notamment de comprendre les processus actuels, afin de mettre en évidence les processus anciens.

Structure de la thèse

La première partie présente le cadre général du massif vosgien et ses caractéristiques (chapitre 1) et établit un état de l'art des évolutions paléoenvironnementales des hautes-Vosges (chapitre 2), à partir d'approches naturalistes, puis d'approches anthropiques. La seconde partie s'attachera à présenter les méthodes mises en oeuvre (chapitre 3) à des fins de reconstitutions paléoenvironnementales des Hautes-Chaumes, sur nos sites d'étude, présentés dans le chapitre 4. Les résultats et discussions constituent le corps des trois chapitres de la troisième partie : en premier lieu, nous mettrons en évidence les résultats des analyses pédoanthracologiques (chapitre 5), puis ceux obtenus à partir d'autres marqueurs de paléovégétations (chapitre 6). Enfin, le chapitre 7 concerne des exemples d'investigations effectuées sur les derniers siècles et sur la période actuelle. La quatrième et dernière partie propose un scénario des évolutions chronologiques de la végétation des Hautes-Chaumes sur les sites étudiés (chapitre 8) ainsi qu'une synthèse (chapitre 9).

PREMIERE PARTIE

CONNAISSANCE ET COMPREHENSION DES ESPACES VOSGIENS

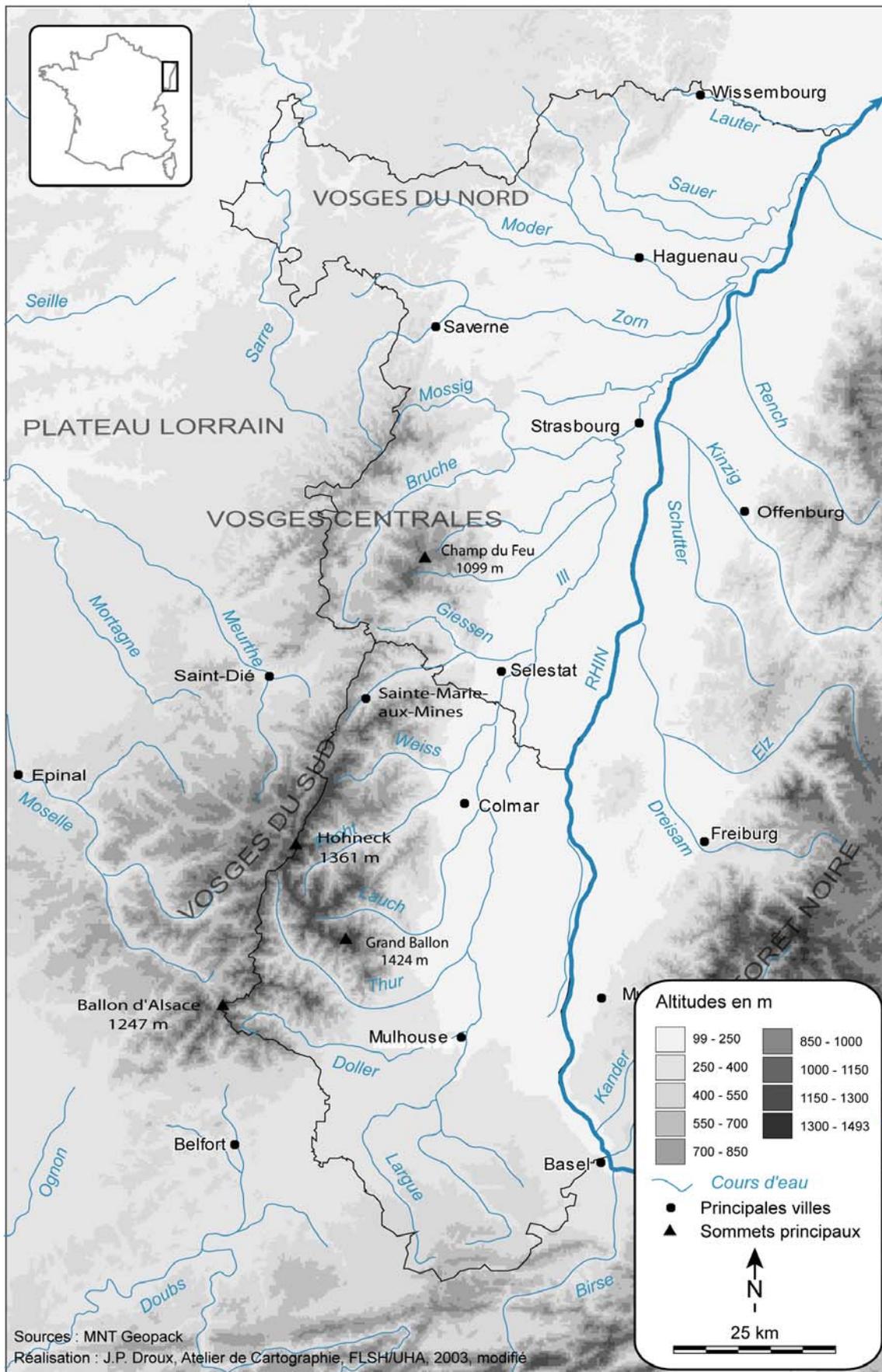


Fig. 1.1 : Carte de situation du massif vosgien

CHAPITRE 1

FORETS ET PATURAGES VOSGIENS : LES LIEUX ET LEURS CARACTERISTIQUES

1.1. Situation géographique

Les Vosges constituent un massif de moyennes montagnes tempérées, divisé en 3 zones géographiques et délimité à l'ouest par les plateaux lorrains, à l'est par la moyenne vallée du Rhin et au sud par les contreforts du Jura alsacien et suisse (Fig. 1.1).

Les Vosges du Nord en constituent la partie la plus septentrionale et la plus basse, les sommets ne dépassant pas 600 m. Elles s'étendent de la frontière avec l'Allemagne jusqu'au col de Saverne. Les Vosges centrales s'étendent de Saverne à la vallée de Sainte-Marie-aux-Mines ; les altitudes y sont plus élevées : jusqu'à 1099 m au Champ du Feu. Enfin, les Vosges du Sud culminent à 1424 m au Grand Ballon. C'est aussi dans cette région que le massif est le plus étendu d'ouest en est, soit une soixantaine de kilomètres.

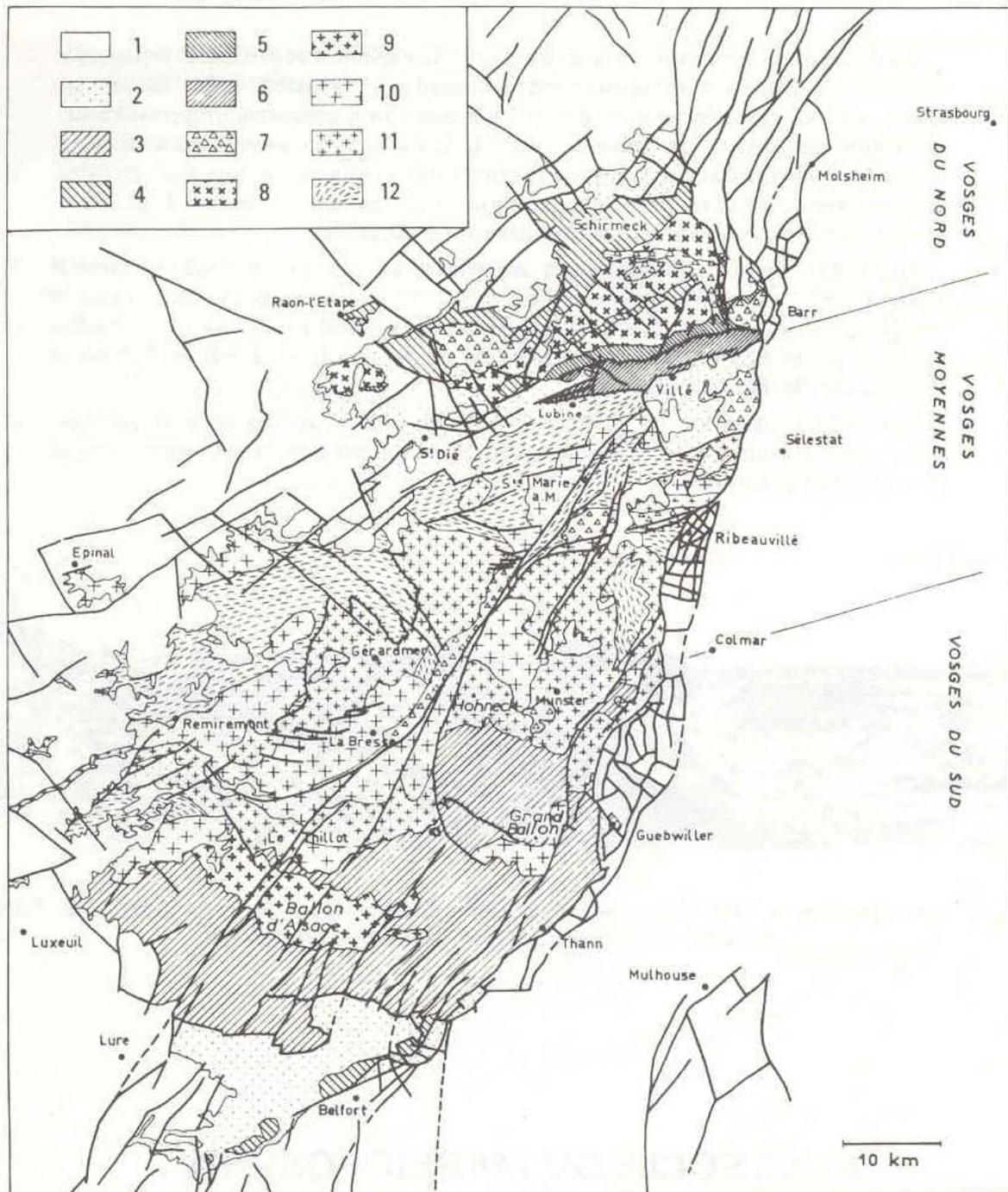
La crête principale, orientée nord-est/sud-ouest, constitue l'épine dorsale de ce massif. Elle est constituée d'une série de « ballons », dont le Hohneck (1361 m), qui a une position centrale sur cette crête, et qui constitue le deuxième plus haut sommet des Vosges. Deux lignes de crêtes en constituent des prolongements vers le sud. L'une s'oriente vers le sud-ouest jusqu'au Ballon d'Alsace (1247 m), l'autre prend une orientation sud-est, pour se terminer au Grand Ballon (1424 m).

Les Hautes-Vosges correspondent à la partie la plus élevée des Vosges, située au-dessus de 500 m d'altitude environ. Localisées selon une position nettement centrale, elles se caractérisent par :

- des conditions climatiques montagnardes froides et très humides ;
- un substratum géologique composé principalement de roches cristallines et cristallophylliennes (granites et gneiss), mais aussi des grauwackes et diverses roches volcaniques ;
- une forte empreinte glaciaire et péri-glaciaire.

Les Vosges possèdent un relief nettement dissymétrique (Fig. 1.3 et 1.4), résultant de la création du fossé d'effondrement rhénan. Cela implique de forts contrastes topographiques : aux pentes faibles et moyennes du versant lorrain s'opposent les fortes pentes du versant alsacien. Elles donnent lieu à de nombreux escarpements qui dominent les cirques glaciaires reliques du Quaternaire. La topographie des collines sous-vosgiennes résulte elle aussi de cette dissymétrie. Elles correspondent à plusieurs champs de failles, le plus étendu étant

celui de Saverne. Ces contrastes topographiques entraînent des contrastes climatiques et biogéographiques qui seront développés plus loin.

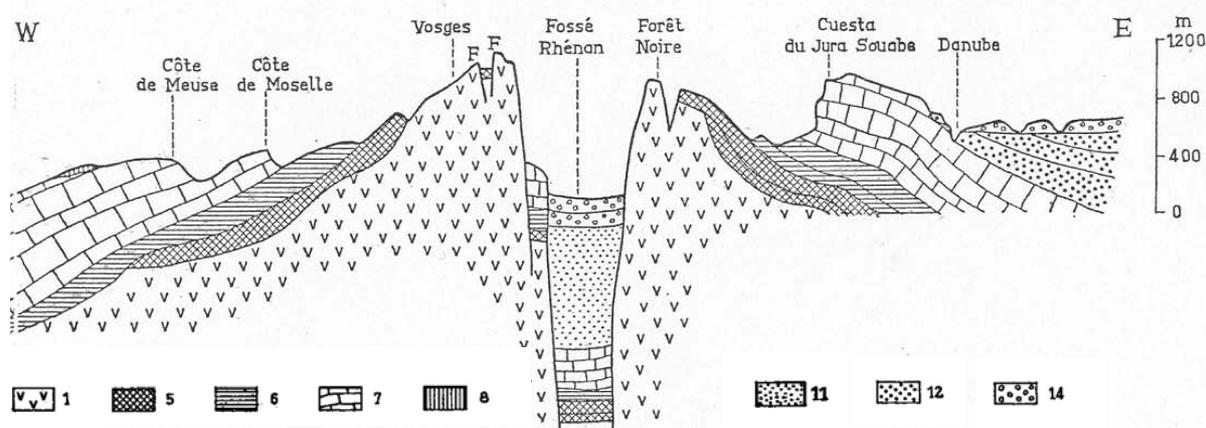


1. Terrains secondaires, tertiaires et quaternaires. - 2. Permien. - 3. Viséen des Vosges méridionales. - 4. Dévonien du Belfortain et Dévono-Dinantien de la Bruche. - 5. Siluro-Ordovicien. - 6. Série de Villé et formations du Climont. - 7. Granites intrusifs tardi-hercyniens. - 8. Granitoïdes des Vosges du Nord. - 9. Granite des Ballons. - 10. Granites intrusifs des Vosges moyennes. - 11. Granite fondamental et granito-gneiss. - 12. Gneiss et migmatites.

Fig. 1.2 : Carte structurale simplifiée du socle vosgien (von Eller, 1984, von Eller et al., 1972)

1.2. Grands ensembles lithologiques

Les Vosges du Nord sont constituées d'une épaisse couverture de grès du Trias inférieur (Buntsandstein). On retrouve largement cette formation à l'ouest du massif vosgien, en amont de la Côte de Moselle (Fig. 1.3). Quant aux Vosges centrales, elles sont principalement caractérisées par un ensemble de roches cristallines : gneiss métamorphiques, migmatites et intrusions granitiques. Enfin, le socle des Vosges méridionales est principalement constitué de roches cristallines (ou hercyniennes), granites et gneiss, et de roches volcano-sédimentaires (grauwackes) ou volcaniques de l'ère primaire, au sud du Hohneck (Fig. 1.2 et 1.3 et Annexe 1).



1. Granites hercyniens. - 5. Grès et argilites permien et triasiques. - 6. Marnes, calcaires et grès du Trias. - 7. Calcaires et marnes jurassiques. - 8. Argiles et sables du Crétacé inférieur. - 11. Oligocène (marnes dans le Fossé Rhénan). - 12. Miocène (molasses dans le piémont danubien). - 14. Formations fluviatiles et morainiques quaternaires

Fig. 1.3 : Coupe ouest - est de l'ensemble plateau lorrain - Vosges - fossé rhénan - Forêt Noire - Jura souabe (Biro, 1970, modifié)

Les granites occupent la partie centrale du massif vosgien. Les gneiss forment de petits massifs, le plus souvent à proximité des granites intrusifs (Fig. 1.2). Les roches de la partie sud du massif vosgien sont volcano-sédimentaires d'âge primaire (Dévono-Dinantien et Viséen) (von Eller *et al.*, 1972). Nous pouvons y observer trois séries : la série schisteuse et volcanique d'Oderen, du Viséen inférieur ; ensuite, la série schisto-grauwackeuse du Markstein (série allochtone qui chevauche celle d'Oderen-Bussang), du Viséen moyen ; enfin, la série volcanique de Thann ou de Thann-Giromagny, la plus récente (grauwackes du Viséen supérieur) (von Eller *et al.*, 1972).

Le socle est relativement faillé : des mouvements anciens de tectonique cassante ont affecté le socle hercynien, provoquant de longues failles, allant parfois jusqu'à plusieurs dizaines de km, et orientées globalement Nord-Est/Sud-Ouest. Les failles les plus récentes sont liées à l'effondrement progressif du fossé rhénan : la faille vosgienne limite les Vosges à l'ouest des collines sous-vosgiennes à l'est, tandis que la faille rhénane sépare les collines de la plaine.

1.3. Données climatiques

La « Grande Crête » des Vosges, orientée nord-est/sud-ouest, constitue la première barrière orographique perpendiculaire aux perturbations atlantiques d'Ouest qui traversent la France (Carbiener, 1966 a ; REKLIP, 1996 ; Boudot, 1982). Le fort effet de Foehn qui en résulte entraîne un caractère climatique tempéré océanique sur le versant lorrain et sur les crêtes, et des conditions plus sèches et continentales sur le versant est des Vosges. Ces perturbations d'Ouest, ajoutées à la dissymétrie topographique du massif conditionnent donc les contrastes climatiques accentués.

Le versant lorrain est plus frais et humide que le versant alsacien. La pluviométrie confirme ces propos : les précipitations annuelles atteignent 1780 mm à Gérardmer, 2000 mm au Hohneck, réparties sur toute l'année, pour descendre à 1260 mm à Sainte Marie aux Mines, et seulement 550 mm à Colmar (Fig. 1.4). La pluviométrie estivale est plus faible que la pluviométrie hivernale en montagne, tandis qu'elle est plus élevée en été dans les stations de la plaine d'Alsace (Fig. 1.4). Parallèlement, les températures diminuent fortement avec l'altitude. La température moyenne annuelle est de 9 °C à 400 m, de 7 °C à 800 m, et n'est plus que de 5 °C à 1200 m. Le nombre de jours de gelée est de 120 jours vers 1000 m, avec de nombreuses gelées tardives et de 160 jours sur les plus hauts sommets.

Le climat de la crête centrale des Vosges est caractérisé par un fort « effet de crête » (Carbiener, 1966 a) : une forte pluviosité, jusqu'à 2000 mm, une humidité atmosphérique élevée, avec des étés frais et des hivers pas trop froids mais longs. Les précipitations neigeuses sont d'ailleurs exceptionnellement possibles jusqu'en Juin (Fig. 1.5). Les températures diminuent très rapidement à l'approche de la ligne de crête principale, la température

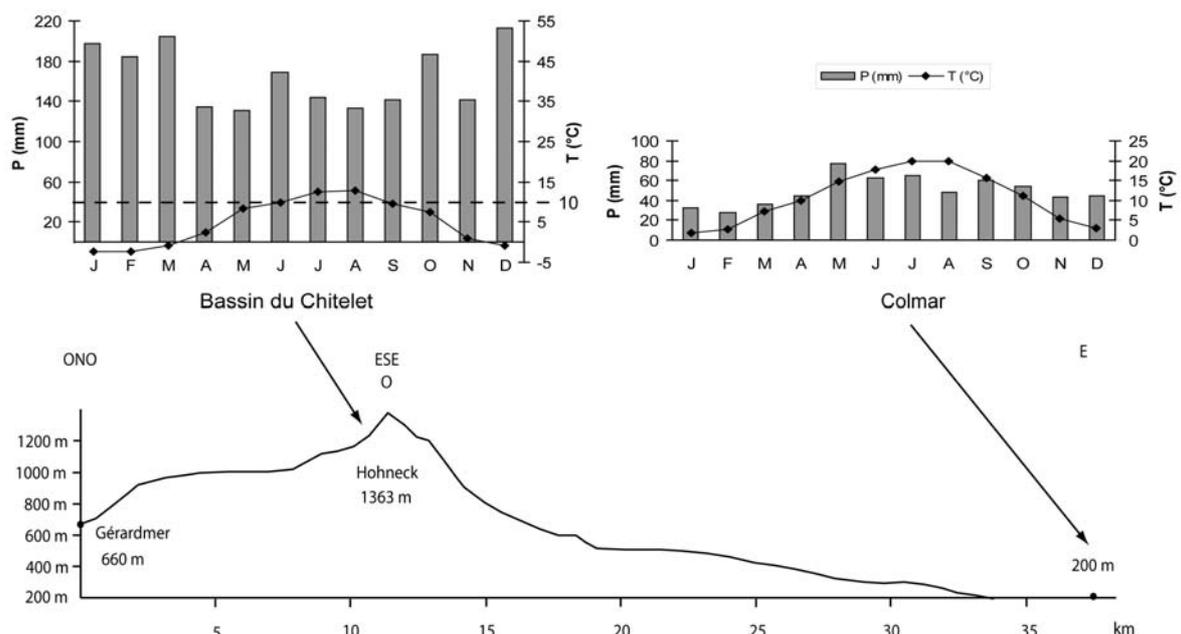


Fig. 1.4 : Transect ouest-est du massif vosgien entre Gérardmer et Colmar, et diagrammes ombro-thermiques des stations du Chitelet (1986-1990) et de Colmar (1981-2003) (Sell et al., 1998 ; CSL, 2001), avec pour échelle de correspondance $P = 4 \times T$

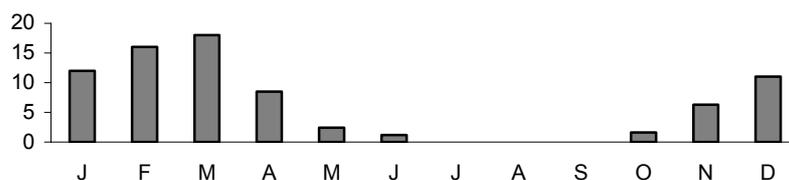


Fig. 1.5 : Nombre de jours de neige au Chitelet (moyenne 1986 - 1990)

Relevés effectués par P.-M. David, Station météorologique du Chalet Universitaire du Chitelet, altitude 1220 m, traitement des données : P. Paul et G. Perron (In : CSL, 2001)

moyenne de la crête étant de 4 °C avec – 4 °C pour le mois de janvier le plus froid et 11 °C en juillet pour le mois le plus chaud. Au Chitelet, on note quatre mois consécutifs pour lesquels la température est supérieure ou égale à 10 °C (Fig. 1.4).

1.4. Les sols des Hautes-Vosges

Cette synthèse bibliographique se base principalement sur les travaux de Souchier (1971), Bonneau *et al.* (1978), Boudot (1976, 1982), Duchaufour (1997), Aran (1998), Aran *et al.* (1998, 2001) ainsi que Guillet (1972), et Guillet & Robin (1972). Les paragraphes suivants concernent différents aspects de la pédogenèse dans les Vosges. Ils présentent les principaux types de sols et processus majeurs qui y ont cours, en se fondant sur la classification des sols établie par la Commission de Pédologie et de Cartographie (CPCS, 1967), en indiquant en outre les termes employés par le Référentiel Pédologique (R.P., 1995). Nous insisterons sur des sols comme les rankers cryptopodzoliques qui, bien qu'ayant une extension spatiale limitée, sont fondamentaux pour la compréhension de nos travaux.

Malgré la couverture lithologique relativement homogène des Hautes-Vosges, avec majoritairement des granites et des gneiss, les sols possèdent une certaine diversité. Sont à mettre en cause la diversité de la constitution des granites et l'interaction entre végétation et lithologie différente suivant les conditions climatiques (Jacamon & Sigwarth, 1982).

Les granites riches en minéraux ferro-magnésiens (Granite des Crêtes) libèrent beaucoup d'argile et de fer. Les sols qui s'y développent sont de type sol brun (§ 1.4.1). A l'inverse, les granites pauvres en minéraux ferro-magnésiens donnent des podzols (§ 1.4.2), par entraînement des composés ferriques. De nombreux types intergrades existent entre ces deux gammes de sols (sols bruns ocreux, sols ocres podzoliques...).

Certaines autres classes de sols apparaissent, si certaines conditions stationnelles particulières sont réunies. C'est le cas pour les rankers, rankers cryptopodzoliques, andosols, sols andosoliques, qui constituent des sols humifères désaturés (§ 1.4.3), sols hydromorphes etc.

1.4.1. Les sols brunifiés

Le principal processus pédologique dans le massif vosgien est la brunification, aboutissant à une large gamme allant des sols bruns mésotrophes aux sols bruns ocreux, ou alocrisols dans la nomenclature du R.P. (1995). Les profils les plus fréquents dans les Vosges sont les sols bruns acides et bruns ocreux de la CPCS (1967), définis actuellement comme des alocrisols dans le R.P. (1995). Bien que la brunification puisse avoir lieu sur des matériaux variés tels que grès, granites, roches volcaniques basiques..., elle est conditionnée par une libération suffisante de fer libre (par altération), et par de bonnes conditions de drainage. L'évolution de ces sols bruns *sensu stricto* dépend donc des taux de fer libéré.

Dans les Vosges, les sols brunifiés sont caractérisés (Fig. 1.6 et Annexe 2) par un humus de type mull ou moder, un horizon A_1 humifère lié aux conditions climatiques fraîches, un horizon structural acide d'altération S_{al} (correspondant aux anciens horizons (B) tel celui figuré en 1.6), coloré en brun par les oxydes de fer, et enfin d'horizons d'altération C. Ces sols sont profonds, à forte activité biologique.

PROFIL 706 Sol brun ocreux humifère

IGN 1/25 000 Gérardmer 7-8 - Le Tanet (88) - E : 7°03'03" - N : 48°04'58" - Altitude 1 240 m.

Topographie : Replat (pente légère vers le NW).

Roche-mère : Granite fondamental.

Végétation : Chaume résultant d'une dégradation ancienne de la forêt; *Vaccinium myrtillus*, *Nardus stricta*, *Deschampsia flexuosa*, *Festuca rubra*, *Gentiana lutea*, *Vaccinium uliginosum*; *Vaccinium vitis idaea*, *Calluna vulgaris*.

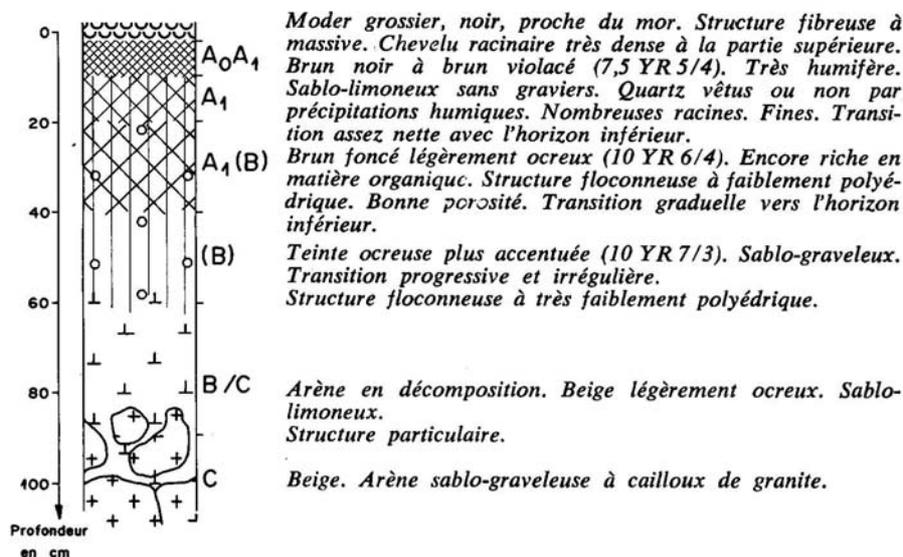


Fig. 1.6 : Sol brun ocreux humifère vosgien (Bonneau et al., 1978)

N.B. : Dans le référentiel pédologique (R.P., 1995), l'horizon S_{al} remplace l'horizon (B) de la classification CPCS (1967)

1.4.2. Les sols podzolisés

La podzolisation est peu fréquente et en général modérée dans les Vosges. Ce processus est possible sur roche mère altérable, pauvre en argiles et en fer et généralement acide, sous climat océanique. Le plus souvent, l'évolution est insuffisante pour donner des podzols à proprement parler ; il s'agira plutôt de sols apparentés : podzols humo-ferrugineux (Fig. 1.7), sols ocreux, sols ocres podzoliques (Fig. 1.8 et Annexe 3). Ces sols ocres podzoliques, podzols cambiques du R.P. (1995) sont moins évolués que les sols podzoliques. Ils offrent les mêmes caractères, hormis pour l'horizon E (anciennement A₂), qui est absent ou réduit à des taches cendrées discontinues. « Ils caractérisent soit des stations de pente, soit des matériaux un peu plus riches en fer que les précédents, soit enfin, un stade de dégradation moins avancée. Dans la séquence de dégradation, le sol ocre podzolique apparaît souvent au sommet d'un sol lessivé à B_t : le profil dans son ensemble est alors souvent décrit comme "lessivé podzolique" ou "néopodzolique" (Duchaufour, 1997) ».

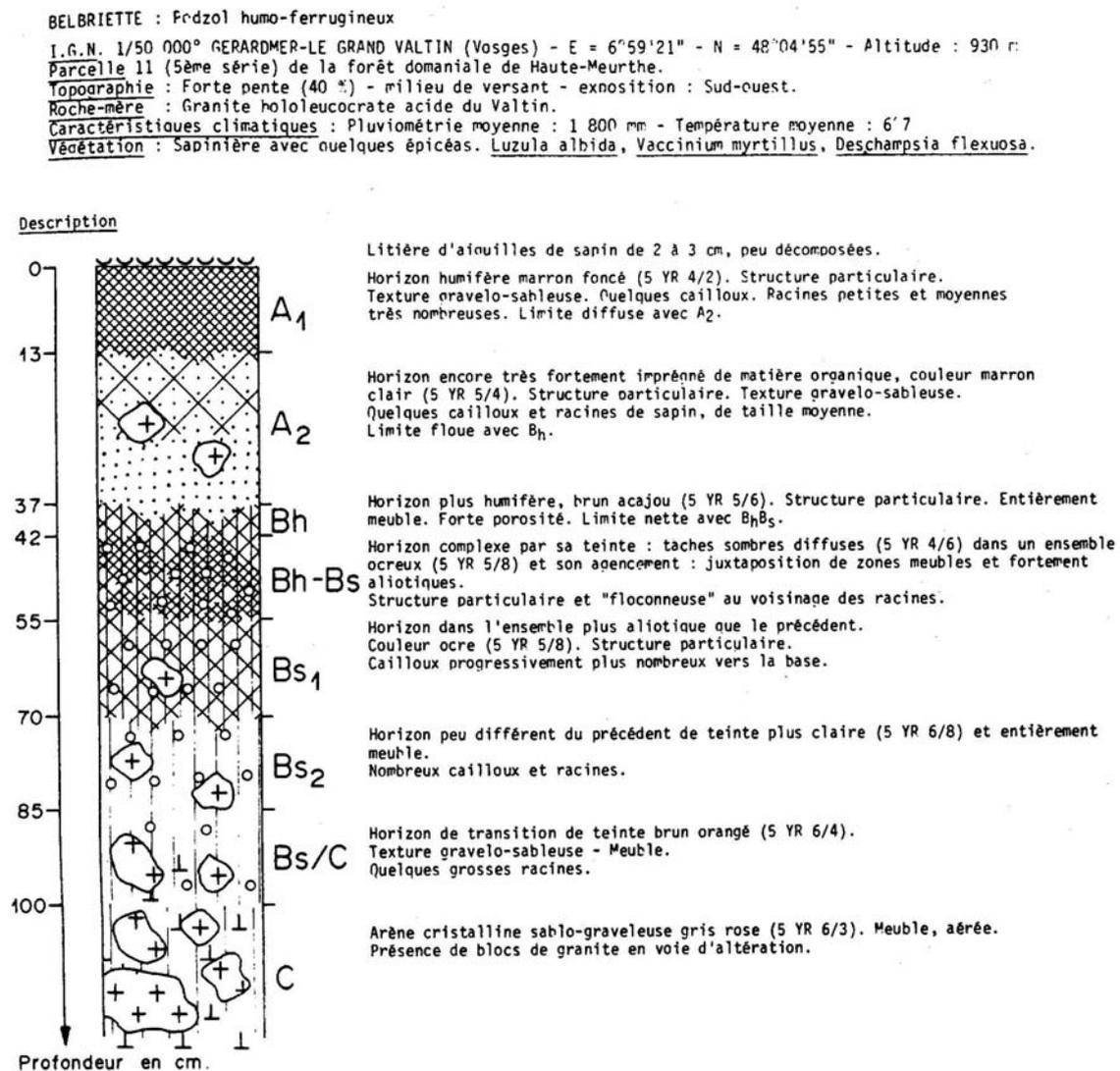


Fig. 1.7 : Profil de podzol humo-ferrugineux vosgien (Guillet, 1972) - N.B. : Dans le référentiel pédologique (R.P., 1995), l'horizon BP remplace les horizons B_h et B_s de la classification CPCS (1967)

PROFIL 161
Sol ocre podzolique

IGN 1/25 000 Gerardmer 7-8 - Le Rudlin (88) - E : 7°03'20'' - N : 48°07'10'' -
Altitude 950 m - Pente 50 % - Exposition Sud.

Roche-mère : Granite.

Végétation : Sapinière à flore acidiphile (*Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*,
Luzula maxima, *Dicranum scoparium*, *Hypnum loreum*).

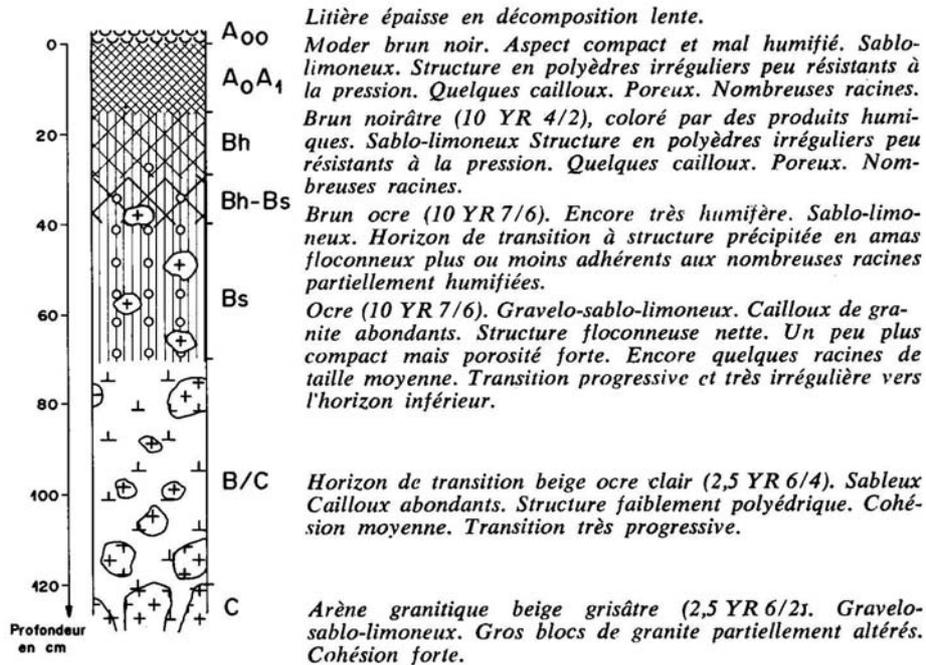


Fig. 1.8 : Sol ocre podzolique vosgien (Bonneau et al., 1978) - N.B. : Dans le référentiel pédologique (R.P., 1995), l'horizon BP remplace les horizons B_h et B_s de la classification CPCS (1967)

Sous plantations de pins ou d'épicéas, la podzolisation est accentuée (podzols ou sols podzoliques), sur le grès notamment, avec des sols à humus brut de type mor. Il en est de même sous des végétation riches en Ericacées.

1.4.3. Les sols humifères désaturés

1.4.3.1. Les rankers cryptopodzoliques

Certains auteurs, dans la classification FAO-WRB, considèrent les rankers cryptopodzoliques (Fig. 1.9 et Annexe 4) comme des sols cryptopodzoliques, c'est-à-dire comme des sols podzoliques peu différenciés, rentrant alors dans la classe des sols podzolisés (Duchaufour, 1997). Il s'agit de sols peu différenciés humifères désaturés. Les processus de cryptopodzolisation correspondent à des processus de transferts de matière organique et d'aluminium masqués morphologiquement.

Ces types de sols sont assez rares dans les Vosges. On les trouve aux altitudes les plus élevées, car les conditions écologiques de leur développement sont, d'après Duchaufour (1968) :

- des alternances saisonnières marquées de forte imbibition par l'eau, lors de la fonte des neiges notamment, et de dessiccation du profil en période d'insolation estivale ;

- une roche mère relativement riche en minéraux altérables, surtout en fer et en aluminium, éléments insolubilants, et abondance des cations insolubilants (Al^{3+} et Fe^{3+}) ;
- une végétation herbacée, à rhizosphère développée.

La première condition écologique semble peu probable, vu le régime pluviométrique de la crête principale (Fig. 1.4) qui reste très humide, même en été. A l'inverse, les moyennes de température basses pourraient être un facteur favorable car elles ralentissent l'activité biologique et permettent donc d'avoir des sols très organiques.

Le profil type est un A_0A_1 (moder ou mor) sous lequel se développe un A_1S_{al} épais de 40 à 80 cm, l'ensemble étant très fortement désaturé. L'altération est décroissante avec la profondeur.

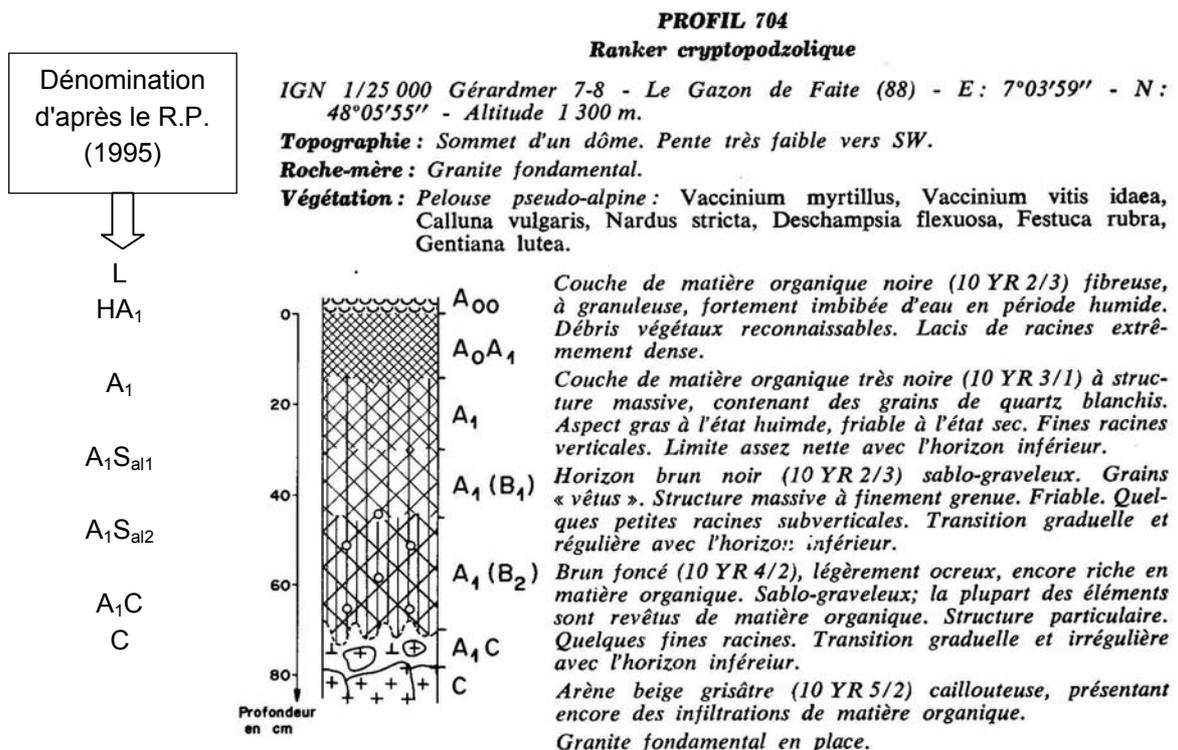


Fig. 1.9 : Profil de ranker cryptopodzolique vosgien (Bonneau et al., 1978). N.B. : Idem à la Fig. 1.6.

1.4.3.2. Les sols à caractères andosoliques

Les sols développés sur roches volcano-sédimentaires, substratum présent dans les Vosges méridionales, possèdent des propriétés andosoliques généralement peu développées (Aran et al., 1998). Ces sols ont été étudiés dans les Vosges par Duchaufour & Souchier (1966), Hétier (1968), Boudot (1974, 1976), Boudot et al. (1981), puis par Aran (1998), et Aran et al. (1998, 2001). Les profils de référence, des andosols *sensu stricto* - toujours non allophaniques - (Fig. 1.10) y sont peu courants. Le plus souvent, il s'agit de groupes intergrades : andosols brunifiés, sols bruns andiques, etc, aux caractères andiques moins affirmés (Fig. 1.11). Ces sols se développent aussi bien sous hêtraie pure que sous hêtraie-sapinière à Canche et Myrtille, ou encore à Fétuque (Aran et al., 1998). Aran (1998) décrit

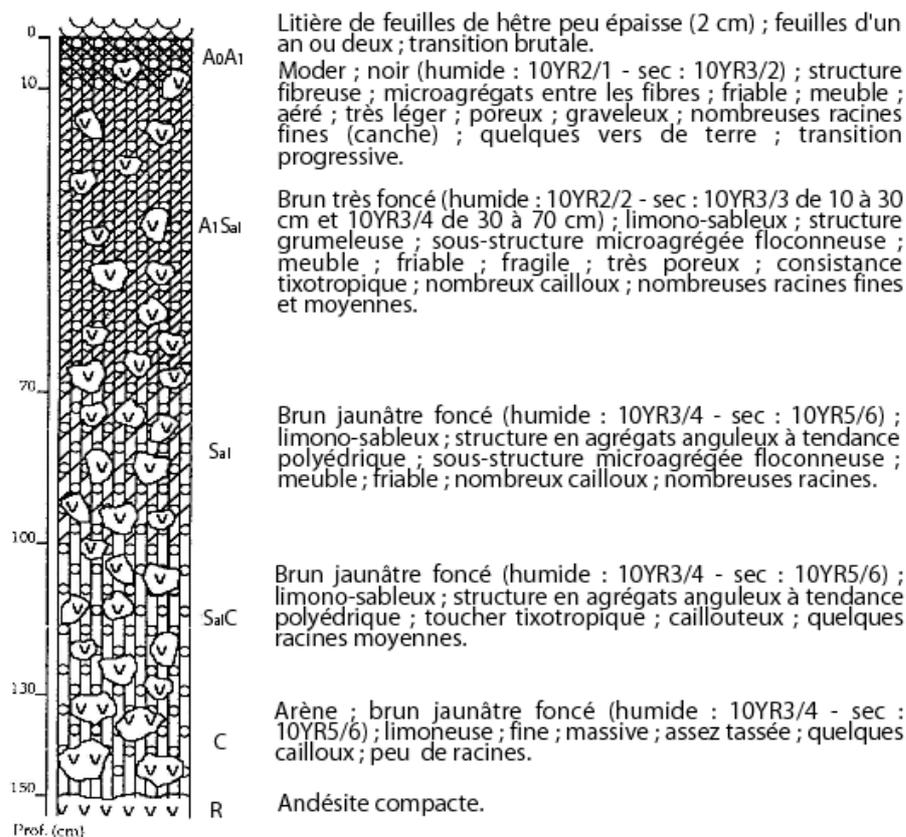


Fig. 1.10 : Schéma d'un profil d'andosol vosgien (Aran, 1998)

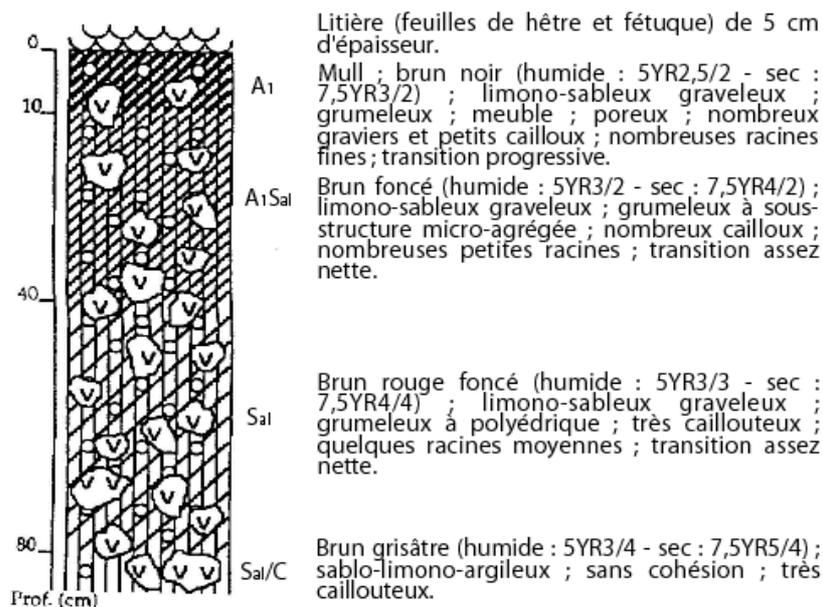


Fig. 1.11 : Schéma d'un profil de sol brun andique vosgien (Aran, 1998)

les meilleures conditions de leur développement dans les Vosges :

- des conditions climatiques fortement humides, sans saisons sèches ;
- des matériaux volcaniques basiques ayant une altérabilité élevée (Aran *et al.*, 1998), fonction de leur composition chimique et minéralogique.

L'andosol humifère est caractérisé par un A₁ de type mull mésotrophe, un horizon A₁S (50 à 80 cm d'épaisseur), de couleur brun très foncé, à structure fine; une très faible densité apparente (0,5 à 0,8) ; 10 à 20 % de MO ; une CEC élevée (50 à 100 me/100g). Ils se caractérisent par leur imprégnation organique et leur très faible densité apparente.

1.4.4. Conclusion

Dans le massif vosgien, la pédogenèse est principalement liée au type de roches, généralement acides, aux conditions climatiques locales et à la topographie, la végétation restant un facteur généralement secondaire. Le processus de pédogenèse le plus courant y est la brunification. La podzolisation, l'andosolisation et la cryptopodzolisation, généralement modérées, ne deviennent déterminantes que dans des conditions stationnelles particulières (exemple des podzols de dégradation). Les andosols restent marginaux, même sur roches volcano-sédimentaires des Vosges du sud. Les rankers cryptopodzoliques ne sont présents que sur les sommets les plus élevés (Hohneck, Falimont...) dans des conditions climatiques fraîches et très humides, et sous prairie.

1.5. La végétation des Hautes-Vosges

Les associations floristiques des Vosges ont été très bien étudiées par de nombreux botanistes et phytosociologues, tels que Issler (1924, 1926, 1927-28), Jaeger (1959-60), Issler *et al.* (1965), Lemée (1963 a, 1963 b), Carbiener (1963 a, 1963 c, 1964 a, 1964 b, 1966 a, 1966 b), Ochsenbein (1972), Boudot (1974), Hoff (1978), Jacob (1988), Bogenrieder (2001), Schnitzler & Closset (2003), Closset (2004). Ces travaux ont fait l'objet d'ouvrages de vulgarisation tels que ceux de Jacob & Scheubel (1988), Sell *et al.* (1998). Avant eux déjà, plusieurs générations de botanistes des XVIII^e et XIX^e siècles s'étaient intéressés à la flore vosgienne, tels que Herrmann, Mougeot, Schimper, et bien sûr Kirschleger... (Stoehr, 1995). Ce point sera développé dans le chapitre 2.

La végétation des Vosges, comme dans tout massif montagneux, se répartit selon des étages (Fig. 1.12), l'altitude et donc le climat se substituant aux variations climatiques latitudinales. Ces étagements ne sont pas exactement équivalents à ceux des Alpes, ni en terme altitudinal, ni en terme d'espèces. Les écosystèmes vosgiens se répartissent comme suit (Fig. 1.12) :

- ❖ La chênaie sessile de l'étage montagnard inférieur, et ses différents faciès (chênaie-charmaie, chênaie-hêtraie,...) ;
- ❖ La hêtraie-sapinière de l'étage montagnard ;
- ❖ La hêtraie d'altitude et les Hautes-Chaumes de l'étage subalpin.

La répartition des types de peuplements forestiers au sein du massif vosgien est présentée en Fig. 1.13.

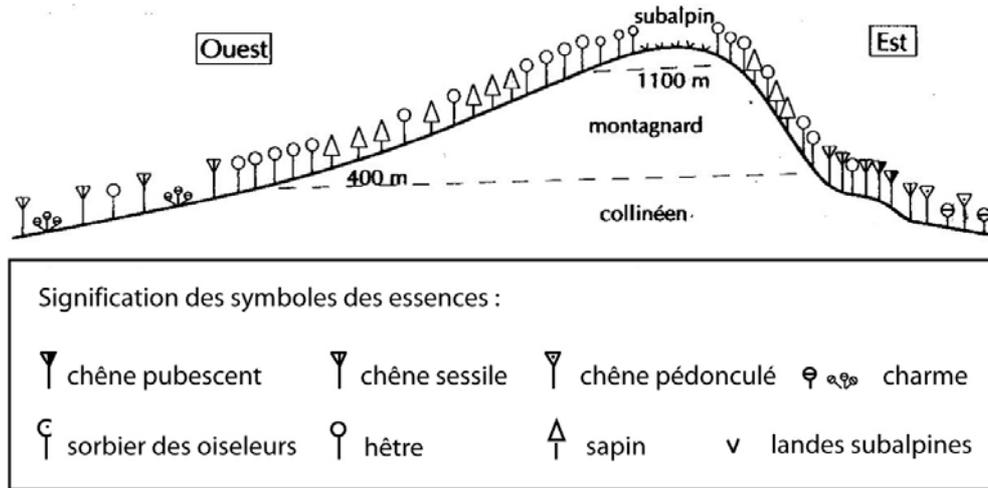


Fig. 1.12 : Etagement de la végétation sur les versants vosgiens (Rameau et al., 1993)

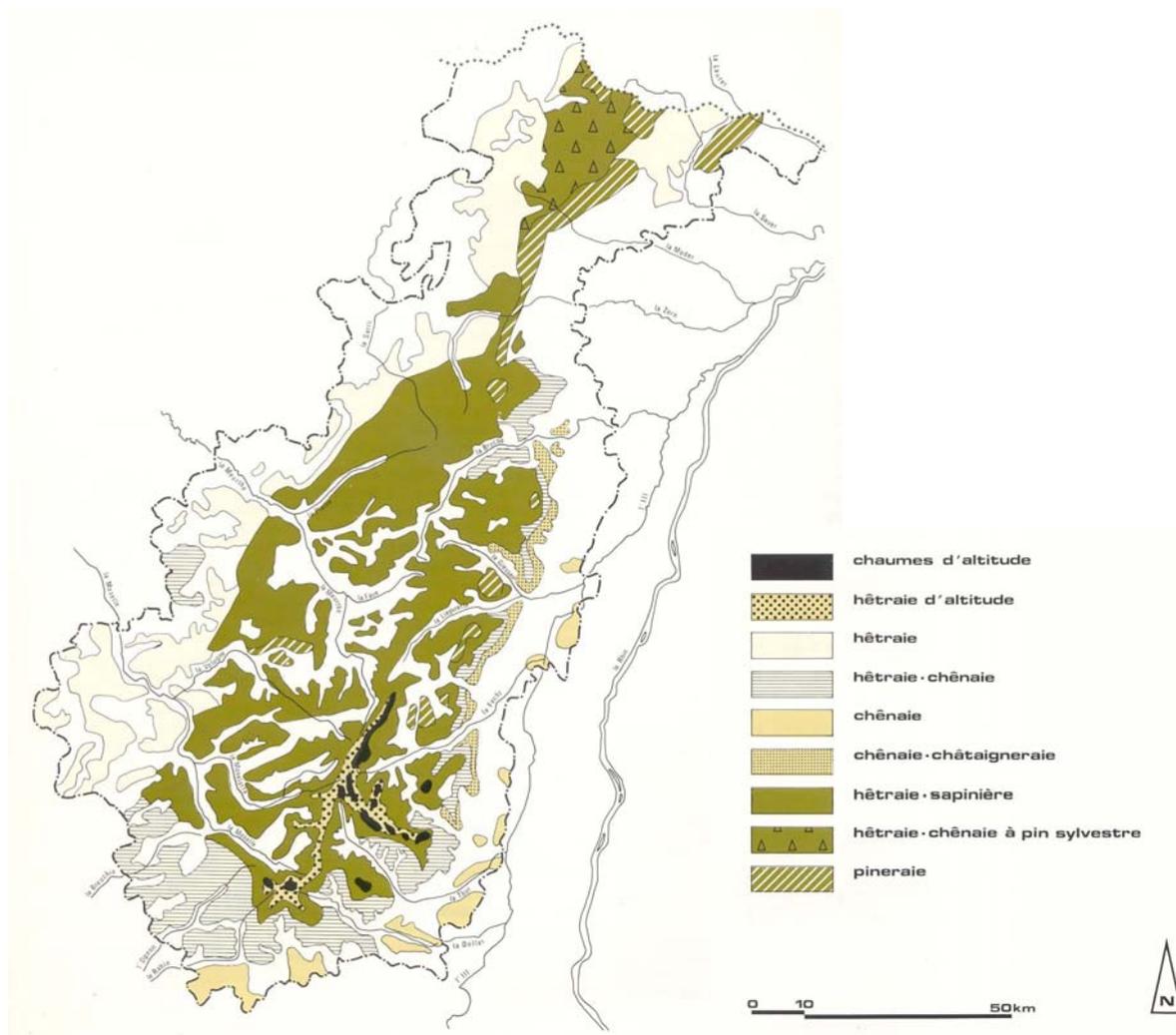


Fig. 1.13 : Les grands types de peuplements forestiers du massif vosgien (OREAM Lorraine, 1976)

1.5.1. L'étage montagnard inférieur (400 à 600 m)

A cet étage appartiennent deux écosystèmes forestiers principaux, tous deux basés sur la dominance du chêne sessile. Leurs différences écologiques sont fonction du substratum, la chênaie acidiphile et la chênaie-hêtraie s'installant sur les sols les plus pauvres, alors que la chênaie-charmaie domine sur les sols les plus riches.

1.5.1.1. La chênaie-charmaie

La chênaie-charmaie se compose du chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) et du charme (*Carpinus betulus* L.) avec en outre le hêtre (*Fagus sylvatica* L.), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), l'érable champêtre (*Acer campestre* L.)... Dans la strate arborescente, apparaissent les aubépines (*Crataegus* spp.), églantiers (*Rosa canina* L.), noisetiers (*Corylus avellana* L.)... le fraisier des bois (*Fragaria vesca* L.) et l'hépatique (*Hepatica nobilis* Mill.) pour la strate herbacée. Elle se localise sur les versants les plus fertiles et les mieux exposés jusqu'à 600 m d'altitude (sur grauwackes essentiellement). Ainsi, on y trouve les espèces les plus thermophiles. Ces types d'écosystèmes se développent sur des sols brunifiés.

1.5.1.2. La chênaie acidiphile et la chênaie-hêtraie

La chênaie sessile acidiphile prend une place prédominante dans cet étage, et remplace la chênaie-charmaie sur les terrains les plus pauvres et acides. Le chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) s'accompagne de hêtre (*Fagus sylvatica* L.), de charme (*Carpinus betulus* L.), de sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.), d'alisier blanc (*Sorbus aria* (L.) Crantz), de genêt poilu (*Genista pilosa* L.), de bourdaine (*Frangula alnus* Mill.) et de chèvrefeuille (*Lonicera xylosteum* L.). La callune (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.) et la canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.) de la strate herbacée traduisent la forte acidité du sol. Cette forêt se localise sur des terrains siliceux, parfois sur grès vosgiens, granites ou encore grauwackes sur les versants les plus frais et humides, à savoir les versants soumis aux intempéries ou les fonds de vallons abrités, d'où l'acidité importante du sol, avec des pH compris entre 3,9 et 4,2.

1.5.1.3. Les autres groupements

- Les fonds de vallées sont souvent constitués par un groupement d'érablaie à frêne et aulnaie ou d'aulnaies à frênes et de chênaies-frênaies (forêts alluviales). Ces milieux humides voire marécageux, s'accompagnent de frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.), chêne pédonculé (*Quercus robur* L.), érable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.), orme champêtre (*Ulmus minor* Mill.), cerisier à grappes (*Prunus padus* L.) etc, et d'un sous-bois à ail des ours (*Allium ursinum* L.), anémone sylvie (*Anemone nemorosa* L.), corydale solide (*Corydalis solida* (L.) Sw.) etc.
- Les pins (*Pinus sylvestris* L.) accompagnés de quelques sapins (*Abies alba* Mill.) et hêtres (*Fagus sylvatica* L.) forment une pineraie qui se développe sur les sols les plus pauvres et les plus secs, principalement dans les Vosges du Nord (Fig. 1.13).
- La chênaie-sapinière : Localement, en exposition Sud-Est et sur sols très filtrants, les faciès à chênaie-charmaie, chênaie acidiphile ou chênaie-hêtraie sont remplacés par la chênaie-sapinière, dont il existe peu de descriptions précises, alors qu'il s'agit d'une association relativement courante. Elle n'est pas retenue en tant que groupement, car le sapin se trouve

le plus souvent en sous-bois (Oberti, 1990).

1.5.2. L'étage montagnard moyen (500/700 à 1000/1100 m) et supérieur (> 1000/1100 m)

Il est le royaume du sapin (*Abies alba* Mill.) et de la sapinière à hêtre, appelée plus couramment hêtraie-sapinière. Il s'agit des deux essences forestières fondamentales à ces altitudes. Leur extension est importante sur l'ensemble des versants vosgiens. La hêtraie-sapinière forme une ceinture qui débute vers 500 m sur les versants ouest et nord, vers 700 m seulement sur les versants sud et est, et monte jusqu'à 1000 à 1100 m. A partir de 800 m et jusque vers 1100 m, le hêtre devient de plus en plus abondant. A l'inverse, le sapin, aimant la fraîcheur plus que l'humidité, est progressivement éliminé suite aux humidités croissant avec l'altitude.

L'étagement particulier des feuillus surpassant en altitude les résineux constitue une spécificité vosgienne, s'opposant à l'ensemble des grands domaines montagnards d'Europe de l'Ouest. En effet, dans les Alpes, Pyrénées, Jura et dans le Massif Central, les conifères des genres *Abies*, *Pinus*, *Picea*, *Larix* et *Juniperus* surpassent toujours en altitude les feuillus. Toutefois Garnier (2004) a montré que ce couvert avait considérablement évolué au cours des deux derniers siècles en raison de l'exploitation des forêts vosgiennes. Ce point sera développé dans le chapitre 2.

*1.5.2.1. La hêtraie-sapinière à canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.) et à luzules (*Luzula* ssp.).*

Le sapin domine très nettement cette formation à myrtilles (*Vaccinium myrtillus* L.) et mousses acidiphiles. Ce type de forêt préfère les versants sud et sud-ouest, assez secs, et évite les versants nord et les substrats trop humides. Les espèces accompagnatrices sont l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.), le sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.), le houx (*Ilex aquifolium* L.), et en sous-bois, des herbacées telles que la luzule des bois (*Luzula sylvatica* (Huds.) Gaud.), la luzule blanchâtre (*Luzula albida* (Hoffm.) DC.), la canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.) et le gaillet rupestre (*Galium saxatile* L.) dans les zones les plus humides ; la myrtille (*Vaccinium myrtillus* L.) et les mousses (*Hypnum laureum* Hedw.; *Hypnum splendens* Hedw.) dans les parties les plus acides (sols bruns ocreux ou ocres podzoliques).

Elle se développe sur sols bruns ocreux à moder en général, voire même parfois sols à mor (Fig. 1.8), ou sur sols bruns acides sur granites ou grauwackes. Sur grès, l'évolution tend vers les podzols.

*1.5.2.2. La hêtraie-sapinière à fétuque des bois (*Festuca sylvatica* Poll.)*

Elle se situe plutôt sur les versants nord, frais et humides, les terrains fertiles, un peu argileux. Hêtre et sapins sont accompagnés du sorbier des oiseleurs, de l'érable plane, de l'érable sycomore, de l'orme des montagnes (*Ulmus glabra* Huds.). La strate arbustive est représentée par le houx, le sureau à grappes (*Sambucus racemosa* L.), alors que la strate herbacée est caractérisée par une richesse spécifique nettement plus élevée que sous hêtraie-sapinière à canche : on y trouve la fétuque des bois en tapis important, l'anémone des bois (*Anemone nemorosa* L.), la fougère mâle (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), la lysimaque des bois (*Lysimachia nemorum* L.), la mercuriale vivace (*Mercurialis perennis* L.),

l'aspérule odorante (*Galium odoratum* (L.) Scop.) etc.

Cette sapinière se localise sur les sols les moins acides (sols bruns acides), possédant un humus de type mull acide. Le sol est souvent profond, bien aéré, assez humide, riche en éléments fins et en minéraux. Il peut aussi s'agir d'un sol brun ocreux à humus doux de type mull acide à mull-moder, à litière plutôt améliorante.

1.5.2.3. La pessière

Les pessières actuelles sont le résultat de vastes plantations des XIX^e et XX^e siècles. Pour autant, la question de l'indigénat de l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karst.) dans les Vosges est depuis longtemps posée (Kalis, 1984). Il est admis que, bien que spontané, son aire d'extension a été restreinte par l'extension plus rapide du hêtre et du sapin, l'épicéa se cantonnant alors aux milieux tourbeux et aux trouées naturelles au sein de la hêtraie-sapinière.

Ochsenbein (1977) suppose que les rares pollen trouvés dans les diagrammes palynologiques vosgiens sont allochtones, amenés par le vent. Il considère que la niche écologique de l'épicéa dans les Vosges était déjà occupée par le hêtre et le sapin.

Pour Kirschleger (1862, p.87), « *L'Epicéa n'est vraiment spontané que dans un petit nombre d'endroits, par exemple, dans la petite vallée de Münster, surtout à la Schlucht et sur le versant septentrional du Hohneck* ».

Pour Bogenrieder (2001) enfin, les spectres polliniques des tourbières ne donnent pas de renseignements fiables, car les pollen d'épicéas pourraient avoir une origine lointaine. Selon lui, trois raisons principales justifient l'indigénat de l'épicéa dans les Vosges :

- l'implantation des épicéas les plus vieux et les plus grands des Vosges se situant dans les couloirs froids d'altitude est antérieure aux premières plantations du XIX^e siècle ;
- si l'épicéa avait été importé artificiellement, on n'aurait pas choisi de le planter dans des emplacements aussi éloignés et difficilement accessibles ;
- dans les Vosges, certaines plantes accompagnatrices de sous-bois rappellent clairement certaines mousses des pessières de la Forêt Noire, dont la naturalité n'est pas à mettre en doute.

Bogenrieder (2001) ajoute que l'épicéa semble beaucoup moins résistant dans les Vosges qu'en Forêt Noire, ce qu'il explique par les conditions climatiques plus océaniques qui y règnent, l'épicéa s'adaptant mieux à des conditions plus continentales. L'épicéa trouve d'ailleurs dans les Vosges sa limite d'extension occidentale.

1.5.3. La hêtraie d'altitude et les Hautes-Chaumes

1.5.3.1. La hêtraie d'altitude ou hêtraie culminale (> 1000-1100 m)

Les Vosges constituant une barrière orographique importante envers les principales perturbations d'Ouest, les conditions climatiques se dégradent en altitude. Du fait de la forte ventilation des sommets, des brouillards fréquents liés à un fort « effet de crête » décrit par Carbiener (1966 a), les résineux, en particulier les sapins, seraient progressivement éliminés au profit des feuillus, ce qui constituerait une spécificité biogéographique vosgienne. La forêt feuillue prend alors une forme tourmentée : les arbres deviennent rabougris, aux troncs tortueux, de petite taille, et couverts de lichens, avec un port en drapeau. Il ne s'agit alors plus que d'un taillis de plus en plus clairsemé. Le hêtre est accompagné de quelques érables sycomores (*Acer pseudoplatanus* L.), de sorbiers des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.), de

rare sapins (*Abies alba* Mill.) et d'épicéas (*Picea abies* (L.) Karst.). Cette hêtraie d'altitude est établie sur sol brun ocreux sur roche-mère granitique, et sur sol brun acide sur grauwackes, à humus de type moder. Trois séries forestières sont distinguées grâce au sous-bois (Sell *et al.*, 1998) :

- la hêtraie à Mégaphorbiaie est située sur les versants froids et humides (nord et est), sur fortes pentes. Elle est caractérisée par la présence de renoncules à feuilles d'aconit (*Ranunculus aconitifolius* L.), de renoncules à feuilles de platane (*Ranunculus platanifolius* L.), de campanules à feuilles larges (*Campanula latifolia* L.), d'adénostyles à feuilles d'alliaire (*Adenostyles alliariae* (Gouan) A. Kerner). Il s'agit des stations les plus riches et les plus humides. Les sols sont apparentés aux sols de type brun humifère ou brun ocreux humifère (Fig. 1. 6) ;
- la hêtraie à millet des bois (*Melampyrum pratense* L.) caractérise les stations abritées du vent, dans la partie inférieure de l'étage forestier supérieur. Les espèces du sous-bois traduisent l'acidité élevée du sol : luzules (*Luzula* sp.), surelle (*Oxalis acetosella* L.), grande fétuque (*Festuca altissima* All.) ;
- enfin, la hêtraie à myrtille est généralement exposée aux vents, mais sur des versants ensoleillés. La luzule blanchâtre (*Luzula luzuloides* (Lam.) Dandy & Willm.), la préranthe pourpre (*Prenanthes purpurea* L.), la canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.) en constituent le sous-bois. Les sols sont de type brun ocreux humifère à ocre podzolique humifère (sols secs et pauvres).

1.5.3.2. Les Hautes-Chaumes (> 1000 m)

Les vastes pelouses localisées sur les sommets des montagnes vosgiennes constituent l'étagement supérieur des Vosges. Elles résulteraient pour partie du remplacement de la hêtraie d'altitude par des pâturages extensifs, donnant lieu à des chaumes dites « secondaires » (1000 à 1250/1300 m) et pour partie d'espaces ouverts considérés jusqu'à présent comme des chaumes dites « primaires », c'est-à-dire naturelles.

En effet, la hêtraie a souvent fait l'objet de déboisements, pour être remplacée par des espaces pastoraux. La végétation graminéenne est composée de nard (*Nardus stricta* L.), de fétuque rouge (*Festuca rubra* L.), de fétuque ovine (*Festuca ovina* L.), et parmi les ligneux bas, on note la présence de 3 espèces du genre *Vaccinium* : la myrtille (*Vaccinium myrtillus* L.), l'airelle des marais (*Vaccinium uliginosum* L.) et l'airelle rouge (*Vaccinium vitis-idaea* L.) ainsi que la callune (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.), le fenouil des Alpes (*Meum athamanticum* Jacq.), etc. Les sols vont des sols bruns acides aux sols ocres podzoliques (Hoff, 1978), en passant par les sols brun ocreux humifères.

Quant aux espaces pastoraux supérieurs, situés à des altitudes supérieures à 1250/1300 m selon l'exposition et les conditions climatiques locales, ils sont considérés comme des chaumes dites « primaires » (Carbiener, 1963 a, 1964 a, 1966 a). Leur superficie serait exiguë, ces chaumes dites « primaires » n'existant que sur les principaux sommets vosgiens (Annexe 5) : massifs du Gazon du Faing, du Hohneck, du Grand Ballon, etc. La surface totale des chaumes dites « secondaires » est d'environ 5000 ha, alors que celles dites « primaires » n'excèderait pas 300 ha.

Les conditions du développement de telles chaumes et leur distinction avec les chaumes anthropiques ont, selon certains auteurs tels que Carbiener (1963 a, 1964 a, 1966 a), une origine purement climatique. Les preuves avancées sont, d'une part l'existence de sols très différents, d'autre part les conditions climatiques actuelles défavorables au développement

des ligneux. Quant à la végétation elle-même, seules quelques différences mineures peuvent être notées entre ces espaces.

1.5.3.3. Physionomie de la limite supérieure de la végétation forestière, des arbres et de l'écotone forêt/pâturages

Un écotone peut se définir comme la zone de contact entre deux biocénoses distinctes et parfaitement identifiées. Vanpeene Bruhier (1998) précise que la notion d'écotone implique, en plus de l'approche descriptive, des approches fonctionnelles et dynamiques (spatiales et temporelles). L'écotone possède souvent une richesse spécifique supérieure à celle des écosystèmes voisins. Concernant les relations entre pâturages et forêts adjacentes, plusieurs types d'écotones peuvent être observés :

- la transition entre forêt et chaumes peut être brutale ;
- elle peut être progressive, la forêt laissant place à une zone dite de « Krummholz » (Carbiener, 1966 a ; E.J. De Valk, 1981 ; Issler, 1926, 1927-28) puis de chaumes. Comme son nom l'indique, la zone de « Krummholz » est constituée de ligneux tortueux (port en drapeau), souvent couverts de mousses, dont la forme témoigne des vents forts, principalement d'ouest. Le port des ligneux devient arbustif ;
- la transition peut aussi s'effectuer par l'existence d'une mosaïque, sur le pâturage, d'arbres et/ou arbustes isolés. Ceci semble correspondre à un envahissement de part en part des chaumes par des arbres et arbustes isolés.

1.5.4. Conclusion

Les étagements de la végétation sont nettement visibles dans le paysage vosgien, et influencés par les conditions climatiques générales à l'échelle du massif. Mais il ne faut pas négliger le rôle passé et actuel de l'Homme dans l'aménagement des espaces forestiers et ouverts. Ainsi, les limites altitudinales des étages de végétation peuvent être considérées comme artificielles, aussi bien la limite forestière supérieure que les autres limites entre étagements.

1.6. Conclusion

Ce premier chapitre nous a permis de présenter les lieux de notre étude ainsi que leurs caractéristiques actuelles, dans un cadre assez général, et de mettre en évidence l'existence des chaumes en tant qu'entité naturelle particulière. En particulier, nous avons précisé les caractéristiques topographiques, géologiques, climatiques, pédologiques et botaniques des Hautes-Vosges, dont certaines sont spécifiques des Vosges.

La question du rôle de certains ou de l'ensemble de ces facteurs sur l'évolution passée de la végétation et des sols est posée.

Le chapitre qui suit fait le bilan de l'état des connaissances de l'évolution des pâturages vosgiens et de leurs forêts adjacentes, appréhendée par différents observateurs, grâce aux moyens d'étude à leur disposition.

CHAPITRE 2

LES EVOLUTIONS MAL CONNUES
DES PAYSAGES VEGETAUX DES HAUTES-CHAUMES ;
UN ETAT DE L'ART

Ce chapitre constitue une synthèse bibliographique de l'état des connaissances concernant l'évolution et l'histoire de la végétation dans les Vosges à la période Holocène, le rôle des variations climatiques sur l'évolution des milieux et l'anthropisation des milieux « naturels » à partir du Néolithique.

Cette partie traitera successivement des approches naturalistes par la palynologie (§ 2.1), la géomorphologie (§ 2.2), la pédologie (§ 2.3) et la biogéographie (§ 2.4), et des approches centrées sur les actions anthropiques, par une analyse des données archéologiques (§ 2.5), historiques (§ 2.6), et toponymiques (§ 2.7). Une synthèse tente de corréliser facteurs climatiques et anthropiques en terme d'impacts sur l'évolution de la végétation (§ 2.8).

2.1. Le point de vue des palynologues

C'est à Hatt et à Dubois que l'on doit les premiers travaux palynologiques sur les Vosges dans les années 1930 (Dubois & Hatt, 1930 ; Dubois & Dubois, 1937 ; Hatt, 1937 ; Dubois, 1938). Un peu plus tard suivent Oberdorfer (1937) et Firbas *et al.* (1948). Viennent ensuite dans les années 1960 et 1970, Lemée (1963), mais aussi Guillet (1968, 1970, 1971 a, 1971 b, 1972) et Guillet *et al.* (1972), Dresch, Elhaï & Denèfle (1966), Darmois-Théobald *et al.* (1976). Par leur ampleur et leur notoriété, soulignons les travaux de Woillard (1979, 1980) et Woillard & Mook (1982) sur la tourbière de La Grande Pile. Enfin, les années 1975/80 ont été riches en terme d'analyses palynologiques dans les Vosges. Ces travaux ont été effectués par les membres d'une équipe de recherche d'Utrecht (Pays-Bas). Notons ceux de Braber (1983), Braber *et al.* (1984), Edelman (1985), Huisman (1973 a, 1973 b), Janssen (1981), Janssen & Janssen-Kettlitz (1970, 1972), Janssen *et al.* (1974, 1975, 1985), Kalis (1972, 1984), Schloss (1979) sur le lac de Sewen, De Valk (1979, 1981), etc.

Hormis pour le site de La Grande Pile, nous aborderons dans cette partie principalement les études palynologiques effectuées à l'échelle de l'Holocène, qui constitue la période de tourbification de référence dans les Vosges, et à une échelle spatiale fine, celle des Hautes-Chaumes, parfois légèrement étendue aux vallées adjacentes aux chaumes. Les sédiments et dépôts tourbeux des lacs de cirques constituent des formations parfois épaisses, de plusieurs mètres jusqu'à une dizaine de mètres (Vogt & Sittler, 1972 ; Ménillet *et al.*, 1976 ; Sittler & Ochsenbein, 1986). Les tourbières d'altitude et les sols tourbeux rencontrés sur les

chaumes sont par contre moins épais, mais ont fait l'objet de quelques travaux.

2.1.1. Des études palynologiques pionnières

L'étude palynologique effectuée par Hatt en 1937 est remarquable par son ampleur à la fois en nombre d'analyses, en terme géographique et d'un point de vue temporel. En effet, Hatt (1937) a analysé pas moins de 39 tourbières, réparties des Vosges gréseuses aux Hautes-Vosges et de la plaine d'Alsace au plateau lorrain. D'un point de vue chronologique, dans la base de certaines tourbières est enregistré le début d'une phase à saule-bouleau et/ou à bouleau, cette poussée du bouleau précédant celle du pin au début de l'Holocène. Selon l'auteur, « *...la tourbe a commencé à se former dans les dépressions abandonnées par les glaces et les neiges au moment où les forêts étaient formées de Pin dominant, parfois un peu plus tard* ». Le pin constitue selon lui le premier arbre ayant pris possession des territoires abandonnés par les glaces et les neiges. Mais il n'observe ces phases que dans les tourbières de basses et moyennes altitudes, dans les tourbières les plus profondes. A l'inverse, dans les tourbières vosgiennes au-delà de 700 m, ni la phase à bouleau ni celle à pin ne sont enregistrées, ce qu'il explique par une tourbification plus tardive. Sur les crêtes notamment, elle aurait commencé au plus tôt à la fin de la phase du pin (donc juste avant l'époque de la poussée du coudrier). Malheureusement, malgré le nombre important de tourbières analysées par Hatt, aucun diagramme n'est calé chronologiquement, et la résolution temporelle obtenue est faible, en raison du pas de prélèvements choisi, au mieux tous les 25 cm. Notons tout de même que ce travail reste précurseur dans le domaine.

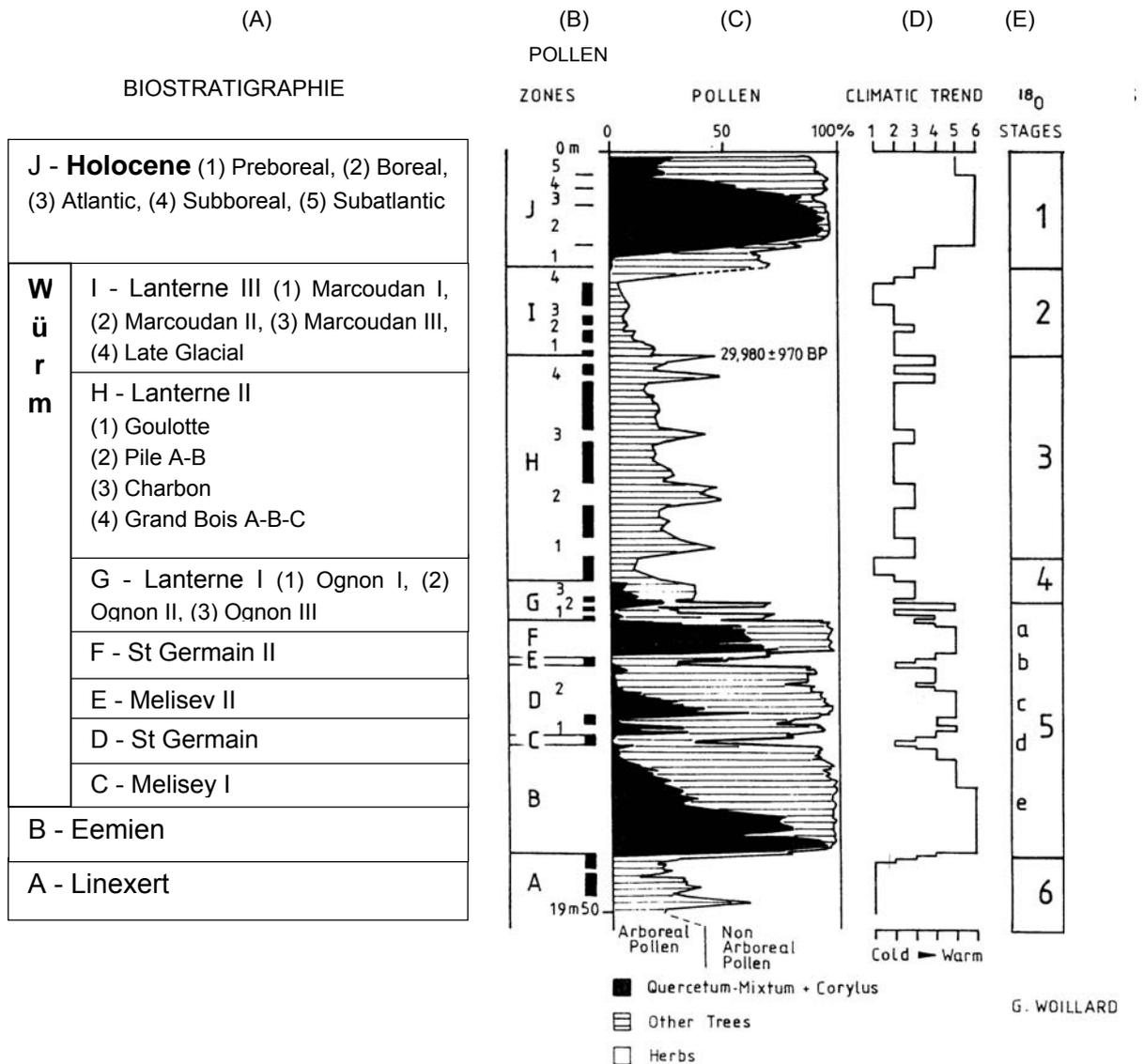
2.1.2. Le contexte Würmien reconstitué par les analyses effectuées à La Grande Pile

La tourbière de La Grande Pile constitue un cas particulier parmi les tourbières vosgiennes, puisqu'elle couvre 140 000 ans de dépôts en continu. Il s'agit de la seule tourbière du Nord-Est de la France dans laquelle ont été enregistrés des dépôts sur une aussi longue période. Le diagramme palynologique complet, établi par Woillard (1979, 1980), Woillard & Mook (1982), suivis par les travaux de Ponel (1994), de Beaulieu & Reille (1992), est consultable à l'Annexe 6. Les analyses palynologiques de la tourbière de la Grande Pile dont le diagramme simplifié est présenté en Fig. 2.1, couvrent le dernier intervalle inter-glaciaire, le dernier intervalle glaciaire et l'Holocène, et mettent en évidence les grandes tendances d'évolution de la végétation du Sud-Ouest des Vosges, corrélées aux variations climatiques de l'Atlantique Nord par l'étude du ^{18}O (Emiliani, 1955).

Cet enregistrement met en évidence une diminution très nette des espèces arborées par rapport aux graminées (et autres plantes non ligneuses ?) au Würm, grâce au rapport AP/NAP (Arboreal Pollen/Non Arboreal Pollen). Pour autant, les arbres ne disparaissent pas (*Betula*, *Pinus*, *Corylus* etc), hormis le chêne et les espèces qui lui sont associées, au cours de la dernière période froide.

2.1.3. La tourbière du Gazon du Faing

Lemée (1963 a) a effectué des analyses palynologiques dans la tourbière du Gazon du Faing, à 1230 m d'altitude (Fig. 2.2), et dans un sol tourbeux à 1290 m d'altitude (Fig. 2.3),



(A) biostratigraphie basée sur les « pollen zones » (B), avec les noms locaux, hormis l'Eemien et l'Holocène. Les lettres de A à J correspondent à la période biostratigraphique, les chiffres correspondent à des stades de réchauffement relatif du climat, dont les noms figurent dans le tableau de gauche ; (C) Diagramme palynologique simplifié ; (D) Tendances climatiques de 1 (froid) à 6 (chaud) ; (E) variations du ^{18}O découpées en étages numérotés de 1 à 6, d'après Emiliani (1955) et Shackleton (1969).

Fig. 2.1 : Séquence palynologique simplifiée de la tourbière de la Grande Pile, N.E. de la France, à 330 m d'altitude (Woillard, 1980, modifié)

sur le versant lorrain de la crête vosgienne. Malheureusement, aucune datation n'a permis de caler chronologiquement ces diagrammes, et les analyses ont été effectuées dans des niveaux tourbeux peu épais. De plus, les signaux polliniques locaux et régionaux sont mélangés. Néanmoins, l'auteur distingue différentes phases.

La phase boréale à pins et noisetiers (V) se traduit par un réchauffement rapide, ce qui entraîne une augmentation du noisetier, puis de l'orme et, plus lentement, du chêne. La forêt

monte alors, selon l'auteur, jusque vers 1200 m. La phase du noisetier et de la chênaie mixte (VI) correspond à l'extension maximale du noisetier, alors que le pin est en déclin. Le frêne, le tilleul et l'aulne les accompagnent. Vient ensuite la phase de la chênaie mixte (VII) qui se traduit par la régression du noisetier et du pin, et l'apogée du chêne. Cette phase est relativement chaude et sèche, les températures étant de plusieurs degrés supérieures à l'actuel. La présence de pollen de callune et d'espèces herbacées témoignerait de l'existence de sommets libres d'arbres. La phase suivante (VIII), marque la fin de la chênaie mixte et la rapide extension de la hêtraie-sapinière, peut-être liée à un refroidissement et à une humidification du climat. Lemée note qu'il n'y aurait pas eu de déplacement sensible de la

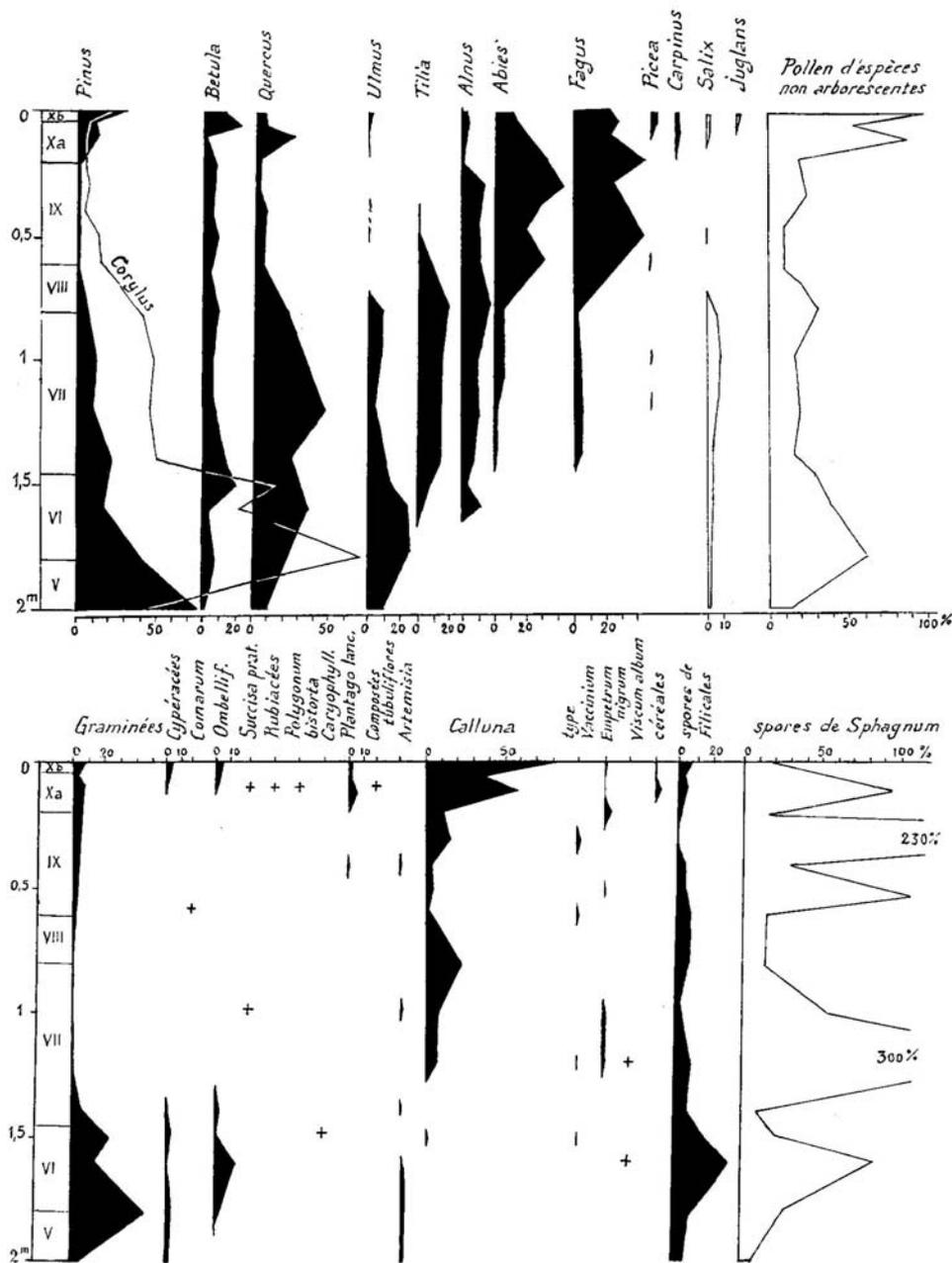


Fig. 2.2 : Diagramme pollinique de la tourbière du Gazon de Faing (altitude : 1230 m). Le pollen de noisetier, saule, noyer, arbrisseaux et herbes, ainsi que les spores, sont rapportés en % du pollen de l'ensemble des arbres forestiers (Lemée, 1963 a)

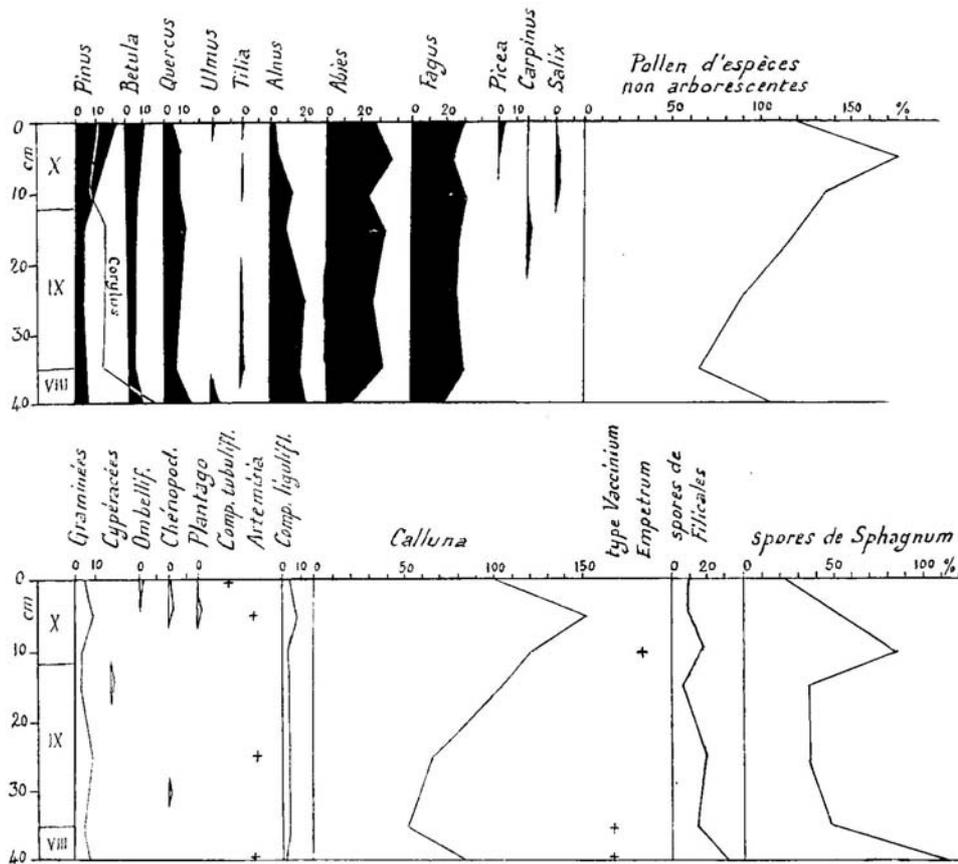


Fig. 2.3 : Diagramme pollinique du sol tourbeux des Hautes Chaumes, en amont du Gazon de Faing (altitude : 1290 m). Le pollen de noisetiers, saules, arbrisseaux et herbes, ainsi que les spores, sont rapportés en % de l'ensemble des arbres forestiers (Lemée, 1963 a).

limite altitudinale de la forêt lors de cette phase. L'extension de la hêtraie-sapinière se serait effectuée en 2 phases (IX et X a), débutant vers 4000 ans av. J.-C. environ. La première correspondrait à la prédominance des pollen de hêtres, les boisements se faisant d'après l'auteur, jusqu'aux abords immédiats des crêtes, et les chaumes culminales étant alors réduites à leur surface minimum. La deuxième phase (X a) correspondrait à une ouverture nette du milieu, liée soit à une aggravation du climat, soit aux débuts de l'anthropisation des Hautes-Vosges. Enfin, Lemée note une phase de la forêt diversifiée (X b), dans laquelle l'Homme intervient par des déforestations et déboisements.

Lemée (1963 a), contemporain de Carbiener et se basant sur ses études (1957, 1963 a), indique, sans les discuter, trois critères qui permettent selon lui de distinguer chaumes « primaires » et « secondaires » : la composition floristique des groupements végétaux, l'aspect de la lisière forestière et les caractères des profils de sols. Il ajoute que c'est le climat local, et non le climat général, qui constitue le facteur principal de l'absence naturelle d'arbres sur les sommets.

2.1.4. Le Kastelberg et la source de la Moselotte

Le travail de De Valk (1981) sur le Kastelberg a permis de reconstituer les paléoenvironnements des derniers millénaires à partir de la méthode palynologique, dans les tourbières de fonds de cirque ou d'altitude, et dans les sols des chaumes d'altitude. L'analyse palynologique des sols du Kastelberg (KaBo, « Kastelberg Boden » de De Valk, 1981) a pour inconvénients les mélanges par bioturbation auxquels sont soumis les pollen dans les sols, et la sous-représentation probable des pollen arborés. En effet, vu la faible reproduction par voie sexuée, seules les rares fructifications des années climatiquement clémentes sont en mesure de donner une descendance.

A 1290 m d'altitude, à proximité directe de la source de la Moselotte, sur le versant ouest du Wormpsel entre le Hohneck et le Kastelberg, De Valk (1981) a analysé une carotte de tourbe de 1,70 m d'épaisseur (Fig. 2.4). L'enregistrement correspond à une période de temps relativement longue de 6400 ans. Ce diagramme est bien calé temporellement (les âges non calibrés sont indiqués à droite du diagramme).

Selon l'auteur, le sommet du Kastelberg au-delà de 1250/1290 m n'a jamais été couvert de forêts, sur les 6400 ans enregistrés : au mieux, la couverture à proximité de la crête principale était-elle constituée d'une formation arbustive mixte naine (à *Fagus*?, *Corylus*, *Acer*, *Sorbus*, *Salix*, etc), qu'il nomme « Krummholz », installée de manière éparse au sein des prairies à graminées. La répartition de cette formation était selon lui sans doute contrôlée par le type de sol et l'ombre, l'exposition, l'aspect de la couverture neigeuse. Mais les analyses polliniques obtenues permettent-elles de distinguer ce type de 'forêt' rabougrie et clairsemée d'une forêt « classique » de type futaie ? Nous sommes en droit de nous poser la question puisque, pour l'auteur, les arbres sont bien présents sur les sommets, mais uniquement sous une forme rabougrie.

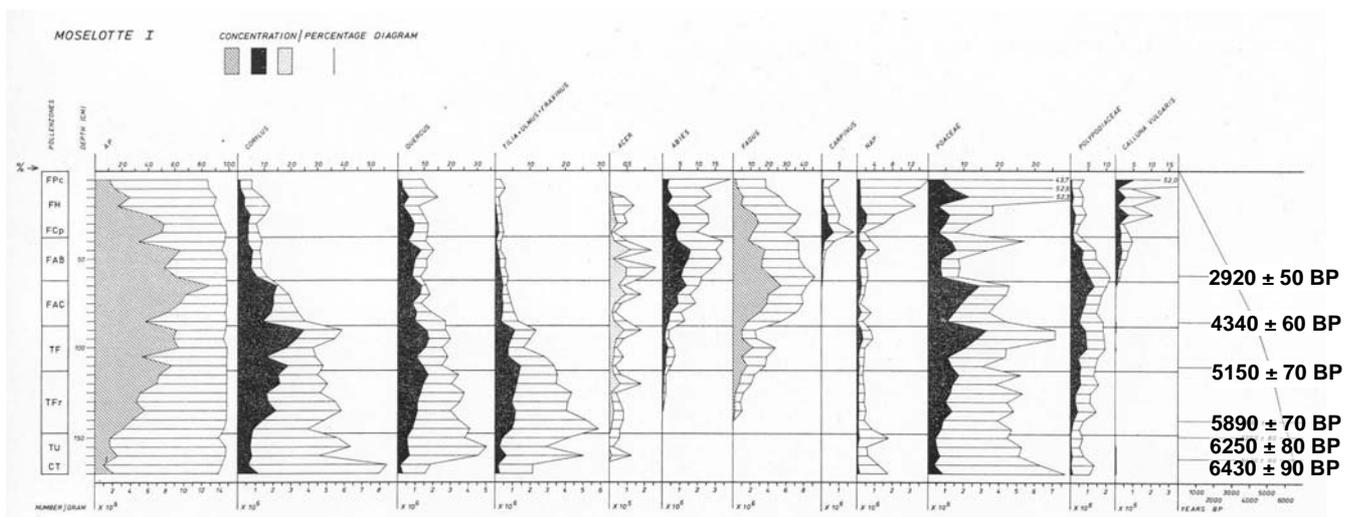


Fig. 2.4 : Diagramme palynologique simplifié de la Moselotte I (De Valk, 1981). Les concentrations en pollen (nombre de pollen/g $\times 10^6$) sont figurées en grisé, en noir ou en pointillés, alors que les pourcentages apparaissent en hachures horizontales.

2.1.5. La tourbière du Tanet

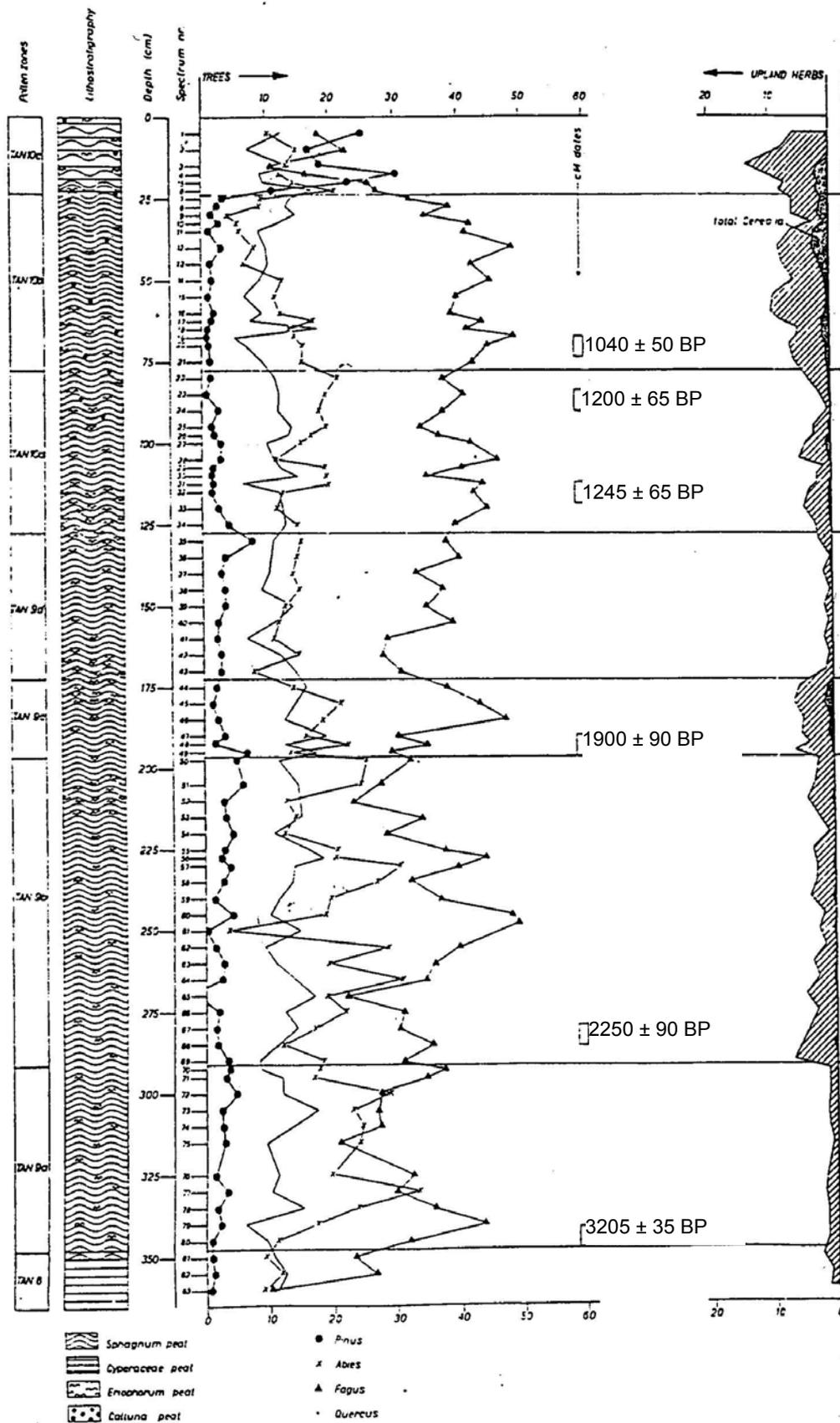


Fig. 2.5 : Analyse palynologique de la tourbière du Tanet (Janssen & Janssen-Kettlitz, 1972)

Le diagramme palynologique complet de Janssen & Janssen-Kettlitz (1972) se trouve en Annexe 7. Seule une partie du diagramme est figurée en 2.5. Cette analyse palynologique est intéressante à plusieurs titres. D'abord, le diagramme est bien calé chronologiquement par plusieurs datations, la période couvrant environ 3200 ans. Ensuite, il nous renseigne sur l'évolution de la végétation dans le massif du Tanet, donc relativement en altitude (1230 m environ), sur le versant Ouest de la crête principale. Enfin, y sont figurées les variations des pollen d'arbres, de céréales et des NAP (Non Arboreal Pollen) d'altitude, Poaceae et Cyperaceae exclues. Les auteurs ont en effet séparé les espèces en fonction de leur groupe écologique, la somme des pollen étant basée sur les arbres, arbustes et espèces non forestières (excluant donc les herbes forestières, les espèces de marais et celles de tourbières). Certains points sont intéressants à noter :

- une rupture vers 2500 ans BP, estimée à partir de la date indiquée de 2250 ± 90 ans BP, se traduit par une légère augmentation du NAP (graminées non forestières) ; l'augmentation de cet indice est liée à l'apparition d'indicateurs de milieux anthropisés tels que *Plantago lanceolata* ou *Pteridium*, et dans une moindre mesure de *Rumex acetosella* ;
- on note l'apparition d'indicateurs d'activités agricoles avec l'apparition des céréales (*Cerealia*) et de *Humulus*, vers 1900 ± 90 BP, même si ces plantes restent encore très ténues et n'apparaissent que de manière ponctuelle (Fig. 2.5) ;
- elles réapparaissent au moment de l'occupation romaine, autour de 50 apr. J.-C. ;
- la période de transition entre la fin de l'Empire romain et le début du Bas Moyen Age, entre 1700 et 1300 ans BP environ est marquée par une diminution du NAP, ce qui se traduit par une période de reprise forestière ;
- vers 1245 ± 65 BP, soit vers 700 cal AD environ, le NAP et les pollen de céréales augmentent. Cette augmentation peut-être liée à la fondation de couvents dans les Vosges (Firbas *et al.*, 1948).

Les auteurs considèrent que la plupart des NAP ne sont pas des indicateurs exclusifs de la végétation des Hautes-Chaumes ; c'est le cas des pollen de vigne (*Vitis*), de céréales, etc ; une partie provient donc de végétations de plus basses altitudes. Ils considèrent donc que la courbe de NAP ne peut pas être utilisée pour indiquer la seule végétation des chaumes. Ils ne concluent donc rien en terme d'origine et d'évolution des chaumes sur la période considérée. On peut estimer qu'il en est de même de certains AP.

2.1.6. Les autres analyses polliniques

De nombreuses autres analyses palynologiques ont été effectuées dans les Vosges (voir en introduction). Les analyses présentées ici ont une importance secondaire en rapport à l'objet d'étude des Hautes-Chaumes des Vosges et de la reconstitution de l'évolution des paysages au cours de l'Holocène.

2.1.6.1. La Grande Basse

Les dépôts tourbeux de la Grande Basse, au sud de Gérardmer, à 900 m d'altitude, ont été étudiés par Salomé (1968). Ils montrent 2,90 m de dépôts étendus, selon lui, du Dryas ancien au Subboréal, mais en fait non datés. Sur les mêmes dépôts tourbeux ont été effectuées des analyses polliniques récentes (Kalis *et al.*, 2006), cette fois sur une profondeur de 0 à 2 m, alors que Salomé (1968) avait effectué ces analyses entre 1 et 3,90

m de profondeur. Kalis *et al.* (2006) obtiennent un diagramme bien daté qui ne concerne que les 2850 dernières années. Cette différence peut avoir deux origines :

- les prélèvements ont été effectués dans des dépôts différents, d'épaisseurs et de périodes d'accumulation différentes ;
- une mauvaise estimation de la datation des dépôts par Salomé.

2.1.6.2. Le Grand Etang

Le Grand Etang, au sud de Gérardmer, à une altitude de 785 m, a été étudié par Salomé (1968). Le début des dépôts du Grand Etang serait le Dryas ancien, vers 14 000 ans ; la partie la plus profonde serait, selon l'auteur, plus ancienne que les plus anciens profils dans les Vosges, hormis La Grande Pile. Plus de 15,10 m de dépôts, dont environ 6 m de varves (dépôts annuels) et 7,10 m de tourbes entre lesquelles s'intercalent 1,80 m de tourbes argileuses sont considérés par Salomé (1968) comme des dépôts datant du Dryas ancien au Dryas récent, et du Subboréal au Subatlantique tardif pour les plus récents. Ici non plus, les dépôts ne sont pas datés. Salomé (1968) en déduit que le Grand Etang a été libre de glace depuis le Dryas ancien (14 000 BP), ceci malgré l'âge généralement accepté de la glaciation de la vallée dans les Vosges au Würm.

2.1.6.3. La Goutte Loiselot

Localement, Edelman (1985) a effectué une étude palynologique sur le versant ouest des Vosges, à La Goutte Loiselot, à 835 m d'altitude, au nord de Gérardmer, dans une tourbière située quelques km au nord de Gérardmer. Celle-ci donne à la fois un signal de végétations locales et de végétations régionales. La localisation de cette tourbière, relativement éloignée de notre objet d'étude, à une altitude 820 - 850 m environ, nous amène à nous focaliser sur les analyses effectuées plus localement, bien que l'ensemble du signal soit bien cadré chronologiquement par des datations ^{14}C .

2.1.7. Conclusion

En palynologie, l'interprétation faite des variations polliniques, donc des variations de végétation, ne traduit pas de façon directe les variations climatiques (températures, humidité, précipitations), dans la mesure où l'influence de l'Homme sur le milieu naturel peut interférer sur le signal paléoécologique de l'analyse palynologique. Par ailleurs, entre un stress climatique et ses répercussions sur la végétation, il peut s'écouler un laps de temps plus ou moins long. Pour toutes ces raisons, le pollen est un indicateur biologique et non un indicateur climatique direct.

Un autre problème est que les pourcentages de pollen sont parfois traduits directement en composition forestière, notamment dans les travaux anciens, ce qui est abusif. Les interprétations doivent donc être contrastées.

L'ensemble des travaux palynologiques effectués dans les Vosges sont souvent anciens, peu exploitables car peu précis ou non calés chronologiquement. Les diagrammes plus récents (Janssen par exemple) montrent des successions paléobotaniques classiques, mais il est difficile d'obtenir une bonne précision spatiale à l'échelle des quelques milliers d'hectares de chaumes. De plus, les variations de la limite altitudinale de la forêt au cours de l'Holocène estimées sur la base des analyses palynologiques obtenues semblent hasardeuses (par exemple Lemée, 1963 a).

2.2. L'analyse des géomorphologues

Cette partie présente une rapide analyse des formations quaternaires würmiennes (§ 2.2.1), puis une revue des connaissances des dépôts holocènes dans les Vosges (§ 2.2.2). Notons que dans le massif vosgien et ses pourtours, les données géomorphologiques sont très lacunaires. Les dépôts holocènes en particulier sont peu nombreux, et ont été peu étudiés.

2.2.1. Les formations glaciaires et périglaciaires würmiennes

L'analyse des géomorphologues dans le massif vosgien est principalement celle des dépôts glaciaires et fluvioglaciaires des différentes périodes du Quaternaire (Tricart, 1963 ; Séret, 1967 ; Flageollet & Hameurt, 1971 ; Ménillet *et al.*, 1976 ; Woillard 1978 ; Woillard & Mook, 1982 ; André, 1991 ; Mercier *et al.*, 1999 ; Flageollet, 2002 ; Andréoli, 2003 ; Andréoli *et al.*, 2006 ; liste non exhaustive).

Le Würm, dernière période glaciaire du Quaternaire, s'étend de - 70 000 à - 11 000 ans environ, avec un maximum de froid et probablement d'extension glaciaire vers - 20 000 / - 18 000 ans (Flageollet, 2002) nommé « Late Glacial Maximum (LGM) ». C'est principalement lors de cette dernière période glaciaire que les glaciers ont laissé les empreintes les plus visibles et les plus nombreuses dans les Vosges (Tricart, 1963 ; Flageollet, 2002). Les formes caractéristiques de l'érosion glaciaire sont les cirques, les cuvettes de surcreusement et leurs verrous, les vallées en auges, telles celles de la Wormsa et de la Thur (Ménillet *et al.*, 1976).

Fait important, cette période est marquée, selon Flageollet (2002), par l'existence de glaciers de vallées, à des altitudes assez basses, dont on peut retrouver les dépôts terminaux, et de nombreux glaciers de cirques (de tête de vallée). Les sommets n'étaient donc pas, semble-t-il, recouverts par une calotte glaciaire (Tricart, 1963 ; Flageollet, 2002). Ainsi, sur les versants et sommets, en particulier sur les hautes chaumes, protégés par des névés peu épais mais immobiles (Tricart, 1963), des formations de pente périglaciaires formaient une couverture quasi-continue (Tricart, 1963 ; Ménillet *et al.*, 1976). Le sol devait y être gelé en permanence, avec un dégel estival de surface, favorisant des processus de solifluxion et de cryoclastie (Tricart, 1963).

Le Tardiglaciaire (14 450 - 11 590 cal BP d'après Litt *et al.*, 2001) est caractérisé par la disparition des glaciers de vallées, les glaces se retirant dans les cirques (Flageollet, 2002 ; Mercier *et al.*, 1999). Pour preuve, on note d'une part de nombreux dépôts morainiques frontaux, liés à des arrêts ou des réavancées, durant le retrait. D'autre part, les études polliniques faites sur les tourbières dont bon nombre occupent le fond des cirques glaciaires (Hatt 1937 ; Firbas *et al.*, 1948) montrent que celles-ci se sont formées au Préboréal (11 600 cal BP). Tricart (1963) en déduit que les cirques glaciaires n'ont été libérés des glaces qu'à cette époque, ce que confirment Ménillet *et al.* (1976), qui précisent que les cirques semblent être encore occupés par des glaciers ou des névés au Tardiglaciaire, les hautes vallées étant déjà libérées des glaces (d'après la base des tourbières).

A l'échelle locale, des arrêts et réavancées tardives, liés à des récurrences froides ont pu

avoir lieu à l'Holocène (entre 8400 et 8000 BP, au Boréal par exemple). En effet, d'après Mercier *et al.* (1999), la déglaciation dans les cirques pourrait être particulièrement tardive, d'après les datations au ^{10}Be de moraines terminales, datées entre 11 500 et 7900 ans ^{10}Be . Dans deux cirques sous les crêtes, la disparition n'aurait même eu lieu qu'il y a 6300 à 5400 ans. Ces datations, surprenantes par rapport au cortège de dates connues dans toute la France mériteraient confirmation. Dans le haut bassin de la Fecht (Vosges centrales), Andréoli (2003) et Andréoli *et al.* (2006) mettent en place un schéma de la dernière phase d'englacement, du LGM à la déglaciation définitive du massif. Le retrait glaciaire se serait fait en quatre grandes étapes - mais malheureusement Andréoli *et al.* (2006) ne fixent pas de cadre chronologique absolu par des datations.

Ainsi, les périodes de refroidissements enregistrées à l'échelle de l'hémisphère Nord et à l'échelle locale ne sont pas en phase. Il est difficile de connaître les variations climatiques locales au cours de l'Holocène, et encore moins à l'Holocène récent, au cours duquel le signal anthropique croissant a brouillé le signal climatique.

2.2.2. Les caractéristiques géomorphologiques des Vosges à l'Holocène

Les dépôts holocènes, alluviaux ou colluviaux, sont rares et peu étudiés, hormis les dépôts tourbeux relativement nombreux (voir *supra* § 2.1). Ceci est lié au fait que, comme l'indiquent Salomé (1968) et Sell *et al.* (1998), l'Holocène n'est marqué que par des changements mineurs, par une diminution de la dynamique fluviale et par une régularisation des cours d'eau (Tricart, 1963 ; Sell *et al.*, 1998), la réinstallation de la couverture végétale ayant considérablement freiné la fourniture et le transport des débris. En outre se pose un problème de chronologie, car les formations superficielles sont rarement datées et difficiles à dater, donc souvent d'âge indifférencié entre l'Holocène et le Tardiglaciaire, voire entre l'Holocène et le Würm. L'agencement à caractère local des formations superficielles contribue aussi à ces approximations (Ménillet *et al.*, 1976).

L'épaisseur du remplissage alluvial Holocène des fonds de vallées est mal connue (Ménillet *et al.*, 1976) mais généralement faible, de quelques mètres au plus (Vogt & Sittler, 1972 ; Englert, 2001 ; Casner, 2002). Pour autant, les indices d'instabilisation des versants ou de dynamique fluviale au cours de l'Holocène existent. Il s'agit localement soit de traces d'incision fluviale (von Eller, 1984), soit au contraire de processus d'alluvionnement.

2.3. Le point de vue des pédologues

La pédogenèse et l'écologie des sols vosgiens ont fait l'objet de très nombreuses études de la part de l'école nancéenne, en particulier des thèses d'état. On citera par exemple Souchier (1971) sur les sols bruns, Guillet (1972) sur les podzols, Boudot (1982) sur les rankers, ou encore Bruckert (1979), Toutain (1974), Aran (1998)... C'est toutefois dans la très grande majorité des travaux, la végétation actuelle qui sert de référent, ce qui est, avec le recul, paradoxal lorsqu'il s'agit de traiter de phénomènes qui s'exercent à des échelles plurimillénaires. Seules quelques études font exception. En particulier, celle de Guillet (1972) et de Koerner (1999), que nous développerons dans les parties ci-après.

2.3.1. Utilisation des analyses polliniques dans les podzols à des fins paléoécologiques

Les sols constituent des supports d'informations paléoenvironnementales. Ils peuvent renfermer des informations concernant la végétation sus-jacente, et dans certains cas, concernant l'évolution de cette végétation. Il est possible d'exploiter différentes archives, même si leur lecture et leur interprétation dans les sols soulèvent des problèmes bien spécifiques. Il s'avère en effet que les sols constituent des systèmes ouverts en constante évolution, hormis les cas particuliers des sols reliques et sols enterrés (qui ont fait l'objet d'une discussion par Ruellan, 1971). De ce fait, les sols sont en déséquilibre constant et soumis à un brassage biologique important. Une lecture « stratigraphique » des archives pédologiques n'est donc pas possible, sauf dans le cas particulier des podzols.

Dans le cadre de la détermination de l'âge des sols ou des processus pédogénétiques, une des méthodes d'étude des cycles courts sous climat tempéré est l'utilisation de la palynologie. En effet, dans certains sols sableux très filtrants de type podzolique, il est possible d'observer une migration des pollen, aboutissant à une stratification des associations polliniques (Dimbleby, 1961 ; Munaut, 1967 ; Guillet, 1972).

En s'appuyant sur des analyses polliniques dans différents types de podzols vosgiens des Basses et des Hautes-Vosges, Guillet (1972) a mis en évidence les relations entre l'histoire de la végétation, liée à l'anthropisation du milieu, et la podzolisation de dégradation dans les Vosges. En effet, il souligne l'existence d'une origine commune des podzols ferrugineux, appelés Primaires, mis en place sous une végétation climacique Atlantique. Il met en évidence la différenciation entre podzols ferrugineux et podzols humo-ferrugineux humifères (Fig. 1.7), liée à une dégradation forestière, donnant lieu à la mise en place de landes à callune, et à la formation de podzols humo-ferrugineux secondaires, dits de dégradation.

Malgré la prudence de l'auteur concernant l'interprétation de diagrammes palynologiques dans les sols, celui-ci considère qu'au sein des podzols existe une « stratification », les pollen les plus anciens ayant davantage migré au sein du profil. Ce phénomène ne concerne pas les sols bruns acides, dans lesquels l'activité biologique importante des lombrics a abouti à un mélange et à une forte dégradation des pollen.

A partir de la corrélation entre les diagrammes des pollen de *Calluna vulgaris* et l'âge apparent des matières organiques des horizons B_n de podzols (Fig. 2.6), il lui a donc été possible de caler chronologiquement l'apparition de ces landes à callune, généralement au début du Subatlantique, soit sur les 2500 dernières années. Guillet (1972) cherche à corréliser cette régression forestière aux activités humaines, en mettant notamment en évidence l'apparition de pollen indicateurs d'activités humaines - céréales, plantains dont *Plantago lanceolata* - à partir des « spectres » polliniques obtenus dans les podzols. Les premières occupations humaines notables dans les Basses-Vosges sont en effet datées du 3^e siècle av. J.C. (camp de La Bure, Pierre d'Appel).

En résumé, la podzolisation initiale, subboréale et en partie subatlantique, donne naissance aux podzols ferrugineux. La podzolisation de dégradation, due à la formation de landes à callune après défrichements, plus ou moins précoce au cours du Subatlantique, provoque une différenciation plus accusée du profil, donnant un podzol humo-ferrugineux (Fig. 1.7).

En se basant sur les dires de Lemée (1955), Guillet va même jusqu'à supposer que, pour des raisons d'économie pastorale, l'Homme a favorisé les essences feuillues et principalement le hêtre au détriment des résineux, essentiellement le sapin.

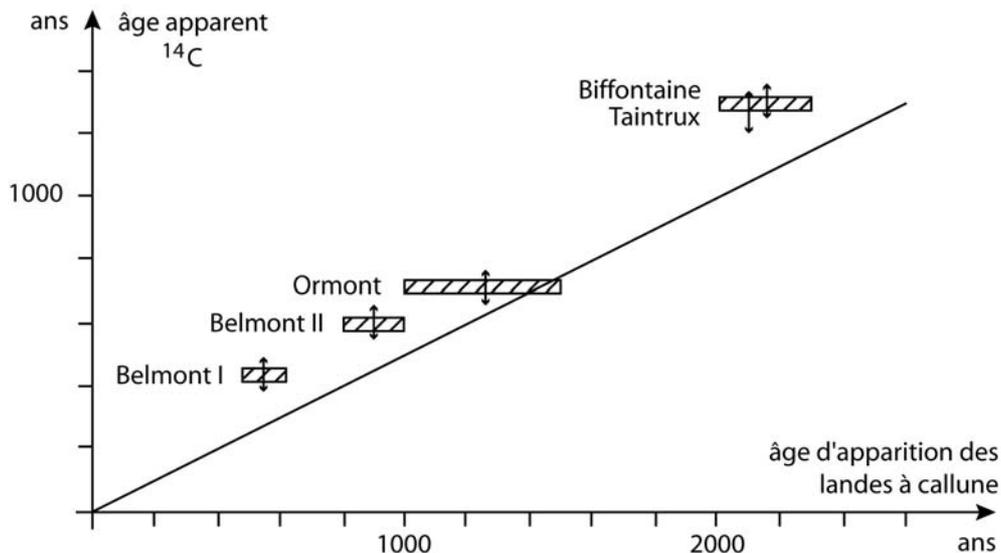


Fig. 2.6 : Relation graphique entre la distribution des âges apparents ^{14}C de B_h de podzols humo-ferrugineux de dégradation sur grès vosgiens et l'âge d'apparition des landes à callune, déduit des spectres polliniques des mêmes podzols (Guillet, 1972)

En revanche, les podzols humo-ferrugineux actuels des Hautes-Vosges constituent, pour Guillet (1972) des podzols humo-ferrugineux primaires. Il considère qu'ils ne se sont pas formés par dégradation de podzols ferrugineux, mais résultent au contraire de processus pédogénétiques lents et progressifs. Une différenciation existe donc entre les podzols humo-ferrugineux primaires et secondaires, les premiers étant sous l'influence d'un climat montagnard plus froid et plus humide, alors que les seconds sous celle d'une végétation forestière qui aurait subi une dégradation anthropique.

2.3.2. Utilisation du $\delta^{15}\text{N}$ et de la composition chimique du sol dans la connaissance des anciennes pratiques agricoles

L'intérêt de cette méthode est de pouvoir différencier les parcelles sur lesquelles les pratiques agricoles anciennes ont évolué au cours des deux derniers siècles : en effet, le signal isotopique du $\delta^{15}\text{N}$ enregistre les changements de pratiques agricoles, par des différences significatives entre anciennes forêts, anciens champs, anciens pâturages, aujourd'hui tous situés sous forêt.

Le principe de la méthode est basé sur l'existence d'une différence de masse atomique entre ^{14}N et ^{15}N , deux isotopes de l'azote. Le ^{15}N réagissant moins vite que le ^{14}N , une discrimination isotopique a lieu au cours de certaines réactions chimiques ou microbiologiques dans les sols auxquelles participent les isotopes. Le ^{15}N se retrouve donc en proportion plus grande dans le substrat (Koerner, 1999).

La méthode a été développée par une équipe de l'INRA de Nancy (Dambrine, Dupouey et Koerner) qui a cherché à obtenir, par l'analyse du $\delta^{15}\text{N}$, un signal différencié des utilisations et pratiques anciennes du sol, sur d'anciennes fermes anabaptistes vosgiennes (Koerner, 1999 ; Koerner *et al.*, 1997, 1999 a, 1999 b), puis la méthode a été appliquée en Forêt Noire (Bürger, 2004). Les études ont été effectuées sur des parcelles forestières ayant fait l'objet

d'utilisations agricoles anciennes, il y a deux siècles environ, différentes des pratiques actuelles, à savoir champs, prés, pâturages ou forêts anciennes, les terrains actuels étant tous sous forêt. Les résultats montrent que l'état actuel de ces écosystèmes forestiers diffère en fonction des anciennes pratiques agricoles. En particulier, les parcelles les plus intensément exploitées par le passé (jardins, prés et champs) ont des valeurs de pH, une saturation en bases et un $\delta^{15}\text{N}$ nettement plus élevées que celles non ou peu exploitées (pâturages, forêts anciennes). A l'inverse, le C/N diminue sur les parcelles exploitées (champs, prés). Les prélèvements de la biomasse lors des récoltes et les déjections animales ont provoqué des transferts de fertilité des forêts et pâturages vers les champs ou les prés. Les parcelles anciennement utilisées comme champs ou prés se trouvent actuellement souvent sous des monocultures d'épicéa, alors que les anciens pâturages et forêts anciennes sont dominés par des forêts mixtes de hêtre et de sapin.

2.4. L'approche des botanistes et biogéographes

Cette partie se propose de mettre en évidence le point de vue des principaux naturalistes qui ont contribué au renforcement des connaissances botaniques, floristiques et biogéographiques des milieux naturels vosgiens, notamment sur les Hautes-Chaumes. Pour les dernières décennies, c'est principalement Carbiener qui a conçu le schéma toujours en vigueur actuellement. Nous allons voir que l'origine des Hautes-Chaumes faisait parfois déjà l'objet de questionnements il y a un siècle.

La « Conquête » des Hautes-Chaumes des Vosges par les botanistes s'est faite dès le XVI^e siècle par des précurseurs allemands purement intéressés par la botanique (Bock surnommé Tragus, Brunfels, Theodorus Jacobus dit Tabernaemontanus, Fuchs, Cordus, Mappus Marc, Gmelin...).

2.4.1. L'Ecole strasbourgeoise du XIX^e siècle

Au début du XIX^e siècle, de nombreux botanistes commencent à se passionner pour les nouvelles espèces qu'ils découvrent dans les Vosges (Stoehr, 1995). Mougeot, Nestler et Schimper éditent des ouvrages de bryologie (Hoff *et al.*, 1995). En outre, de nombreux auteurs s'intéressent et décrivent la flore d'Alsace et de Lorraine. Mougeot (1846) fait une description de la flore des Hautes Vosges qui a longtemps fait autorité dans le domaine des plantes d'altitude. Quant à Kirschleger, très prolifique (Kirschleger, 1825, 1852, 1857, 1862, 1870), il reste aujourd'hui encore une référence incontournable de la botanique régionale. Dans l'un de ses ouvrages, il soulève des questions générales sur la répartition des espèces et leurs facteurs : climat, nature géologique des terrains, introduction par l'Homme..., mais sans soulever la question de l'origine des chaumes. Plus tard, Brunotte consacre une part notable de ses publications à la flore des Vosges et de la Lorraine (Brunotte, 1899, 1903, 1905, 1907 ; Brunotte & Lemasson, 1893). Quant à Flahault, grand précurseur de la phytosociologie et de la phytogéographie, il a été un des premiers à parler d'associations végétales et à effectuer de la cartographie botanique. Parmi ses travaux, on notera un article de 1901 intitulé « *Les limites supérieures de la végétation forestière et les prairies* ».

pseudoalpines en France ». Selon Carbiener (1963 a), Flahault considérait les Hautes Chaumes comme entièrement artificielles.

2.4.2. Le point de vue des prédécesseurs de Carbiener (première moitié du XX^e siècle)

En continuité avec ces botanistes, Emile Issler a poursuivi leur oeuvre phytosociologique à partir des années 1920. Il s'intéresse aux associations végétales forestières et non forestières des Vosges méridionales et de la plaine rhénane (Issler, 1924). En particulier, il pose les questions de la limite altitudinale du sapin et du hêtre, en fonction des conditions stationnelles, climatiques et édaphiques, et de la physionomie de la forêt sommitale passée. Issler (1924, 1926, 1927-28) était d'avis, sans pour autant le prouver, que « *la limite forestière (...) est artificielle. Les pâturages actuels sont des clairières, résultant de la destruction de la forêt par l'Homme. Une limite forestière naturelle n'a jamais existé dans les Vosges ; cette montagne, nous le répétons, a été boisée primitivement jusqu'aux sommets les plus élevés. La limite forestière actuelle serait donc, à notre avis, déterminée économiquement, jamais climatiquement (violence des vents) comme on l'a prétendu* ». Il nuance néanmoins ses propos en indiquant que cette hêtraie primitive devait prendre l'aspect de broussailles. Avec Walter et Loyson, il projette dès 1931 d'écrire un ouvrage, la « Flore d'Alsace », qui comprenne « les plantes vasculaires de la plaine d'Alsace, de la chaîne des Vosges, du Jura alsacien, des collines sundgauviennes ». Malheureusement, tous trois décèdent avant d'avoir pu mener ce projet à son terme. Leur « *Flore d'Alsace : Plaine rhénane, Vosges, Sundgau* », qui reste un ouvrage de référence, sera publié pour la première fois en 1965 à titre posthume.

Kapp (1955) se base sur une analyse d'Issler (1953) pour clairement considérer que « *la limite forestière des Vosges n'est qu'artificielle, elle est l'oeuvre de l'Homme qui, depuis lors a défriché les hauteurs pour trouver des pâturages pour son bétail* ».

En revanche, Jaeger (1959-60), dont les travaux précèdent de peu l'édition de ceux de Carbiener, estime simplement que, pour des raisons édaphiques, la végétation arborée ne pouvait se développer sur les crêtes les plus hautes. Il cite en outre Dubois, Lemée et Firbas (sans bibliographie), précisant que la découverte de pollen non sylvatiques dans les tourbières des hautes chaumes est suffisante pour « *considérer comme primitives au moins certaines parcelles de la lande culminale* ». On se référera au § 2.1 pour voir que ce point de vue doit être nuancé.

2.4.3. Le point de vue et les arguments de Carbiener...

Carbiener (1963 a, 1963 c, 1964 a, 1966 a, 1966 b, 1984-87) a permis de faire largement évoluer le domaine de la phytosociologie dans les Vosges. Ses nombreux travaux ont principalement porté sur une analyse écologique et phytosociologique très précise des associations et sous-associations végétales des Hautes-Vosges. Il a aussi tenté de mettre en évidence leurs relations avec les facteurs climatiques, géologiques, géomorphologiques, topographiques et édaphiques. Il s'est intéressé plus particulièrement à la Calamagrostidaie subalpine (Carbiener, 1963 c), association végétale particulière des versants raides des cirques glaciaires, ainsi qu'aux rankers cryptopodzoliques (Carbiener, 1963 b), précédemment observés par Braun-Blanquet à l'Aigoual et au Mont Lozère (Braun-Blanquet,

1953), par Lemée au Mont Dore et au Mézenc (Lemée, 1953), et par Quézel et Rioux dans le Cantal (Quézel & Rioux, 1954). Mais Carbiener est surtout connu pour être le principal auteur ayant étayé l'hypothèse de l'existence de « chaumes primaires » et de « chaumes secondaires » par la différenciation de types de sols différents. Certains de ses travaux comportent une discussion sur l'origine naturelle ou artificielle des Hautes Chaumes. Les arguments (1963 a, 1964 a) qui selon lui permettent d'étayer l'existence de « chaumes primaires (naturelles) » sont de plusieurs ordres :

- pédologique : l'existence de « rankers cryptopodzoliques à moder » sur les principaux sommets est liée à une évolution lente de plusieurs milliers d'années, et est conditionnée par un substrat bien drainé et une « *lande subalpine n'ayant jamais été boisée* ». C'est le principal argument, qui s'appuie sur Duchaufour (1960) ;
- physionomique : les aspects de la limite forestière traduisent selon lui les conditions climatiques locales limites du développement des ligneux ;
- écologique : la limite thermique du hêtre, dont on considère que quatre mois consécutifs supérieurs à 10 °C sont nécessaires à sa croissance (Köppen, 1920, 1931) ;
- palynologique : Carbiener (1963) cite l'analyse palynologique du Gazon du Faing effectuée par Lemée en 1963, indiquant l'existence d'espaces ouverts sur les crêtes (voir *supra*) ;
- géomorphologique : l'existence de Thufur ou buttes gazonnées, microreliefs liés à des processus de cryoturbation dans les sols (Carbiener, 1964 a, 1964 b, 1966 b). Il considère que leur formation est très lente dans les Vosges, même s'il indique que la formation des thufur islandais est possible en quelques décades (Cailleux & Taylor, 1954). Pour Carbiener, les thufurs ne se formeraient qu'au-delà de la limite forestière, et uniquement dans des conditions particulières.

2.4.4. ...et celui de ses détracteurs

Ochsenbein (1977) estime par une synthèse d'analyses polliniques et d'analyses phytogéographiques qu'à la période boréale, « *la chênaie mixte gagna même les sommets, comme en témoigne le Hohneck, détrônant les noisetiers* ». Il précise à propos de stations d'altitude à chênes (1100 m au sentier des Roches ; 1200 m dans le Haut Wormpsel) au cours de la période boréale que : « *nous ne pouvons suivre l'avis de certains auteurs de travaux par ailleurs très méritoires, comme Firbas, qui considèrent ces stations comme artificielles, dues à l'Homme. Celles des Hautes Vosges sont certainement naturelles. Dans ce cas la poussée sur les hauteurs du chêne, en l'occurrence sessile, a dû se faire lors de cette période boréale, avant l'implantation massive de la hêtraie-sapinière survenue lors de la période suivante, atlantique* ». Pour la période subboréale, Ochsenbein considère que « *Les crêtes les plus exposées furent couvertes de hêtres rabougris, car les Vosges ne dépassent pas l'altitude au-delà de laquelle les conditions générales ne permettraient plus la survie de forêts, même compte tenu des facteurs climatiques plus rudes que dans d'autres massifs à altitudes de même ordre. Seules quelques calottes culminantes restaient dénudées* ».

Plus récemment, d'autres auteurs ont émis des doutes quant à la limite altitudinale naturelle de la forêt. Thinon (1992) constate, comme dans la plupart des sols, la présence de charbons de bois dans le sol du col du Falimont. Le doute est d'autant plus permis que ses

travaux, ceux de Carcaillet (1996, 2001 b), Carcaillet & Thinon (1996), Carcaillet & Brun (2000), Carcaillet & Talon (2001), Carcaillet *et al.* (1998), et de Talon (1997), Talon *et al.* (1998), Ali *et al.* (2003), Carnelli (2002), Carnelli *et al.* (2004) dans les Alpes font remonter la limite supra-forestière de plusieurs centaines de mètres.

Boeuf (2001) et Rameau (comm. orale) soulèvent eux aussi la question de la naturalité des chaumes. Bogenrieder quant à lui, compare les pâturages d'altitude des Vosges à ceux de la Forêt Noire (Bogenrieder, 2001) qui culmine à 1492 m au Feldberg. Dans ce massif, les pâturages ont une extension plus restreinte que dans les Vosges. Il suggère qu'une part mineure des « hauts pâturages » vosgiens et schwartzwaldiens est d'origine naturelle, étayant ses dires par la présence d'espèces relictuelles, mais précisant que les conditions du développement des espaces subalpins originels sont meilleures dans les Vosges, le climat y étant plus rude et l'anthropisation plus tardive.

2.4.5. Conclusion

Les deux hypothèses de l'origine des Chaumes ont alterné au cours du XX^e siècle. Aujourd'hui et depuis plusieurs dizaines d'années, depuis principalement les travaux de Carbiener, c'est l'hypothèse d'une origine asylvatique des sommets qui prédomine. En effet, l'hypothèse émise par Carbiener il y a 40 ans est encore largement considérée comme une certitude scientifique, par exemple, dans Sell *et al.* (1998) mais aussi dans les Cahiers d'Habitat Natura 2000 (article « Landes acidiphiles subalpines des Vosges »), dans lesquels les landes sont considérées comme des « *groupements primaires, stables, climaciques* », malgré les doutes émis par certains auteurs (Thinon, 1992 ; Boeuf, 2001 ; Garnier, 2004 ; Rameau comm. orale).

2.5. Le point de vue des archéologues

Afin de compléter les données archéologiques du massif vosgien et de la plaine d'Alsace, on se reportera utilement aux ouvrages de Zehner (1998), Flotté & Fuchs (2000) et Michler (2005), qui concernent la Carte Archéologique de la Gaule, respectivement pour le Haut-Rhin, le Bas-Rhin et les Vosges, sur les périodes protohistoriques et antiques. Nous ne faisons que rappeler ici les faits majeurs des évolutions pré- et protohistoriques, telles qu'elles sont connues des archéologues.

2.5.1. Le Néolithique (5300 av. J.-C. à 2300 av. J.-C.)

Nées au Moyen-Orient, les techniques d'agriculture et d'élevage traversent toute l'Europe, arrivant par la vallée du Danube, avant d'atteindre l'Alsace vers 5300 av. J.-C. (Jeunesse, 1991 ; Vogler *et al.*, 1998). De nombreux sites néolithiques sont maintenant reconnus en plaine (Bischoffsheim, Holtzheim, Sierentz...). Ces débuts de l'agriculture sont marqués par les activités agricoles et pastorales (céréales, animaux domestiques, bovins principalement, mais aussi porcs, moutons etc) et par la persistance de la chasse. On note aussi des défrichements importants, qui sont attestés par des analyses palynologiques de plaine, les

taux de boisement allant en diminuant (Thévenin, 1984).

Dans l'ensemble, les empreintes laissées par les hommes du Néolithique sont plus rares en montagne qu'en plaine, où elles se localisent préférentiellement sur loess. Pour cette époque en effet, les Hautes-Vosges sont caractérisées par une véritable lacune de vestiges préhistoriques, hormis quelques menus objets lithiques, notamment aux cols vosgiens (cols de la Schlucht, du Bonhomme..). Notons tout de même le site néolithique majeur de Plancher-les-Mines (Haute-Saône, Sud des Vosges), site de production de grandes lames de haches et d'herminettes* (jusqu'à 30 cm) dans des pérites-quartz*. Cette production néolithique de grande ampleur, vers 4100 - 3800 av. J.-C. était exportée jusqu'à 200 km à vol d'oiseau du lieu d'extraction et de taille (Pétrequin & Jeunesse, 1995).

La base de données « Patriarche » du Service Régional d'Archéologie d'Alsace nous a permis de localiser les entités archéologiques préhistoriques (Fig. 2.7). Elles sont les seules enregistrées jusqu'à présent dans les Hautes-Vosges. Notons que certains objets sont mal datés, et qu'il s'agit soit d'objets épars (pointes de flèches,...), soit de carrières. La rareté de ces objets peut avoir deux origines : la première réside dans l'inexistence très probable d'un habitat fixe sur les hauteurs ; la seconde résulte d'une absence ou de la rareté des fouilles au cœur du massif vosgien, les découvertes mentionnées étant la plupart du temps fortuites.

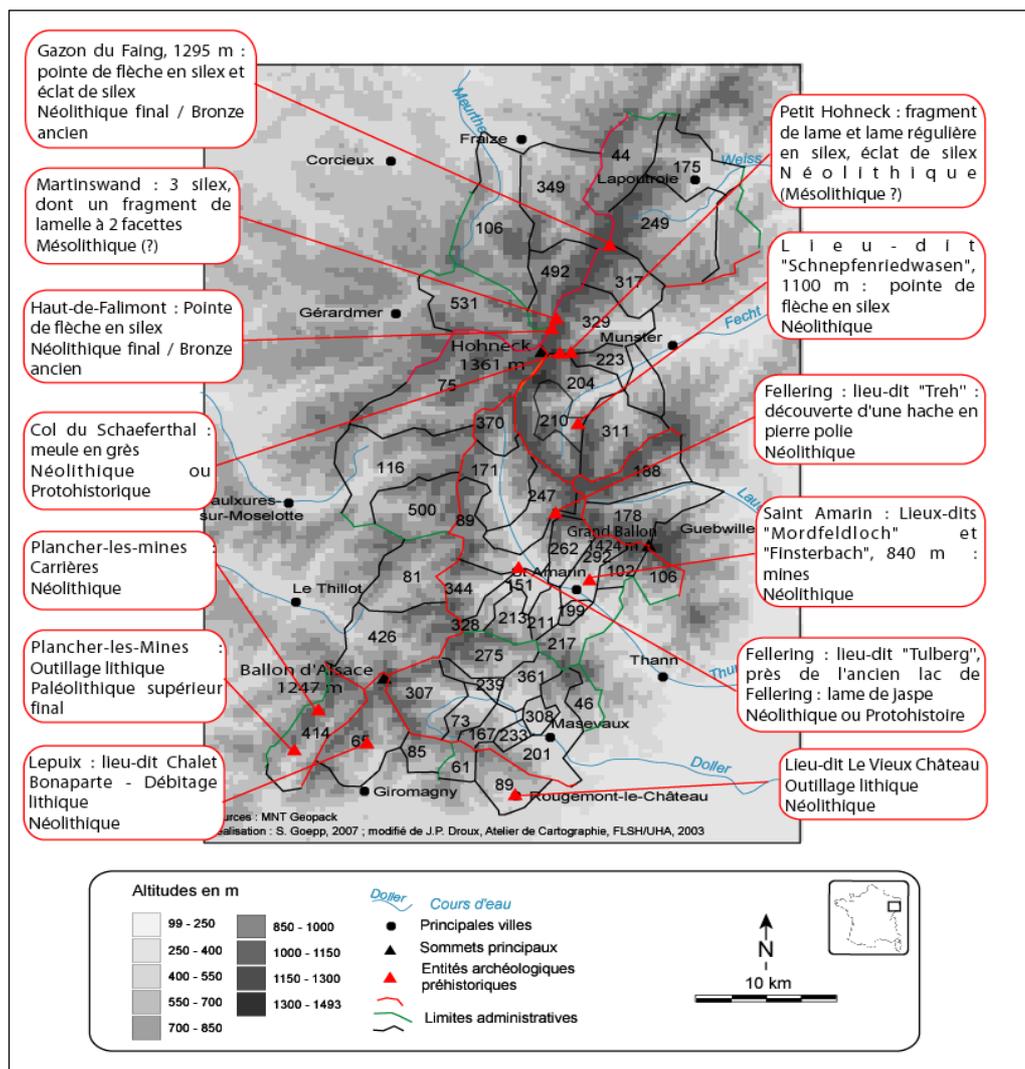


Fig. 2.7 : Cartographie des entités archéologiques paléolithiques et néolithiques des Hautes-Vosges (Base de données « Patriarche », SRA)

2.5.2. Faits marquants de la période protohistorique (2300 av. J.-C. - 50 av. J.-C.)

La Protohistoire est principalement caractérisée par l'apparition de techniques de travail des métaux, avec l'introduction du cuivre, du bronze (alliage de cuivre et d'étain) puis du fer. Elle l'est aussi par la hiérarchisation croissante de la société, par l'apparition de nouvelles plantes cultivées, et par l'essor considérable pris par l'élevage de bovins, chevaux, mais également volailles (Vogler *et al.*, 1998).

2.5.2.1. L'âge du Bronze (2300 - 800/750 av. J.-C.)

Le Chalcolithique (de 2300 à 1800 av. J.-C. environ) constituait la période de transition entre le Néolithique final et le début de la Protohistoire, au cours de laquelle des objets en cuivre co-existent avec les outils en pierre. Les nouvelles méthodes de datations ayant permis de définir le début du Bronze ancien vers 2400/2300 av. J.-C. (Voegtlin, 1991), le Chalcolithique

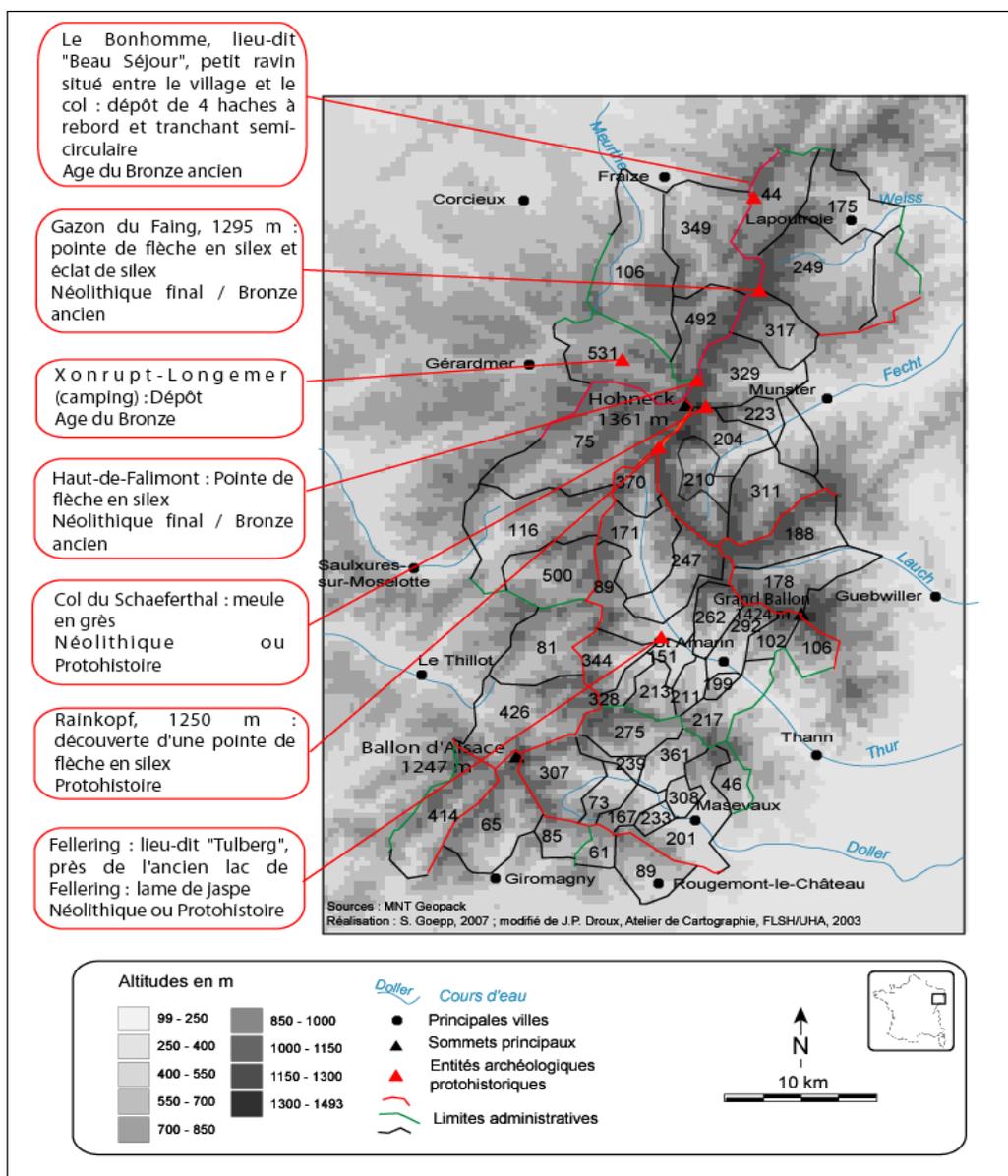


Fig. 2.8 : Cartographie des entités archéologiques protohistoriques des Hautes-Vosges (source : Base de données « Patriarche » du SRA Alsace, modifié)

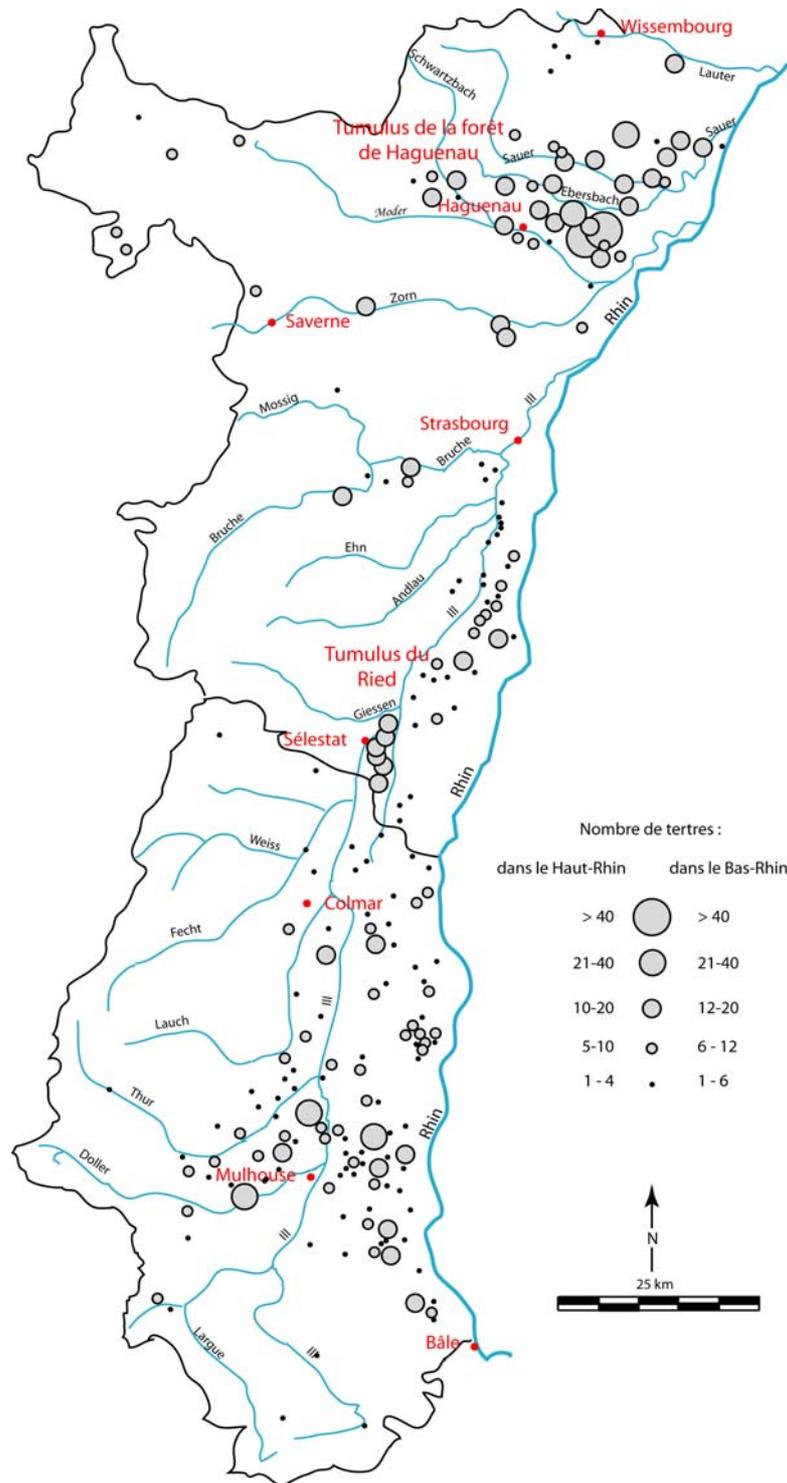


Fig. 2.9 : Carte synthétique de la répartition des tertres Protohistoriques en Alsace (d'après Zehner, 1998 et Flotté & Fuchs, 2000, modifié).

a été intégré à cette période. Le Bronze ancien (2300 à 1500 av. J.-C.) est mal connu en Alsace car les vestiges découverts y sont rares. Cependant, quelques rares objets archéologiques de cette période ont été trouvés sur la crête vosgienne (Fig. 2.8) : dépôt de haches au col du Bonhomme (Simon, 1992) ou d'autres objets épars (mal datés). Les sépultures de type tumulus, caractéristiques de l'âge du Bronze, apparaissent au Bronze

moyen (1500 à 1300 av. J.-C.), période justement appelée « Civilisation des Tumulus », représentée notamment par l'important groupement de la forêt de Haguenau (Fig. 2.9), ou encore ceux de Colmar-Riedwihr et d'Appenwihr.

La civilisation du Bronze final (1300 - 750 av. J.-C.) est couramment dénommée « Culture des Champs d'Urnes », correspondant à des sépultures à incinérations, même si des sépultures « plates » de type tombes coexistent (Zehner, 1998). La fin du Bronze est aussi caractérisée par la mise en place de sites de hauteur, tel que le site du Hohlsberg à Wintzenheim (620 m).

D'après Pétry (1984) et Jeunesse (1991), le VIII^e siècle av. J.-C., soit la fin du Bronze final, est marqué dans nos régions par une importante péjoration climatique : augmentation de l'humidité et nette baisse des moyennes de températures. Ce mouvement climatique d'assez longue durée aurait eu pour effet, selon Pétry (1984), une régression des cultures et un épanouissement des activités pastorales ; il émet des hypothèses de mouvements de transhumance sur les hauteurs.

2.5.2.2. L'âge du Fer (800/750 - 50 av. J.-C.)

La rupture entre Bronze final et Hallstatt C doit, selon Zehner (1998), être nuancée, puisqu'existe une continuité typologique du mobilier céramique.

Le 1^{er} âge du Fer, dit Hallstatt, s'étale sur une période allant de 750 à 450 av. J.-C. environ. Cette période est caractérisée par la réutilisation d'une partie des tumulus du Bronze moyen. Le Hallstatt C est donc caractérisé par une tradition d'inhumations principalement, les incinérations étant rares, ainsi que par l'émergence d'une caste aristocratique (épées en bronze puis en fer). Cette aristocratie princière fait l'objet d'inhumations dans de grandes tombes, et, à partir de 725 av. J.-C., dans d'imposants tumulus ou dans des tombes à chars. Le Hallstatt D voit l'émergence d'un groupe culturel aux particularités régionales très marquées, localisé entre Strasbourg et Bâle, produisant des bracelets à cannelures longitudinales au Hallstatt D1, des fibules au Hallstatt D2. Les « princes celtes » sont inhumés dans des tombes exceptionnelles, rares mais très riches (Fig. 2.10). Les régions de l'Est de la France situées au nord des Alpes subissent les influences de la société du sud-ouest de l'Allemagne. Au Hallstatt final (550 - 480 av. J.-C.), les échanges avec les colonies méditerranéennes grecques et étrusques s'intensifient (520 - 440 av. J.-C.). La culture hallstattienne atteint son apogée et se maintient en Alsace jusque vers 450 av. J.-C., mais l'aristocratie princière s'effondre brutalement, avec en parallèle une série d'incendies inexplicables des sites de hauteur (Jeunesse, 1991 ; Normand, 1998). Zehner (1998) relève ainsi un important hiatus d'habitats, extrêmement rares au Hallstatt final, entre 550 et 480 av. J.-C.

Le 2^e âge du Fer, dit de La Tène, débute vers 480/450 pour se terminer avec les débuts de la romanisation de la région, vers 40/30 av. J.-C. L'apparition de la culture laténienne est, pour Zehner (1998), probablement à l'origine du déclin de la culture hallstattienne. En effet, La Tène ancienne (450 - 250 av. J.-C.) est caractérisée dans la région par un déclin sur différents plans :

- les sépultures de type tumulus, situées à proximité d'habitats de hauteur fortifiés, et dont l'apogée se situe au début du V^e siècle av. J.-C., disparaissent brutalement à la fin de la Tène ancienne ;
- un hiatus d'habitats s'explique sans doute par des émigrations celtes vers la fin du V^e siècle av. J.-C. Les problèmes de surpopulation dans les régions périphériques du noyau

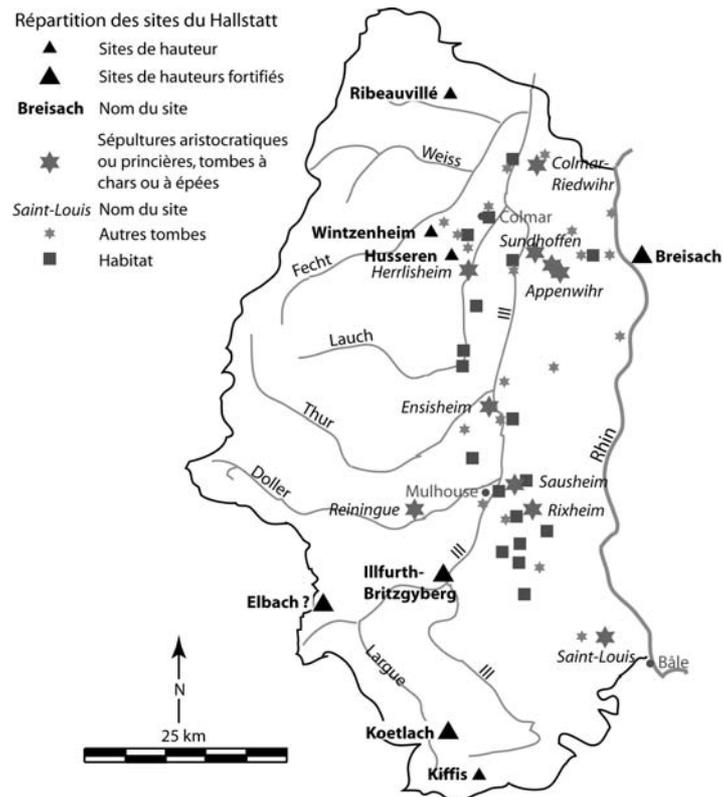


Fig. 2.10 : Carte synthétique des sites hallstattiens du Haut-Rhin (d'après Zehner, 1998 ; modifié).

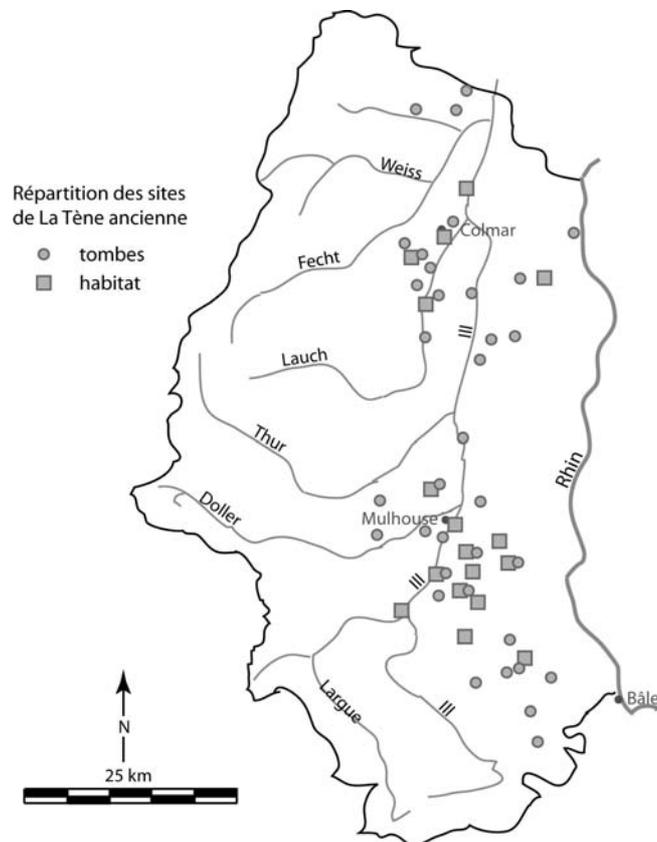


Fig. 2.11 : Carte des sites de La Tène ancienne dans le Haut-Rhin (Zehner, 1998 ; modifié)

hallstattien occidental créent une instabilité, liée à l'étroitesse du territoire des Gaules ; ceci aurait entraîné des migrations celtes (de Lingons et Senons) vers l'Italie ; la région semble donc se désertifier à la fin de la Tène ancienne ;

- les sites princiers, qui amorcent leur déclin à la Tène ancienne, disparaissent totalement dès la fin de cette période. Ce déclin peut avoir plusieurs raisons :
 - apparition d'une nouvelle société, que l'on reconnaît dans la culture de La Tène ;
 - système socio-économique mis en place au Hallstatt (économie de produits de luxe) et hiérarchisation de la société.

La Tène ancienne est aussi caractérisée par des habitats de faible envergure, et des particularités régionales de la céramique fabriquée par des populations installées le long du Rhin dans le sud du Rhin supérieur et en Suisse nord-orientale. Les tombes correspondent à des inhumations dans des tumulus ou parfois des tombes plates, ce qui traduit une réutilisation des tumulus (Fig. 2.11).

La Tène Moyenne (2^e moitié du III^e siècle av. J.-C.) est caractérisée par un hiatus archéologique important qui reste inexplicable (aucune découverte archéologique en Alsace), mais dont on suppose qu'il est lié à des migrations celtes vers le Sud (Jeunesse, 1991).

Au cours de La Tène finale (180/150 à 40/30 av. J.-C. environ) se mettent en place différents groupes culturels dans la plaine d'Alsace. La Haute Alsace, le sud de Bade et le nord de la Suisse deviennent un territoire Rauraque (de part et d'autre du Rhin), alors que le groupe Nord est occupé par les Triboques. Les Leuques occupent l'Ouest des Vosges. Les habitats de cette époque sont souvent fortifiés ou de hauteur, comme en témoignent les sites du Hartmannswillerkopf (856 m) dans le Haut-Rhin, ceux de La Bure (583 m), de Pierre d'Appel (492 m), de Varrinchâtel ou encore de La Core dans les Vosges (Tronquart, 1989 ; Michler, 2005 ; Zehner, 1998). Tous ces sites de hauteur sont fortifiés, toujours situés en périphérie du massif vosgien, et dominent les principales voies de passage au débouché des vallées vosgiennes. Alors que le versant alsacien des Vosges est faiblement représenté, le versant lorrain (vallée de la Meurthe) est densément occupé par les sites de hauteur.

2.5.2.3. Des hiatus spatiaux

Globalement, la période Protohistorique est bien représentée en plaine d'Alsace (Fig. 2.9, 2.10 et 2.11). Au cœur du massif vosgien par contre, seules quelques découvertes mineures ont été faites dans les Hautes-Vosges, les découvertes majeures se restreignant souvent au débouché des vallées, telles que quelques sites de hauteur déjà cités (Hohlandsberg, Hartmannswillerkopf, La Bure...). Toutefois, la carte archéologique de la Gaule (Flotté & Fuchs, 2000 ; Zehner, 1998 ; Michler, 2005) et la base de données « Patriarche » (Service Régional d'Archéologie) nous permettent de cartographier les rares entités archéologiques protohistoriques localisées au sein du massif vosgien. La carte de la Fig. 2.8 présente ces entités, souvent mal datées et restreintes aux cols et aux sommets vosgiens. Cette rareté de données au sein du massif vosgien, s'oppose à la variété et l'abondance des « entités » archéologiques trouvées en plaine. Plusieurs facteurs déjà évoqués (voir *supra*) peuvent expliquer la quasi-absence de sites protohistoriques dans les Vosges : d'une part la faible densité de prospections et fouilles en région montagneuse, d'autre part la faible anthropisation du milieu, et enfin la mauvaise conservation des sites, d'autant plus rapidement enfouis que le milieu est en constante reconquête forestière depuis le XIX^e siècle. Malgré ce hiatus, il est avéré que le massif vosgien est traversé de part en part aux diverses époques protohistoriques (Michler, 2005 ; Simon, 1992).

2.5.3. La période gallo-romaine (50 av. J.-C. - 400 apr. J.-C.)

2.5.3.1. La conquête et la paix romaines

Le début de la conquête romaine dans la région est marqué par la bataille menée par César contre Arioviste, roi des Germains, en 58 av. J.-C. Ce dernier, arrivé dans la plaine d'Alsace en 61 av. J.-C., est défait par les troupes romaines, dans le sud de l'Alsace.

Zehner (1998) indique un important hiatus d'au moins une génération, après La Tène D2 (40 à 20 av. J.-C.), et jusque vers 10/20 apr. J.-C., au moment des débuts de la romanisation de la région. L'établissement des Romains s'effectue progressivement. En 16 av. J.-C., la frontière du Rhin (et du Danube) est stabilisée, au moment de l'installation de forts militaires romains le long du Rhin en Alsace. Le Rhin devient donc une frontière de l'Empire romain. En 15 av. J.-C., sous le règne d'Auguste, ils s'établissent sur la rive droite du Danube supérieur. En 74 apr. J.-C. la frontière - le *limes* - est déplacée de plus de 100 km vers l'est, les territoires gagnés par les Romains prenant le nom de Champs Décumates, *Agri decumates*. Cette frontière a été ensuite progressivement fortifiée, et va rester stable durant près de deux siècles. Au cours de cette période de Paix Romaine (*Pax Romana*), de Vespasien aux Sévères (69 - 235 apr. J.-C.), les territoires alsaciens et lorrains sont partagés entre les Tribocques en Basse Alsace, les Rauraques en Haute Alsace, les Médiomatriques en Alsace Bossue, les Némètes dans l'Outre-Forêt, les Leuques et les Séquanes sur le versant ouest des Vosges, les Hèlvètes au sud. La civilisation gallo-romaine se caractérise par la création de villes, le développement du commerce, de l'artisanat, et l'importance des fonctions militaires jusque dans l'économie régionale. L'établissement des Romains dans la région a aussi abouti à la mise en place d'un réseau dense de voies de communication, en plaine, mais aussi dans les vallées vosgiennes (Fig. 2.12). Des voies antiques à ornières ont été découvertes en montagne, taillées à même la roche ou aménagées à l'aide de pavage de blocs de grès. Ces voies dénotent du passage des Romains par les principales vallées vosgiennes : en atteste par exemple l'aménagement d'un dallage à Lapoutroie et Hachimette dans la vallée de Kaysersberg dans la montée vers le col du Bonhomme, ou encore une voie passant par Malmerspach dans la vallée de la Thur vers le col de Bussang (Rosenblatt, 1983) ; il en est de même dans la vallée de Saint Amarin à Urbès.

Selon Pétry (1984), un groupe culturel établi sur les sommets vosgiens se serait livré à des activités agro-pastorales et n'auraient pas changé ses habitudes au moment de l'arrivée de l'armée romaine en plaine. Bien que mal cernée, la place de l'élevage semble s'être accrue, les bovins, dont les races ont été améliorées, étant plus nombreux qu'aux époques antérieures dans les sites fouillés. Ces affirmations semblent mal étayées et difficiles à vérifier.

2.5.3.2. Des incursions alamanes précoces (dès la fin du III^e siècle)

Dans la région, la rupture entre le Haut et le Bas Empire romain (Empire romain tardif) advient précocement, en 260 apr. J.-C. Une longue période d'instabilité débute en 235 apr. J.-C. et une guerre civile, qui durera jusqu'en 284 apr. J.-C., éclate. Des menaces d'invasions par des peuples extérieurs à l'Empire romain pèsent sur les frontières de l'Alsace dès le III^e siècle. Dès 260 en effet, les Alamans (Germains) chassent les Romains de la rive droite du Rhin. La plaine d'Alsace est ravagée et pillée lors de ces incursions alamanes et les migrations de peuples germaniques. Bon nombre d'habitations disparaissent ou sont

définitivement abandonnées ; la région semble se dépeupler.

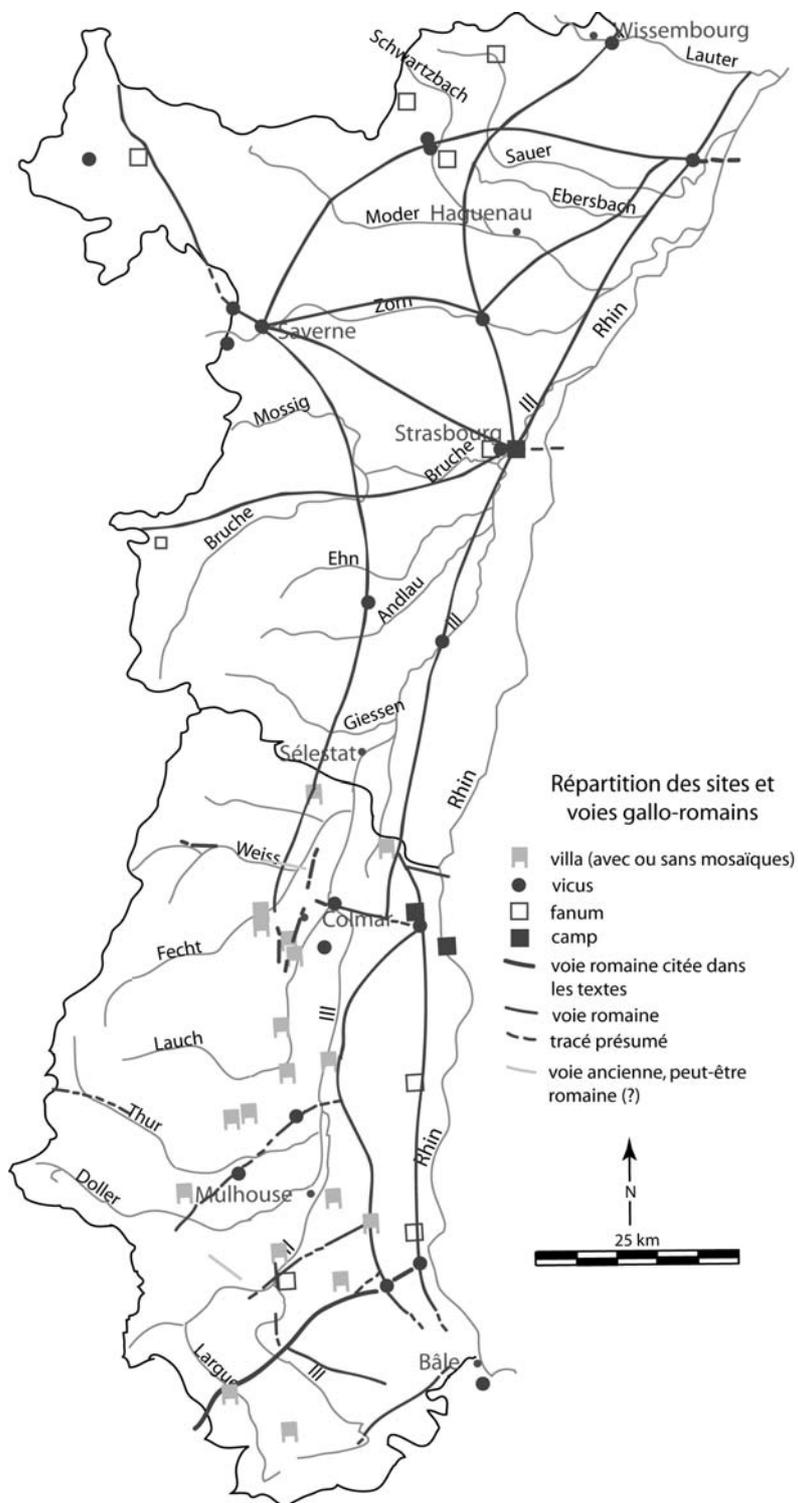


Fig. 2.12 : Carte des sites et voies gallo-romains (d'après Zehner, 1998 et Flotté & Fuchs, 2000, modifié)

2.5.4. Les débuts du Haut Moyen Age (V^e - VII^e siècles)

Bien que l'installation de tribus germaniques ait lieu dès le IV^e siècle, la période alamane ne débute réellement qu'avec l'effondrement du système défensif romain en 406 apr. J.-C. L'Alsace tombe alors définitivement aux mains des Alamans. Durant le V^e siècle, ils s'établissent progressivement, et imposent leur autorité et leur langue dans la région.

Les Francs, peuple germanique installé en rive droite du Rhin, à l'extérieur des frontières de l'Empire, vont conquérir la plupart des territoires de la Gaule au cours du V^e siècle. Ce sont eux qui instaureront le Royaume des Francs. Le VI^e siècle voit s'installer au nord de la forêt de Haguenau ces Francs, la Haute Alsace étant occupée par les peuples alamans.

La « culture mérovingienne » apparaît dès le VII^e siècle. Elle correspond à une période de christianisation. Les premières communautés chrétiennes d'Alsace, chassées à la fin de l'Empire romain, sont refondées ; le diocèse est rétabli au VI^e siècle. Les abbayes de Munster, Wissembourg, Marmoutier, etc... sont fondées au VII^e siècle, marquant le début de la chrétienté, et un recul des rites germaniques.

2.5.5. Conclusion

Malgré la richesse en données archéologiques de l'Alsace et de la Lorraine, autant pour les périodes pré- et protohistoriques que historiques, des lacunes spatiales importantes s'étendent sur la quasi-totalité du massif vosgien, et dans une moindre mesure, selon les époques, sur le Sundgau et le Jura alsacien, ou encore les Vosges gréseuses... Trois catégories d'explication sont possibles pour expliquer ce hiatus de données :

- un réel hiatus de population se traduisant par une rareté des habitats en montagne. Pour autant, ces espaces ne constituent pas des espaces vides d'habitants, même si les densités de population y sont bien moindres et les ressources moins exploitées qu'en plaine d'Alsace ou sur le plateau lorrain ;
- un biais méthodologique, lié à la rareté des fouilles archéologiques en montagne, outre des difficultés d'accès et de détection de sites ;
- une destruction des sites, peu probable vu que les espaces forestiers ont plutôt tendance à conserver les sites, en raison d'une érosion faible. Les traces d'anthropisation sont par contre souvent dissimulées par les espaces reforestés.

Il est donc essentiel d'apporter des éléments de réponse dans un contexte archéologique pauvre, par le biais d'autres méthodes, notamment paléoenvironnementales.

2.6. Le point de vue des historiens : de Boyé à Garnier, un siècle d'intérêt historique pour les Hautes-Vosges

L'objectif de cette partie n'étant pas d'établir une revue bibliographique complète des faits historiques qui se sont déroulés dans le massif vosgien au cours des derniers siècles, on se reportera utilement à un certain nombre d'ouvrages sur ces périodes. En particulier, et malgré son ancienneté, l'analyse faite par Boyé (1903) constitue un travail fondamental de

recherches et d'analyses d'archives, spécifique aux Hautes-Chaumes des Vosges. Cet imposant travail n'a été remis à jour qu'un siècle plus tard par Garnier, dont on peut noter les nombreuses références (1991, 1994, 1997, 1998 a, 1998 b, 2000, 2001 a, 2001 b, 2002 a, 2002 b, 2002 c, 2004,...) et une synthèse de ses travaux de recherche (Garnier, 2004). Ce travail, très documenté, cadré spatialement dans les Hautes-Vosges, est le pendant des travaux de Jéhin dans les Vosges du Nord (Jéhin, 2003, 2005). On se reportera tout aussi utilement aux travaux de Baumann (1981), Preusser (1980), Uhlrich *et al.* (1988), etc. Nous ne rappelons ici que les faits majeurs de l'évolution historique et économique des Hautes-Vosges, telle qu'elle est connue des historiens, en insistant sur notre objet d'étude, les espaces pastoraux sommitaux.

2.6.1. Sur l'origine possible des chaumes

Dans son travail fondateur, Boyé (1903) a abordé la problématique de l'histoire des chaumes. Les arguments qu'il soulève quant à l'origine des Hautes-Chaumes sont de deux ordres. Le premier est d'ordre historique : il met en évidence l'influence de l'Homme sur les chaumes aux périodes historiques, notamment par le maintien de l'« uniformité » de la chaume liée à l'intervention de l'Homme et de son troupeau... Le second argument est d'ordre scientifique : d'une part, il compare le massif vosgien à la Forêt Noire et aux autres massifs montagneux, dont l'altitude est plus faible et les altitudinales des ligneux différentes ; d'autre part, il utilise l'argument des tentatives de reboisements, celui de la « *Forêt (qui) protège la forêt* », la croissance de l'arbre sur les chaumes n'étant pas possible sans protection ; enfin, celui des espèces incapables de s'adapter au type d'humus des chaumes. Boyé (1903) semble davantage pencher pour une origine anthropique des chaumes, bien qu'il considère que les sommets aient pu être occupés par des « *bois de plus en plus clairiérés* ». Il écrit que « *...nous ne devons pas hésiter à admettre que les chaumes sont l'oeuvre du montagnard* » ou encore que « *...la calvitie des plus hautes Vosges (elles-mêmes) est tout artificielle* ».

2.6.2. Les chaumes jusqu'au XII^e siècle : de la « *Silva vosagus* » aux défrichements médiévaux

La forêt vosgienne constitue la « *Silva vosagus* » pour les Romains, elle semble une terre marginale, vierge à toute implantation humaine (Garnier, 1994).

Pour Boudot (1983), Nonn (1983) et Hergès (1983), les défrichements des chaumes secondaires doivent beaucoup au mouvement monastique. Ces défrichements des VII^e-VIII^e siècles, ne sont en fait pas démontrés, mais intuités par la fondation des abbayes. Les monastères de Luxeuil, de Lure et de Remiremont fondés respectivement vers 590, 613 et 620 ont été les établissements religieux les plus précocement implantés dans le massif vosgien (Garnier, 1994, 2004). Boyé (1903, p 52-53) signale la fondation de l'abbaye de Senones vers 660-673, par l'archevêque de Sens Gundelbert. L'acte de création de cette abbaye par Childéric II ferait pour la première fois mention d'un haut pâturage vosgien ; il s'agirait de la plus ancienne mention connue selon Boyé. La fondation de l'abbaye Saint Grégoire de Munster, vers 660 apr. J.-C. (Boyé, 1903 ; Zehner, 1998 ; Garnier, 1994, 2004), est mentionnée pour la première fois en 670 dans un acte de donation concernant Biesheim (Zehner, 1998). Boyé (1903) souligne l'importance du rôle joué par cette abbaye, par la

communauté de la ville de Munster et par celle, indivise, du Val Saint Grégoire, regroupant 9 villages, dans la conquête des chaumes, jusque sur le versant lorrain alors peu peuplé, et jusqu'à La Bresse et Ventron. Sont mentionnés les défrichements et la création de pâturages, ainsi que l'importance du bétail dans l'économie locale. A la même époque sont aussi fondées les abbayes de Saint-Dié vers 660, Saint-Marc près de Guebenschwihr en 676 (?), Sainte Odile à la fin du VII^e siècle. La fondation de l'abbaye de Murbach est quant à elle datée de 726-727 ; elle est suivie un peu plus tard par celle de l'abbaye bénédictine Saint Léger à Masevaux, par le Moine Adam en 780. Enfin, le monastère de Metzeral fut fondé en 817 (Garnier, 1994).

Ainsi, en moins de deux siècles, l'implantation des couvents dans de nombreuses vallées vosgiennes a influencé la rapide transformation du paysage (Boyé, 1903 ; Boudot, 1983 ; Hergès, 1983), en lien principalement avec l'implantation parallèle de communautés villageoises.

Les XI^e et XII^e siècles sont marqués par une deuxième vague d'implantations d'abbayes en Alsace, telle que Notre-Dame d'Oelenberg, et en Lorraine (le chapitre des chanoinesses d'Epinal fondé au XII^e siècle par exemple), jusqu'à leur apogée au XII^e siècle. Parallèlement, des défrichements, débutés à l'époque carolingienne, s'accroissent dans les vallées vosgiennes aux XII^e et XIII^e siècles (Vogler *et al.*, 1998).

2.6.3. Le « Grand Pâturage » du XIII^e siècle au XVI^e siècle

2.6.3.1. Un Acte marquant, le Traité de Marquard (1339)

Cette période débute par un fait majeur dans l'histoire des chaumes vosgiennes : la signature d'un document majeur, conservé dans les Archives de la Ville de Munster, et sans doute « redécouvert » par la suite, que Boyé (1903) mentionne sans le nommer. Il s'agit du Traité de Marquard, daté de 1339, qui a été signé entre l'abbé et la ville de Munster (Leser, 1998 ; Garnier, 2001 a, 2004). Celui-ci atteste de la colonisation des chaumes par les Alsaciens du Val de Munster, pour une utilisation comme pâturages (estives). Les marcaires en location qui y pratiquaient l'estive, avaient pour obligation d'entretenir les pâturages. Ce Traité autorise aussi le passage des marcaires alsaciens sur le versant lorrain afin de profiter du « First », terme germanique désignant les chaumes (Garnier, 1994, 2001 a, 2004). Ainsi, la fondation de La Bresse et de Gérardmer à la fin du XIII^e siècle est liée au passage des alsaciens sur le versant lorrain, notamment pour hiverner en contrebas des chaumes (Garnier, 1994, 1998 a). Pour Garnier (2001 a), cet acte entérine officiellement une pratique pastorale avérée dès le début du XII^e siècle.

Durant toute cette période allant du XIII^e au XVI^e siècle, les « Gazons », traduction française de « Wasen » alors employée pour parler des pâturages vosgiens, sont restés en indivision ; ils étaient amodiés, c'est-à-dire loués avec leurs vastes répandises* (pré-bois adjacents) aux alsaciens, principalement ceux du Val Saint Grégoire (vallée de Munster). En contrepartie, les amodiataires (locataires) versaient une redevance en argent aux Seigneurs, ainsi que les fromages et le lait pour un jour de l'année, lors d'une « Journée des Fromages ». Cette redevance sera payée jusqu'à la Révolution française. Pour Boyé (1903), l'importance de l'annuité versée traduit l'importance des activités pastorales dans l'économie locale et extra-locale. Cette activité pastorale s'étant développée, la création et l'extension des pâturages se sont poursuivies par essartage* ou surcenage* (Fig. 2.13).

2.6.3.2. La fin du monopole alsacien

Charles III, duc de Lorraine, engage en 1564 le rachat des chaumes, entraînant des plaintes des habitants du Val Saint Grégoire. En 1571, les habitants de La Bresse, Gérardmer et du Valtin obtiennent les chaumes, au détriment des habitants de la vallée de Munster, qui reçoivent en contrepartie une compensation. Cette date marque la fin du monopole des Alsaciens sur les chaumes lorraines, l'amodiation directe ne se faisant dès lors plus qu'aux Lorrains, même si les Alsaciens ne cesseront pas de mener leurs troupeaux sur les cimes, en arrière-amodiation, ou sous-location (Boyé, 1903 ; Garnier, 1994).



Surcenage* (Garnier, 1994, ill. de Eric Claudon) : les arbres sont cernés pour faire dépérir les arbres sur pied et augmenter par les dépérissements l'étendue des pâturages. L'entaille circulaire pratiquée sur le tronc à une hauteur de 2 ou 3 pieds, soit 90 cm à 1 m environ, à l'aide d'une hache ou d'une serpette, empêche la montée de sève. Quelques années plus tard, les arbres sont secs sur pied, il n'est pas difficile de les abattre car la méthode fait obstacle à la multiplication des rejets et favorise une extraction aisée des racines.

Fig. 2.13 : Scène de surcenage (ill. de E. Claudon ; In : Garnier, 1994)

2.6.4. La Carte Perspective de Thierry Alix (1576-1578)

Des différends concernant les chaumes subsistent entre les ducs de Lorraine et l'abbaye de Remiremont. Thierry Alix, alors Président de la Chambre des Comptes du Duché de Lorraine (Boyé, 1903 ; Garnier, 2004), est chargé d'obtenir un plan fidèle des chaumes et de leurs répandises. Le document qui en résulte (Fig. 2.14) a une importance majeure dans l'histoire des Hautes-Vosges, puisqu'il s'agit du plus ancien document « cartographique » attestant de l'existence de 21 « Gazons » constituant le « Grand Pâturage » (1576-1578). Il est resté, jusque dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, l'unique document cartographique

représentant, sans trop d'erreurs, le massif des Hautes-Vosges, avec de nombreux détails : nombre de chaumes, avec leurs nom, leur localisation... Il faudra attendre l'édition des cartes de Cassini deux siècles plus tard, pour atteindre un tel niveau d'exactitude. Le « *Discours sommaire des hautes chaumes, noms et gistes d'icelles* » nous renseigne sur ces « *fort hautes montagnes dans le mont des Vosges,(...) ez sommetz desquelles sont de forts beaux gazons riches pasturages...* » (T. Alix).

Suite à cette « cartographie », les chanoinesses de l'abbaye de Remiremont cèdent, sous la pression du duc de Lorraine Charles III, la propriété exclusive à la fois des chaumes et des répandises des Hautes-Chaumes, le 23 juin 1579, contre une rente annuelle et perpétuelle et des exemptions d'impôts (Garnier, 1994, 1998 a, 2001 a, 2004 ; Arch. Dép. Meurthe-et-Moselle, B877 n°24 (parch.) - Arch. Dép. Vosges, G879, layette III, liasse G, n°13).

2.6.5. L'apogée du « Grand Pâturage » à la fin du XVI^e et au début du XVII^e siècle (1580 - 1630)

La croissance démographique du XVI^e siècle est forte, entraînant un besoin de terres (Garnier, 2004). Ainsi, le peuplement de la montagne vosgienne se poursuit, notamment grâce aux très nombreux acensements* accordés par le duc de Lorraine et le chapitre de Remiremont. L'acensement est un contrat passé entre un seigneur et son sujet, qui, en contrepartie d'une redevance nommée « cens » et du paiement des droits seigneuriaux, peut devenir propriétaire d'une ferme et exploiter un terrain appartenant au seigneur (Garnier, 2004). Les acensements deviennent une des principales formes de mise en valeur et de colonisation du massif vosgien. Une population de censitaires (sabotiers, charbonniers ...) vient donc s'installer aux confins des finages des communes, ce qui aura pour conséquences des luttes incessantes entre eux et les amodiateurs tout au long du XVI^e siècle (Boyé, 1903). Ils contribueront grandement à transformer les paysages montagnards vosgiens. Les défrichements se font donc dès lors sur deux fronts, celui des acensements d'une part, à partir des villages implantés dans les vallées, et celui des répandises d'autre part, à partir des pâturages sommitaux. Les répandises sont exploitées localement pour l'usage des riverains (combustible, matériaux de construction, clôtures...) et par les charbonniers, et font donc partie intégrante de la Chaume.

Le XVI^e siècle constituera la période d'apogée spatiale, économique et stratégique de ce système agro-sylvo-pastoral (Garnier, 2001 a, 2004), qui se poursuivra jusqu'au début du XVII^e siècle : le « First » sera désigné sous le terme de « Grand Pâturage ». Cette apogée est à la fois spatiale, l'extension étant alors maximum, économique et stratégique : l'élevage prend une place toujours plus prépondérante dans l'économie des communautés montagnardes; il constitue la principale source de richesse des populations, entraînant leur prospérité économique.

Une source datant de 1593, émanant du Président de la Chambre des Comptes Thierry Alix, a été découverte par Garnier (2001 a, 2004) dans les fonds d'archives communales de Munster. Ce document lui permet d'estimer à la fois le nombre de chaumes et la capacité d'accueil de chacun : en 1593, la source recense exactement 23 chaumes, soit 2 de plus qu'en 1576 ; la charge pastorale estimée par Garnier, par recoupements entre différents documents d'archives, est de 1200 vaches séjournant sur les Hautes-Chaumes en été à la fin du XVI^e siècle, ce qui constitue selon lui, une charge pastorale très forte. Pour le site du Hohneck, cette estimation est de 120 à 160 vaches.

2.6.6. Le désastre de la Guerre de Trente Ans (1618-1648) et la rapide reconquête des pâturages

Dès l'envahissement de l'Alsace par les troupes impériales, les Suédois franchissant le Rhin en 1632, la Guerre de Trente Ans, s'étendant à toute l'Europe, a commencé à faire sentir ses bouleversements. Toutes les chaumes sont abandonnées du côté alsacien dès l'été suivant (1634), alors que les Lorrains y resteront une année de plus (Garnier, 2004). Peste et famine se succèdent (1614, 1629, 1630, 1632, 1640). Les sources citées par Garnier (2004) mentionnent toutes un abandon des terres les plus excentrées par rapport aux villages entre les années 1630 et les années 1680, et entre 1630 et 1660 d'après Uhlrich *et al.* (1988). Les pâturages d'altitude, auparavant convoités par les Alsaciens et les Lorrains, sont victimes d'un phénomène de fermeture du fait de la reconquête forestière dans ce laps de temps (Dion, 1985). Garnier (1998 a) quant à lui, n'hésite pas à parler, à la fin du XVII^e siècle, de chaumes confrontées à une « reconquête forestière de grande ampleur ». Bien que le Traité de Westphalie close la Guerre de Trente Ans en 1648, le retour au calme n'est qu'apparent en Lorraine. La crise profonde se prolonge.

En juin 1656, seules quelques chaumes sont réinvesties, mais ne génèrent pas de profit, le bétail manquant et les broussailles ayant envahi les pâturages. La réoccupation des chaumes se fait donc de façon très lente au cours du XVII^e siècle, et, début XVIII^e siècle, certaines chaumes n'ont toujours pas été réinvesties. D'ailleurs, l'industrie de la transhumance ne recouvrera jamais ni l'activité ni les surfaces exploitées avant la Guerre de Trente Ans.

Garnier (2004) souligne l'importance des répandises* adjacentes aux pâturages dans la réfection des « schopf » et étables et pour le chauffage du lait, et le droit immémorial des locataires des chaumes à disposer des bois de ces répandises*. Il indique qu'une chaume privée de ses bois limitrophes serait irrémédiablement dévalorisée, par une diminution du montant des baux, voire un abandon pur et simple par les locataires.

2.6.7. Les chaumes et forêts adjacentes au XVIII^e siècle

2.6.7.1. Sur les chaumes, une reconquête lente et progressive

Les Vosges ont perdu entre un tiers et la moitié de leur population du fait des désastres du XVII^e siècle. Ces pertes ne seront rattrapées que dans le premier tiers du XVIII^e siècle, siècle au cours duquel la pression anthropique ne cessera de s'intensifier.

Garnier (2002 c, 2004) souligne le rôle et l'importance des immigrants helvétiques dans le redressement de l'élevage et la reconquête de terres abandonnées. Une politique de repeuplement de l'Alsace a en effet lieu au XVIII^e siècle, voire dès les années 1680. Les marcaires, appelés Melker, Malkar ou Marquard en Alsace, et francisés en Marcaire en Lorraine, sont généralement de confession anabaptiste, émigrés suisses issus du canton de Berne (Garnier, 2002 c). Ainsi, le XVIII^e siècle est marqué par une reprise très importante de l'exploitation des chaumes, qui durera jusqu'à la Révolution Française. D'autant plus que la 2^e moitié du XVIII^e siècle est marquée par une explosion démographique (Garnier 2004). La création de nouveaux pâturages ou Wasen, devenue impérative, nécessite des autorisations au cours de la deuxième moitié du XVIII^e siècle. Vers 1770, le mouvement de reconquête est globalement achevé, c'est alors que débute la phase de conquête proprement dite.

2.6.7.2. Les menaces qui pèsent sur la forêt

Alors que le début du XVIII^e siècle n'est pas encore marqué par des défrichements excessifs, la dégradation des forêts s'accroît très nettement au cours de ce siècle.

- La forêt est de plus en plus menacée, notamment par les acensements et par des défrichements souvent illicites (Garnier, 1994). Les délits forestiers se multiplient. Sur les chaumes, l'essartage* est discret mais méthodique. Avec le surcenage* (Fig. 2.12) et parfois le charbonnage opportuniste - la nécessité d'agrandir un pâturage devenant une occasion de charbonner - il s'agit des méthodes les plus usitées (Garnier, 1994) qui permettaient une extension des pâturages.
- Mais la région est surtout marquée par le développement d'industries très grandes consommatrices de bois. L'activité verrière se développe dès le premier tiers du XVIII^e siècle (Garnier, 2004) : des verreries sont fondées, à Wildenstein en 1699 (Rosenblatt, 1989), mais aussi à Saint Antoine et à la Vieille-Hutte (Franche-Comté) par exemple. De même, les compagnies minières créées à partir de 1734 dans la vallée de Saint-Amarin notamment, et concomitamment les industries métallurgiques (forges et fonderies...) prolifèrent dans les vallées vosgiennes. Ces industries, très grandes consommatrices de bois, sont autorisées à défricher et à exploiter de façon intensive les forêts, au détriment des populations locales, qui voient leurs droits sur les forêts se réduire. Or le bois constitue le seul combustible, alors indispensable à chacun pour les besoins domestiques (cuisson des aliments, chauffage...) ou de construction, de réparation des maison, ou d'artisanat.
- Cette surexploitation forestière a aussi eu pour conséquences indirectes, à partir des années 1740, un certain nombre d'événements catastrophiques, notamment de nombreux chablis sur le versant alsacien, dont l'origine est pour partie liée à la politique forestière en coupes réglées et en arbres réservés menée à l'époque (Garnier, 2000, 2002 a). En effet, ces coupes ont pour effet de canaliser le vent et d'en renforcer les effets sur les arbres d'une forêt clairsemée.

2.6.7.3. Le siècle des règlements

Face à cette forêt menacée est mise en place une administration forestière dont la prépondérance ira croissante (Boyé, 1903 ; Garnier, 2004).

Les répandises* en particulier ne sont plus considérées comme une dépendance des Gazons, mais comme une dépendance des bois qui les circonscrivent. Tout essartage nécessite donc une autorisation préalable. Parallèlement, la vaine pâture et l'usage du bois y sont supprimés. Un abornement des gazons entre chaumes et répandises* est effectué.

L'Ordonnance de Colbert de 1669 concernant les forêts ne sera suivie d'effets dans la région qu'un siècle plus tard, avec la mise en place d'un règlement datant de 1761, marquant un tournant décisif en Alsace (Garnier, 2004). Le taillis sous futaie est imposé ; il y a mise en défens et processus d'exclusion liés au droit d'affouage*, exclusion du bétail (le pâturage sous forêt est interdit), ce qui entraîne une recrudescence des délits avant 1789. Des cantonnements* sont mis en place, seule solution trouvée par la seigneurie pour protéger sa forêt. Quant au règlement du Duc Léopold en 1701, il vise des mesures de protection de la forêt, notamment contre l'écobuage*, très fréquent dans le massif vosgien, et contre la vaine pâture. Des mesures de répressions sont prises (Garnier, 2004).

2.6.7.4. Les cartes des Cassini

Ces cartes ont été éditées en couleur au 1/86 400^e entre 1754 et 1766 pour les secteurs qui nous intéressent (Bâle, Neuf-Brisach, Colmar, Luxeuil et Mirecourt-Epinal), et rééditées en noir et blanc dans les années 1815. Ces cartes nous apportent un certain nombre d'informations en terme de topographie, de végétation et d'anthropisation du milieu (routes, villages, fermes...). Les fermes d'altitude et les pâturages attenants y sont relevés (Fig. 7.2 et 7.6), comme par exemple les fermes de Balverche, du Haut et du Bas Chatelet ou de Bretzouse, sur la ligne de crête du massif du Hohneck.

2.6.8. La Révolution française et le XIX^e siècle

Les forêts sont, à la veille de la Révolution française, dans un très mauvais état, souvent réduites à des taillis ou des broussailles; les excès et dévastations y sont généralisés. Cette crise forestière, qui n'a fait que s'accroître au cours du XVIII^e siècle, atteindra son apogée au début du XIX^e siècle. En effet, c'est à partir de 1789 que se met en place une sylviculture intensive à l'origine de la fragilisation des écosystèmes montagnards (Garnier, 2004). En Alsace, les coupes réglées se généralisent. Le domaine de l'arbre ne cessera de régresser jusqu'à la deuxième moitié du XIX^e siècle, sous les coups répétés des paysans et des industriels, malgré certaines mesures précoces de reboisements vers 1800-1820, et la mise en place progressive d'une nouvelle politique de gestion forestière, menée par l'Ecole des Forêts de Nancy, créée en 1824.

Le début du XIX^e siècle constitue aussi la période d'extension maximale des terres agricoles dans le massif vosgien. Par la suite, ce seront les terrains les moins rentables pour l'agriculture qui seront reboisés les premiers (Koerner, 1999).

A partir de 1850-1860, les futaies régulières remplacent progressivement les taillis, et les futaies régulières les futaies jardinées. Les résineux sont avantagés, pour leur pousse rapide, leur meilleure défense contre le gibier, leur exploitation et leur entretien faciles. Cet enrésinement, surtout en plantations monospécifiques d'épicéas, entraîne souvent une acidification des sols. Les paysages ont alors tendance à se refermer, du fait des abandons de terrains agricoles.

Concernant les espaces pastoraux, la deuxième moitié du XIX^e siècle est marquée par un net déclin du pastoralisme, d'autres activités plus lucratives (industries textiles dans les vallées, etc...) le remplaçant (Garnier 1998 a ; Koerner, 1999). Les fermiers passent alors à des pratiques intensives, en cherchant à atteindre un maximum de productivité des prés de fauche, et en pratiquant la stabulation permanente, c'est-à-dire en gardant leur bétail en étable (Koerner, 1999). L'extension des pâturages se réduit, les paysages ont tendance à se refermer.

2.6.9. L'époque contemporaine (XX^e siècle)

L'évolution des paysages des Hautes-Vosges au courant du XX^e siècle est principalement marquée par :

- le renforcement de la déprise agricole débutée au XIX^e siècle. Ceci s'est traduit par une régression de l'agriculture dans les vallées, avec pour conséquence une forte diminution des troupeaux (Reitzer, 1990) ;
- l'accélération du mouvement de disparition, par abandon ou destructions, de nombreuses

fermes et marcairies et de leurs pâturages au cours des deux Guerres Mondiales ; par la suite, de nombreux secteurs ont subi donc une régression rapide des espaces ouverts à partir des années 1950 (Adam, 2002) ;

- parallèlement, une très nette progression des surfaces forestières, au travers de boisements en timbre-poste et de recolonisations spontanées de ligneux (Sell *et al.*, 1998). Les friches liées à l'abandon de l'agriculture et du pâturage en montagne dans de nombreux secteurs se multiplient.

Malgré cette évolution régressive globale des espaces ouverts au cours du XX^e siècle et une reprise économique difficile après la 2^e Guerre Mondiale, une stabilisation est actuellement en cours puisque :

- le pastoralisme estival sur certaines chaumes a pu être maintenu jusqu'à nos jours ;
- une redynamisation des Hautes-Chaumes a été possible grâce à l'essor du tourisme, dont les premières origines datent du XIX^e siècle ; le Club Vosgien a été créé de manière précoce dès 1872. De nombreuses marcairies ont été transformées ou reprises sous forme de fermes-auberges, ce qui permet incontestablement de maintenir de nombreuses chaumes ouvertes.

2.7. L'apport de la toponymie

Les toponymes alsaciens et lorrains peuvent constituer un apport intéressant dans la connaissance de l'histoire de l'anthropisation des milieux lorsqu'ils se rapportent aux différents modes de mise en valeur et d'exploitation de l'espace : défrichements par surcenage, par essartage, défrichements par le feu, présence de mines, de fonderies, etc. Dans le secteur du Rossberg, les toponymes faisant référence à l'utilisation du feu ont déjà fait l'objet d'une étude (Goepp *et al.*, 2007).

2.7.1. Les indices toponymiques de défrichements

Les suffixes les plus courants tels que « -roedern », « -rodern », de l'allemand « défricher », « -rott » et « -hart » font allusion à des défrichements (Juillard, 1953). Ils sont nombreux autour du massif du Rossberg, entre les vallées de la Thur et de la Doller, où ils apparaissent dans les toponymes Rotenbrand, Rotherberg, Rothhütel, Rothrunz, Rotacker et le village de Roderen. Le verbe allemand « kerben » signifiant aussi « défricher » se trouve sous la forme de Kerbholzkopf, dans la commune de Sultzeren, Kerbholz, au nord du col d'Hannenbrunnen et au nord du Markstein, ou encore Kerbachwald, au nord de Rimbach.

On peut noter aussi l'existence de quelques toponymes se rapportant au surcenage*, toujours localisés dans la haute vallée de la Vologne (Gérardmer) : le Surceneux et le Col du Surceneux au nord-est de Xonrupt-Longemer, le Cerceneux au nord-ouest et à l'est de La Bresse, le Cerceneux Mougeon au nord de Gérardmer et enfin le Cerceneux Marion au sud-est de Gérardmer.

Les acensements* constituent de bons indicateurs de l'ampleur du phénomène de conquête forestière aux XVI^e et premier tiers du XVII^e siècles, ainsi qu'au XVIII^e siècle (Garnier, 2004). Le versant vosgien a été davantage touché par la mise en place de ces espaces pionniers ;

on note les toponymes l'Acensement au sud-ouest de La Bresse et au sud-ouest de Gérardmer, les Ruines l'Acensement au sud-ouest de Cornimont, et l'Acensement de la Hutte au nord-est de Bussang.

D'autres termes sont ceux de Beurheux, Breux, Breuches ou encore Breuil. Les beurheux - Beurheux Bontemps au sud-ouest de Saulxures, Beurleux au sud-ouest de Plainfaing, le Breux au nord-ouest du Grand Valtin - se définissent dans les Vosges, comme des essarts*, clôturés par des murets en pierres sèches, et servant ensuite de prés pour le bétail. Ce « bocage lithique » est bien représenté dans le secteur de La Bresse. Au sud de Bussang, on trouve les toponymes de Breuil et de Prés le Breuil au sud-ouest de Giromagny.

2.7.2. Les défrichements par le feu

La toponymie peut aussi traduire l'utilisation du feu, en dehors de la fabrication de charbon de bois. Pour preuve, l'utilisation de toponymes originaires de l'allemand « brennen », « brûler » sont courants. Employé comme tel, le terme Brand, visible au sud de Husseren et au sud de Moosch, peut aussi constituer le préfixe Brand-, avec Brandwald au nord de Rimbach, Brandkopf et Brandschlucht au sud de Husseren, Brandenfels au sud-sud-ouest du Grand Ballon, Brandwaldkopf au nord-est de Thann, Brandeskopf au nord de Wegscheid, ou encore Rotenbrand au Rossberg. Le préfixe Brenn- est employé dans les termes Brennwald au nord-ouest d'Urbès, Brennaeckerle dans la haute vallée de la Petite Fecht, qui font eux aussi allusion à des terrains défrichés par le feu. On retrouve l'équivalent français sous la forme de la Brûlée (nord-ouest du Grand Valtin), le Bruleux (sud de la Bresse), le Mont Brûlé (nord-ouest de Rougemont), le Breuleux et le Champs du Breuleux (nord-est de Lachapelle), et Leu Breulet (est de Ventron).

2.7.3. Les indices d'activité charbonnière

Les toponymes commençant par Kohl-, « charbon » en français, et les termes faisant référence à l'activité charbonnière des XVIII^e et XIX^e siècles se retrouvent de façon très importante sur le massif du Rossberg ou alentours, avec des toponymes tels que Kohlgrubenkopf (nord-ouest du Rossberg), Kohlwald (sud-ouest de Bitschwiller), Kohlerwasen (nord du Thanner Hubel), Kohlgrube (sud-ouest de Kirchberg) et Kohlberg (est de Bourbach). Au débouché de la plaine, à Sentheim, s'ajoutent encore les toponymes Kohlerplon, Kohlmatten et Kohlacker. Les expressions françaises équivalentes restent localisées au massif du Gresson, où l'on voit apparaître le lieu-dit « les Charbonniers », le ruisseau du même nom, le Col ainsi que la Tête des Charbonniers. Toponymes que l'on retrouve localisés dans la région de Gérardmer sous la forme de noms de lieux-dits : la Charbonnière, les Charbonnières, Charbonichamp et Pré Charbon.

2.7.4. Les autres toponymes

De nombreux autres termes constituent des indices de localisation de mines (« Grum », « Grund »), de fonderies (« Schmelz »), de forges (« Schmitt »), de verrières ou encore de fourneaux. Pour exemples, les toponymes qui traduisent ces activités sont par exemple, pour la région de la vallée de la Thur, Teufelsgrund (mines au Steinby au-dessus de Thann), Schmelzmatt, à Oberbrück, Schmelz à Bitschwiller et Metzeral, ou encore Schmittmatt à

Bourbach-le-Haut. Le secteur de Saint Maurice au sud du Thillot, est lui aussi riche en toponymes de ce genre : le Chemin de la Fonderie, la Goutte des Forges, la Goutte Verrière ou encore la Tête des Fourneaux...

2.8. Synthèse

Cette partie constitue une synthèse chronologique, à partir d'éléments bibliographiques, des connaissances permettant d'associer l'évolution et l'histoire de la végétation dans les Vosges, sur la période Holocène, avec le rôle à la fois des variations climatiques et de l'anthropisation de ces milieux « naturels » à partir du Néolithique.

2.8.1. La variabilité climatique holocène

A l'échelle mondiale, Mayewski *et al.* (2004) comparent environ 50 enregistrements climatiques différents, qui livrent globalement six périodes de changements climatiques rapides au cours de l'Holocène, marqués par des phases de refroidissements avec une humidité variable, suivies d'un réchauffement. Les principales phases de refroidissement auraient eu lieu entre 9000 et 8000 cal BP, entre 6000 et 5000 cal BP, puis entre 4200 et 3800 cal BP, entre 3500 et 2500 cal BP, entre 1200 et 1000 ans BP et enfin entre 600 et 150 cal BP, soit la période du Petit Age Glaciaire (PAG) entre 1350 et 1800 ans cal AD. Les caractéristiques de ces périodes sont un rafraîchissement polaire, une aridité tropicale, des changements majeurs de la circulation atmosphérique, et pour le PAG, une augmentation de l'humidité d'une partie des tropiques. Pour Mayewski *et al.* (2004), plusieurs intervalles coïncident avec des ruptures majeures de civilisation.

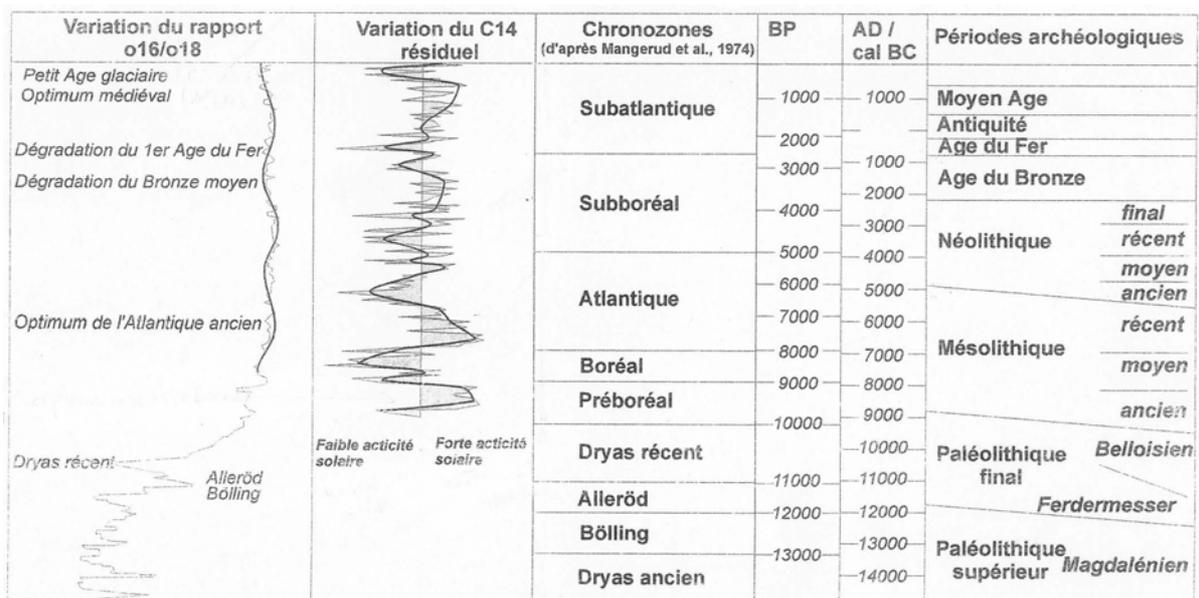


Fig. 2.15 : Synthèse chronologique et correspondances entre périodes (d'après Magny, 1995, Mangerud et al., 1974, modifié) sur le Tardiglaciaire et l'Holocène

Mais ces périodes de refroidissement ne semblent pas correspondre aux estimations faites à l'échelle régionale. En effet, à l'échelle du Nord-Est de la France, les travaux de Magny (1994) effectués dans le Jura mettent en évidence cinq phases majeures de détérioration climatique, culminant vers 1500 - 1700 cal AD, 750 cal BC, 3450 cal BC, 5200 cal BC et 7500 cal BC. Selon Magny (1994), deux périodes de l'Holocène se distinguent : au cours de la première (9700 à 6000 cal BC) les oscillations climatiques brutales seraient liées à un forçage océanique, alors que la seconde, à partir de 6000 cal BC, correspondrait à une période de changements climatiques plus progressifs qui seraient liés à un forçage solaire.

2.8.2. Les relations entre formations superficielles holocènes et anthropisation du milieu

Les études soulignant les impacts anthropiques sur l'activité morphogénique des versants et vallées vosgiens et sur les paysages, documenté par les sédiments colluviaux et alluviaux, sont relativement rares. Mäckel *et al.* (2003) estiment qu'au Subboréal et au Subatlantique, à savoir entre 3800 cal BC environ et l'actuel, soit depuis le Néolithique moyen, plusieurs phases de détériorations climatiques ont provoqué des changements de l'utilisation du sol et de l'intensité des processus géomorphologiques comme l'érosion des sols.

2.8.2.1. A l'échelle régionale

Dans la vallée de la Moselle, la dynamique fluviale semble être restée importante au moins jusqu'au début du Boréal. Carcaud (1990) et Richard (1990) notent en effet quelques mètres de dépôts grossiers déposés dans des chenaux alluviaux de la Moselle dans le secteur de Vandières. Un changement du mode d'écoulement du cours d'eau a lieu ensuite au cours du Boréal/début de l'Atlantique, se traduisant par une phase d'envasement et de stabilisation. Du début du Boréal au Néolithique final, le fond de vallée de la Moselle connaît donc une certaine stabilité morphoclimatique (boisement du fond de vallée).

Dans la vallée de la Meurthe, ce changement de dynamique alluviale serait postérieur à la première partie de l'Atlantique, puisque Kowalski *et al.* (1990) ont observé 5 m d'alluvions grossières liées à des crues brutales à Chavelot (Vosges), postérieurement à 7125 ± 70 ans BP, qui correspond à la datation d'un tronc fossile de chêne.

Le secteur de Vandières, dans la vallée de la Moselle, est marqué par une recrudescence des crues a lieu à partir du Néolithique final (Campaniforme) et du Bronze. Elle est attestée par la présence de restes archéologiques au sein des paléo-chenaux (Carcaud, 1990 ; Richard, 1990).

A l'inverse, au Bronze, Mäckel *et al.* (2003) notent une absence de sédiments dans les principales vallées de la Forêt Noire, donc des conditions particulièrement stables, malgré un climat plus humide et plus frais en deuxième partie du Bronze. De même, Buzzi *et al.* (1993) notent, dans le lit majeur de la Moselle à Crévéchamps, un important niveau d'occupation au Bronze moyen puis du Bronze final au 1^{er} âge du Fer, dont l'apogée a lieu respectivement vers 3450-3250 cal BP et 2800-2400 ans BP environ. Ce niveau traduit la stabilité et le « calme » hydrologique du cours d'eau, en relation avec un relatif assèchement au Subboréal, avant un retour des inondations durant une partie du Subatlantique, à partir de 2400 ans BP, au cours duquel se déposent 60 à 70 cm de limons de débordement, postérieurement à l'abandon du site.

A la transition Bronze/Fer, les conditions climatiques deviennent plus fraîches et plus

humides (dégradation du 1^{er} âge du Fer), ce qui provoque une incision des cours d'eau dans le sud du Bade-Wurtemberg (Mäckel *et al.*, 2003). En Forêt Noire, Mäckel *et al.* (2003) notent des déforestations pour la première fois à une échelle aussi large à l'âge du Fer, attestées par les nombreuses découvertes archéologiques des dépôts alluviaux.

En Forêt Noire et en plaine du Rhin supérieur, les installations de la période du Hallstatt (1^{er} âge du Fer) se situaient principalement dans les aires de culture les plus favorables (Mäckel *et al.*, 2003).

A la période de La Tène, l'influence humaine croît avec les densités de population : diminution de la forêt, augmentation des aires agricoles, activités minières..., ce qui provoque des effets sur la végétation et les processus géomorphologiques, créant une augmentation de l'érosion au pied de la Forêt Noire (Mäckel *et al.*, 2003). De même, Ménillet (1982) note l'existence de 5 à 6 m de dépôts de sables et de graviers holocènes, comprenant du matériel archéologique de La Tène et historique, ce qui traduit un remblaiement rapide d'un ancien chenal principal du Rhin en plaine.

Des reliques romaines des I^{er} au IV^e siècles AD sont trouvées dans les vallées de Forêt Noire, traduisant des processus morphodynamiques d'érosion/dépôts de grande ampleur (Mäckel *et al.*, 2003) : l'augmentation des déboisements, l'intensification de l'agriculture et des exploitations minières provoquent une augmentation de l'érosion, malgré un climat plus sec et plus chaud qu'à La Tène (optimum climatique de la période romaine).

Avec le retrait des Romains entre les IV^e et VI^e siècles AD, seuls les espaces les plus favorables restent exploités par les Alamans (Mäckel *et al.*, 2003). La diminution des densités de populations, l'abandon des terres, des mines, la diminution des cultures, et l'augmentation des prés et pâturages, permettent la régénération partielle des forêts, ce qui se traduit par une stabilisation des versants, d'où l'absence de sédiments alluviaux dans les vallées de la Forêt Noire, malgré une période de péjoration climatique (rafraîchissement considérable).

2.8.2.2. A l'échelle locale

Les études concernant les formations superficielles à l'échelle locale, à savoir au niveau des hauts-bassins versants de la Fecht, à savoir la Wormsa et le Frankenthal, de la Moselotte, du Chitelet, sont rares. Elles ne concernent généralement pas la période Holocène, mais les périodes du pléniglaciaire et du Tardiglaciaire (André, 1991 ; Mercier *et al.*, 1999 ; Flageollet, 2002 ; Mercier & Jeser, 2001 ; Mercier *et al.*, 2001 ; Andréoli, 2003 ; Mercier & Jeser, 2004 ; Andréoli *et al.*, 2006).

Casner (2002) s'est intéressé aux formations superficielles du bassin-versant du Chitelet, sur le versant occidental du massif du Hohneck, au pied du Falimont. Il met en évidence certaines évolutions morphogéniques du bassin, dont nous discuterons dans la constitution des scénarios d'évolution des paysages de Hautes-Chaumes (chapitre 8). Quoi qu'il en soit, ces évolutions sont orientées par le climat et/ou par l'Homme.

2.8.3. Conclusion

Les dépôts holocènes sont finalement peu nombreux, ont été peu étudiés de façon globale dans les Vosges et souvent pas ou peu corrélés avec l'anthropisation du milieu. Il s'agit donc d'une lacune importante dans les travaux de recherche sur les paléoenvironnements en terme d'analyse géomorphologique pour l'Holocène. Comme l'indique Bravard (2002), le

Nord et l'Est de la France sont, en géoarchéologie, aujourd'hui encore sinistrés. Globalement, la dynamique sédimentaire à l'Holocène se caractérise selon Magny & Bravard (2002) par :

- une stabilisation des versants et une diminution de la charge sédimentaire des cours d'eau ;
- une instabilité relative des conditions environnementales tout au long de l'Holocène, avec une succession d'oscillations climatiques d'ordre pluriséculaire ;
- un impact croissant de l'Homme sur le milieu, conduisant à un accroissement des volumes sédimentaires piégés dans les lacs, les fonds de vallées, les cônes de déjection ;
- des incisions et des formations superficielles holocènes et/ou würmiennes de faible ampleur, de quelques mètres seulement.

2.9. Conclusion

Les gestionnaires des espaces naturels soulèvent actuellement un certain nombre de questions concernant les Hautes-Chaumes des Vosges et leur environnement. En premier lieu celle des évolutions futures de ces chaumes, mais aussi des influences anthropiques passées sur ces milieux dits « fragiles ». Leur constat actuel est celui d'une déprise agricole et pastorale depuis les dernières décennies, provenant de la tendance générale à une diminution des activités humaines, amorcée dès le XIX^e siècle, et qui n'a fait que s'accroître au cours du XX^e siècle. Il en résulte un (ré)enrichissement réel et relativement rapide de certains secteurs jusqu'à présent ouverts, en particulier ceux pour lesquels l'abandon des activités humaines y est total (espaces « protégés »). Cela se traduit notamment par une physionomie particulière de la limite supérieure de la végétation forestière, avec une tendance nette à un envahissement des pâturages par des espèces ligneuses tels les sorbiers, hêtre, sapin, érable... Par le passé, ces alternances d'ouverture et de fermeture ont déjà eu lieu, nous en avons des preuves historiques, mais nous n'en connaissons souvent ni les modalités, ni les moteurs, encore moins pour les périodes préhistoriques, pour lesquelles nous avons peu de moyens d'investigations. Les rôles respectifs du climat sur le long terme, et de l'Homme sur un plus court terme, sont difficiles à décrypter. Néanmoins, il est évident que le rôle de l'Homme n'a fait que s'accroître au cours des derniers millénaires, en particulier à partir du Néolithique.

La connaissance à la fois historique et botanique des chaumes est relativement bonne. En effet, les archives historiques sont riches en informations. De même, ces milieux sont bien connus en terme d'associations végétales et de phytosociologie, puisque très souvent et bien étudiés, ceci dès le XIX^e siècle.

Pourtant, dans de nombreux cas, notre connaissance des Hautes-Chaumes des Vosges reste très lacunaire. Sur le plan géomorphologique par exemple, le manque de données en terme de relations possibles entre anthropisation (défrichements...) et crises érosives (dépôts holocènes) pose un réel problème, à la fois de calage chronologique des événements morphologiques et de calage entre ces événements et l'anthropisation du milieu. En palynologie, les études menées sont souvent anciennes, parfois non calées

chronologiquement par des datations, et ne permettent pas une précision spatiale adaptée aux quelques centaines d'hectares de chaumes auxquelles nous nous intéressons. En terme d'anthropisation, les sites archéologiques étudiés sont cantonnés au mieux dans les fonds de vallées, très à l'aval de la ligne de crête principale, voire en plaine. Quant aux études pédologiques dans les Vosges, hormis Guillet (1972) et Koerner (1999), elles abordent rarement les questions relatives aux paléoenvironnements, même si les sols des Hautes-Chaumes ont été étudiés classiquement dès les années 1950.

Ainsi, quels que soient les disciplines et les auteurs, nous devons faire face à de nombreuses lacunes, tant spatiales, réduites aux Hautes-Chaumes, que temporelles, par la raréfaction des indices d'anthropisation antérieurement aux périodes historiques.

DEUXIEME PARTIE

METHODES ET SITES D'ETUDE

CHAPITRE 3

MATERIEL ET METHODES

Notre objectif étant d'étudier les Hautes-Chaumes sur plusieurs millénaires, les méthodes d'analyse de l'évolution de cet objet géographique nécessitent donc à la fois :

- une résolution temporelle longue couvrant si possible l'Holocène, ce qui peut nécessiter de juxtaposer plusieurs méthodes différentes ; l'échelle chronologique choisie étant très large, certains marqueurs risquent d'être exclus de notre analyse ;
- une résolution spatiale fine, à l'échelle des Hautes-Chaumes.

Parmi les marqueurs utilisables à des fins paléoenvironnementales, notons que :

- les archives sédimentaires sont rares dans les Vosges. En particulier, rares sont les dépôts alluviaux qui auraient pu être corrélés à des phases d'érosion liées aux défrichements, comme dans les Alpes, les Pyrénées, le Midi. Les quelques dépôts observables sont récents (Englert, 2001 ; Casner, 2002) ou au contraire très anciens, tels les dépôts morainiques des dernières phases de glaciations (Flageollet, 2002 ; Andréoli, 2003 ; chapitre 2.2). De plus, les résultats de l'analyse des dépôts sédimentaires donnent des images relativement régionales de l'évolution des paysages ;
- l'analyse des pollen de tourbières, bien qu'apte à répondre à la question des paléoenvironnements à une échelle temporelle longue (Holocène), est mal adaptée à l'échelle spatiale à laquelle nous souhaitons obtenir des informations, à savoir à l'échelle des chaumes. Bien qu'un certain nombre d'analyses palynologiques ait déjà été effectué sur les Hautes-Vosges, ce type d'analyse pose des problèmes spécifiques, notamment celui de la provenance des pollen (chapitre 2.1) ;
- la géoarchéologie, qui correspond à l'étude du « contenant » (sols, sédiments...) de sites archéologiques constitue une discipline « montante » faisant collaborer archéologues et « naturalistes ». Cependant elle reste peu développée dans le Nord de la France, et reste cantonnée aux sites archéologiques et à leur environnement proche. De plus, elle est mal adaptée ici pour des raisons d'absence des matériaux archéologiques sur les sommets et les crêtes.

Ainsi, seules les méthodes abordant l'analyse de marqueurs de paléovégétations à des échelles locales sont susceptibles de nous apporter des éléments de réponses. L'utilisation des archives pédologiques est donc la méthode la mieux adaptée, bien que celles-ci puissent parfois poser problèmes, les processus de bioturbation entraînant un mélange des marqueurs au sein des profils de sols. En outre se pose le problème de la résolution temporelle, qui ne peut être résolu qu'en employant des marqueurs dont la conservation dans les sols est suffisamment bonne et longue, afin d'obtenir des réponses sur des temps longs. Ainsi, le choix des méthodes employées se restreint globalement aux marqueurs

pédologiques, hormis quelques analyses de sédiments ou de tourbes qui auraient pu être effectuées localement. Parmi les marqueurs de végétation présents dans les sols, notons que l'analyse des pollen n'a pas été retenue : outre leur mauvaise conservation dans les sols acides et en milieu aérobie, nous considérons que cela pose des problèmes de mélange, hormis dans le cas particulier des podzols (Guillet, 1972). Par contre, plusieurs autres marqueurs se conservant dans les sols ont été testés : charbons de bois, phytolithes, monomères des lignines, $\delta^{15}\text{N}$... afin de déterminer les potentialités de leur analyse dans le cadre de notre étude. Bien que ces marqueurs puissent constituer des indicateurs parfois précieux sur la connaissance des milieux naturels, ils ne donnent pas tous satisfaction en terme paléoenvironnementaux. Ainsi, c'est finalement l'analyse de charbons de bois des sols (pédoanthracologie) qui a retenu le plus notre attention puisqu'elle constitue selon nous la méthode la plus probante.

En résumé, nous nous basons sur trois grands types de méthodes d'analyse paléoenvironnementales, qui se différencient selon les sources disponibles et selon leurs temporalités respectives :

- d'une part, aux échelles de temps longues - pluriséculaires à plurimillénaires - seules certaines archives naturelles ont été retenues : charbons de bois, phytolithes, monomères des lignines (voir *supra*) ;
- d'autre part, un ensemble de méthodes dont la temporalité est courte à moyenne - décennale à pluri-séculaire - est facilement exploitable : étude de photographies aériennes, de cartes postales et de cartes anciennes, de documents d'archives, qui constituent un ensemble d'archives historiques.
- Enfin, des investigations de terrain ont aussi été effectuées : ainsi, des enquêtes sur les feux de forêts (Diarra, en cours), mais aussi des cartographies de charbonnières (Goepf, 2000) et de micro-topographies (Cloitre, 2005 ; 2006), ainsi que des analyses de la végétation (Morang, 2006 ; Wiederkehr, 2006). Ce travail sur l'actuel permet de tenter de corréler les processus actuels aux processus anciens : processus d'évolution de la végétation, des sols, des pratiques culturelles ou pastorales etc. Ces investigations de terrain, qui *a priori* semblent secondaires, constituent pourtant une démarche importante, l'observation des faits de terrain étant susceptibles de nous permettre de remonter aux causes des phénomènes et aux processus (Bravard, 1997).

3.1. Analyse des archives pédologiques

3.1.1. Caractérisation des sols

Des prélèvements de sols ont été effectués par horizon pour les analyses de caractérisation courantes. En plus des observations de terrain, des analyses courantes permettent d'avoir une idée plus précise de la nature des sols, au travers des $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et pH_{KCl} , matières organiques (MO), teneurs et stocks de carbone (C) et parfois d'azote (N), densités apparentes (ρ) et texture par granulométrie laser. Le protocole analytique de ces analyses sont reportées en Annexe 8. Ces caractérisations de sols sont présentées dans le chapitre 4

sous forme de fiches individuelles par profil. Quatre profils ont été étudiés au Rossberg et 11 dans le massif du Kastelberg - Hohneck - Falimont - Trois-Fours. Les prélèvements ont été effectués soit par horizon afin de caractériser chimiquement et physiquement ces sols, soit de façon systématique, selon des prélèvements identiques à ceux effectués pour la pédoanthracologie (voir *infra*).

Notons que les stocks de carbone organique calculés notamment à des fins de comparaison avec les stocks de phytolithes se font selon le calcul suivant :

$$QC_i = \rho_i \times C_i \times D_i \times (1 - S_i) \times 10000$$

QC_i : quantité de carbone du niveau i (t/ha ou g/kg)

ρ_i : Densité apparente des éléments < 2 mm du niveau i (t.m⁻³)

C_i : proportion de carbone dans la fraction fine < 2 mm (‰)

D_i : épaisseur du niveau i (m)

S_i : proportion (en volume) des éléments grossiers > 2 mm (%)

3.1.2. L'analyse pédoanthracologique

3.1.2.1. Principes généraux

Le terme de pédoanthracologie a été créé par M. Thinon (1978) pour définir l'étude des charbons de bois des sols. Il s'agit d'une méthode de reconnaissance des espèces ligneuses. Jusqu'alors, seule l'anthracologie était souvent employée à des fins d'études archéologiques, de sédiments ou de paléosols. Les charbons enfouis dans les sols ont jusqu'à présent fait l'objet de peu d'études, hormis celles de Thinon (1992), de Carcaillet (1996, 1998, 2001 a, 2001 b, etc), de Talon (1997 ; Talon *et al.*, 1998), de Carnelli (2002), Carnelli *et al.* (2004) pour les Alpes, de Bal (2006) pour les Pyrénées, de Vernet (Vernet, 1991 ; Vernet *et al.*, 2002) pour les milieux méditerranéens. La pédoanthracologie permet de répondre en même temps à nos deux problèmes : (i) de résolution spatiale : l'ubiquité des charbons dans les sols et celle des sols eux-mêmes constituant les avantages de la méthode ; (ii) de résolution temporelle : la longue conservation des charbons et la facilité de leur datation ¹⁴C par AMS (Accelerator Mass Spectrometry, ou Spectrométrie de Masse par Accélérateur), malgré leur petite taille, constituant les autres avantages majeurs de la pédoanthracologie. Il s'agit d'un des seuls moyens de dater les feux anciens, donc de caler chronologiquement un événement particulier qui concerne directement la végétation ligneuse.

Précisons que les sols étudiés sont biologiquement actifs, ce qui entraîne un brassage des charbons de bois au sein du profil. Les charbons des sols sont généralement de petite taille, ce qui entraîne la nécessité d'utiliser des critères particuliers d'identification (voir *infra*).

3.1.2.2. Méthode de prélèvements

La méthode employée et décrite ici est celle utilisée par Thinon (1992) et reprise par Carcaillet & Thinon (1996) puis Talon *et al.* (1998). Les protocoles de prélèvements et d'extraction des charbons sont détaillés en Annexe 9. Des prélèvements systématiques de

sols sont effectués, d'environ 10-12 kg de sol par niveau, sur 5 cm d'épaisseur. Dans certains sols, nous prélevons tous les 10 cm (soit un niveau sur deux), dans d'autres tous les 5 cm (prélèvement systématique). Le choix est fonction de l'épaisseur et de la nature du sol. Les échantillons sont séchés à l'air libre puis pesés. Ils sont ensuite brassés avec de l'eau dans une cuve rotative, puis tamisés dans 3 tamis successifs (5 mm, 2 mm, et 0,4 mm), la fraction « légère », contenant la plupart des charbons, étant mise de côté au départ. Les charbons de cette fraction « légère » sont triés sous une loupe binoculaire, les charbons des autres fractions, sous le flux d'une colonne d'eau, par séparation densimétrique. Un nettoyage de chaque charbon à observer est préconisé et souvent nécessaire. En effet, les charbons ayant séjourné très longtemps dans le sol sont couverts de particules fines (argiles) et de matières organiques (racines parfois insinuées dans les pores des charbons).

3.1.2.3. Méthode de détermination

La détermination de chaque charbon de bois est possible par observation microscopique et une comparaison avec :

- une anthracothèque de référence : des échantillons de rameaux d'espèces connues, si possible régionaux, sont référencés selon le lieu et la date de prélèvement, puis carbonisés ;
- des ouvrages de référence existants, qui sont généralement des ouvrages sur l'anatomie du bois (Jacquiot, 1955 ; Greguss, 1959 ; Jacquiot *et al.*, 1973 ; Schweingruber, 1978, 1990 ; Detienne, 1988) ;
- des clés de détermination développées par Thinon (1992, 1994 a, 1994 b, 1994 c), comprenant des critères d'identification précis, adaptés à la petite taille des charbons ;
- la base de données en ligne sur l'anatomie du bois (<<http://www.woodanatomy.ch/>>).

Une fois les déterminations effectuées, se pose un choix de charbons à faire dater. Les datations sont effectuées dans un laboratoire d'analyses, par la méthode AMS.

Une fois extraits, les charbons sont pesés pour déterminer la teneur de chaque niveau de sol. Afin de pouvoir comparer les valeurs d'antracomasses entre niveaux et entre profils, il est nécessaire de pouvoir présenter les quantités de charbons indépendamment de la quantité de terre initiale. Nous procédons donc à un calcul d'Antracomasses Spécifiques par Niveau (Thinon, 1992) de la manière suivante :

$$ASN_i = \frac{m_i}{(M_i - M'_i)}$$

ASN_i : Antracomasses Spécifiques du Niveau i (mg.kg⁻¹)

m_i : masse des charbons du niveau i (mg)

M_i : masse totale de terre sèche du niveau i (kg)

M'_i : masse des éléments grossiers > 5 mm du niveau i (kg)

Pour connaître les antracomasses d'un profil, nous effectuons un calcul des Antracomasses Spécifiques Générales (ASG en mg.kg⁻¹) de la manière suivante :

$$ASG_p = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n (M_i - M'_i)}$$

n : nombre de niveaux du profil p

ASG_p : Anthracomasse Spécifique Générale du profil p (mg.kg^{-1})

$\sum_{i=1}^n m_i$: somme des masses de charbons de tous les niveaux i (mg)

m_i : masse des charbons du niveau i (mg)

M_i : masse totale de terre sèche du niveau i (kg)

M'_i : masse des éléments grossiers > 5 mm du niveau i (kg)

Il aurait été possible de calculer les ASG par un autre moyen, que nous n'utiliserons pas. L'ASG est ici le rapport entre la somme des ASN de tous les niveaux d'un profil et le nombre de niveaux du profil :

$$ASG_p = \frac{\sum_{i=1}^n ASN_i}{n}$$

n : nombre de niveaux du profil p

ASG_p : Anthracomasse Spécifique Générale du profil p (mg.kg^{-1})

3.1.3. Les monomères de la lignine des sols

La lignine est un polymère constitué par l'agencement de plusieurs composés phénoliques formant les unités Syringique (S), Vanillique (V) et Cinnamique (C) dont les proportions présentes dans les plantes varient selon les grandes divisions de la classification des plantes – gymnospermes, angiospermes, mono- ou dicotylédones - et les types de tissus, feuilles ou bois (Jolivet *et al.*, 2001). L'unité Vanillique est quasiment exclusive chez les Gymnospermes, dans lesquels elle représente 90 % de la lignine totale ; l'unité Syringique est généralement absente chez les Gymnospermes (Hedges & Mann, 1979), mais est présente en quantités appréciables chez les Angiospermes. Quant à l'unité Cinnamique, elle est caractéristique des graminées. Ainsi, la lignine des sols peut servir de marqueur discriminant les grandes unités écologiques. La Fig. 3.1 présente en effet les unités écologiques discriminées en fonction à la fois des rapports S/V et des rapports C/V d'un échantillon. De précédents travaux de Maman *et al.* (1996) sur le Mont Lozère nous ont amenés à tester cette méthode dans les Vosges (Martin, 2000 ; Casner, 2001) dans le cadre du programme lancé par notre équipe. Les résultats (Schwartz *et al.*, en prép.) seront repris et intégrés à la discussion.

Le but de cette méthode est de caractériser et de discriminer les unités écologiques actuelles, mais aussi d'identifier les possibles unités paléoécologiques, en employant les

échantillons de sols de profondeur. L'analyse de ces échantillons doit permettre de savoir si la provenance des matières organiques des horizons de profondeur est celle d'un écosystème passé différent de l'actuel. A cette fin, l'analyse effectuée concernait les sols du massif du Rossberg, sous chaumes secondaires (Ross1 et Ross 4) et sous hêtraie-sapinière (Ross 3), et ceux du Falimont, sous chaumes dites « primaires » (Fall 1) et « secondaires » (Fall 3). Les échantillons analysés étaient pris de la surface au maximum jusque vers 30-35 cm de profondeur, les teneurs en carbone organique devenant trop faible en profondeur pour permettre une bonne séparation des monomères des lignines.

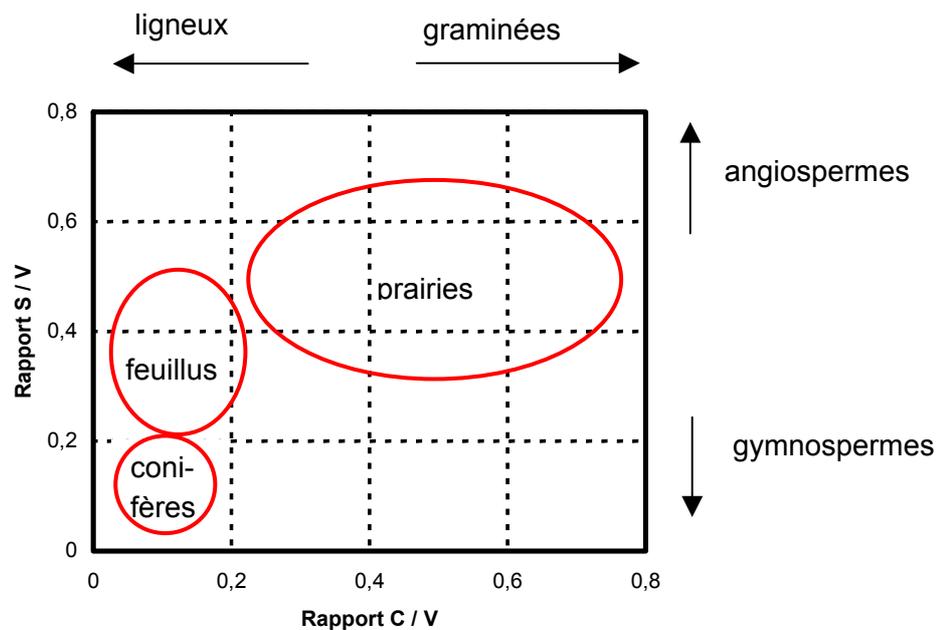


Fig. 3.1 : Distribution des monomères phénoliques de la lignine : rapport S/V en fonction du rapport C/V

3.1.4. L'analyse des phytolithes des sols

La méthode d'extraction est celle préconisée par Kelly (1990) ; elle est développée en Annexe 10. Le matériel duquel ont été extraits les phytolithes est constitué par des échantillons de sols prélevés au Rossberg et au Falimont (Goepf, 2001 ; Goepf *et al.*, en prép.) sur 4 stations (Ross 1, Ross 3, Ross 4, Fall 2), dont une forestière (Ross 3). Les échantillons ont été prélevés systématiquement tous les 10 ou 20 cm jusqu'à l'horizon C. Pour des raisons pratiques, seule une partie de ces échantillons a été traitée pour les analyses phytolithiques. Les échantillons de surface de ces sols (0 - 5 cm) servent de référence pour l'actuel (pâturage, hêtraie-sapinière actuels), auxquels s'ajoutent des prélèvements de surface effectués sous hêtraie (réf H), sous sapinière (réf S), sous landes à callunes (réf LC) et sous landes à myrtilles (réf LM), stations toutes localisées dans les secteurs étudiés. Ces échantillons de référence doivent permettre d'établir des assemblages phytolithiques de référence pour la végétation actuelle, puis de les comparer avec les assemblages de profondeur.

L'analyse phytolithique est fondée sur l'existence de particules siliceuses microscopiques, appelées phytolithes, de la taille des limons (2 à 50 μm). Les phytolithes sont des particules

amorphes d'opale A hydratées produites par les plantes, plus particulièrement par les graminées qui en sont riches. Elles se forment généralement dans les cellules des feuilles ou les espaces intercellulaires des tissus végétaux (Piperno, 1988).

Par l'observation microscopique des phytolithes, une classification selon leur morphologie et un comptage sont possibles. Twiss *et al.* (1969), Twiss (1992), Fredlund & Tieszen (1994, 1997 b) et Barboni *et al.* (1999) distinguent de nombreux morphotypes, classés notamment en fonction des familles et sous-familles de plantes. Trois sous-familles de Poaceae (graminées) de milieux tempérés peuvent être différenciées selon leurs morphotypes : les Festucoideae ou Pooideae, les Panicoideae et les Arundinoideae. D'autre part, on peut distinguer des morphotypes produits par certaines autres monocotylédones (comme par exemple les Cyperaceae). Enfin, les Dicotylédones (ligneuses et non ligneuses) produisent des morphotypes particuliers : sphériques lisses, sphériques rugueux, vaisseaux silicifiés, cystolithes etc. Seuls les sphériques rugueux sont employés pour caractériser les Dicotylédones ligneux.

La décomposition de la litière permet à la silice biogénique de retourner dans les sols. Une partie de cette silice s'accumule en surface du sol. Elle peut représenter de 1 à 5 % du poids sec du sol (Meunier *et al.*, 1999 ; 2001), notamment dans certaines circonstances particulières (Riquier, 1960). Ainsi, les phytolithes permettent de distinguer les types d'écosystèmes actuels, et peuvent dans certains cas, conserver la « mémoire » des écosystèmes passés, parce qu'ils se conservent un laps de temps plus ou moins long dans les sols, même dans les sols biologiquement actifs. Une reconstitution de la végétation passée est donc *a priori* possible.

Ainsi, les résultats sont présentés sous différentes formes. Les teneurs en phytolithes sont calculées par le rapport entre la masse des phytolithes et la masse de l'échantillon de sol initial utilisé, pour les échantillons de surface et de profondeur (en % ou en mg/g). Il est ensuite possible de calculer des stocks de phytolithes (en t/ha ou en g.kg⁻¹), à condition de connaître les densités apparentes (ρ) du sol, l'épaisseur du prélèvement et le pourcentage ou la teneur en phytolithes de l'échantillon. Le calcul des stocks en phytolithes de chaque niveau de sol s'effectue, comme pour le carbone, de la manière suivante (Goepf *et al.*, en prép.) :

$$Qp_i = \rho_i \times P_i \times D_i \times (1 - S_i) \times 10000$$

Qp_i : quantités de phytolithes du niveau i (t/ha)

ρ_i : densité apparente des éléments < 2 mm du niveau i (t.m⁻³)

P_i : proportion de phytolithes dans la fraction fine < 2 mm (‰)

D_i : épaisseur du niveau i (m)

S_i : proportion (en volume) des éléments grossiers > 2 mm (%)

Qualitativement, les assemblages phytolithiques de sols donnent un aperçu des proportions que représentent chaque grande famille de plantes. Il est aussi possible d'utiliser l'indice D/P, calculé très simplement par le rapport entre la somme des morphotypes produits par les Dicotylédones (sphériques rugueux) et la somme de l'ensemble des morphotypes produits

par les Poaceae (graminées). Il constitue un bon indicateur du couvert végétal forestier actuel et passé, puisqu'il permet de différencier les forêts des prairies, un indice élevé étant caractéristique d'un couvert forestier alors qu'un indice faible l'est d'un couvert prairial.

3.1.5. Analyse du $\delta^{15}\text{N}$ des sols

L'analyse des teneurs en ^{15}N des matières organiques des sols a différentes applications. La plus connue est celle du marquage isotopique, qui utilise la rareté de l'isotope ^{15}N dans la nature pour suivre l'évolution de Matières Organiques des Sols (MOS) artificiellement enrichies en ^{15}N . Le principe utilisé ici est différent. Il consiste à utiliser les différences naturelles de composition en ^{15}N induites dans les MOS en conséquences de réactions microbiologiques différentes selon la nature du couvert végétal.

La méthode a été développée par une équipe de l'INRA Nancy (Dambrine, Dupouey, Koerner) qui a pu mettre en évidence, dans des sols du versant alsacien des Vosges, des différences significatives de composition isotopique en ^{15}N des MOS en fonction de l'utilisation ancienne de sols qui sont actuellement tous enforestés (voir le § 2.3.2). La méthode a ensuite été transposée en Forêt-Noire (Bürger, 2004).

Les résultats de Koerner (1999 ; Koerner *et al.*, 1997, 1999 a, 1999 b) et de Bürger (2004) s'étant avérés probants, nous avons tenté d'appliquer cette méthode au massif du Rossberg (Goepf, 2000). Nous avons analysé des sols situés de longue date sous forêt (Ross 3) ou sous pâturage (Ross 1, 2 et 4), afin de disposer d'un référentiel avant de l'appliquer à des sols dont le couvert végétal a changé. Ce test préliminaire s'étant révélé décevant, nous n'avons pas poursuivi dans cette voie. Nous ne développerons donc pas ces résultats ici, mais tenions à rappeler que la méthode a été testée.

3.2. Analyse des archives historiques et documents anciens

Aux échelles de temps les plus courtes, à savoir les dernières centaines d'années, les cartes postales et cartes anciennes (cadastre napoléonien...), les textes d'archives etc, permettent de remonter jusqu'au Moyen Age, et exceptionnellement jusqu'à l'Antiquité. Un certain nombre de documents cartographiques anciens ont pu être rassemblés dans les secteurs du Rossberg et du Hohneck. Leur importance et leur intérêt très variables nous ont amené à ne faire figurer que certains de ces documents dans le corps de texte, certaines autres étant présentés à titre d'exemple en annexes. Globalement, il s'agit des documents suivants :

- la carte perspective de Thierry Alix (1576-1578), voir la Fig. 2.14 ;
- les cartes de Cassini (au 1/86 400^e) des secteurs étudiés (Fig. 7.2 et 7.6) ;
- les plans de finage de l'Intendance d'Alsace réalisés vers 1762, conservés aux Archives Départementales du Haut Rhin, dans la Série C, Administration provinciale ; plans de Willer et Bitschwiller dans la vallée de la Thur ;
- les tableaux d'assemblages des plans du cadastre napoléonien (extrait de la commune de Moosch en Annexe 11) de Bitschwiller-les-Thann, 1829 (ADHR 3P588), Masevaux, 1832 (ADHR 3P500), Mitzach, 1813 (ADHR 3P567), Mollau, 1813 (ADHR 3P568), Moosch, 1813 (ADHR 3P860), Wegscheid, 1832 (ADHR 3P suppl120), et Willer-sur-Thur, 1829

(ADHR 3P597), en ce qui concerne le massif du Rossberg ;

- les cartes topographiques allemandes de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle (« Topographische Karte » au 1/25.000^e, dont un extrait se trouve en Annexe 12).

L'ensemble de ces documents permet d'esquisser l'évolution des paysages à des échelles de temps relativement courtes, à l'échelle des 2 à 4 siècles qui viennent de s'écouler.

3.3. Investigations de terrain

Les investigations de terrain effectuées ont leur importance car la connaissance des processus actuels d'évolution de la végétation, des sols, des pratiques culturales ou pastorales etc, sont une clé de compréhension des dynamiques passées. Elles permettent de vérifier les effets des forçages sur l'état du système à un pas de temps donné : par exemple l'envahissement d'un pâturage par des essences pionnières en cas de sous-pâturage, peut-être suivi, aussi bien en terme de floristique que de structures végétales, que dans les aspects dynamiques, temporels. Ces investigations constituent ainsi un moyen de vérifier et de calibrer la vraisemblance d'hypothèses effectuées sur les dynamiques des écosystèmes, aux époques pour lesquelles n'existe aucune donnée directe. L'échelle temporelle d'étude est comprise ici entre 50 et 100 ans.

3.3.1. Cartographies de terrain

Plusieurs cartographies de terrain ont été effectuées, notamment dans le massif du Rossberg. Il s'agit d'une part du relevé de la localisation de charbonnières, à savoir des plate-formes utilisées à des fins de charbonnage au cours de la période moderne (Goepp, 2000, Goepp *et al.*, 2007). La localisation cartographique reste approximative, mais vu la taille des plate-formes de charbonnage, leur localisation sur le terrain à partir de la carte est relativement aisée. Cette cartographie ne s'avère sans doute pas totalement exhaustive. En effet, il est relativement facile de repérer les charbonnières sur les pâturages actuels, par le fait qu'il s'agit d'emplacements aplanis sur des terrains de montagne. En revanche, il en est autrement de celles établies sous forêt, où le manque de perspectives rend les repérages plus difficiles. De plus, seul le secteur des pâturages du Rossberg et des forêts adjacentes a été prospecté (plusieurs centaines d'ha). Des sondages à la tarière ont été effectués sur certains emplacements (Goepp, 2000) afin de vérifier que la placette servait bien au charbonnage.

Une cartographie de microtopographies a été effectuée (Cloitre, 2005, 2006). Celles-ci correspondent en réalité à des « paléo-chablis » (voir le § 7.2.1). Leur repérage, moins aisé que celui des charbonnières car de plus petite taille, s'est néanmoins effectué sur le terrain à l'aide d'un GPS, puis recalées spatialement à l'aide d'un logiciel adapté. Tous les secteurs de chaumes ont été prospectés, hormis la chaume du Belacker (ouest du massif du Rossberg). Les forêts adjacentes n'ont pas fait l'objet de relevés de ces microtopographies, d'une part parce que l'utilisation du GPS est rendue difficile sous couvert forestier, d'autre part parce qu'il n'était pas possible de couvrir des surfaces aussi étendues, et enfin parce que les microtopographies sous couvert forestier sont difficiles à distinguer les unes des

autres. Ces microtopographies ont fait l'objet non seulement d'une cartographie, mais d'une analyse fine à travers notamment leur description et l'ouverture de fosses pédologiques perpendiculairement aux paléo-chablis, ainsi qu'à des calculs de récurrence de distance.

3.3.2. L'étude des dynamiques actuelles de la végétation

Plusieurs études des dynamiques actuelles de la végétation ont été menées ces dernières années, sous la direction de M. D. Schwartz. Elles concernent notamment le massif du Rossberg, mais aussi ceux du Hohneck et du Petit Ballon. Ces études ont été effectuées dans le cadre de mémoires de Master, et de Maîtrise ou de DEA pour les travaux plus anciens. Elles sont notamment destinées à étayer nos résultats, ce qui explique pourquoi ils sont repris ici.

Morang (2006) a étudié la végétation de deux zones situées près du sommet du Petit Ballon entre la vallée de la Fecht (vallée de Munster) et de la Lauch (vallée de Guebwiller). Ces zones sont actuellement sous-pâturées, envahies par des essences pionnières. Des relevés phytosociologiques précis ont été effectués sur 4 parcelles d'étude de 20 m x 50 m. Les relevés concernaient à la fois les ligneux bas présents : *Juniperus communis* et *Rosa canina*, ainsi que les arbres ou pousses d'*Acer pseudoplatanus*, de *Betula pendula*, de *Prunus avium*, de *Picea abies*, d'*Abies alba*, de *Pinus sylvestris*, de *Fagus sylvatica* etc, avec en outre la classe de diamètre de leur tronc. Outre cette étude floristique à l'échelle de la parcelle, Morang (2006) a effectué une analyse diachronique à partir de photographies aériennes de 1956, 1969, 1985 et 2002, qui, intégrées dans un SIG (ArcGis), a permis de mettre en évidence les évolutions forestières progressives ou régressives dans ces secteurs.

Wiederkehr (2006) a mis en évidence les évolutions des espaces forestiers et pastoraux du Rossberg au cours des 40 à 50 dernières années, notamment par photo-interprétation (1956, 1977, 1997 et 1999) et d'un SIG (ArcGis 9.0). S'ajoute à son étude une comparaison de cartes postales anciennes avec des photographies actuelles.

En outre, Wiederkehr (2006) a effectué des relevés phytosociologiques sur 3 parcelles envahies par du hêtre (*Fagus sylvatica*), incluant des relevés de la hauteur et des diamètres des troncs. Le but était de comparer ces parcelles entre elles, afin de mettre en évidence les processus de reproduction et de reconquête du hêtre sur les pâturages.

Le travail de DEA de Adam (2002) devait constituer le préambule à un travail de thèse qu'il ne lui a finalement pas été possible d'effectuer. Son travail devait aboutir à l'analyse sur les dernières décennies à siècles de l'évolution des paysages des massifs du Rossberg et du Hohneck. Cela incluait des analyses diachroniques de tous les documents disponibles (photographies aériennes, cartes anciennes...) et la mise en place d'un SIG associé à un MNT pour obtenir des cartes en 3D de ces secteurs, et observer les évolutions végétales des derniers siècles.

3.3.3. Connaissance des processus de feux actuels

L'étude des processus de feux actuels est intéressante à double titre :

- d'une part, leur étude temporelle - à l'échelle pluriannuelle et à l'échelle saisonnière - est

susceptible d'apporter des informations importantes sur l'origine naturelle ou anthropique des feux actuels. De plus, il était nécessaire d'avoir un référentiel régional, les feux de la France méridionale, mieux étudiés, se produisant dans un environnement très différent : les écosystèmes végétaux, le substratum, les sols, et surtout les conditions climatiques ne peuvent pas être comparés à ceux du Nord-Est de la France ;

- d'autre part, l'étude des feux permet d'émettre des hypothèses sur l'évolution de l'écosystème forestier et sur celle des charbons de bois dans les sols. Les processus actuels mis en évidence nous permettent d'émettre des hypothèses sur les feux passés.

De ce fait, il semblait intéressant de mener un certain nombre d'investigations :

- une enquête sur les feux de forêts a été menée auprès de l'ensemble des agents ONF de la région Alsace, couvrant donc 250 à 300 districts forestiers (Diarra, en cours), dont le questionnaire est en Annexe 13. Les questions posées sont de deux ordres : les unes concernent les incendies de forêt : période, localisation, origine, superficie ; les autres concernaient exclusivement la foudre : fréquence d'arbres foudroyés, état consécutif au foudroyage, incendie consécutif à la foudre, autres informations ;
- des documents d'archives relatant les principaux feux de forêts sur les 20 dernières années environ en Alsace (Diarra, en cours) ont été recherchés. En parallèle, une étude des paramètres climatiques de précipitations et de températures principalement a été entreprise sur la même période, afin de corrélérer (ou non) la fréquence des feux avec les variables climatiques.
- Enfin, des prospections et prélèvements de terrains sur des sites incendiés récemment (Diarra, en cours ; Blauwart, 2006) permettent de mieux appréhender les processus qui concernent les feux de forêts, et de comparer les processus pédologiques actuels aux processus pédologiques passés, aboutissant à une répartition particulière des charbons dans les sols.

CHAPITRE 4

SITES D'ETUDE

Les sites étudiés sont localisés sur les principales crêtes des Vosges (Fig. 4.1). Le site d'étude majeur est celui du Hohneck, au sein de la Réserve Naturelle du Frankenthal-Misshemle. Il est complété par celui du Rossberg, dans les Vosges du Sud. Les deux sites sont connus pour être remarquables en terme floristique et faunistique. Ils ont été choisis à la fois car leur histoire est peu, voire mal connue en terme d'évolution de la végétation, et pour leurs caractéristiques géologiques, édaphiques, topographiques et écologiques spécifiques. Alors que le massif du Hohneck constitue un site central de la Grande Crête vosgienne, dont les landes sommitales sont considérées comme « primaires » par Carbiener (1963 a, 1964 a, 1966 a), le Rossberg, de moindre altitude et plus excentré de la crête principale, possède des chaumes considérées comme « secondaires ». Quant au Gazon du Faing, au sein de la Réserve Naturelle du Tanet – Gazon du Faing, il a aussi fait l'objet d'une prospection préliminaire, étant donné la potentialité de ce site. Cependant, les prélèvements de sols réalisés (deux fosses, fiches en Annexe 14 a et b) n'ont pas pu être traités dans le cadre de cette étude. Le tab. 4.1 synthétise les caractéristiques de chaque station des deux sites d'étude.

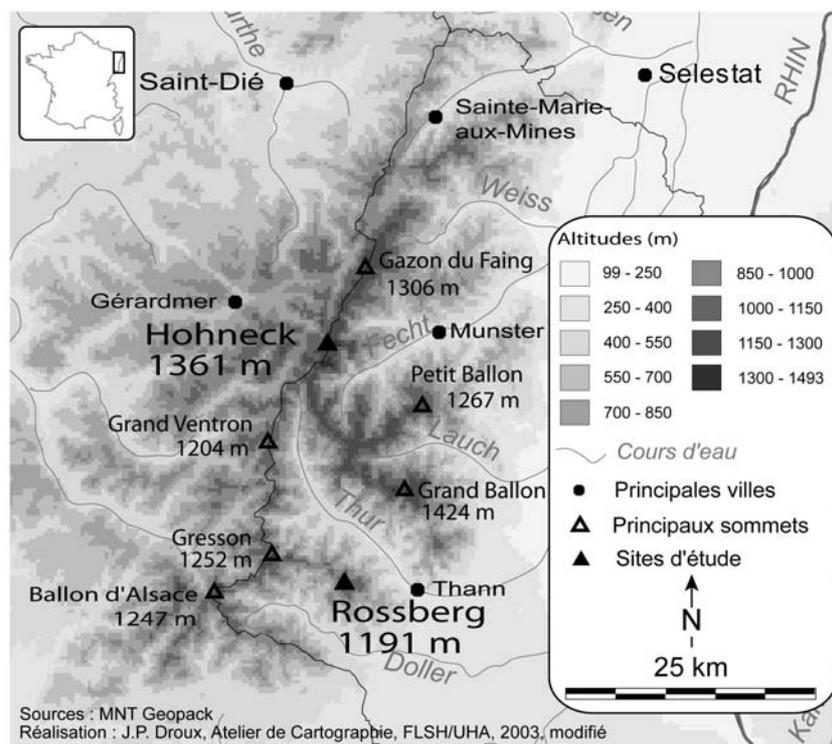


Fig. 4.1 : Localisation des sites d'étude

NOM	CODE	DATE PRELEVEMENTS	COORD. LAMBERT II X	COORD. LAMBERT II Y	ALTITUDE (m)	ORIENTATION	TOPOGRAPHIE	SUBSTRAT	VEGETATION	TYPE DE SOL
Rosberg 2	ROSS 2	10/07/1999	950,85	2323,9	1070-1080	SO	versant (15°)	roches volcanosédimentaires	chaume «secondaire»	Allocrisol
Rosberg 4	ROSS 4	10/07/1999	951,12	2324,17	1100	ENE	versant (20-25°)	roches volcanosédimentaires	chaume «secondaire»	Allocrisol
Trois Fours 1	3 FO 1	17/06/2004	948,92	2349,85	1250-1260	SE	sommet	granite	hêtraie de reconquête	Allocrisol
Trois Fours 2	3 FO 2	17/06/2004	949,37	2349,4	1200-1210	E	replat (8°)	granite	chaume «secondaire»	Allocrisol
Trois Fours 3	3 FO 3	03/09/2004	949,67	2349,4	1080-1090	ESE	versant (20°)	granite	hêtraie-sapinière	Allocrisol
Fallmont 1	FALI 1	18/06/2004	947,92	2348,25	1220	SO	versant (15°)	granite	hêtraie	Allocrisol
Fallmont 2	FALI 2	11/10/2003	948,07	2348,25	1250	SO	versant (15°)	granite	chaume «secondaire»	Allocrisol
Fallmont 3	FALI 3	02/10/2003	948,32	2348,5	1306	E	sommet	granite	chaume «primaire»	ranker cryptopodzolique
Fallmont 4	FALI 4	08/07/2004	948,55	2349	1270-1280	NNE	faible pente (3-4°)	granite	chaume «secondaire»	ranker cryptopodzolique / allocrisol
Fallmont 5	FALI 5	09/07/2004	948,72	2349,77	1240-1250	NNE	faible pente (3-4°)	granite	hêtraie de reconquête	Allocrisol
Col Schaeferthal	C-SCH	06/10/2004	949,6	2347,85	1220	S	replat	granite	chaume «primaire»	ranker cryptopodzolique / allocrisol
Petit Hohneck	P-HOH	24/09/2004	950,1	2347,8	1290	NE	sommet	granite	chaume «primaire»	ranker cryptopodzolique / allocrisol
Kastelberg 1	KAS 1	11/10/2003	947,9	2346,85	1340/1350	NE	sommet (5°)	granite	chaume «primaire»	ranker cryptopodzolique

Tab. 4.1 : Caractéristiques et localisation des stations étudiées

4.1. Le massif du Hohneck

4.1.1. Généralités

Le massif du Hohneck (Fig. 4.1) est constitué d'une chaîne de sommets qui se succèdent du nord au sud (Fig. 4.2) : le Falimont (1306 m), le Hohneck (1363 m) et le Kastelberg (1350 m). Ce massif domine deux cirques glaciaires à l'est, celui du Frankenthal-Missheimle au nord, celui de la Wormsa au sud, ainsi que des versants moins raides à l'ouest, qui dominent la vallée de la Vologne dans laquelle se trouve Gérardmer. Sa situation sur la crête principale contribue à rendre les conditions climatiques défavorables : pluviométrie importante, températures fraîches et effet de crête accentué. Il s'agit d'un massif granitique, sur lequel se développent soit des rankers cryptopodzoliques, sur les principaux sommets, à des altitudes dépassant 1250/1300 m, soit des alocrisols, parfois humifères, à des altitudes inférieures. La végétation est constituée de chaumes sur les sommets et de forêts aux altitudes inférieures à 1250 m. Huit fosses pédologiques ont été ouvertes selon un transect orienté d'ouest en est en remontant sur le versant ouest du Falimont, puis du sud au nord à partir du sommet, pour se diriger ensuite vers la Chaume et les espaces forestiers adjacents des Trois-Fours, à des altitudes variant entre 1306 m et 1080 m (Tab. 4.1 et Fig. 4.2). Les autres sites sont le Col du Schaeferthal, le sommet du Petit Hohneck et celui du Kastelberg (une fosse par site). Le sommet du Hohneck n'a pas fait l'objet de prélèvements, le secteur nous paraissant trop perturbé par les multiples actions anthropiques du XX^e siècle (guerres, tramway...). Hormis la fosse du Petit Hohneck (P-Hoh), qui se trouve sur granites porphyroïdes à actinote magnésienne, toutes les autres fosses se localisent sur un substratum homogène (Fig. 4.3) acide, composé de granites porphyroïdes à biotite (Ménillet *et al.*, 1976).

4.1.2. Les stations

4.1.2.1. Les stations du Falimont

Fali 1 : La station de prélèvement est située sous une hêtraie pure de reconquête, à quelques dizaines de mètres en contrebas de la route des Crêtes, sur un versant relativement pentu (15°), exposé ouest-sud-ouest. Ce profil d'alocrisol (Fig. 4.4) se développe dans une formation de pente comprenant un nombre important de gros blocs.

Fali 2 : Une fosse a été ouverte au-dessus de la Route des Crêtes, à 1250 m, dans une végétation mixte où apparaissent à la fois des espèces graminéennes et frutescentes basses, ainsi que des espèces arborescentes (hêtre, sorbier des oiseleurs...) éparées sur le pâturage. Cette zone correspond à un pâturage en dynamique de reconquête forestière. Le profil d'alocrisol (Fig. 4.5) se développe sur des blocs morainiques, situés à une quarantaine de cm de profondeur seulement, sur pente forte.

Fali 3 : Ce profil de ranker cryptopodzolique (Fig. 4.6), caractérisé par son importante imprégnation en MO sur des épaisseurs très importantes – jusqu'à 50 cm environ – se distingue par un niveau de blocs bien visible (photo de la Fig. 4.6) vers 55 cm de profondeur. Notons aussi que le S_aA₁ est légèrement plus jaune que les autres horizons. Notons enfin que

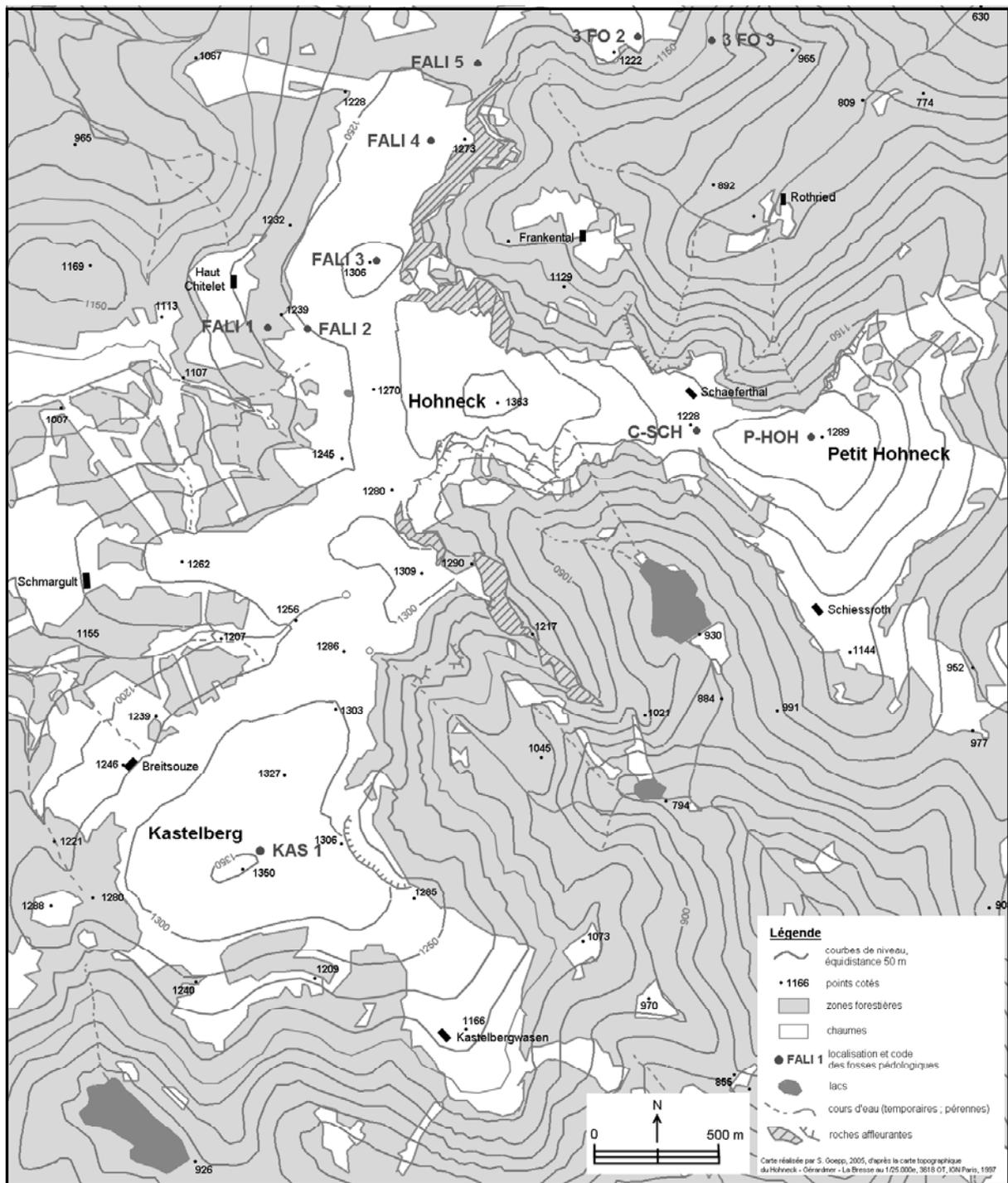


Fig. 4.2 : Localisation des fosses pédologiques dans le massif du Hohneck

ce sol est relativement épais, l'arène granitique apparaissant vers 90 cm environ.

Fali 4 : Ce sol (Fig. 4.7), d'une épaisseur importante, se développe dans une arène granitique fine de profondeur, qui débute vers 85 cm. Le A_0A_1 est composé d'une épaisse litière et d'un tissu racinaire très dense ; la transition entre $A_{(L)}$ et A_3 est très nette et très probablement artificielle, sans doute liée à un labour. Un niveau à blocs entre 40 et 50 cm

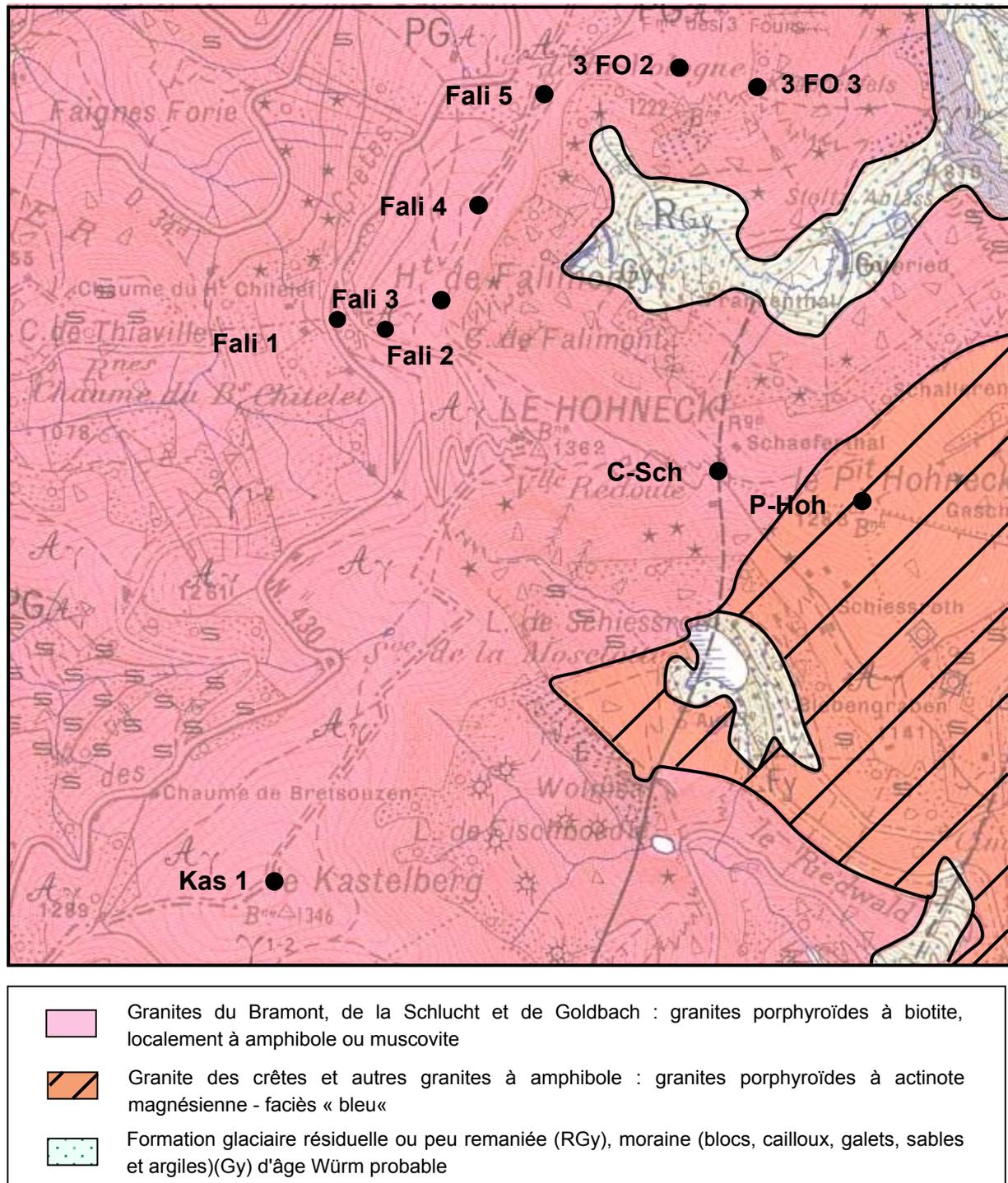


Fig. 4.3 : Extrait de la carte géologique de Munster dans le massif du Hohneck (Ménillet et al., 1976) et localisation des fosses pédologiques

est notable, à une profondeur légèrement moindre que celle de Fali 3, mais possédant des caractéristiques identiques à celles du profil du sommet (Fali 3). Ce niveau à blocs correspond en outre à un horizon IIA₁, de couleur plus sombre que l'horizon S_{al} sus-jacent ; cet horizon correspond à un paléosol, pris dans le sens d'un ancien horizon A₁ enterré. Notons encore que les horizons IIS_{al} et IIC apparaissent nettement plus jaunes que les

horizons sus-jacents, et possèdent une texture légèrement plus fine ; IIS_{ai} en particulier est plus limoneux au toucher, avec nettement moins de sables grossiers.

Fali 5 : Cette station forestière mixte dominée par le hêtre, est une forêt de recolonisation sur d'anciens pâturages dits « secondaires ». Le sol, de type alocrisol peu épais (Fig. 4.8), a des caractéristiques relativement identiques à celles du profil précédent (Fali 4), à savoir un horizon à gros blocs dont la matrice est relativement plus sombre que le S_{ai} sus-jacent (IIA₁ soit A₁ enterré). Il se différencie par le fait que cet horizon est en contact direct avec le C, dès 45 cm de profondeur.

4.1.2.2. Les stations des Trois-Fours

Trois-Fours 1 (3FO 1) : cette station est composée d'une forêt de reconquête située à 1250/1260 m, exposé légèrement au sud-est, sur pente très faible. Vu la proximité de tranchées de la Première Guerre Mondiale et la faible épaisseur de ce sol, cette station a probablement été perturbée (Fig. 4.9).

Trois-Fours 2 (3FO 2) : Cet alocrisol (Fig. 4.10) est situé vers 1200 m sur la Chaume dite « secondaire » de la ferme des Trois-Fours. La station a été choisie en dehors du pré fumé et fauché, dans une zone de pâturage. Ce profil épais de moins de 50 cm d'épaisseur possède des horizons dont la texture est sableuse dès 40 cm, alors qu'elle est sablo-limoneuse dans les horizons sus-jacents.

Trois-Fours 3 (3FO 3) : L'écosystème de cette station correspond à une hêtraie-sapinière située sur le versant est-sud-est du massif, sur forte pente, la fosse pédologique étant ouverte sur un léger replat. Il s'agit d'une forêt de protection, dans laquelle la naturalité est relativement forte (chablis, chandelles...). Le substratum est ici composé de dépôts morainiques à blocs granitiques (Fig. 4.11), incluant quelques blocs grauwackeux épars. La matrice fine y est hétérogène, généralement sableuse, mais pouvant être localement limoneuse.

4.1.2.3. Les autres stations

Col du Schaeferthal (C-Sch) : La végétation de cette station est composée majoritairement de graminées (*Nardus stricta*), auxquelles s'ajoutent des dicotylédones non ligneuses et ligneuses (*Vaccinium myrtillus*...). Ce secteur de chaume est considéré comme « secondaire » par Gury *et al.* (1992). Les horizons de surface de cet alocrisol ont été perturbés sur les 9-12 premiers cm, d'où l'existence d'un niveau tronqué et les notations II et III des horizons sous-jacents (Fig. 4.12).

Petit-Hohneck (P-Hoh) : Cet alocrisol est très imprégné de matière organique jusque vers 30/35 cm, ce qui pourrait le faire s'apparenter à un ranker cryptopodzolique (Fig. 4.13).

Kastelberg (Kas 1) : Ce ranker cryptopodzolique (Fig. 4.14) est développé sur blocs morainiques granitiques à partir de 50-60 cm de profondeur. Les chaumes sont, dans ce secteur, considérées comme « primaires » par Carbiener (1966 a), ainsi que par Gury *et al.* (1992).

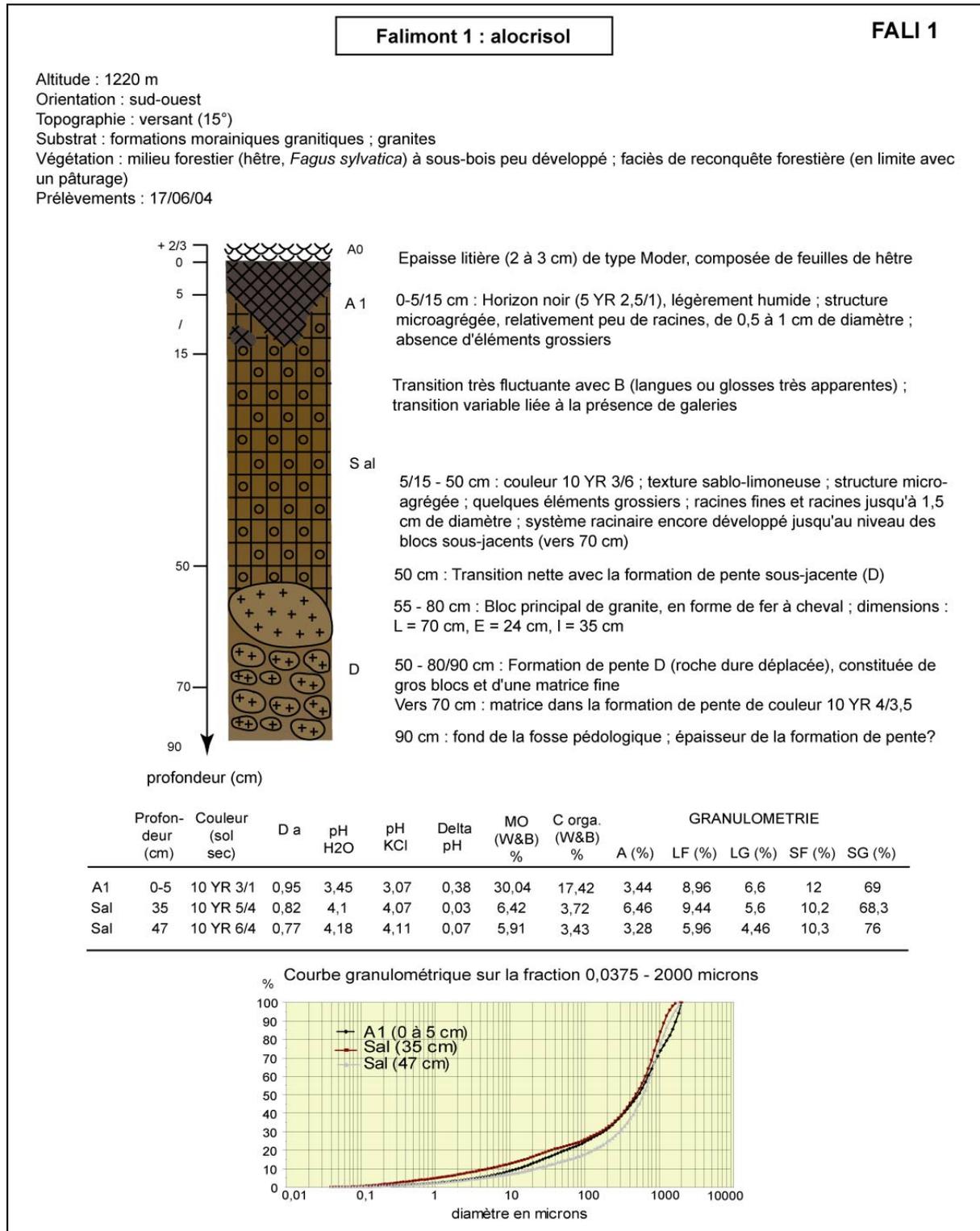
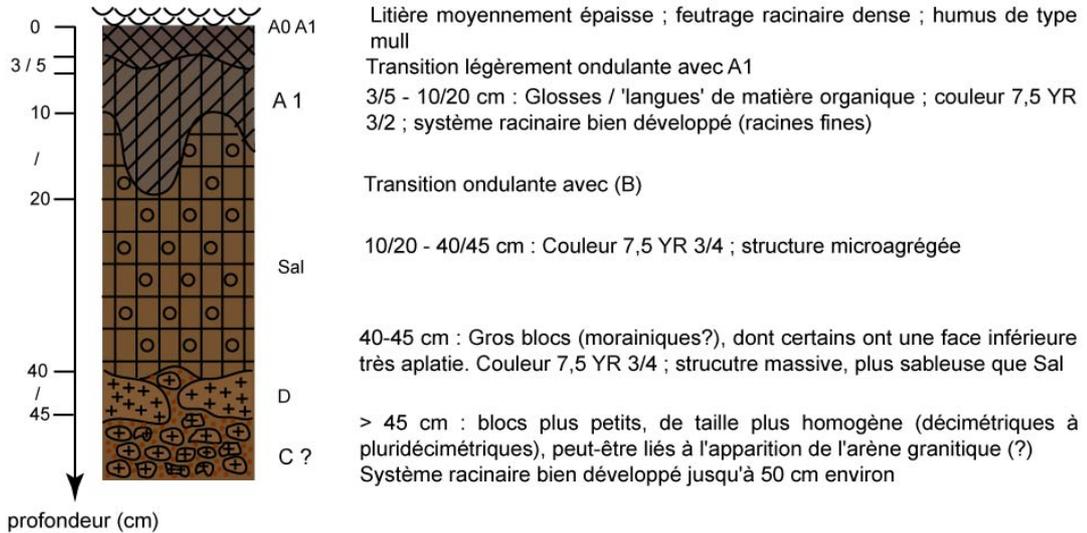


Fig. 4.4 : Description du profil de sol de Fali 1

Falimont 2 : alocrisol

FALI 2

Altitude : 1250 m
 Orientation : sud-ouest
 Topographie : versant (15°)
 Substrat : granite
 Végétation : prairies, landes (*Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Anemona sp.*, *Nardus stricta*, *Gentiana lutea*, *Festuca sp.*, *Vaccinium sp.*...)
 Prélèvements : 11/10/03



Profondeur (cm)	Couleur (sol sec)	D a	pH H2O	pH KCl	Delta pH	MO (W&B) %	C orga. (W&B) %	Granulométrie				
								A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)
A1	5-10 10 YR 4/2	0,71	4,20	3,7	0,5	27,2	15,8	3,89	7,71	4,40	5,40	78,60
Sal	15-20 10 YR 4/4	0,90	4,45	4,07	0,38	19,8	11,5	2,68	5,07	3,75	5,00	83,50
Sal C	25-30 10 YR 5/4	0,87	4,66	4,24	0,42	15,1	8,8	2,14	4,11	2,74	5,61	85,40

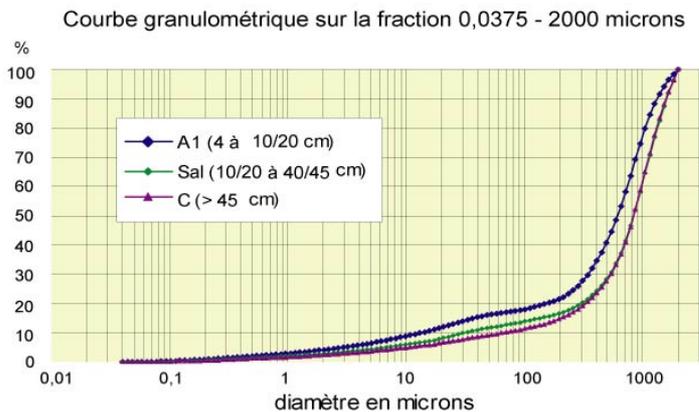


Fig. 4.5 : Description du profil de sol de Fali 2

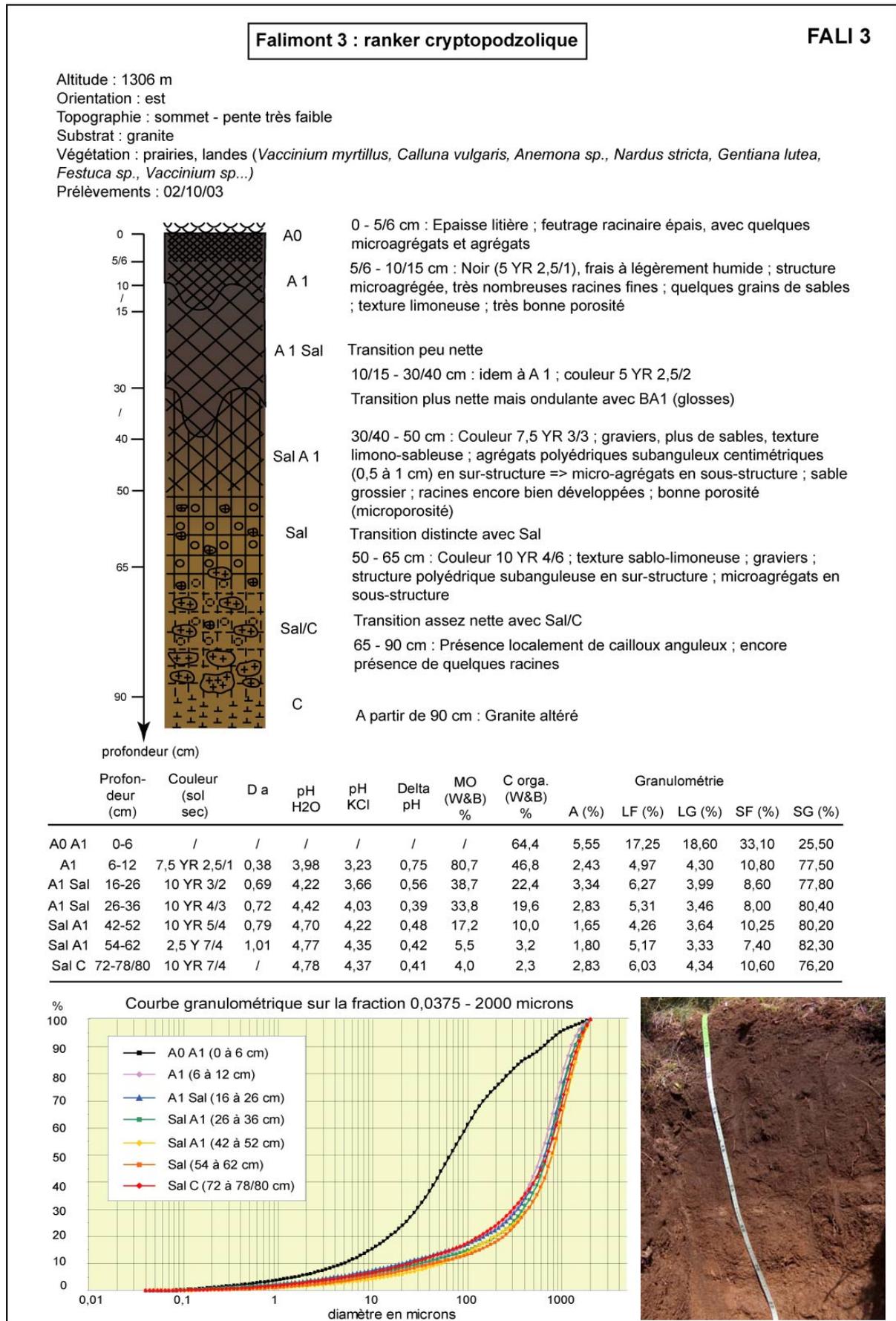


Fig. 4.6 : Description du profil de sol de Fali 3

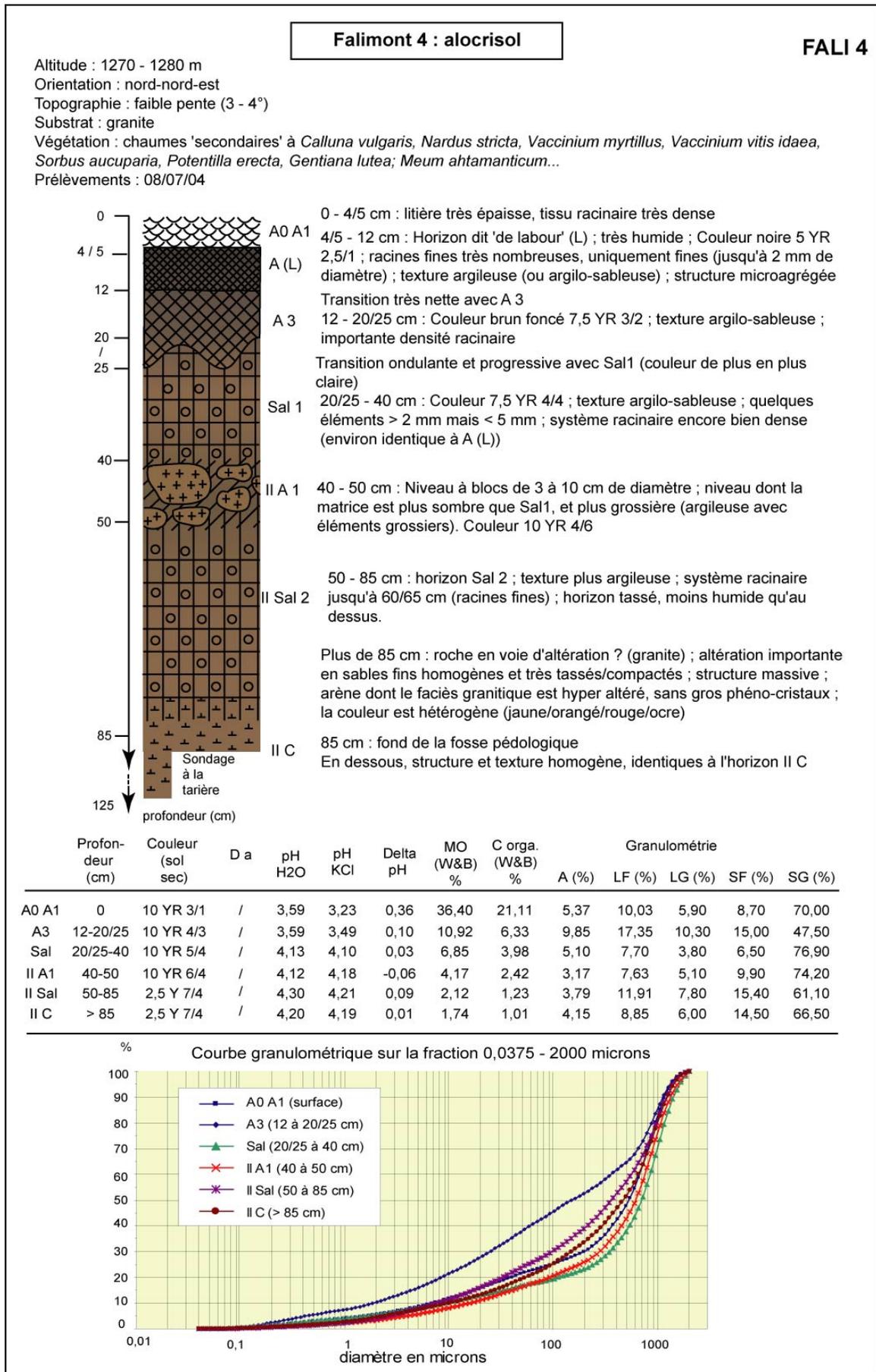


Fig. 4.7 : Description du profil de sol de Fali 4

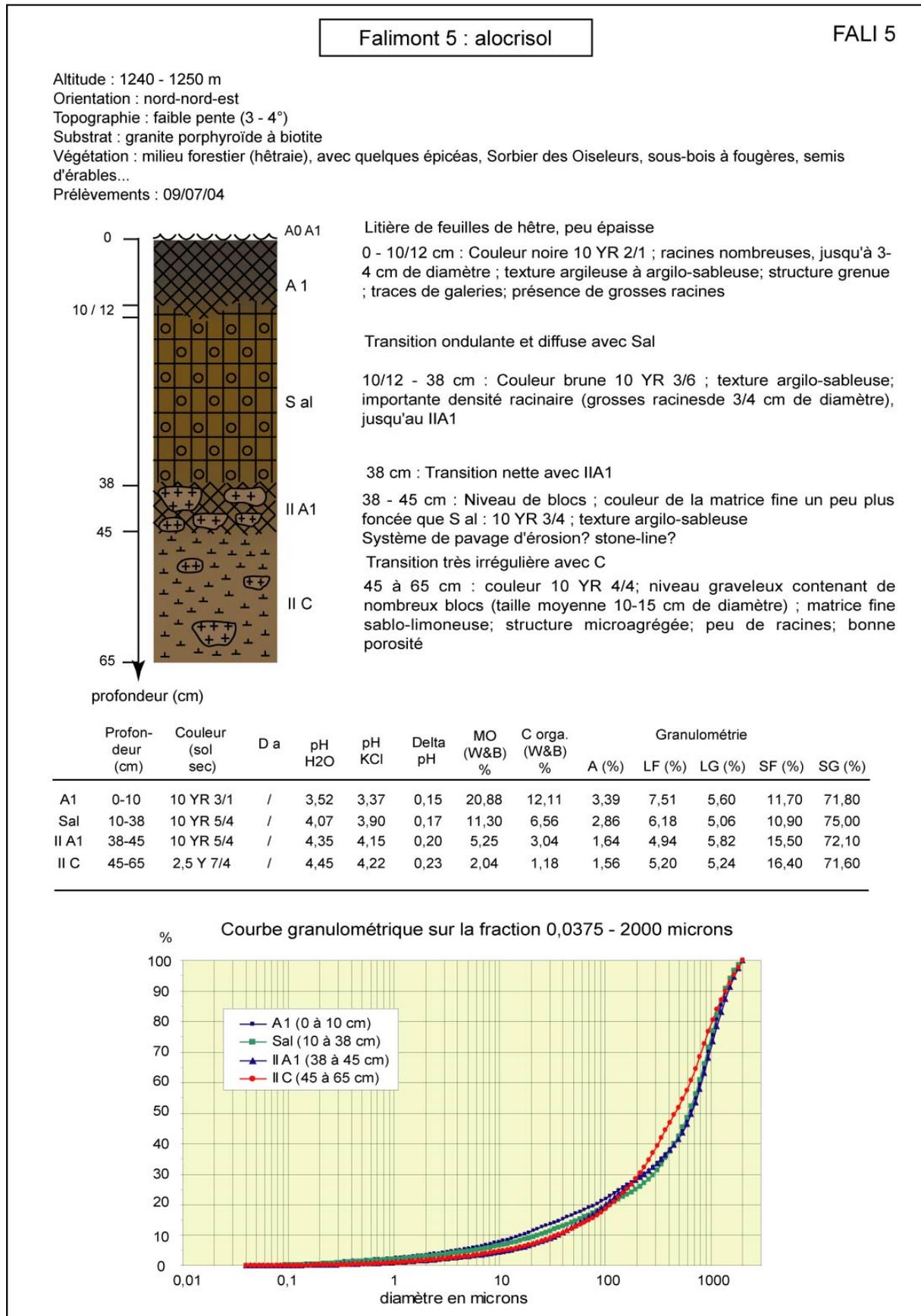
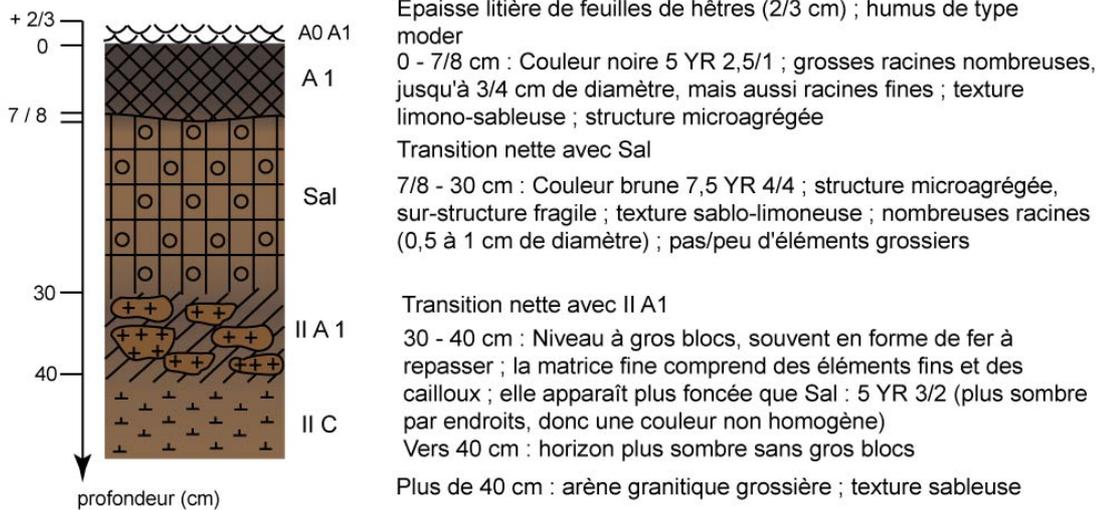


Fig. 4.8 : Description du profil de sol de Fali 5

Trois Fours 1 : alocrisol

3 FO 1

Altitude : 1250 - 1260 m
 Orientation : sud-est
 Topographie : sommet de versant ; très faible pente (4 - 5°)
 Substrat : granite
 Végétation : milieu forestier (hêtre, *Fagus sylvatica*) ; très faible recouvrement par les espèces de sous-bois, mis à part la myrtille et la fougère
 Prélèvements : 17/06/04



Profondeur (cm)	Couleur (sol sec)	D a	pH H ₂ O	pH KCl	Delta pH	MO (V&B) %	C orga. (V&B) %	Granulométrie					
								A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	
A1	0-10	10 YR 3/2	/	3,49	3,09	0,40	19,49	11,30	3,20	7,20	3,60	6,40	79,60
Sal	10-20	10 YR 5/3	/	3,66	3,49	0,17	9,54	5,54	1,34	2,61	1,67	3,54	90,84
Sal	20-30	10 YR 5/4	/	4,10	3,92	0,18	8,74	5,07	2,69	5,91	3,90	8,40	79,10
II C	40-50	10 YR 4/3	0,74	4,27	4,21	0,06	7,10	4,12	2,27	5,36	5,07	12,20	75,10

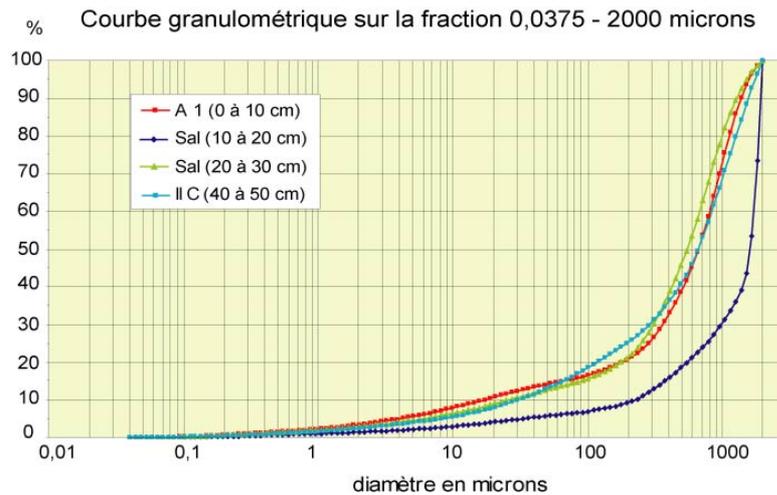


Fig. 4.9 : Description du profil de sol de Trois-Fours 1

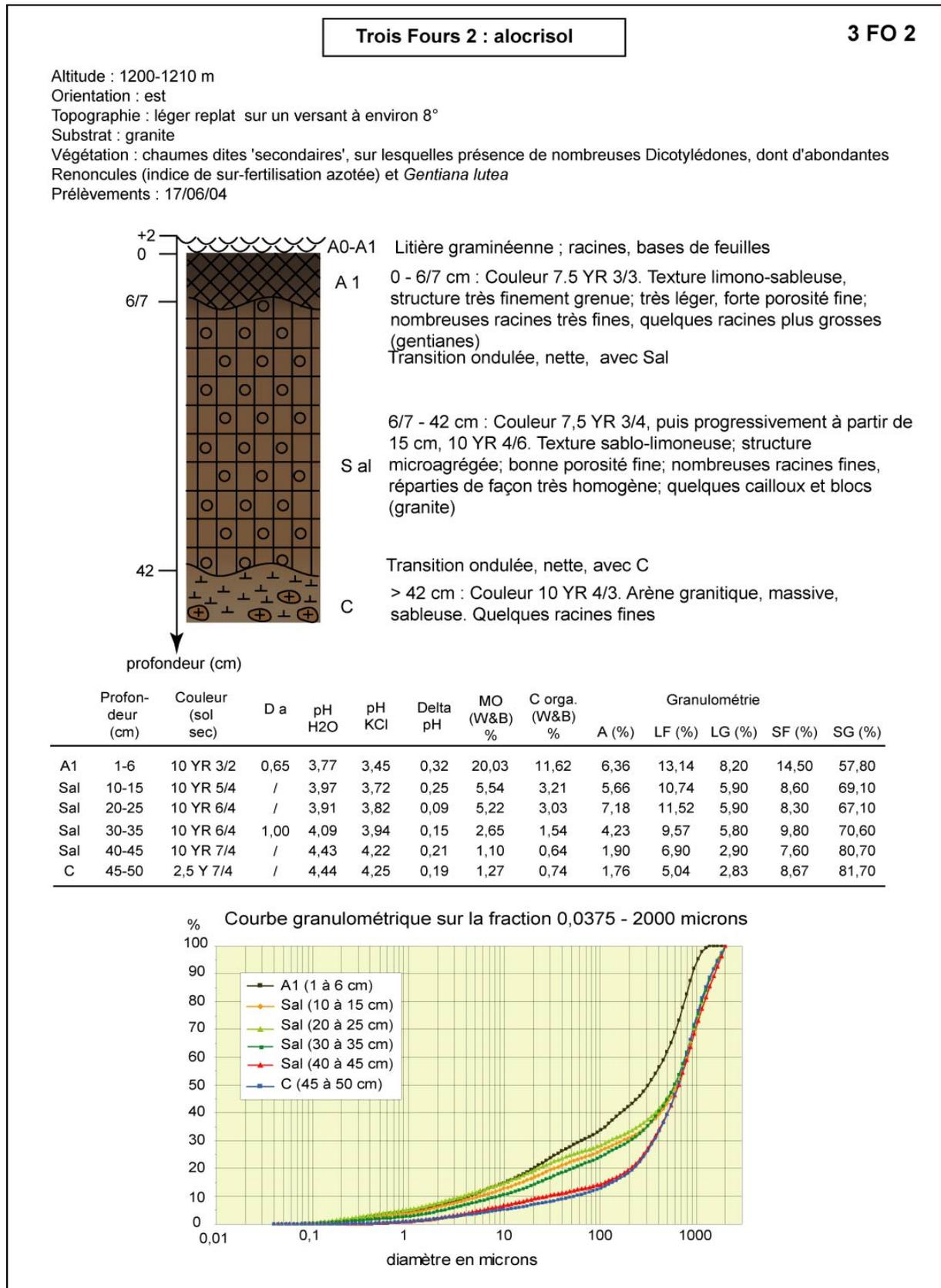


Fig. 4.10 : Description du profil de sol de Trois-Fours 2

Trois Fours 3 : Alocrisol

3FO3

Altitude : 1080 - 1090 m

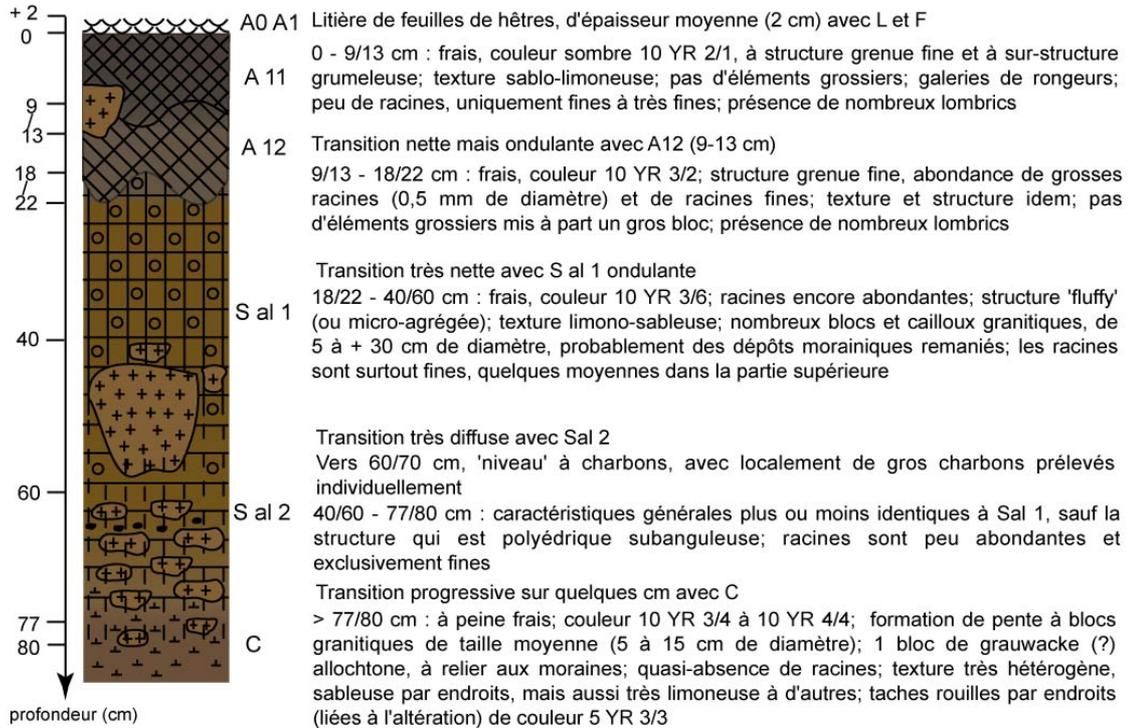
Orientation : est-sud-est

Topographie : pente moyenne (20°)

Substrat : granite

Végétation : forêt 'naturelle' (hêtre, *Fagus sylvatica*) et sapins (*Abies pectinata*); présence de chandelles; nombreux blocs en surface et dans le sol

Prélèvements : 03/09/04



Profondeur (cm)	Couleur (sol sec)	D a	pH H ₂ O	pH KCl	Delta pH	MO (W&B) %	C orga. (W&B) %	Granulométrie					
								A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	
A11	0-9/13	10 YR 3/2	/	3,56	3,18	0,38	17,80	10,32	2,53	7,33	5,84	10,20	74,10
A12	9/13-18/22	10 YR 4/2	/	3,48	3,44	0,04	9,88	5,73	2,16	5,04	3,80	9,20	79,80
Sal	18/22-40	10 YR 5/4	/	4,59	4,19	0,40	7,19	4,17	2,22	6,07	5,01	12,30	74,40
C	> 80	2,5 Y 5/4	/	4,45	4,32	0,13	2,42	1,40	1,00	3,07	3,17	9,56	83,20

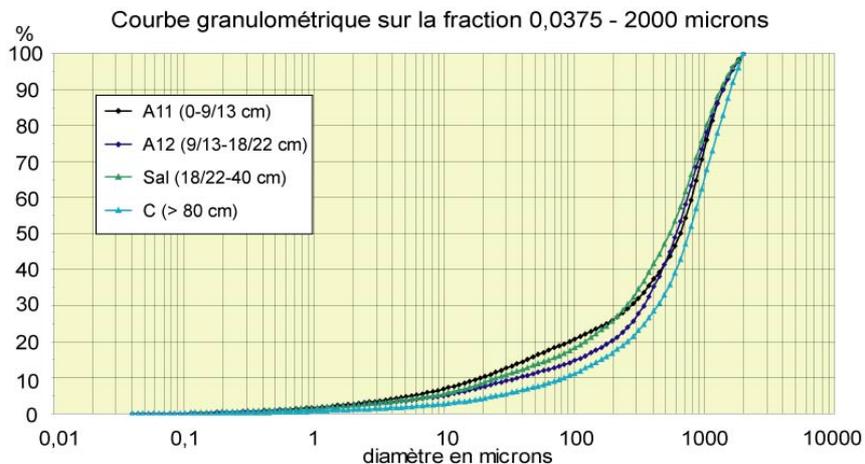


Fig. 4.11 : Description du profil de sol de Trois-Fours 3

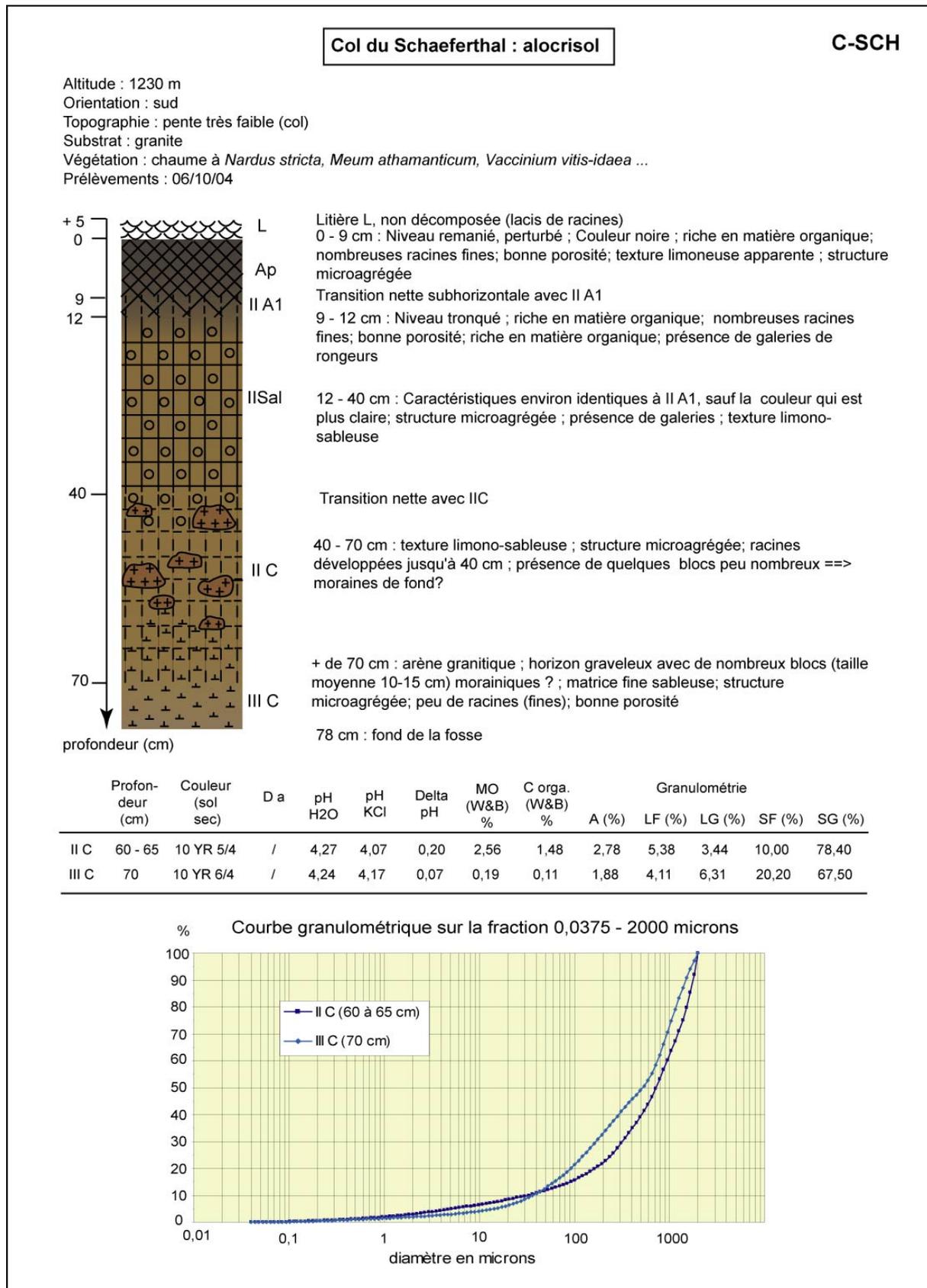
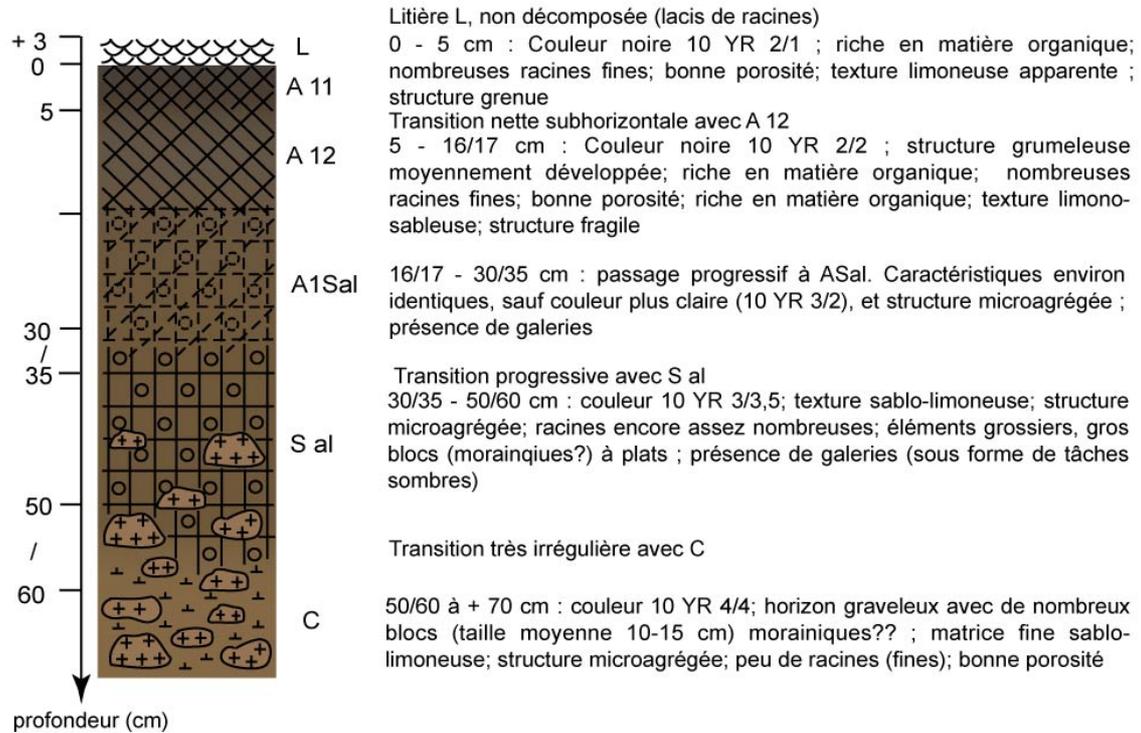


Fig. 4.12 : Description du profil de sol du Col du Schaeferthal

Petit Hohneck : alocrisol

P-HOH

Altitude : 1285 - 1289 m
 Orientation : nord-est
 Topographie : très faible pente (sommet)
 Substrat : granite
 Végétation : chaume pâturée à *Nardus stricta*, *Meum athamanticum*, *Vaccinium vitis-idaea* ...
 Prélèvements : 24/09/04



Profondeur (cm)	Couleur (sol sec)	D a	pH H2O	pH KCl	Delta pH	MO (W&B) %	C orga. (W&B) %	Granulométrie					
								A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	
A11	0 - 5	10 YR 3/1	/	4,14	3,54	0,6	11,95	6,93	5,57	13,43	9,70	13,00	58,30
A12	10 - 15	10 YR 4/2	/	4,21	3,83	0,38	11,48	6,66	2,97	5,94	4,59	8,60	77,90
A1Sal	20 - 25	10 YR 5/4	/	4,27	4,07	0,2	5,76	3,34	2,65	10,05	8,10	19,40	59,80
Sal	35 - 40	2,5 Y 5/3-4	/	4,4	4,21	0,19	4,81	2,79	2,60	6,28	5,52	15,00	70,60
C	60 - 70	2,5 Y 6/4	/	4,55	4,23	0,32	1,53	0,89	1,81	5,26	8,03	24,80	60,10

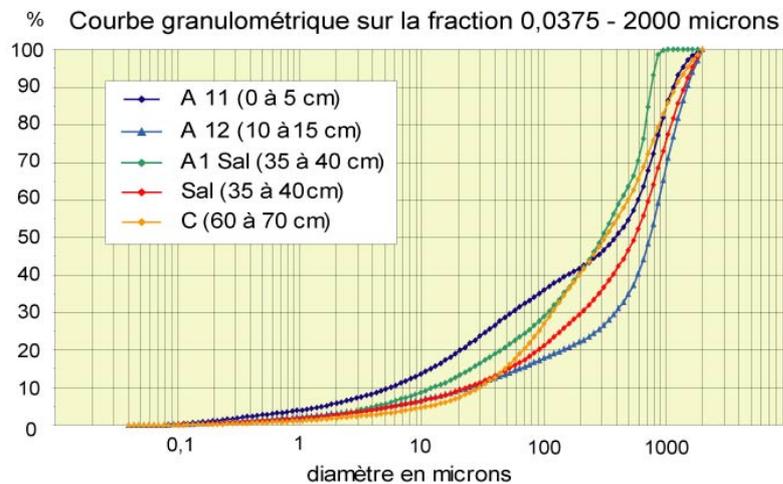


Fig. 4.13 : Description du profil de sol du Petit-Hohneck

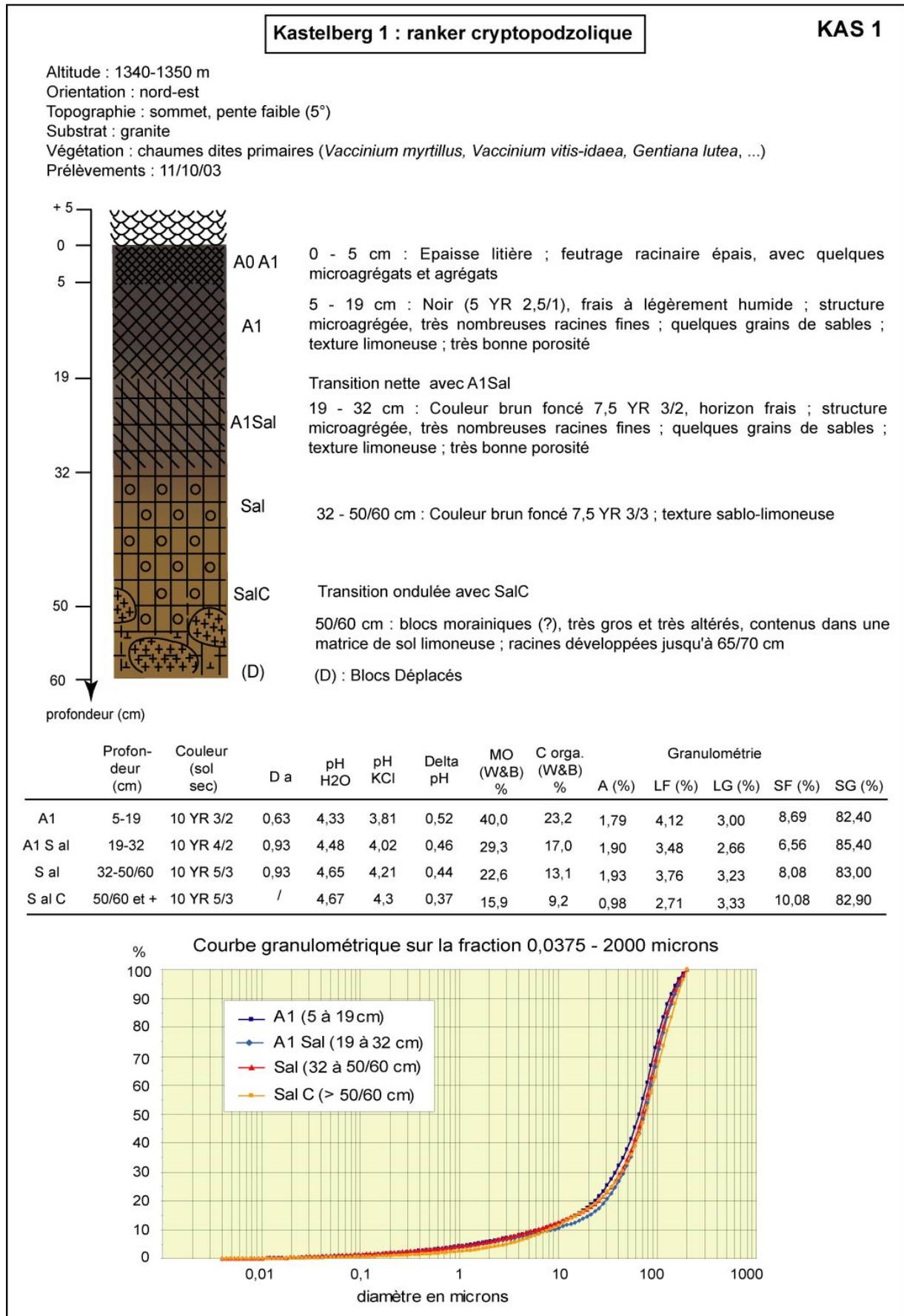


Fig. 4.14 : Description du profil de sol du Kastelberg

4.1.3. Conclusion

Bien que les sols étudiés au Hohneck se développent sur arène granitique sableuse grossière, composée généralement de plus de 75 % de sables grossiers, la plupart se trouvent en outre soit dans un substratum morainique, à gros blocs plus ou moins émoussés, soit dans une formation de pente (Fali 1). La matrice fine de cette moraine est parfois légèrement enrichie en limons, et de couleur légèrement jaunâtre, comme par exemple dans le profil Fali 4.

Dans ces sols, les écosystèmes actuels sont bien discriminés en terme de pH des humus et des horizons de surface. Ils sont de l'ordre de 3,45 à 3,6 sous forêts (Fali 1, Fali 5, 3FO 1 et 3FO 3), de 4 à 4,3 sous chaumes dites « primaires » (Fali 3, P-Hoh et Kas 1), et enfin plus variables pour les humus de chaumes « secondaires », de l'ordre de 3,6 à 4,2 (Fali 2, Fali 4 et 3FO 2). L'acidité élevée est liée à la fois à la roche-mère granitique et aux types d'humus qui semble entraîner une différenciation, les humus forestiers étant légèrement plus acides.

En outre, les profils de sols de C-Sch et de 3FO 1 sont « perturbés » en surface, ce qui pourrait provenir de « remaniements » de surface (A_p du C-Sch, niveau tronqué entre IIA_1 et IIS_{al}) pouvant être liés aux Guerres mondiales, à un retournement du pâturage, etc.

Quant à Fali 4 et Fali 5, leur profil est constitué de paléo-horizons organiques de surface notés IIA_1 , aujourd'hui enfouis sous des horizons structuraux et organiques sus-jacents. Ces paléo-horizons possèdent plusieurs caractéristiques communes :

- leur épaisseur : 7 cm pour Fali 5, 10 cm pour Fali 4 ;
- leur profondeur « d'enfouissement », la limite supérieure du IIA se situant à 38 cm pour Fali 5, à 40 cm pour Fali 4 ;
- leur localisation (Fig. 4.2), les deux profils étant situés sur même versant nord du Falimont ;
- la présence de blocs pluricentimétriques à décimétriques.

La présence de ces IIA est nécessairement liée à une première phase de pédogenèse, suivie d'une phase d'enfouissement puis une reprise ultérieure de la pédogenèse, mais il ne nous est pas possible de connaître plus précisément les étapes chronologiques de ces évolutions pédogénétiques.

4.2. Le massif du Rossberg

4.2.1. Généralités

Le massif du Rossberg (Fig. 4.1) est situé sur une crête secondaire des Vosges méridionales, quasiment perpendiculaire à une des lignes de crête principale (Grand Ventron - Ballon d'Alsace). Il constitue un prolongement vers le sud-est de la ligne Grand Ventron (1204 m) - Gresson (1252 m) - Rossberg (1191 m), ou Ballons d'Alsace (1247 m) - Rossberg (1191 m). Situé entre la vallée de la Thur au nord et celle de la Doller au sud, c'est un massif d'altitude moyenne, qui culmine à 1191 m, aux versants très raides, et aux nombreux vallons à réseau hydrographique très irrégulier, incluant parfois des crues torrentielles.

Les principaux sommets, au-delà de 1050 m d'altitude environ (Fig. 4.15), sont couverts de pâturages à *Festuca rubra*, *Nardus stricta*,... parfois localement envahis par des ligneux bas. La présence de ces derniers est le résultat d'une déprise agricole débutée au XIX^e siècle et qui s'est accentuée au XX^e siècle.

Le socle (Fig. 4.16) est composé de schistes et grauwackes, grès issus de la sédimentation marine des minéraux provenant eux-mêmes de roches éruptives, qui constituent des roches volcano-sédimentaires de l'ère primaire, des périodes du Dévonien et/ou du Dinantien.

Dans ce contexte, 4 fosses pédologiques ont fait l'objet de prélèvements (Fig. 4.15). Les stations Ross 1 et 2 sont situées sur une prairie peu pâturée ; Ross 3 est située sous une hêtraie-sapinière, le long du même transect. Quant à la station Ross 4 (1100 m), elle se situe sur le versant opposé, orienté vers l'est-nord-est, sur un pâturage qui semble relativement mieux entretenu que celui de Ross 1 et 2. Les profils Ross 1, 3 et 4 ont fait l'objet d'analyses de phytolithes. Seuls les profils Ross 2 et Ross 4 ont fait l'objet de prélèvements pédoanthracologiques.

4.2.2. Les stations

Les stations Ross 1 (Fig. 4.17) et Ross 2 (Fig. 4.18), à 1070 m d'altitude sur un versant sud-ouest, sont distantes de quelques dizaines de mètres seulement. Elles sont situées sous prairies pâturées dominées par *Festuca rubra*, *Nardus stricta*, *Meum athamanticum*, *potentilla erecta*... auxquelles s'ajoute *Calluna vulgaris* sur la station Ross 2. Les sols sont des alocrisols, relativement bien aérés et profonds, sur roches volcano-sédimentaires.

La station forestière Ross 3 est de type *Abieti-fagetum*. Le sol y est faiblement couvert par la strate herbacée. L'acidité élevée de cet alocrisol (Fig. 4.19) est liée à la présence importante du sapin, dont les individus ont un âge moyen plus élevé que celui des hêtres (Goepf, 2000). Au vu de la pente et de l'état de surface du sol, qui comporte de nombreux cailloux et blocs en surface, des mouvements de solifluxion ne sont pas à exclure.

L'exposition est-nord-est du versant sur lequel se trouve la station Ross 4 (Fig. 4.20) favorise les accumulations neigeuses et une certaine fraîcheur estivale ; l'humidité du sol est supérieure à celle du versant opposé sur lequel se trouvent Ross 1, 2 et 3, ce qui favorise une activité biologique améliorant la qualité du pâturage (avec un C/N de 12), principalement composée de *Festuca rubra* et de *Nardus stricta*. L'importance de la pente a pu favoriser des mouvements de pente anciens, attestés par l'existence de grèzes vers 85 cm de profondeur.

4.2.3. Conclusion

Les sols du massif du Rossberg se développent sur matériaux volcano-sédimentaires donnant une texture de sols limono-sableuse. Le profil de sol Ross 4, sur le versant nord-est du Thanner Hubel, se développe dans une formation de pente de grèzes lavées. Ces alocrisols sont profonds, de 80 cm à 1 m, bien drainés et bien aérés, ce qu'attestent leurs faibles densités apparentes. Le sol forestier (Ross 3) possède des pH légèrement plus acides que les sols sous pâturages (Ross1, 2 et 4), avec des valeurs respectives de 3,9 à 4,7 et de 4,5 à 5,3.

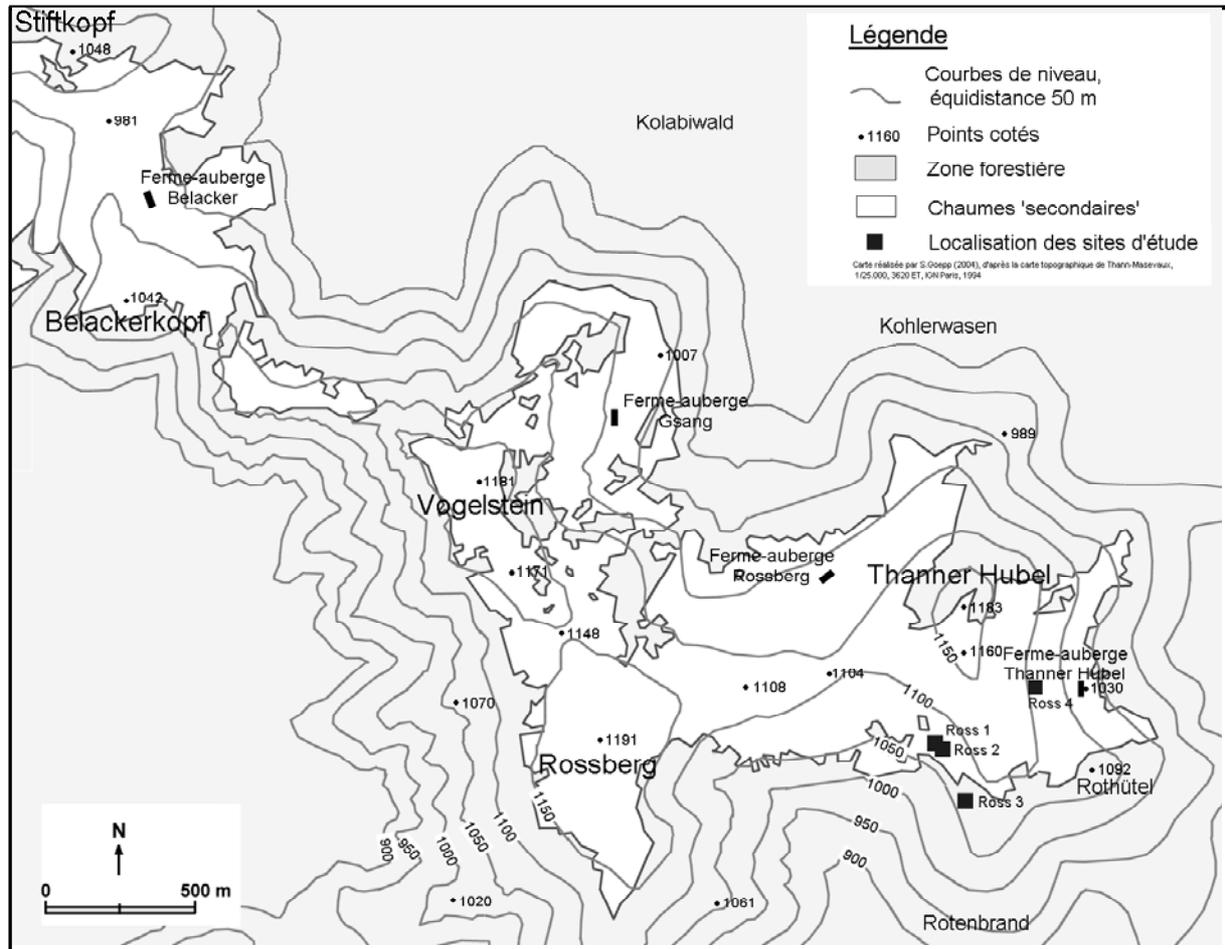
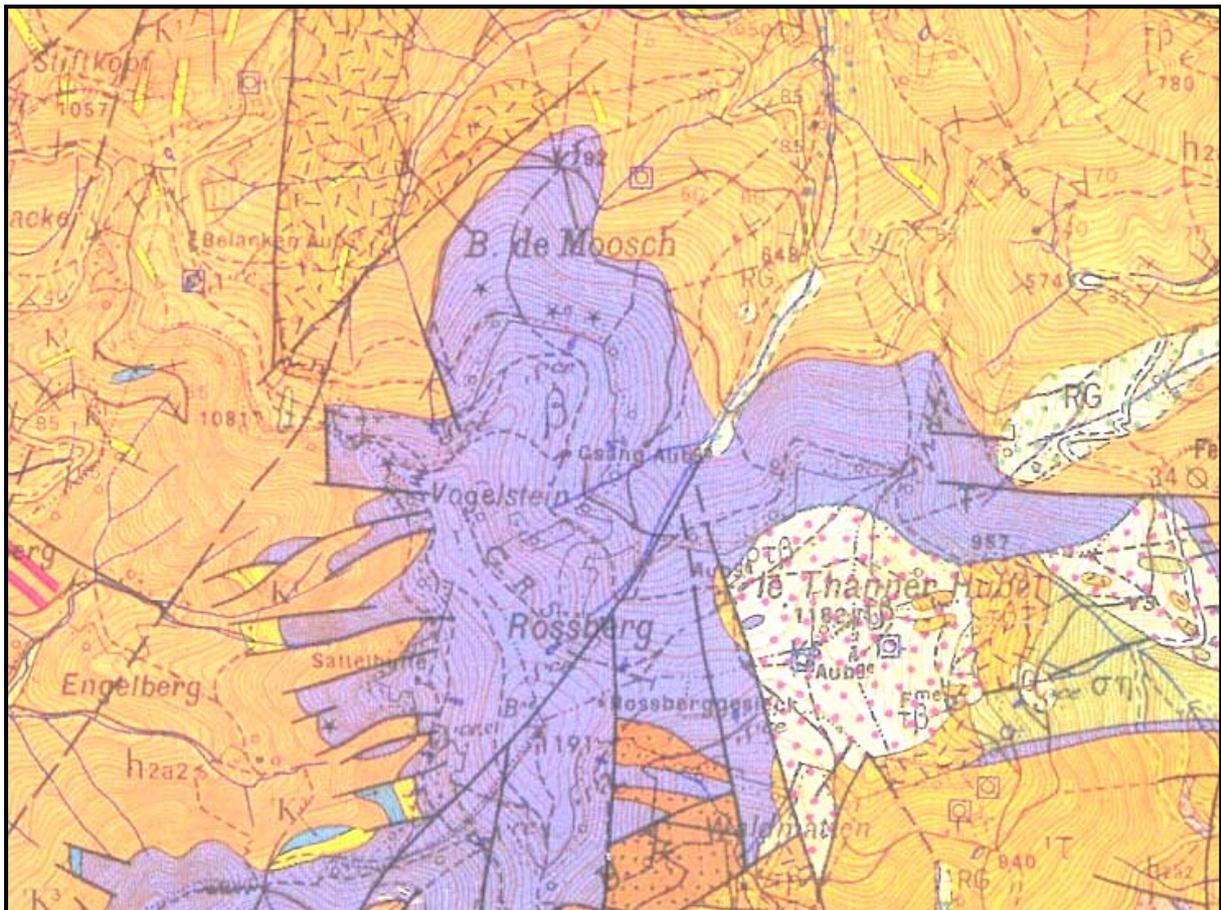


Fig. 4.15 : Localisation des fosses pédologiques dans le massif du Rossberg



-  RG : Formations glaciaires à blocs, galets, cailloux, sables et limons (moraines de fond pour l'essentiel) ou Formation glaciaire résiduelle
-  vs : Formations volcano-sédimentaires indifférenciées ; brèches et poudingues volcano-sédimentaires
-  ατ : Strato-volcan du Molkenrain : ignimbrites rhyolitiques latitiques supérieures, latites quartziques
-  τβ : Trachylabradorites hypovolcaniques
-  ¹T : Trachyte inférieur
-  β : Labradorites en coulées
-  h2a2 : Viséen moyen à inférieur ? Série d'Oderen : Schistes et grauwackes
-  ση : Syéno-diorites hypovolcaniques

Fig. 4.16 : Extrait de la carte géologique du secteur (Ménillet et al., 1989)

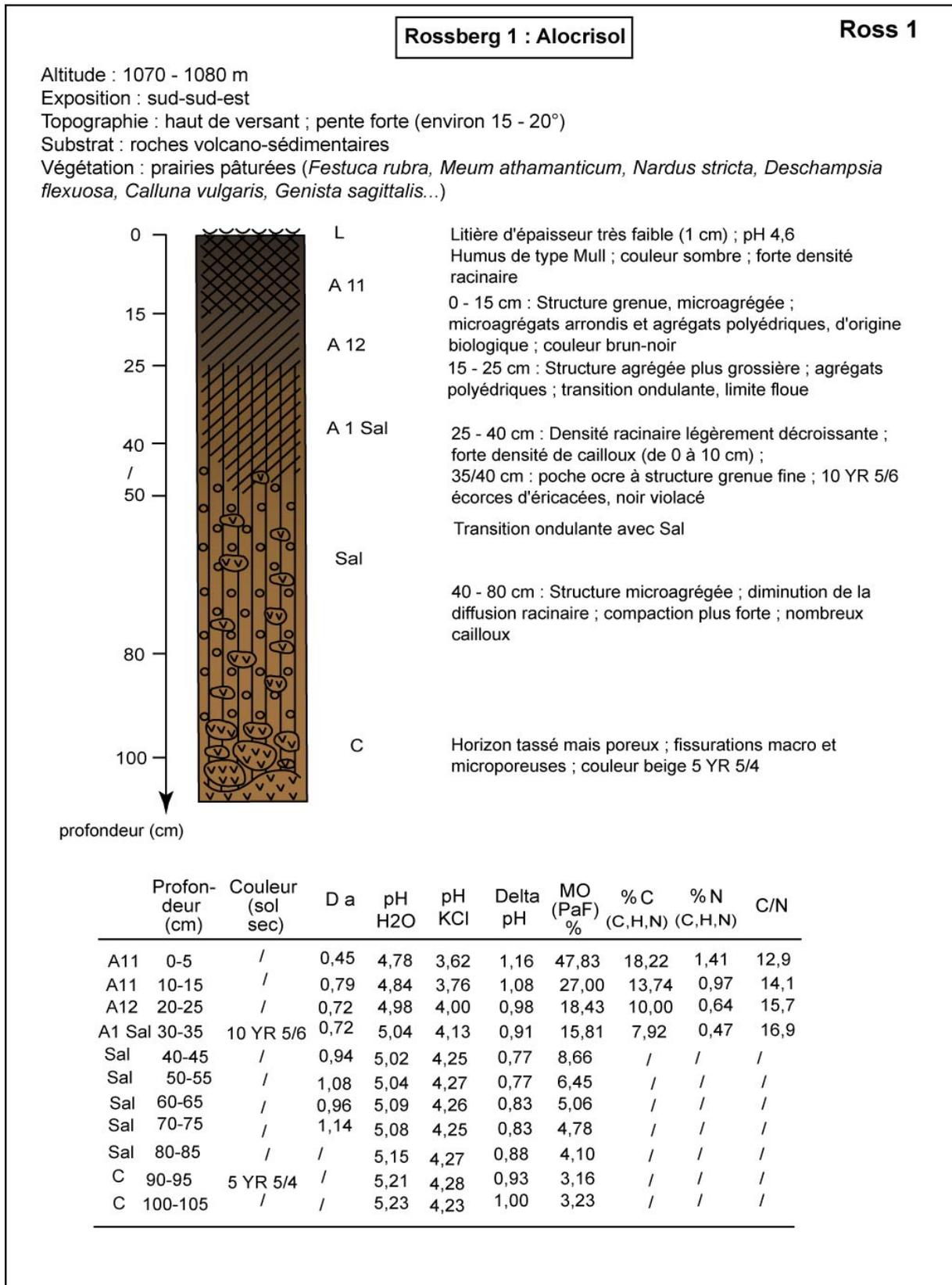


Fig. 4.17 : Description du profil de sol de Ross 1

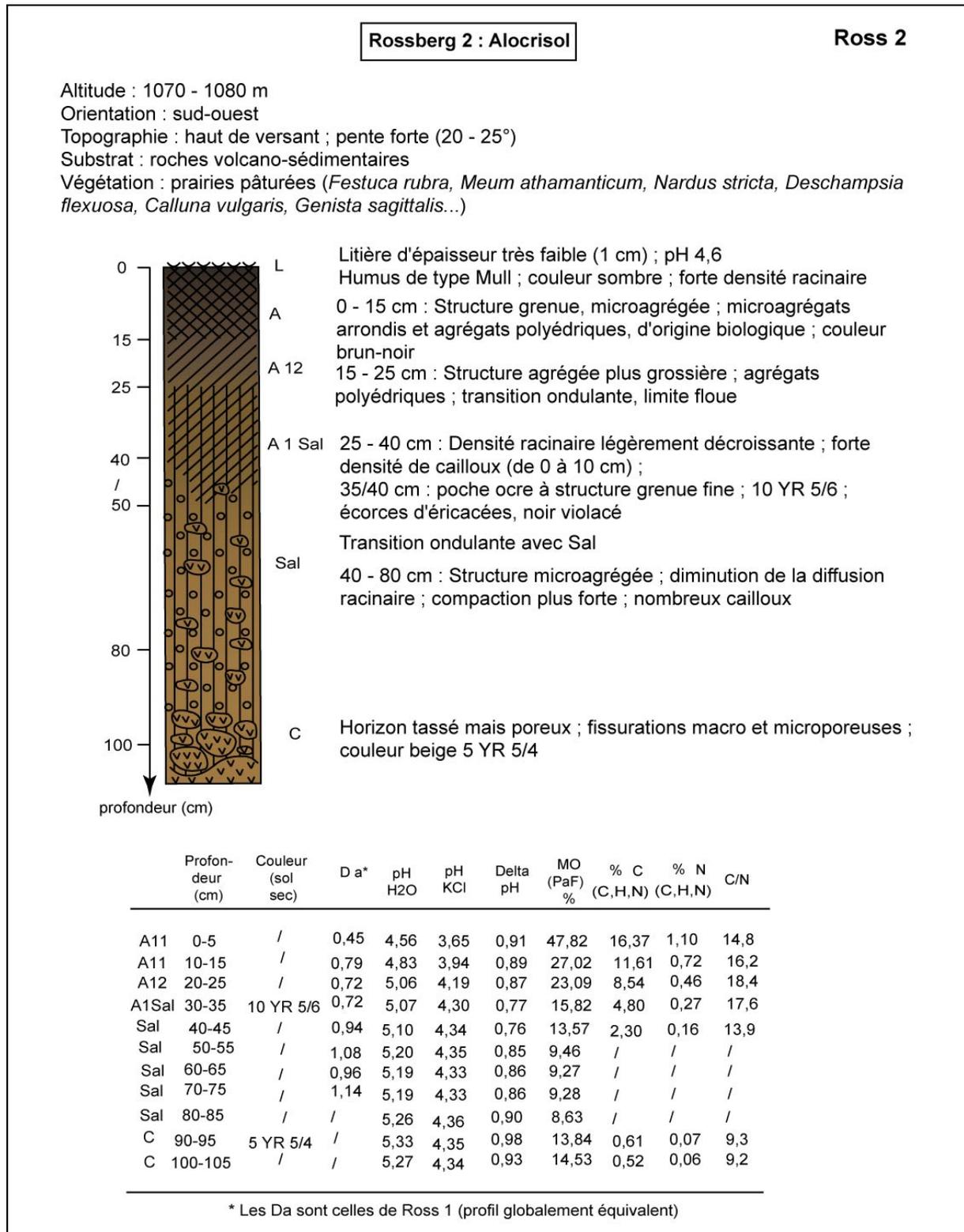


Fig. 4.18 : Description du profil de sol de Ross 2

Rossberg 3 : Alocrisol

Ross 3

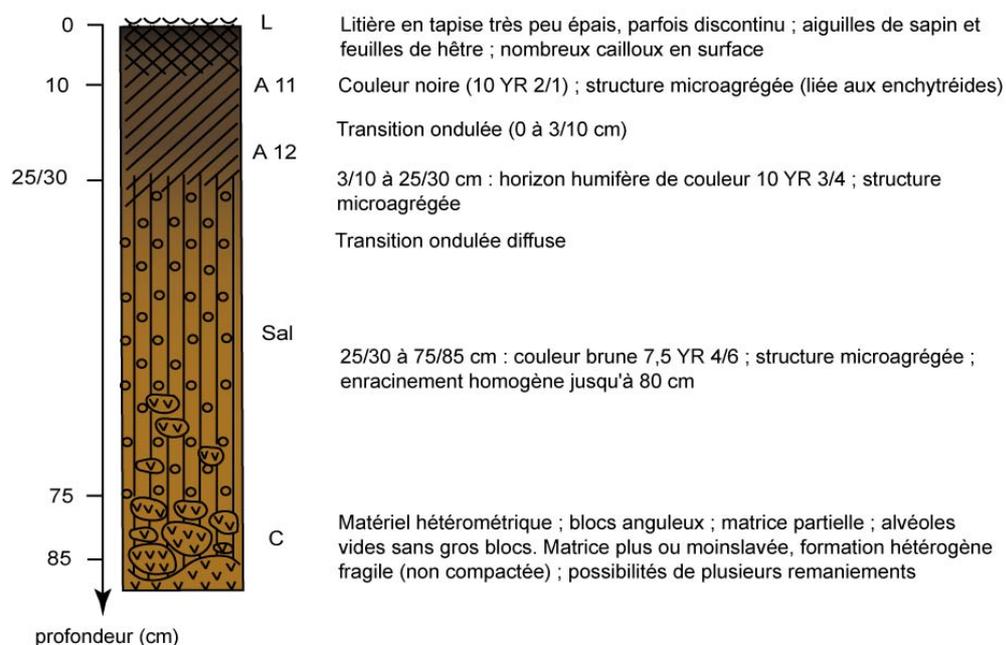
Altitude : 1060 m

Orientation : sud-sud-ouest

Topographie : milieu de versant ; pente forte (20°)

Substrat : roches volcano-sédimentaires ; nombreux cailloux et blocs en surface

Végétation : Hêtraie-sapinière à polytrics, pain de coucou... sous-bois peu dense



Profondeur (cm)	Couleur (sol sec)	D a	pH H ₂ O	pH KCl	Delta pH	MO (PaF) %	% C (C,H,N)	% N (C,H,N)	C/N
A11 0-5	/	0,45	3,88	3,28	0,60	18,09	12,62	0,73	17,3
A11 10-15	10 YR 2/1	0,79	4,41	3,70	0,71	13,39	8,88	0,51	17,4
A12 20-25	10 YR 3/4	0,72	4,44	3,86	0,58	11,61	7,75	0,37	20,9
Sal 30-35	/	0,72	4,48	3,90	0,58	11,01	6,98	0,28	24,7
Sal 40-45	/	0,94	4,57	3,94	0,63	11,70	6,90	0,27	25,1
Sal 50-55	7,5 YR 4/6	1,08	4,61	4,00	0,61	10,21	/	/	/
Sal 60-65	/	0,96	4,69	4,10	0,59	8,85	/	/	/

Fig. 4.19 : Description du sol de Ross 3

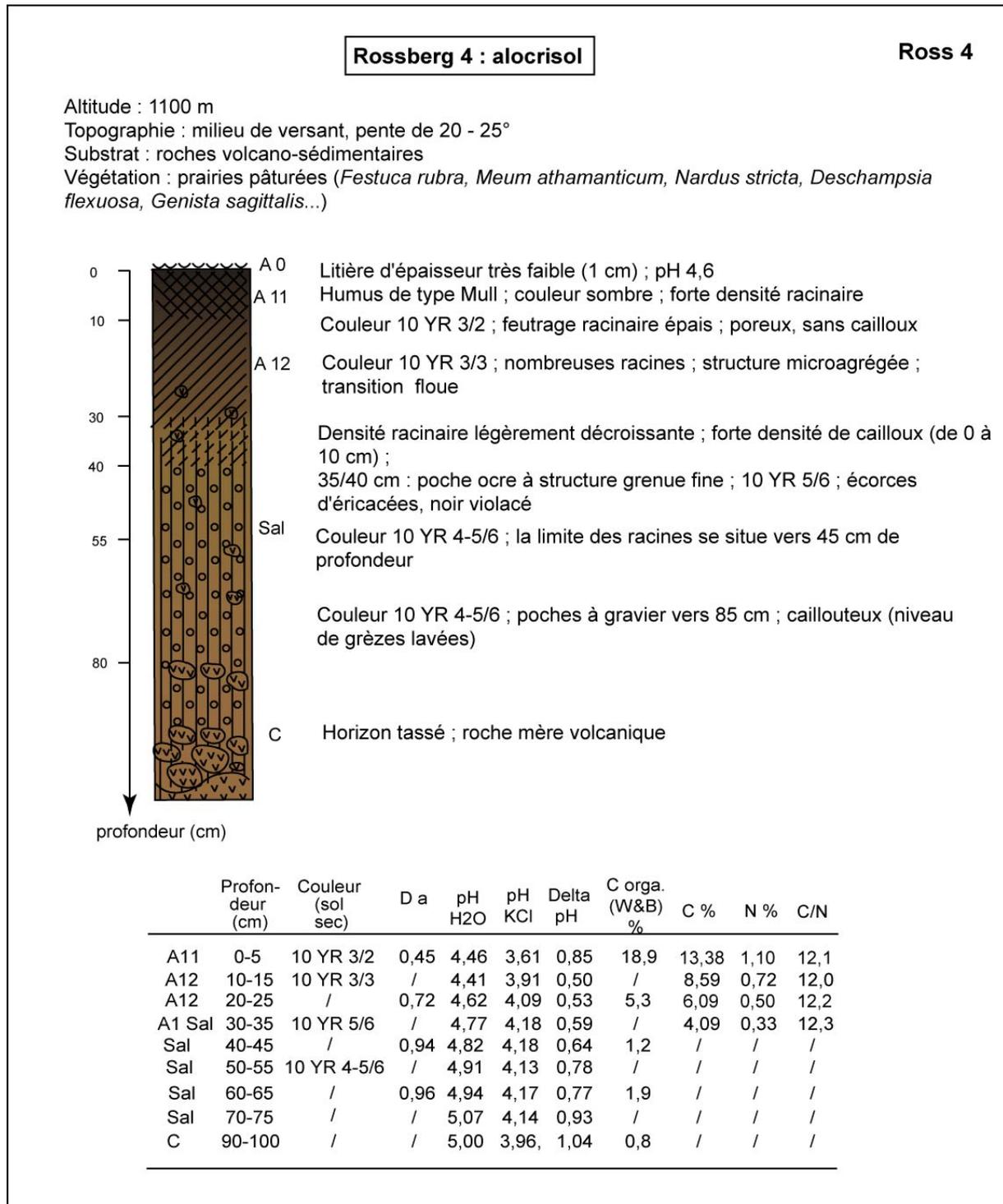


Fig. 4.20 : Description du profil de sol de Ross 4

TROISIEME PARTIE

RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 5

L'ANALYSE PEDOANTHRACOLOGIQUE
RESULTATS ET DISCUSSION5.1. Anthracomasses et répartition des charbons de bois
des sols5.1.1. Les Anthracomasses Spécifiques par profil et la variabilité inter-stationnelle

La richesse des sols en charbons et la variabilité interstationnelle des anthracomasses peuvent être mesurées par les Anthracomasses Spécifiques par Niveau (ASN) et par les Anthracomasses Spécifiques Générales (ASG). Les méthodes de calculs des ASN et ASG sont présentées dans le § 3.1.2., et les résultats obtenus sur l'ensemble des profils sont présentés dans les Tab. 5.I a, 5.I b et 5.I c. Le détail des masses et proportions des éléments grossiers (> 5 mm) et des éléments fins (2-5 mm et 0,4 à 2 mm) sont présentés en Annexe 15.

Le Tab. 5.II présente les Anthracomasses Spécifiques Générales (ASG) en mg.kg^{-1} classées par ordre de décroissance. Le profil 3FO 3 se détache nettement, par sa richesse en charbons (plus de 450 mg.kg^{-1}). Viennent ensuite trois échantillons dont l'ASG est importante, à savoir Fali 3, Fali 1 et Ross 2, dont les ASG respectives sont de 119, 95 et 90 mg.kg^{-1} . Les autres profils ont des valeurs intermédiaires plus faibles et très variables, entre 42,8 (3FO 2) et $12,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Kas 1). Les deux profils les moins riches sont Fali 5 et 3FO 1 dont l'ASG est inférieure à 10 mg.kg^{-1} . On note donc une très grande variabilité des ASG entre profils, avec un rapport dépassant 1 à 100 entre le profil le plus riche (3FO 3) et le plus pauvre (3FO 1). Plus généralement, ce rapport est de l'ordre de 1 à 25. Nous discuterons plus loin des facteurs susceptibles de rendre compte de cette variabilité.

5.1.2. Répartition des charbons de bois

Les anthracomasses spécifiques par niveau sont présentées ici au sein de chaque profil à des fins de comparaisons. Ces résultats sont représentés dans les Fig. 5.1 a, b et c.

5.1.2.1. La variation des anthracomasses au sein des profils

Les variations des ASN au sein de chaque profil (Fig. 5.1 a, 5.1 b et 5.1 c ; Tab. 5.I a, 5.I b et 5.I c), sont intéressantes en soi. En effet, leurs variations sont complexes. Leur observation

Echant	Horizon	Profondeur (cm)	Poids Total échant. (g)	Poids EG > 5 mm (g)	Poids des éléments < 5 mm (g)	Masses de charbons (g)	ASN (mg.kg ⁻¹)	ASG (mg.kg ⁻¹)
FALI 1 - I	A1	0-5	5165	450	4715	0,5204	110,4	
FALI 1 - II	A1	10-15	6435	830	5605	1,4068	251,0	
FALI 1 - III	Sal	20-25	7065	1035	6030	0,7547	125,2	
FALI 1 - IV	Sal	30-35	5385	710	4675	0,2482	53,1	
FALI 1 - V	Sal	40-45	6275	725	5550	0,1918	34,6	
FALI 1 - VI	Sal	50-55	6545	705	5840	0,1498	25,7	
FALI 1 - VII	D	60-69	5995	720	5275	0,3293	62,4	
Σ =			42865	5175	37690	3,601		95,5
FALI 2 - I	A1	5-10	10955	430	10525	0,1998	19,0	
FALI 2 - II	A1	15-20	15460	910	14550	0,4262	29,3	
FALI 2 - III	Sal	20-25	15930	1825	14105	0,3055	21,7	
FALI 2 - IV	Sal	25-30	9100	930	8170	0,1031	12,6	
FALI 2 - V	Sal	30-35	12235	1240	10995	0,041	3,7	
FALI 2 - VI	Sal	35-40	7055	615	6440	0,0344	5,3	
Σ =			70735	5950	64785	1,11		17,1
FALI 3-I	A1	6-12	4035	0	4035	0,0281	7,0	
FALI 3-II	A1 Sal	16-21	7145	100	7045	1,0094	143,3	
FALI 3-III	A1 Sal	26-31	8610	245	8365	2,8635	342,3	
FALI 3-IV	Sal / Sal	36-41	8730	255	8475	2,4111	284,5	
FALI 3-V	Sal A1	46-51	11320	1125	10195	0,4829	47,4	
FALI 3-VI	Sal	56-61	11970	710	11260	0,0685	6,1	
FALI 3-VII	Sal C	66-71	9565	1365	8200	0,0079	1,0	
Σ =			61375	3800	57575	6,8714		119,3
FALI 4 - I	A(I)	5-10	2675	0	2675	0,0094	3,5	
FALI 4 - II	A3	15-20	4510	340	4170	0,4578	109,8	
FALI 4 - III	Sal1	25-30	5295	335	4960	0,0499	10,1	
FALI 4 - IV	Sal1	35-40	5985	625	5360	0,0585	10,9	
FALI 4 - V	II A1	45-50	7400	370	7030	0,0784	11,2	
FALI 4 - VI	II Sal2	55-60	4810	75	4735	0,0221	4,7	
FALI 4 - VII	II Sal2	65-70	5930	75	5855	0,0128	2,2	
FALI 4 - VIII	II Sal2	75-80	4355	10	4345	0,0012	0,3	
Σ =			40960	1830	39130	0,6901		17,6
FALI 5 - I	A1	0-5	4165	100	4065	0,0268	6,6	
FALI 5 - II	A1 - Sal	10-15	4565	100	4465	0,05	11,2	
FALI 5 - III	Sal	15-20	5960	125	5835	0,0517	8,9	
FALI 5 - IV	Sal	20-25	3300	105	3195	0,0225	7,0	
FALI 5 - V	Sal	25-30	3305	300	3005	0,0498	16,6	
FALI 5 - VI	Sal	30-35	5530	1340	4190	0,0245	5,8	
FALI 5 - VII	Sal	35-40	5150	840	4310	0,0073	1,7	
FALI 5 - VIII	II A1	42-47	8040	1045	6995	0,0399	5,7	
FALI 5 - IX	II C	47-52	5670	520	5150	0,0021	0,4	
Σ =			45685	4475	41210	0,2746		6,7

Tab. 5.1 a : Valeurs des anthracomasses spécifiques (AS en mg.kg⁻¹) - Les ASG (mg.kg⁻¹) sont calculées par le rapport entre la somme des poids de charbons et la somme des poids des éléments < 5 mm

Echant	Horizon	Profondeur (cm)	Poids Total échant. (g)	Poids EG > 5 mm (g)	Poids des éléments < 5 mm (g)	Poids des charbons (g)	ASN (mg.kg ⁻¹)	ASG (mg.kg ⁻¹)
3 FO 1 - I	A1	0-10	3565	70	3495	0,0231	6,6	
3 FO 1 - II	Sal1	10-20	6150	200	5950	0,0291	4,9	
3 FO 1 - III	Sal1	20-30	5635	180	5455	0,0172	3,2	
Σ =			15350	450	14900	0,0694		4,7
3 FO 2 - I	A1	0-5	7035	50	6985	1,4843	212,5	
3 FO 2 - II	Sal	10-15	12190	90	12100	0,7782	64,3	
3 FO 2 - III	Sal	15-20	12075	150	11925	0,9875	82,8	
3 FO 2 - IV	Sal	20-25	10635	140	10495	0,3856	36,7	
3 FO 2 - V	Sal	25-30	9410	365	9045	0,2120	23,4	
3 FO 2 - VI	Sal	30-35	13510	920	12590	0,1378	10,9	
3 FO 2 - VII	Sal	35-40	15550	895	14655	0,1429	9,8	
3 FO 2 - VIII	Sal	40-45	14680	705	13975	0,1141	8,2	
3 FO 2 - IX	C	45-50	9580	330	9250	0,0816	8,8	
Σ =			104665	3645	101020	4,324		42,8
3 FO 3 - I	A11	0-5	6120	215	5905	5,4478	922,6	
3 FO 3 - II	A12	10-15	8805	350	8455	10,0208	1185,2	
3 FO 3 - III	Sal1	20-30	6770	515	6255	2,6104	417,3	
3 FO 3 - IV	Sal1	30-40	6850	515	6335	1,8661	294,6	
3 FO 3 - V	Sal1	40-50	8960	1100	7860	1,3617	173,2	
3 FO 3 - VI	Sal1/Sal2	50-60	10125	1670	8455	2,0527	242,8	
3 FO 3 - VII	Sal2	60-70	10275	2120	8155	1,9449	238,5	
3 FO 3 - VIII	Sal2/C	70-80	7130	1720	5410	0,2943	54,4	
Σ =			65035	8205	56830	25,5987		450,4
C SCH I	II A1	9-14	4325	85	4240	0,0297	7,0	
C SCH II	II Sal	14-19	5300	195	5105	0,0836	16,4	
C SCH III	II Sal	19-24	6740	340	6400	0,1321	20,6	
C SCH IV	II Sal	24-29	7420	390	7030	0,1196	17,0	
C SCH V	II Sal	29-34	6705	305	6400	0,1774	27,7	
C SCH VI	II Sal	34-39	6415	400	6015	0,1798	29,9	
C SCH VII	II C	39-44	6115	590	5525	0,2376	43,0	
C SCH VIII	II C	44-49	6605	760	5845	0,1382	23,6	
C SCH IX	II C	49-55	7305	520	6785	0,1236	18,2	
Σ =			56930	3585	53345	1,2216		22,9
P-HOH - I	A11	0-5	3055	0	3055	0,0071	2,3	
P-HOH - II	A12	10-15	6490	105	6385	0,4858	76,1	
P-HOH - III	A Sal	20-25	5905	100	5805	0,2904	50,0	
P-HOH - IV	A Sal/Sa	30-40	8070	175	7895	0,2667	33,8	
P-HOH - V	Sal	40-50	6340	425	5915	0,3439	58,1	
P-HOH - VI	Sal	50-60	9160	780	8380	0,209	24,9	
P-HOH - VII	C	60-70	7480	1250	6230	0,0422	6,8	
Σ =			46500	2835	43665	1,6451		37,7
KAS 1 - I	A1	5-10	5955	0	5955	0,0545	9,2	
KAS 1 - II	A1	15-20	9570	10	9560	0,1101	11,5	
KAS 1 - III	A1 Sal	25-30	11235	90	11145	0,4278	38,4	
KAS 1 - IV	Sal	35-40	13795	135	13660	0,2159	15,8	
KAS 1 - V	Sal	45-50	11650	140	11510	0,0376	3,3	
KAS 1 - VI	Sal	55-60	12935	620	12315	0,0159	1,3	
KAS 1 - VII	Sal/C	65-70	6235	460	5775	0,0073	1,3	
Σ =			71375	1455	69920	0,8691		12,4

Tab. 5.1 b : Valeurs des anthracomasses spécifiques (AS en mg.kg⁻¹) - Les ASG (mg.kg⁻¹) sont calculées par le rapport entre la somme des poids de charbons et la somme des poids des éléments < 5 mm

Echant	Horizon	Profondeur (cm)	Poids Total échant. (g)	Poids EG > 5 mm (g)	Poids des éléments s < 5 mm (g)	Masse de charbons (g)	ASN (mg.kg ⁻¹)	ASG (mg.kg ⁻¹)
ROSS 2 - III	A12	20-25	5720	1390	4330	2,0127	464,8	
ROSS 2 - VI	Sal	50-55	10510	2240	8270	0,4383	53,0	
ROSS 2 - VIII	Sal	70-75	11325	2980	8345	0,0415	5,0	
ROSS 2 - X	Sal	90-95	10350	3680	6670	0,0025	0,4	
ROSS 2 - XI	C	100-120	17080	6850	10230	0,005	0,5	
Σ =			37905	10290	27615	2,495		90,3
ROSS 4 - III	A12	20-25	5940	1050	4890	0,5647	115,5	
ROSS 4 - VI	Sal	50-55	8960	1550	7410	0,15	20,2	
ROSS 4 - VIII	Sal	70-75	9090	2280	6810	0,0115	1,7	
ROSS 4 - IX	Sal/C	90-100	9080	1930	7150	0,0017	0,2	
ROSS 4 - X	C	110-130	11900	3600	8300	0,0038	0,5	
Σ =			44970	10410	34560	0,7317		21,2

Tab. 5.I c : Valeurs des anthracomasses spécifiques (AS en mg.kg⁻¹) - Les ASG (mg.kg⁻¹) sont calculées par le rapport entre la somme des poids de charbons et la somme des poids des éléments < 5 mm

Profil	ASG (mg.kg ⁻¹)	Type de végétation	Type de sol
3 FO 3	450,4	Hêtraie-sapinière	Alocrisol
FALI 3	119,3	Chaume "primaire"	Ranker cryptopodzolique
FALI 1	95,5	Hêtraie-sapinière	Alocrisol
ROSS 2	90,3	Chaume "secondaire"	Alocrisol
3 FO 2	42,8	Chaume "secondaire"	Alocrisol
P-HOH	37,7	Chaume "primaire"	Ranker cryptopodzolique
C-SCH	22,9	Chaume "secondaire"	Alocrisol
ROSS 4	21,2	Chaume "secondaire"	Alocrisol
FALI 4	17,6	Chaume "secondaire"	Alocrisol
FALI 2	17,1	Chaume "secondaire"	Alocrisol
KAS 1	12,4	Chaume "primaire"	Ranker cryptopodzolique
FALI 5	6,7	Hêtraie	Alocrisol
3 FO 1	4,7	Hêtraie	Alocrisol

Tab. 5.II : Anthracomasses Spécifiques Générales (ASG en mg.kg⁻¹) des profils, classés par ordre décroissant

nous permet de regrouper certains profils de sols par type de variation.

Les profils Fali 2, Kas 1 et Fali 3 ont des courbes présentant un « ventre » centré en profondeur sur le A_1S_{al} ou le début du S_{al} . Les deux premiers profils ont des ASN et un « ventre » de faible importance, leurs valeurs étant inférieures à 50 mg.kg^{-1} , alors que le profil Fali 3 possède un pic particulièrement important, les ASN dépassant 350 mg.kg^{-1} .

Les stations Fali 1, Fali 4, 3FO 3 et P-Hoh sont regroupées car leurs profils d'antracomasses sont caractérisés par l'existence de deux « ventres » successifs. Le premier « ventre » ou parfois pic se situe dans l'horizon organique A alors que le second est généralement situé dans le S_{al} . Le plus important est toujours le pic supérieur. Ces quatre profils ont aussi pour caractéristique commune d'être relativement riche en charbons, hormis Fali 4 dont l'ASG n'est que de $17,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, mais dont la grande majorité se trouve dans un niveau unique formant un pic vers 20 cm. Quant au profil Fali 1, il constitue un cas particulier parmi les quatre profils de sols décrits ci-dessus. Le second « ventre » se présente non comme un véritable « ventre », mais comme une simple augmentation de l'ASN en profondeur. Il s'agit d'ailleurs du seul profil pour lequel la courbe augmente dans l'horizon D, composé de blocs colluvionnés.

Les courbes d'ASN des profils de C-Sch et de Fali 5 possèdent des caractéristiques opposées à celles des 4 profils précédents : (i) bien qu'elles aussi aient deux « ventres », ceux-ci sont cette fois très atténués ; (ii) de plus, les valeurs d'ASG sont relativement faibles : $22,9$ et $6,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ respectivement pour C-Sch et Fali 5 ; (iii) enfin, le « ventre » principal d'ASN se trouve sous le « ventre » secondaire.

Les profils 3FO 2, Ross 2 et Ross 4 ont été regroupés car les variations de leurs ASN sont caractérisées par une diminution en fonction de la profondeur. Cependant, les échantillons de surface de Ross 2 et Ross 4 n'ayant pas été traités, il n'est pas possible de connaître l'allure de la courbe en surface, ce qui peut constituer un biais méthodologique. Notons en outre que le profil de 3FO 2 possède un léger « ventre » vers 15 - 20 cm.

Enfin, 3FO 1 ayant des valeurs particulièrement faibles, la courbe des ASN ne décrit ni « ventre » ni pic.

5.1.2.2. Tendances générales des variations d'ASN

Certaines tendances générales apparaissent donc en terme de répartition des ASN en fonction de la profondeur (Fig. 5.1 a, 5.1 b et 5.1 c).

- à l'exception des stations 3FO 1, Ross 2 et Ross 4, les ASN se répartissent le long du profil pédologique selon un « ventre médian », ou selon deux « ventres » successifs plus ou moins prononcés. Lorsque deux « ventres » apparaissent, ils sont généralement situés l'un dans les horizons organiques, l'autre dans les horizons structuraux. Cette tendance générale se retrouve presque partout, quel soit le type de sol, le type d'écosystème, et quelle que soit la richesse en charbons des sols ;
- les horizons de surface ont des ASN inférieures à celles des horizons sous-jacents, sauf exception pour le 3FO 3, Fali 1, 3FO 2 (sachant que Ross 2 et Ross 4 ne peuvent être évalués). Les horizons de surface de sols sont donc pauvres, voire très pauvres en charbons ($< 10 \text{ mg.kg}^{-1}$) ;
- les ASN diminuent à partir de la base du S_{al} ou du début de l'horizon C, le dernier niveau prélevé contenant souvent moins de 5 à 10 mg.kg^{-1} de charbons.

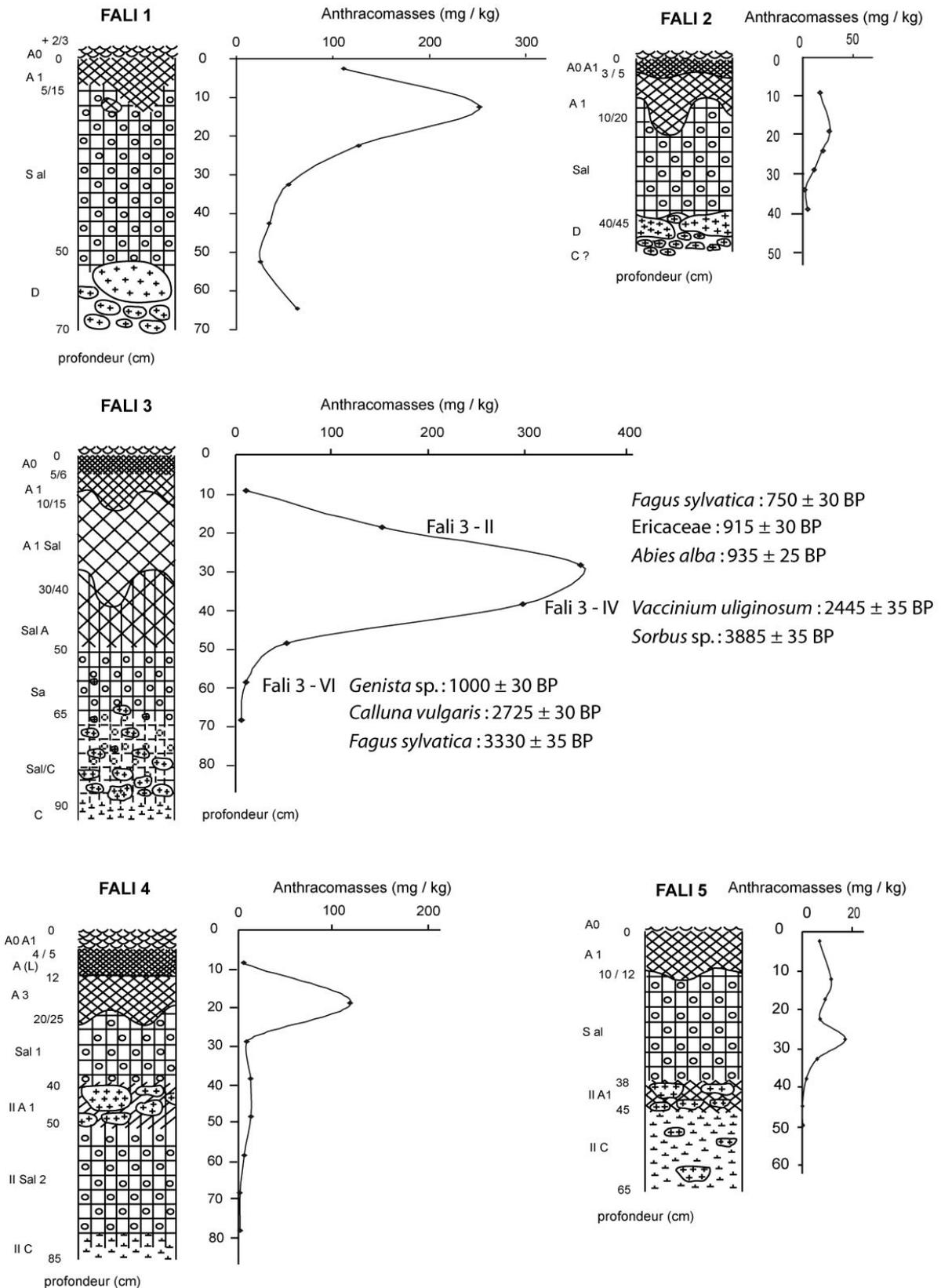


Fig. 5.1 a : Anthracomasses des profils de Fali 1 à Fali 5 - L'échelle verticale est respectée ; l'échelle horizontale est respectée hormis pour Fali 5

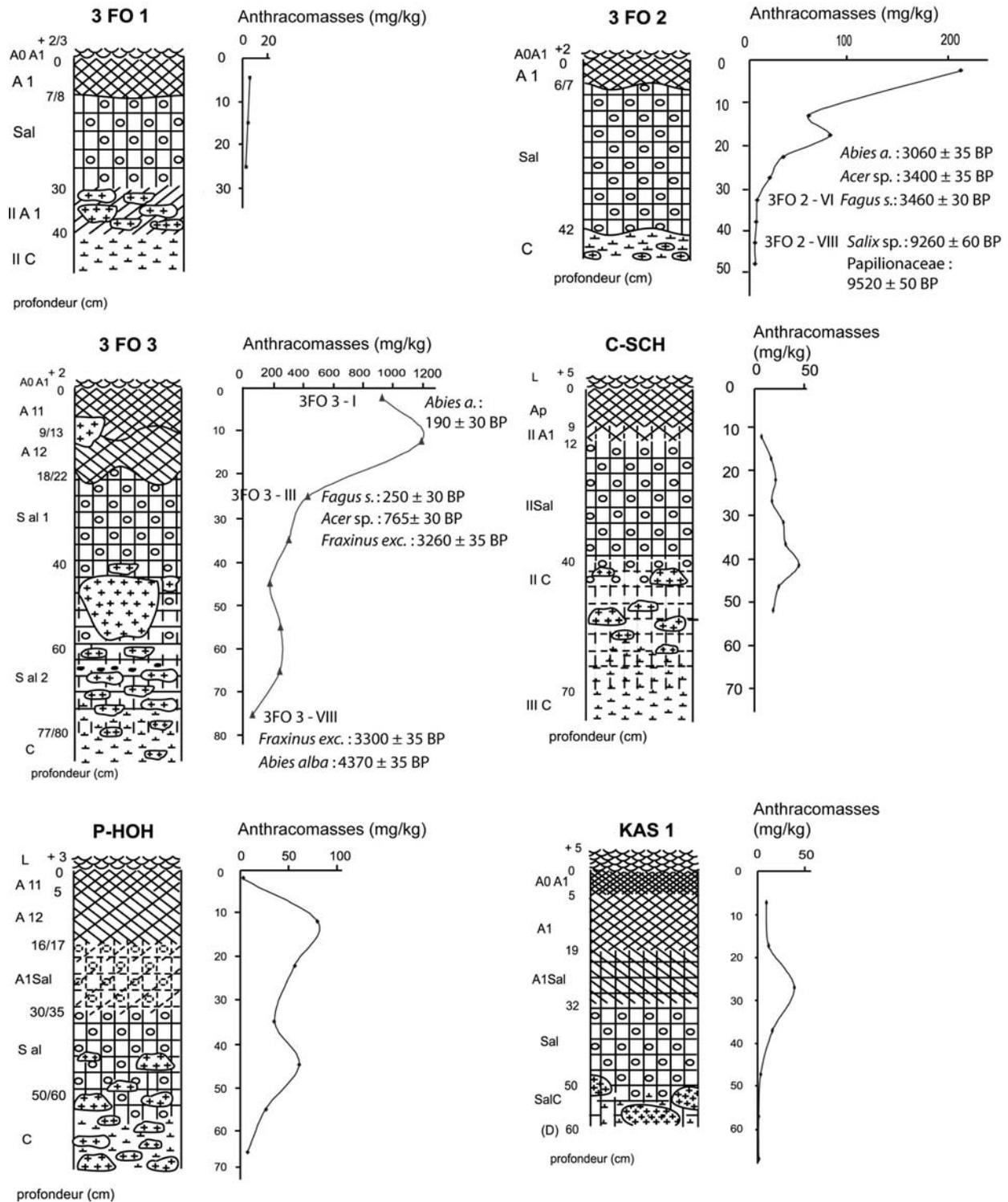


Fig. 5.1 b : Anthracomasses des profils de 3FO 1, 3FO 2, 3FO 3, C-Sch, P-Hoh et Kas 1 - L'échelle verticale est respectée ; l'échelle horizontale est respectée hormis pour 3FO 3

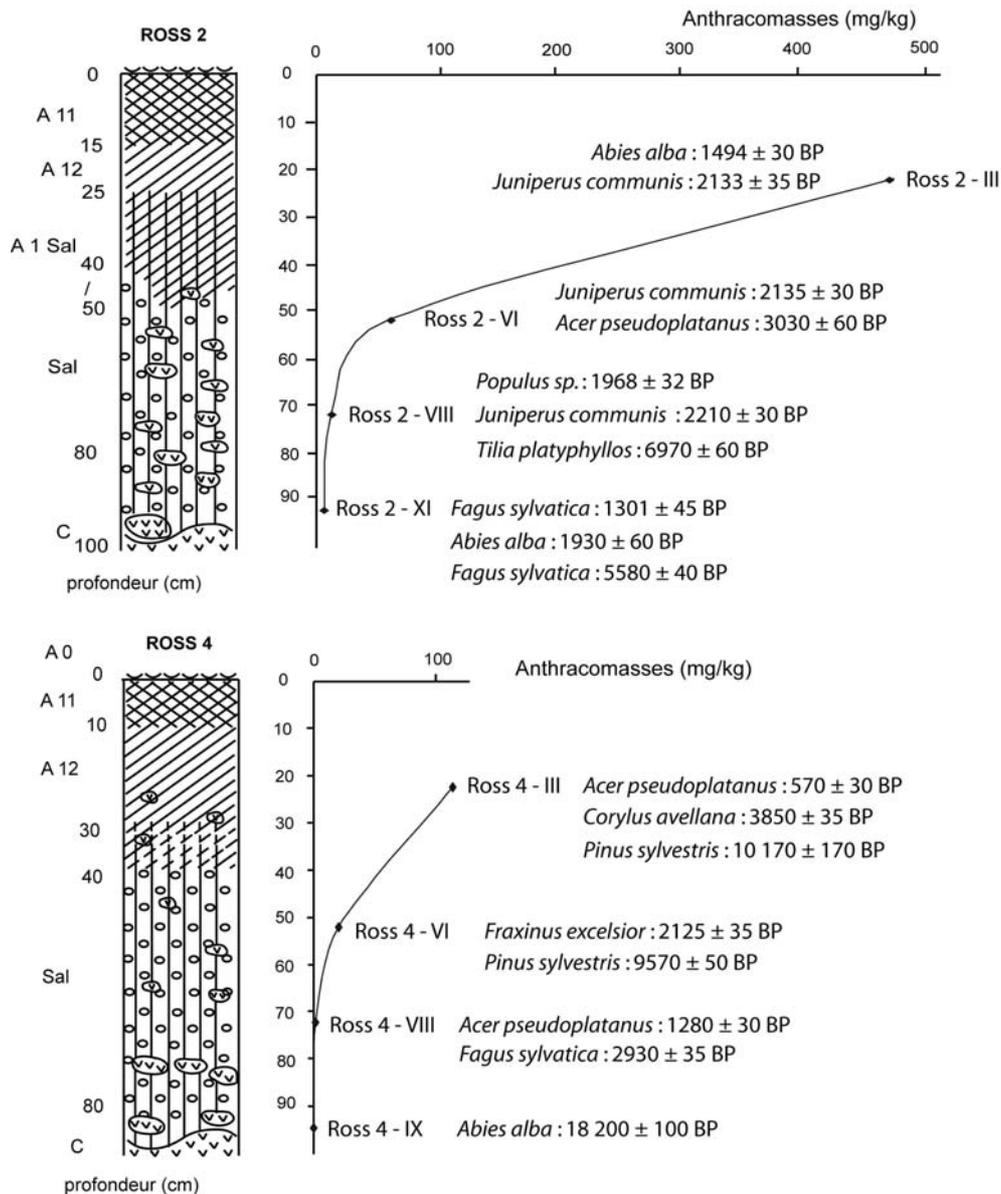


Fig. 5.1 c : Anthracomasses des profils de Ross 2 et Ross 4 - Les échelles verticale et horizontale sont respectées

5.2. Identification et datation des charbons de bois

5.2.1. Le corpus de datations

Nous avons pu dater 40 charbons de bois au ^{14}C par AMS. Ce corpus est relativement important et sans équivalent sur les Vosges. Le Tab. 5.III présente les profondeurs, les identifications et les datations en âge BP et en âge cal BP pour les secteurs du Hohneck et du Rossberg. Nous y avons inclus deux datations nommées Fall 1 qui ont été faites dans le cadre de cette étude sur des échantillons prélevés à la tarière en 1987 par T. Trautmann

pour M. Thinon, au col du Falimont, dans une lande considérée comme « primaire », à 1290

m d'altitude. L'échantillon nommé Fall 3 a quant à lui été prélevé à la tarière par D. Schwartz et J. Casner au sommet du Falimont. Les âges extrêmes vont de $18\,200 \pm 200$ ans BP pour un charbon de sapin conservé dans le profil Ross 4 à 190 ± 30 ans BP pour un charbon, de sapin également, du profil 3FO 3.

Bien que 40 datations représentent un corpus important de dates, leur représentativité est tout de même faible en terme statistique. Nous avons malgré tout tenté de représenter les fréquences d'apparition des feux, d'autant plus que les datations effectuées pour chacun des massifs est sensiblement équivalent : 22 pour le Rossberg et 18 pour le Hohneck. L'histogramme des fréquences de feux présenté en Fig. 5.2 met en évidence de fortes disparités entre les deux massifs : les fréquences les plus élevées apparaissent au Hohneck entre 3500 et 3000 ans BP, alors que les plus importantes au Rossberg apparaissent bien plus tard, entre 2500 et 2000 ans BP. En outre, des différences importantes apparaissent si l'on compare les stations entre elles (Fig. 5.3) :

- la dispersion des dates est très variable selon les profils. Elle est maximale sur Ross 4, avec plus de 21 000 ans d'écart entre les extrêmes en âge calibré, et minimale sur Fali 3, où les 8 dates se répartissent sur moins de 3000 ans ;
- les moyennes d'âge des charbons datés calculées par profil sont très variables d'un profil à l'autre. Le Fali 3 a l'âge moyen des charbons datés le plus faible des 5 profils de sols, alors que la chaume dite « secondaire » de 3FO 2 a la moyenne la plus élevée, si l'on exclut Ross 4 dont la moyenne est largement augmentée par une date très ancienne.

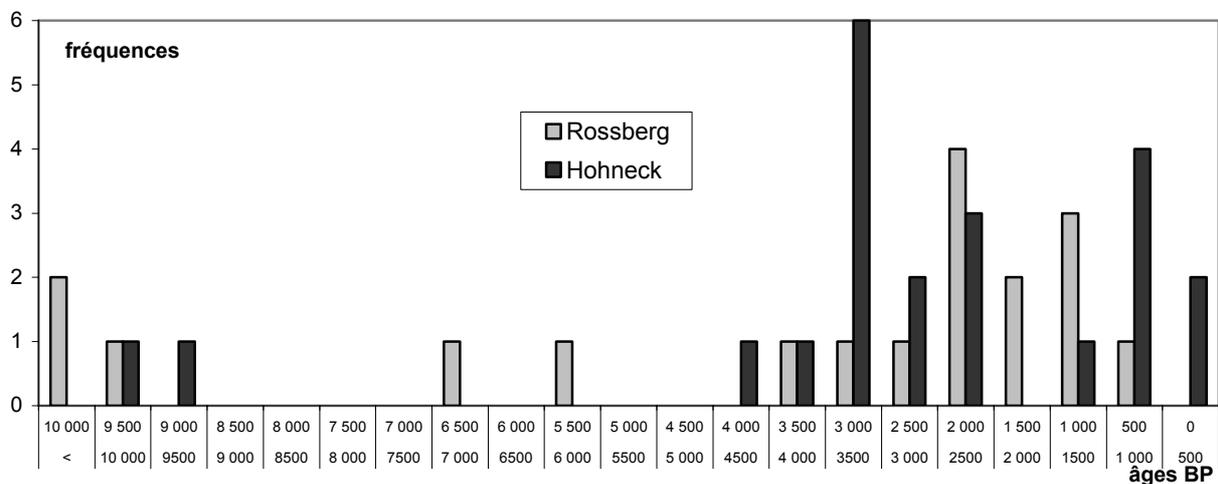


Fig. 5.2 : Histogramme des fréquences de feux par site. Abscisse : Intervalles réguliers de 500 ans ; Ordonnée : fréquence (nombre) de feux recensés classés en fonction des âges non calibrés BP

Nom	Réf. labo	Profondeur (cm)	Identification	Age 14C (BP)	Age calibré* (cal BP) 95,4 % de probabilité
FALI 3 - II	Poz-12449	16-21	<i>Fagus sylvatica</i>	750 ± 30 BP	664-728 cal BP
FALI 3 - II	Poz-12450	16-21	Ericaceae	915 ± 30 BP	764-919 cal BP
FALI 3 - II	Poz-12447	16-21	<i>Abies alba</i>	935 ± 25 BP	792-920 cal BP
FALI 3 - IV	Poz-12451	36-41	<i>Vaccinium uliginosum</i>	2445 ± 35 BP	2357-2702 cal BP
FALI 3 - IV	Poz-12452	36-41	<i>Sorbus</i> sp.	3885 ± 35 BP	4231-4419 cal BP
FALI 3 - VI	Poz-12453	56-61	<i>Genista</i> sp.	1000 ± 30 BP	898-967 cal BP
FALI 3 - VI	Poz-12455	56-61	<i>Calluna vulgaris</i>	2725 ± 30 BP	2760-2872 cal BP
FALI 3 - VI	Poz-12454	56-61	<i>Fagus sylvatica</i>	3330 ± 35 BP	3469-3640 cal BP
3 FO 2 - VI	Poz-12459	30-35	<i>Abies alba</i>	3060 ± 35 BP	3207-3365 cal BP
3 FO 2 - VI	Poz-12458	30-35	<i>Acer</i> sp.	3400 ± 35 BP	3560-3724 cal BP
3 FO 2 - VI	Poz-12457	30-35	<i>Fagus sylvatica</i>	3460 ± 30 BP	3679-3830 cal BP
3 FO 2 - VIII	Poz-12460	40-45	<i>Salix</i> sp.	9260 ± 60 BP	10257-10577 cal BP
3 FO 2 - VIII	Poz-12461	40-45	Papilionaceae	9520 ± 50 BP	10659-11088 cal BP
3 FO 3 - I	Poz-12463	0-5	<i>Abies alba</i>	190 ± 30 BP	138-302 cal BP
3 FO 3 - III	Poz-12467	20-30	<i>Fagus sylvatica</i>	250 ± 30 BP	*-1 -324 cal BP
3 FO 3 - III	Poz-12464	20-30	<i>Acer</i> sp.	765 ± 30 BP	668-731 cal BP
3 FO 3 - III	Poz-12465	20-30	<i>Fraxinus excelsior</i>	3260 ± 35 BP	3399-3567 cal BP
3 FO 3 - VIII	Poz-12469	70-80	<i>Fraxinus excelsior</i>	3300 ± 35 BP	3448-3618 cal BP
3 FO 3 - VIII	Poz-12468	70-80	<i>Abies alba</i>	4370 ± 35 BP	4855-4984 cal BP
FALL 1	UtC 10895	25-35 cm	<i>Fagus sylvatica</i>	2456 ± 47 BP	2358-2620 cal BP
FALL 1	UtC 10894	50-60 cm	<i>Fagus sylvatica</i>	2510 ± 90 BP	2356-2752 cal BP
FALL 3	UtC 10893	30-40 cm	<i>Acer pseudoplatanus</i>	2339 ± 37 BP	2307-2473 cal BP
ROSS 2-III	UtC 11527	20-25	<i>Abies pectinata</i>	1494 ± 30 BP	1348-1402 cal BP
ROSS 2-III	UtC 11539	20-25	<i>Juniperus communis</i>	2113 ± 35 BP	1993-2155 cal BP
ROSS 2-VI	Poz 6145	50-55	<i>Juniperus communis</i>	2135 ± 30 BP	2033-2159 cal BP
ROSS 2-VI	UtC 11528	50-55	<i>Acer pseudoplatanus</i>	3030 ± 60 BP	3062-3379 cal BP
ROSS 2-VIII	UtC 11529	70-75	<i>Populus</i> sp.	1968 ± 32 BP	1864-1992 cal BP
ROSS 2-VIII	Poz 6144	70-75	<i>Juniperus communis</i>	2210 ± 30 BP	2149-2325 cal BP
ROSS 2-VIII	UtC 11530	70-75	<i>Tilia platyphyllos</i>	6970 ± 60 BP	7684-7881 cal BP
ROSS 2-XI	UtC 11538	100-120	<i>Fagus sylvatica</i>	1301 ± 45 BP	1167-1303 cal BP
ROSS 2-XI	UtC 11531	100-120	<i>Abies pectinata</i>	1930 ± 60 BP	1719-1997 cal BP
ROSS 2-XI	Poz 6143	100-120	<i>Fagus sylvatica</i>	5580 ± 40 BP	6296-6414 cal BP
ROSS 4-III	Poz 6154	20-25	<i>Acer pseudoplatanus</i>	570 ± 30 BP	527-646 cal BP
ROSS 4-III	Poz 6151	20-25	<i>Corylus avellana</i>	3850 ± 35 BP	4216-4408 cal BP
ROSS 4-III	Poz 6153	20-25	<i>Pinus silvestris</i>	10170 ± 170 BP	11245-12397 cal BP
ROSS 4-VI	Poz 6150	50-55	<i>Fraxinus excelsior</i>	2125 ± 35 BP	1996-2158 cal BP
ROSS 4-VI	Poz 6208	50-55	<i>Pinus silvestris</i>	9570 ± 50 BP	10722-11125 cal BP
ROSS 4-VIII	Poz 6147	70-75	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1280 ± 30 BP	1171-1288 cal BP
ROSS 4-VIII	Poz 6149	70-75	<i>Fagus sylvatica</i>	2930 ± 35 BP	2967-3171 cal BP
ROSS 4-IX	Poz 6146	90-100	<i>Abies pectinata</i>	18200 ± 100 BP	21181-22052 cal BP

Tab. 5.III : Datations ¹⁴C et cal BP de charbons de bois, classées par site et par profondeur pour le massif du Hohneck et du Rossberg

* Les âges calibrés (cal BP - Before Present) sont calculés à partir des âges ¹⁴C grâce au programme de calibration IntCal04 (Calib Radiocarbon Calibration Program) de M. Stuiver & P.J. Reimer, s'appuyant sur les courbes de calibration de Reimer *et al.* (2004). Les résultats sont donnés à 2 σ (sigma), donnant des résultats à 94,5 % de chances de se trouver dans l'intervalle de dates indiqué. Lorsque plusieurs intervalles étaient possibles, l'intervalle ou les intervalles choisi(s) est (sont) le (les) intervalle(s) le (les) plus probable(s). Les calibrations sont placées en Annexe 16.

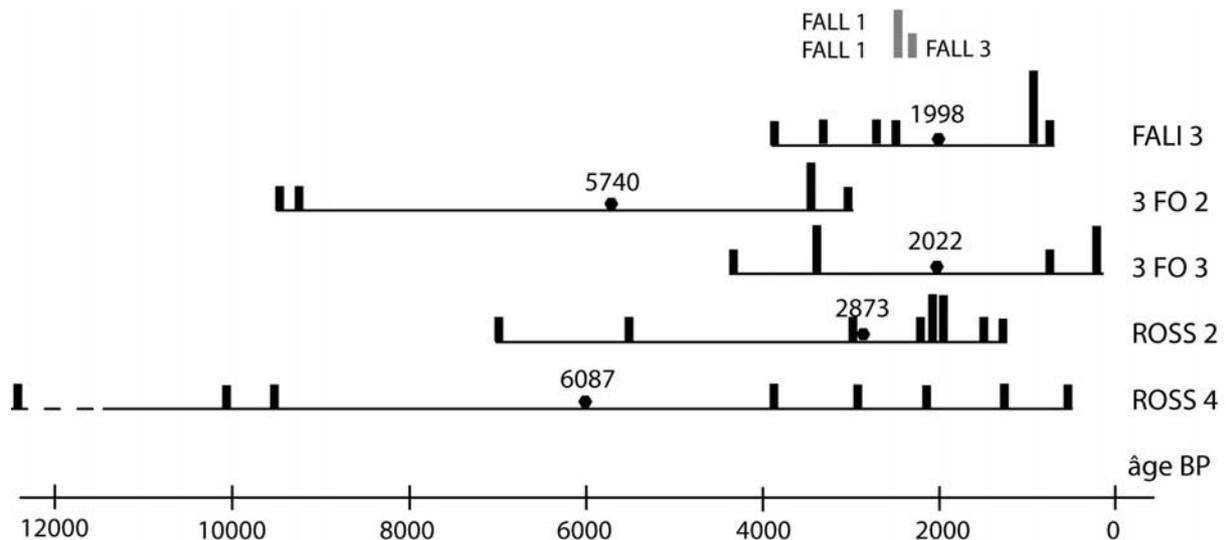


Fig. 5.3 : Histogramme des fréquences de feux pour chaque station, étalement des dates et moyenne par profil de sol des âges des charbons datés (BP) - En gris, dates isolées de Fall 1 et Fall 3

5.2.2. Les corrélations entre âge des charbons et profondeur

La Fig. 5.4 présente la droite de corrélation entre l'âge des charbons datés et la profondeur du sol dans lequel ils ont été prélevés, ainsi que l'équation de cette droite et le coefficient de détermination (R^2). Les corrélations sont très variables selon les profils dans lesquels des charbons ont été datés. Toutefois, dans le profil de ranker cryptopodzolique de Fali 3, et dans les deux profils Ross 2 et Ross 4, l'absence de corrélation entre âge et profondeur des charbons est flagrante (Fig. 5.4 a, d et e). Elle est meilleure sur 3FO 3 (Fig. 5.4 c), parce que les dates sont relativement groupées en deux séries ; le R^2 y est de 0,65. Il s'agit du seul profil dans lequel la corrélation est relativement bonne, les charbons datés se répartissant du plus jeune au plus vieux de la surface en profondeur. Quant à la station 3FO 2, avec cinq dates groupées en profondeur (Tab. 5.III, Fig. 5.4 b), la corrélation est très forte ($R^2=0,99$), les datations n'étant pas significativement différentes. Ceci est lié à la faible dispersion des âges, groupés en 2 catégories.

Il convient de revenir sur les âges des charbons dans les sols du Rossberg (Fig. 5.4 d et e). Non seulement les âges ne sont pas corrélés avec la profondeur, mais la population de charbons datés y semble même particulièrement mélangée : dans le Ross 2, trois charbons de *Juniperus communis* datés de la même période vers 2210 ± 30 BP, 2135 ± 30 BP et 2113 ± 35 BP sont situés à des profondeurs différentes : 20-25, 50-55 et 70-75 cm. A l'inverse, des charbons d'âges très différents peuvent être trouvés à une même profondeur. Pour preuve, le niveau 20-25 cm du profil Ross 4 contient un charbon d'*Acer pseudoplatanus* datant de 570 ± 30 BP, un charbon de *Corylus avellana* datant de 3850 ± 35 BP et un charbon de *Pinus sylvestris* vieux de 10170 ± 170 BP.

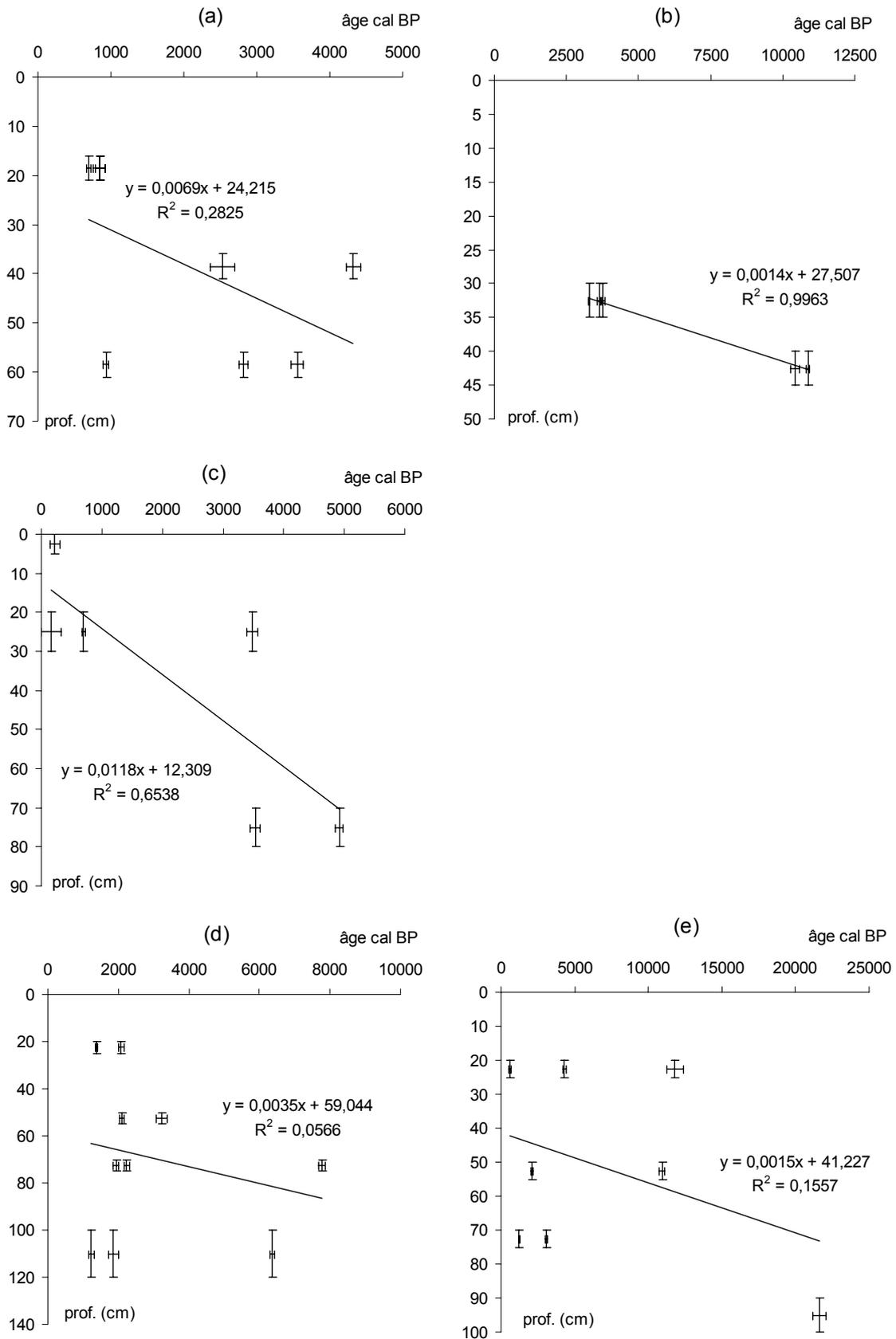


Fig. 5.4 : Corrélations entre l'âge des charbons et leur profondeur dans le sol : (a) Fali 3, (b) 3FO 2, (c) 3FO 3, (d) Ross 2 et (e) Ross 4. Les barres horizontales et verticales correspondent respectivement à l'intervalle des datations (à 2σ) et à l'épaisseur du prélèvement.

5.2.3. Vitesses de migration

A partir des datations obtenues, et connaissant la profondeur de prélèvements des charbons, il est possible de calculer des vitesses moyennes de migration de ces charbons dans les sols. La vitesse est estimée par le rapport entre la profondeur moyenne du niveau dans lequel le charbon a été prélevé (en cm) et l'âge du charbon (en âge ^{14}C BP), multiplié par 100 pour obtenir une unité exprimée en cm/100 ans. Le tableau de calculs est présenté en Annexe 17. Etant donné la variabilité des dates et donc des vitesses de migration, la Fig. 5.5. présente pour chaque charbon les vitesses minimale et maximale possibles par des barres horizontales. Les valeurs extrêmes sont calculées par les rapports entre la profondeur minimale et l'âge maximum et inversement entre la profondeur maximale et l'âge minimum du charbon. Cette Fig. 5.5 met en évidence une courbe qui correspond à une loi de décroissance de la vitesse de migration des charbons en fonction de l'âge. Les vitesses moyennes, tous profils de sols confondus, varient de $0,22 \pm 0,03$ cm/100 ans à 10 ± 3 cm/100 ans, soit un rapport de 1 à 45. On ne note pas de discrimination en fonction du type de sol, entre rankers et alocrisols.

Ce graphique (Fig.5.5) montre aussi la très grande variabilité des vitesses de migration pour les charbons « jeunes », cette variabilité diminuant nettement avec l'âge.

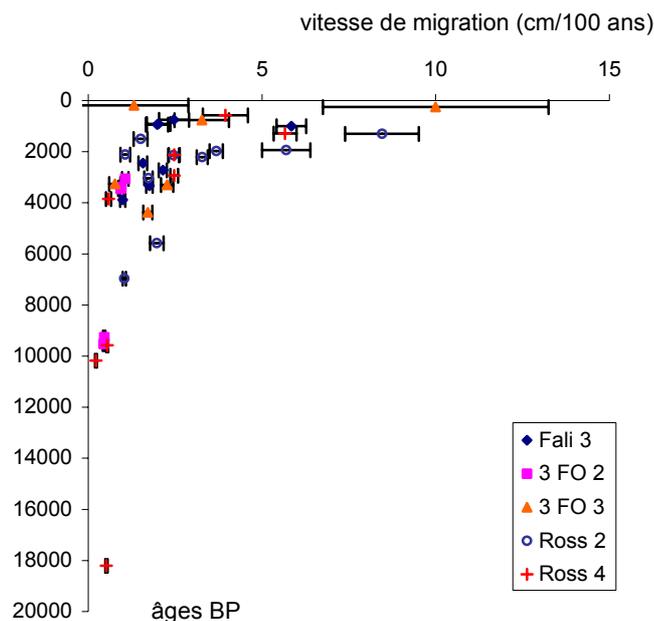


Fig. 5.5 : Vitesses moyennes de migration des charbons (calculées par le rapport profondeur/âge) et l'âge des charbons. Les barres horizontales représentent les vitesses minimales et maximales possibles

5.2.4. Identification des charbons et interprétation

Nous insisterons ici sur quelques espèces qui nous semblaient nécessiter une explication particulière, soit de par sa signification écologique, soit de par la datation. Les points traités sont développés par ordre chronologique.

La date la plus ancienne, isolée vers $18\,200 \pm 100$ BP est celle d'*Abies pectinata* (Tab. 5.III). Cette date, centrée sur le dernier maximum glaciaire ou « Late Glacial Maximum » (LGM), soulève plusieurs questions. En premier lieu, sa présence peut étonner dans un contexte d'extension glaciaire. Mais de nombreux auteurs (André, 1991 ; Flageollet, 2002 ; Andréoli *et al.*, 2006) notent qu'au Würm, les glaciers étaient des glaciers de vallée. L'englacement des versants n'est pas établie. Qui plus est, ce charbon a été découvert dans une grèze lavée, formation de pente périglaciaire (Ross 4), témoignant de l'absence d'englacement du versant, au moins à cette époque. Il serait toutefois curieux que les versants aient été occupés à cette époque par des forêts. Ceci serait en contradiction avec l'ensemble des données palynologiques. Cependant, le sapin est une essence qui peut avoir un comportement pionnier, et rien n'empêche que quelques arbres isolés aient pu pousser sur les versants dans un milieu ouvert, comme c'est le cas dans les Alpes actuellement, au-dessus de la limite forestière. La présence du sapin étonne toutefois, dans la mesure où cette essence n'a pas été trouvée à cette époque dans les diagrammes palynologiques. Ainsi, dans le diagramme de la Grande Pile (Woillard, 1979), les espèces dominantes sont des espèces non arborées ; les seuls ligneux présents semblent être *Salix*, *Betula* et *Pinus* (Annexe 6). Se posent alors des questions relatives :

- à la validité de la datation, le charbon pourrait être éémien et avoir été rajeuni par des matières organiques récentes. Cependant, sa présence dans une grèze litée et lavée, formation de pente périglaciaire renforce la validité de la datation ;
- à la validité de la détermination : nous n'avons toutefois aucun doute quant à l'espèce dont la détermination a été validée par M. Thion. La reconnaissance aisée entre Conifères et Feuillus ne fait pas de doute ; quant à celle des conifères entre eux, le genre *Abies* ne pose pas de problème majeur.

Cette date restant isolée, il est difficile d'en déduire davantage d'informations. D'autres datations seraient nécessaires pour valider les hypothèses ci-dessus. Quant à l'origine de la carbonisation, elle demeure hypothétique ; coup de foudre sur un arbre isolé ? feu intentionnel allumé par des chasseurs à la poursuite de gibier ? La seule certitude en l'occurrence est que ce sapin était bien présent, et a brûlé.

Le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), présent sur le Rossberg vers $10\,170 \pm 170$ BP et 9570 ± 50 BP, est une espèce colonisatrice bien adaptée aux conditions climatiques froides et sèches. Il signale un début de colonisation des versants suite au réchauffement climatique de la fin du Tardiglaciaire. Les deux dates obtenues correspondent bien avec la phase à pin et bouleau (Ruhland, 1969 ; Firbas *et al.*, 1948 ; De Valk, 1981 ; etc), en lien avec l'augmentation des températures, et peut-être la plus forte activité solaire de cette période. Pour autant, la question de l'origine de ces feux peut difficilement être tranchée.

Un charbon de *Salix sp.* n'a pas pu être déterminée au niveau spécifique, alors que plusieurs espèces existent dans le secteur en altitude. Toutefois, ce genre est relativement exigeant en eau et généralement héliophile, avec un caractère souvent pionnier. La période déterminée de 9260 ± 60 BP cadre bien avec la phase d'installation du pin et du noisetier, eux aussi pionniers sur des espaces ouverts. Ce charbon ayant été prélevé sur l'actuel pâturage des Trois-Fours (3FO 2), il n'est pas impossible, au vu de la topographie légèrement déprimée et de la proximité de zones humides, qu'une zone mal drainée ait existé à proximité à cette époque.

Le noisetier, *Corylus avellana*, est présent au Rossberg (Ross 4) vers 3850 ± 35 BP. Cette espèce étant héliophile, on la trouve préférentiellement : (i) soit dans des faciès forestiers très ouverts tels qu'une forêt naturelle ouverte ou une clairière naturelle ; (ii) soit dans des faciès arbustifs de (re)colonisation : anciens pâturages abandonnés ou friches. Sa présence à cette époque peut donc être interprétée soit par la présence d'une forêt relativement ouverte en raison de la présence de nombreux arbres morts (chandelles et chablis), soit par la présence d'une forêt déjà influencée par l'action humaine.

La présence de frêne, *Fraxinus excelsior* aux Trois-Fours 3 entre 3300 ± 35 BP et 3260 ± 35 BP, permet une double interprétation : (i) étant toujours disséminé dans les peuplements, il peut traduire l'existence d'une hêtraie-sapinière, accompagnés éventuellement de chêne, d'aulne, etc ; (ii) cette espèce, exigeante en lumière, en humidité de l'air et en richesse du sol, et bien que sensible aux gelées de printemps, peut parfois jouer un rôle pionnier de terrains abandonnés.

Plus probante est la présence au Rossberg, de trois charbons de genévrier (*Juniperus communis*) datés de 2210 ± 30 BP, 2135 ± 30 BP et 2113 ± 35 BP. Cette espèce ne se rencontre jamais en forêt. Elle est caractéristique d'espaces ouverts abandonnés, en particulier des pâturages et parcours. Ainsi, on la rencontre actuellement en abondance sur les chaumes sous-pâturées du Petit-Ballon (Morang, 2006). Sa présence atteste (i) de l'existence des chaumes avant les I^{er} - II^e siècles av. J.-C. ; (ii) que celles-ci ont subi vers les I^{er} - II^e siècles av. J.C. une phase d'abandon, (iii) suivie d'une réouverture délibérée par le feu (Schwartz *et al.*, 2005). L'antériorité de l'existence des pâturages à la période de feu ne fait aucun doute, étant donné l'écologie du genévrier, qui est à la fois héliophile, résistante au froid et à la sécheresse.

Un charbon de *Populus sp.* vers 1968 ± 32 BP au Rossberg (Ross 2), n'a pu être déterminé à l'échelle spécifique. Toutefois, il correspond vraisemblablement à *Populus tremula* (tremble). En effet, seul *P. tremula* semble (d'après Issler *et al.*, 1965) être présent sur les contreforts vosgiens et les sommets (jusqu'à 1330 m), *P. nigra* et *P. alba* restant plutôt confinés à la vallée du Rhin et à la plaine d'Alsace. Or cette espèce exigeante en lumière, est caractéristique des lisières et des clairières. Sa présence traduirait donc un abandon des chaumes sur un versant qui, 150 à 250 ans auparavant, était envahi par du genévrier commun. La phase de feu s'opposerait à nouveau à cet abandon.

Parmi le genre *Genista*, trouvé au sommet du Hohneck, plusieurs espèces sont possibles. Toutes ont des caractéristiques communes : il s'agit toujours de sous-arbrisseaux, héliophiles, croissant sur les pelouses, landes, lisières ou parfois sous forêts claires (*G. tinctoria*, *G. germanica*). Leur présence est donc un signe de milieu plutôt ouvert.

Les autres espèces présentes (*Abies pectinata*, *Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus*...) sont des espèces courantes des forêts vosgiennes. Elles ont une écologie relativement souple, et peuvent se trouver aussi bien isolées dans des pâturages en raison de leur caractère héliophile, que dans des peuplements forestiers denses pour *Abies* et *Fagus*, plus clair pour *Acer*.

5.3. Discussion

5.3.1. De l'origine possible des feux...

La détermination de l'origine des feux responsables des accumulations de charbons de bois est essentielle pour comprendre les mécanismes à l'origine de l'évolution du couvert végétal. En fait, dans la région et aux époques considérées, les feux ne peuvent avoir que deux origines possibles : une origine naturelle lors d'épisodes orageux, ou une origine anthropique liée à des phases de défrichements. On peut totalement exclure une origine volcanique, ou encore celle d'incendies propagés à partir de feux couvant sous terre, liés à des veines de houille subaffleurantes, connues par exemple à Bornéo (Bertault, 1991). De même, l'hypothèse d'incendies propagés à partir de tourbières et liés à la combustion de méthane est à exclure, ne serait-ce qu'en raison de l'absence de tourbières dans le massif du Rossberg.

Plusieurs éléments, qui ne sont pas pour autant des preuves formelles plaident fortement en faveur d'une origine anthropique des feux.

- En premier lieu, on peut se référer aux conditions climatiques actuelles, qui ont été à peu de choses près celles qui ont prévalu dans les Vosges depuis près de 6000 ans. Ces conditions, très pluvieuses, ne sont pas du tout favorables aux feux, contrairement à d'autres régions, comme les milieux méditerranéens qui ne sont absolument pas comparables. Les résultats collectés par Diarra (en cours) sont éloquentes : sur l'ensemble des incendies qui ont affecté les forêts alsaciennes depuis 25 ans, aucun n'a pu être rapporté à un événement climatique. L'origine des feux n'est pas toujours établie. Mais quand elle l'est, ce sont la malveillance ou l'imprudence qui en sont à l'origine et jamais un événement climatique. Même pendant la sécheresse de l'été 2005, aucun incendie naturel n'a affecté la région. L'analyse des fréquences de feux relevés sur les 25 dernières années dans la région montre que les feux les plus importants, tant en nombre qu'en superficies brûlées ont lieu au printemps (avril - mai) et à la fin de l'été. Ces feux ne sont donc pas corrélés aux chaleurs estivales ou aux précipitations les plus faibles. Mieux, une enquête menée auprès des agents ONF (plus de 60 agents y ont répondu) va dans le même sens. Aucun agent ne fait état d'incendie naturel sur le secteur dont il a la charge. Un seul fait état d'un incendie de ce type, dans une affectation précédente en Lorraine, et à basse altitude. Ces agents notent la présence abondante dans leur zone de compétence d'arbres foudroyés. Le plus souvent, ils sont simplement déchiquetés. Quand ils sont en partie brûlés par la foudre, la carbonisation est superficielle, et le feu ne se propage pas. Il est vrai que dans la région la foudre s'accompagne presque systématiquement de pluies orageuses violentes qui auraient vite fait d'éteindre l'incendie. Les agents ONF notent par ailleurs que ce sont majoritairement les résineux qui sont foudroyés, et plus rarement les feuillus.
- Il convient ensuite de se reporter aux fréquences des feux identifiés par les datations ^{14}C . Le corpus de 40 datations est suffisamment important pour avoir en l'occurrence valeur statistique. La Fig. 5.2 est sans équivoque : sur 40 dates, seules cinq dates sont comprises entre 21 000 et 7000 BP, alors que 35 se rapportent aux 7000 dernières années ; trente-trois de ces dates correspondent même aux 4500 dernières années. On

notera également une date unique entre 9260 et 5580 ans BP, au cours de l'Atlantique ancien, période où le climat, plus chaud et plus sec qu'actuellement devait être plus favorable aux incendies. Or les quatre derniers millénaires sont marqués par une emprise très forte de l'Homme sur le milieu. La convergence entre la répartition des feux et cette action est au moins troublante...

- Enfin, une analyse fine de la répartition des feux sur les quatre derniers millénaires montre des oppositions de phase de feux assez importantes entre les massifs du Rossberg et du Hohneck. Ces oppositions ressortent partiellement de la Fig. 5.2, mais plus encore des Fig. 8.1 et 8.2, ce qui ne plaide pas en faveur de l'existence à l'échelle régionale de phases climatiques courtes favorables au feu.

On relèvera avec intérêt que dans un article très récent, Carcaillet *et al.* (2007) argumentent en faveur de l'existence de nombreux incendies naturels dans les taïgas scandinaves. Ils se basent sur le fait que les fréquences de feux y sont bien plus élevés dans la première partie de l'Holocène (donc à une époque où l'agriculture était inconnue dans la région) et sur le fait que les charbons, prélevés dans trois lacs différents étaient quasiment tous contemporains. Nos observations sont diamétralement opposées à celles de ces auteurs, mais les conclusions sont en définitive les mêmes : l'âge ancien des feux et leur contemporanéité plaide en faveur d'événements climatiques régionaux particuliers, l'âge récent des feux et les oppositions de phases entre massifs plaide en faveur d'une origine anthropique, d'autant plus vraisemblable que les conditions climatiques qui prévalent dans les Vosges sur les quatre à cinq derniers millénaires ne sont pas favorables aux incendies naturels.

Nous n'avons pour le moment pas discuté de l'hypothèse d'une propagation des feux à partir de feux couvants d'humus, également liés à la foudre. Nous ne pouvons entièrement écarter cette hypothèse. Mais ce qui est valable pour les arbres foudroyés l'est également pour l'humus : les coups de foudre s'accompagnant très systématiquement de pluies orageuses violentes, il est peu probable que des feux puissent se propager à partir de l'humus. En conclusion, même si l'origine des incendies ne peut être établie avec certitude, il est hautement probables qu'ils soient anthropiques. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de Thinon (1992). C'est cette hypothèse que nous privilégierons dans la suite de notre exposé.

5.3.2. ... à la richesse des sols en charbons

Quels qu'en soient les raisons et le type d'incendie, les conséquences sur la végétation et sur les sols sont les mêmes. Les feux entraînent toujours des processus de combustion incomplète qui produisent des charbons, à condition qu'un combustible soit présent. Dans les sols des Hautes-Chaumes et des forêts adjacentes, la richesse en charbons est très variable. La question qui se pose alors est de savoir quels facteurs sont susceptibles d'intervenir dans la forte variabilité des ASG d'un profil à l'autre. Nous allons ainsi discuter des rôles possibles de la pente, de l'orientation, de l'altitude et/ou de la végétation, ainsi que des facteurs humains (Tab. 5.IV). Nous écartons de cette discussion le rôle éventuel du climat, celui-ci étant relativement homogène sur l'ensemble de la zone considérée.

Les paramètres de pente ou d'orientation du versant ne sont pas corrélés aux ASG. En effet, nous avons tenté dans le Tab. 5.IV et les Fig. 5.6 b et 5.6 c de mettre en évidence le rôle

possible de ces facteurs sur la richesse en charbons des sols. Les R^2 sont quasiment nuls : 0,03 pour la pente et 0,07 pour l'orientation. L'épaisseur des sols n'est pas non plus à mettre en cause (Fig. 5.6 d), le coefficient de corrélation R^2 avec les ASG s'avérant très faible.

L'altitude pourrait constituer un facteur *indirect* de richesse ou au contraire de raréfaction des sols en charbons (Fig. 5.6 a et Tab. 5.IV). En effet, au travers de l'altitude, c'est le type d'écosystème, forestier ou prairial, qui favorise ou défavorise la production en charbons. Il apparaît que l'altitude n'est pas corrélée aux ASG dans les sols vosgiens ($R^2 = 0,03$), ce qui n'est pas le cas dans les Alpes par exemple (voir *infra*). Le paramètre « type de végétation » est aussi susceptible de jouer un rôle sur les quantités totales de charbons des sols. En effet, la productivité en charbons d'un écosystème est directement liée à celle de la productivité en bois, très variable d'un écosystème à l'autre. Les ASG pourraient donc dépendre des types d'écosystèmes passés ou actuels. Les corrélations avec le type de sol et le type d'écosystème ne pouvant pas s'apprécier quantitativement, nous avons procédé à un regroupement des profils d'antracomasses, en séparant d'une part aloccrisols sur granites, aloccrisols sur grauwackes et rankers cryptopodzoliques, pâturages et forêts d'autre part. Il en résulte quatre catégories (Fig. 5.7) :

- (a) aloccrisols sur grauwackes, sous pâturages : Ross 2 et Ross 4 ;
- (b) aloccrisols sur granites, sous pâturages : Fali 2, Fali 4, 3FO 2, C-Sch ;
- (c) aloccrisols sur granites, sous forêt : Fali 1, Fali 5, 3FO 1 et 3FO 3 ;
- (d) rankers cryptopodzoliques sur granites, sous chaumes primaires : Fali 3, Kas 1, P-Hoh.

Profil	ASG (mg/kg)	épaisseur du sol (cm)	pentés (%)	altitudes (m)	orientation	orientation (en °)
3 FO 1	4,7	45	7,5	1250	SE	225
3 FO 2	42,8	45	15	1200	E	270
3 FO 3	450,4	80	35	1080	ESE	247,5
FALI 1	95,5	90	25	1220	SO	135
FALI 2	17,1	50	25	1250	SO	135
FALI 3	119,3	90	3	1306	E	270
FALI 4	17,6	85	6,5	1270	NNE	337,5
FALI 5	6,7	50	6,5	1240	NNE	337,5
C-SCH	22,9	70	2	1230	S	180
P-HOH	37,7	60	2	1285	NE	315
KAS 1	12,4	65	8	1340	NE	315
ROSS 2	90,3	110	30	1080	SE	225
ROSS 4	21,2	100	35	1100	E	270
R2 =		0,37	0,03	0,03	0,07	
R2 (3 FO 3 inclus) =		0,08	0,24	0,27	0,01	

Tab. 5.IV : Rappel des caractéristiques des stations, et coefficient de détermination (R^2) entre les ASG et plusieurs paramètres physiques (l'orientation est traduite quantitativement en degrés ° par rapport au Nord afin de pouvoir calculer le coefficient de corrélation)

Bien qu'aucune règle générale n'apparaisse, certaines remarques peuvent être faites :

- les anthracomasses sous forêts sont parfois très faibles, parfois très fortes ;
- les alocrisols du massif du Hohneck sous pâturages (Fig. 5.7 b) semblent globalement moins riches que ceux sous forêts actuelles (Fig. 5.7 c). Ce qui pourrait signifier que localement, certaines forêts adjacentes ont été davantage soumises à des feux (fréquence d'apparition et/ou intensité supérieures) que les chaumes ;
- les rankers cryptopodzoliques Fali 3, Kas 1 et P-Hoh (Fig. 5.7 d) ne se différencient pas fondamentalement des alocrisols, hormis par le fait que les ASG semblent en moyenne légèrement supérieures. Par contre, ils se différencient nettement entre eux en terme d'ASG, le profil Kas 1 ayant les valeurs les plus faibles.

Ces données ne permettent pas de regrouper certains écosystèmes actuels entre eux en terme d'anthracomasses. L'absence de corrélation entre type d'écosystème et ASG est certainement liée au fait qu'au cours du temps, les écosystèmes ont évolué. Ainsi, l'ouverture des espaces forestiers a pu provoquer une diminution des apports possibles en combustible, diminuant d'autant les apports de charbons aux sols. A l'inverse, de faibles ASG ne sont pas significatives de la seule existence de pâturages (voir au § 5.3.4. la discussion sur la comparaison avec d'autres régions).

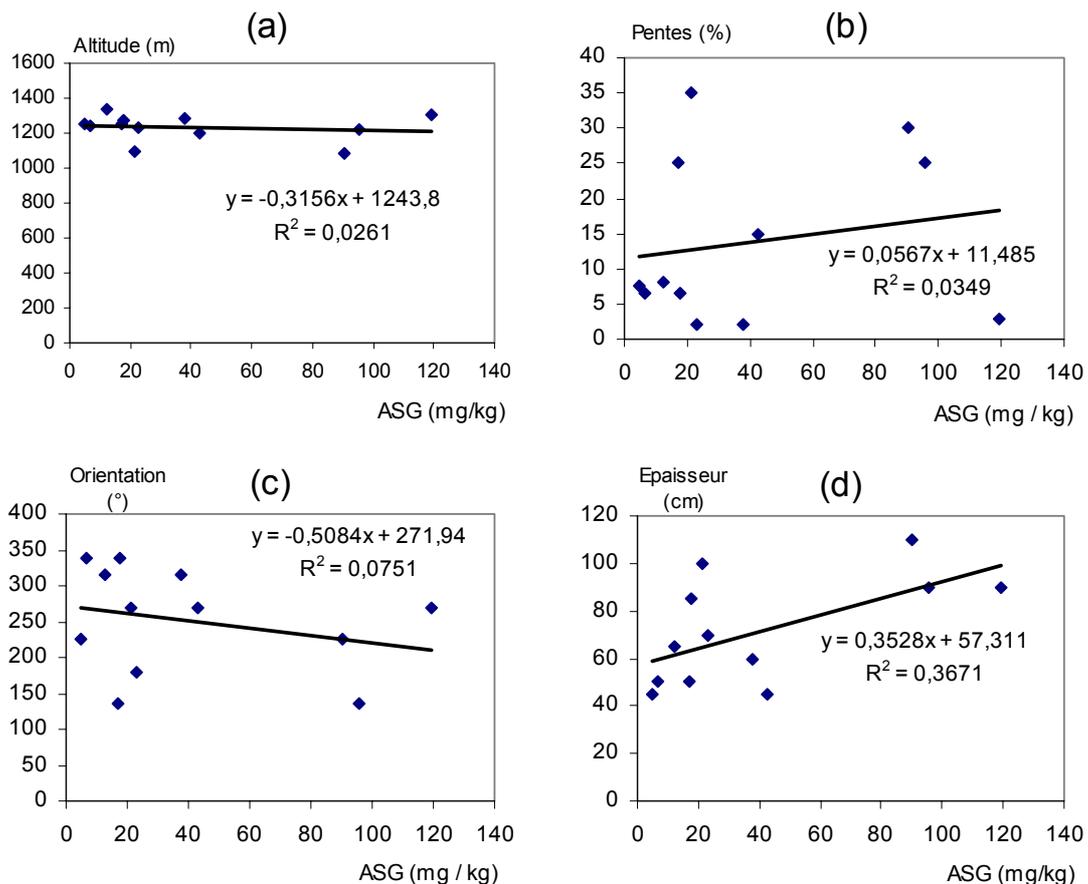


Fig. 5.6 : Corrélations entre Anthracomasses Spécifiques Globales et (a) l'altitude, (b) la pente (c), l'orientation du versant, (d) l'épaisseur des sols (en prenant pour limite le début de l'altérite), et droites de corrélations correspondantes. Les corrélations ont été calculées sans tenir compte du profil 3FO 3 dont les anthracomasses sont très exceptionnelles.

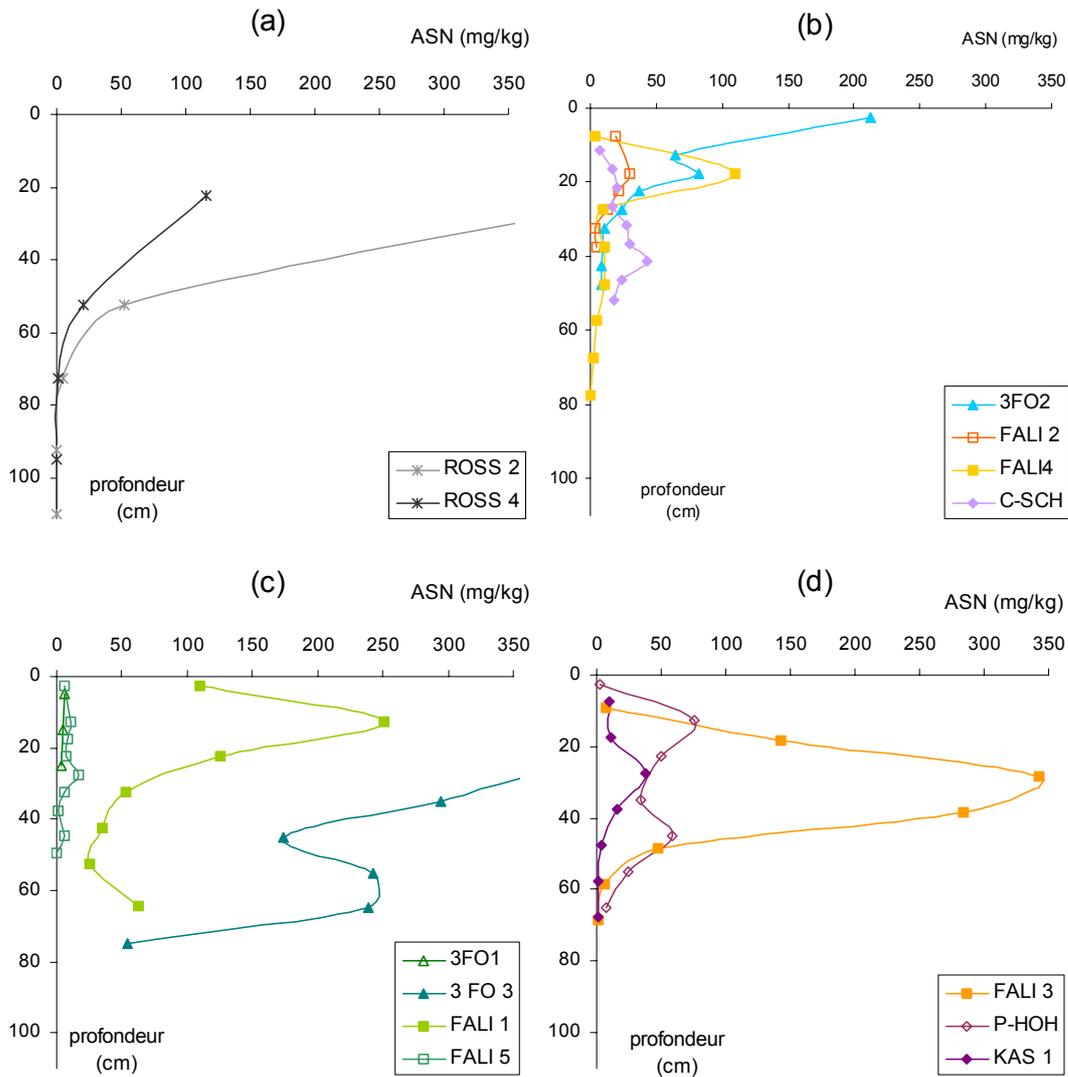


Fig. 5.7 : Anthracomasses en fonction des types de sols et d'écosystèmes - (a) alocrisols sur grauwackes, sous pâturage ; (b) alocrisols sur granites, sous pâturage ; (c) alocrisols sur granites, sous forêt ; (d) rankers cryptopodzoliques, sous pâturage. Remarque : Les échelles verticales et horizontales sont respectées.

Il convient d'insister ici sur le fait que les rankers, censés être couverts de chaumes « primaires » ne se différencient pas fondamentalement des autres sols, si ce n'est que leur ASG est même souvent supérieure à celle des alocrisols. Il est dès lors évident que ces sols ont aussi été, à une époque, recouverts de forêts. Nous reviendrons sur ce point au 5.3.4, en utilisant les arguments apportés par des études effectuées dans les Alpes.

On reviendra sur la très forte valeur de l'ASG de 3FO 3 : elle pourrait être liée à un « accident ». *A priori*, les hypothèses possibles à cette richesse sont multiples. On évoquera en premier lieu (i) une carbonisation *in situ* d'une racine, d'une souche voire d'un arbre entier, ou un coup de foudre sur un arbre isolé sur une chaume par exemple. Cette hypothèse ne peut être retenue ici ; dans ce cas, une seule espèce aurait été déterminée, ce qui n'est pas le cas. Il pourrait aussi s'agir (ii) d'un ancien feu de camp, le site étant en

position d'abri contre les vents d'Ouest ; mais dans ce cas les quantités prélevées seraient sans doute encore plus élevées.

Les valeurs les plus faibles se situent actuellement sous forêts de reconquête (3FO 1 et Fali 5). Ces écosystèmes semblent avoir été moins touchés par les feux, soit de manière qualitative (moindre intensité des feux), soit de manière quantitative (moindre fréquence d'apparition des feux).

En conclusion, les stations, même faiblement distantes - parfois de quelques centaines de mètres seulement - possèdent des ASG très différentes, et aucun facteur du milieu ne permet de trouver une explication satisfaisante à la répartition des charbons. On en déduira que la richesse en charbons d'un sol ne dépend finalement que de son histoire très locale, à l'échelle du site d'étude, donc ici de la station végétale. L'importante variabilité des ASG des différents sols nous amène également à conclure qu'une généralisation à l'échelle de chaque massif en terme d'événements de feux n'est pas possible. La spatialisation est donc rendue délicate, le passage d'un feu pouvant ne toucher que de petites surfaces.

5.3.3. ... à leur répartition dans les sols

Les hypothèses pouvant expliquer la répartition des charbons au sein des profils sont multiples. Concernant les faibles quantités de charbons des horizons de surface, qui est presque toujours de règle hormis pour le 3FO 2, elles pourraient notamment s'expliquer par l'absence de phases de feux depuis un temps suffisamment long pour que l'activité biologique ait permis l'enfouissement des charbons sous la surface. Quant à la répartition au sein des autres horizons (S_{ai} et C), plusieurs facteurs sont susceptibles d'intervenir.

La pente peut entraîner une migration latérale des charbons de bois, enrichissant ou au contraire appauvrissant la station étudiée. La question reste posée pour 3FO 3 qui est situé sur un très léger replat, sur un versant en pente moyennement forte. Pour autant, cela ne semble pas pouvoir expliquer la présence de charbons en quantités aussi fortes. Parallèlement, nous pouvons soulever le problème de l'érosion des sols et de ses conséquences sur la répartition des charbons. Aurait-elle pu entraîner une diminution importante des quantités de charbons dans les sols ? Quoi qu'il en soit, la morphologie des sols étudiés ne montre pas de traces d'érosion (incision ou dépôts) en dehors de formations supposées morainiques et de dépôts de pente (Fali 1, 3FO 3). De plus, en aval, dans les vallées, aucun dépôt ne permet de supposer l'existence d'une phase intense d'érosion à l'Holocène (Englert, 2001). Le couvert végétal, forestier ou prairial est suffisamment dense pour protéger les sols de l'érosion. D'autres processus physiques ont pu jouer, tels les chablis, créant un remaniement important des charbons, mais nous n'en avons pas de preuves directes pour les stations étudiées.

L'épaisseur des sols aurait pu jouer dans la mesure où, à apport en charbon égal, la répartition et la densité en charbons de chaque niveau d'un sol peu épais au bout d'un temps T , sera supérieure à celle d'un sol épais (à considérer que le sol est biologiquement actif et que le temps soit suffisamment long pour qu'un mélange ait lieu).

Les types de sols (rankers, alocrisols...) ne semblent pas jouer un rôle majeur dans la répartition des charbons. L'épaisseur des horizons n'est pas non plus à mettre en cause. Par contre, les caractéristiques édaphiques et les différenciations morphologiques entre horizons semblent jouer sur cette répartition, notamment au niveau de la transition A_1/S_{ai} . Les ASN les

plus élevées des profils se situent souvent à cette limite. Ceci est très net dans Fali 3, Fali 4, Kas 1, P-Hoh, 3FO 2 et 3FO 3. On peut y voir les effets d'une « accumulation » de charbons au niveau de cette transition qui s'expliquerait par les changements structuraux et/ou texturaux qui y ont lieu. Il est indéniable que l'augmentation de la densité apparente entre les horizons de surface et les horizons sous-jacents doit jouer un rôle. Mais les très faibles densités apparentes des horizons A_1 des rankers n'expliquent qu'en partie ces accumulations. Le système racinaire dense sous chaumes, et notamment celui des rankers, pourrait lui aussi intervenir dans la répartition des charbons au niveau des horizons de surface. La porosité élevée des charbons peut permettre aux racines fines de s'insérer dans les pores des charbons et les « bloquer » dans l'horizon de surface, ou au contraire accélérer leur fragmentation.

La répartition des charbons au sein des sols est bien entendu fortement liée au brassage biologique. C'est de lui que résulte en partie la décroissance des ASN en fonction de la profondeur. La fragmentation des charbons entraîne leur réduction en taille, ce qui peut augmenter la vitesse de leur migration au sein du profil (voir *infra*). Notons que la vitesse de fragmentation dépend non seulement des conditions édaphiques mais aussi de la structure intrinsèque des charbons, qui varie selon le taxon.

Comparer la répartition des charbons avec celle des matières organiques (MO) soulève des questions. En effet, même si les processus de bioturbation s'appliquent aux deux constituants du sol, des différences fondamentales existent. D'une part, les MO sont apportées annuellement alors que les charbons ne le sont qu'exceptionnellement. Ensuite, les MO sont biodégradées au cours du temps, alors que les charbons subissent certes une fragmentation et une réduction de masse simultanée (Chabal, 1992), mais peuvent se conserver sur des périodes extrêmement longues. D'autre part la taille des charbons est infiniment supérieure à celle des molécules organiques liées aux argiles. Les modes de transferts diffèrent donc certainement. C'est pourquoi, alors que les MO décroissent en général avec la profondeur (Guillet, 1979) la répartition des charbons se fait généralement sous la forme de « ventres » ou de pics dans les horizons médians. Leur répartition ne répond donc pas à une loi de décroissance simple des masses avec la profondeur. Carcaillet & Talon (1996) ont émis l'hypothèse que la répartition des charbons s'effectue « en écailles » (Fig. 5.8 a et b). Le schéma (a) montre l'évolution dans les sols d'une quantité donnée de charbons produits lors d'un incendie au temps T_0 , sous forme d'« écaille ». (b) montre la répartition théorique ($P1 + P2 + P3$) de charbons, provenant de trois phases d'incendies successives. Carcaillet (2001 a, 2001 b) en conclut qu'il n'existe pas de stratification des charbons dans les sols, à partir de la répartition des âges des charbons en profondeur. Ajoutons qu'une distribution bimodale telle que nous pouvons l'observer dans certains de nos sols révélerait le mélange de charbons d'âges différents.

Le brassage biologique est donc un des facteurs fondamentaux de la répartition des charbons dans les sols étudiés. La diminution des vitesses de migration mise en évidence au-dessus (Fig. 5.5) peut s'expliquer par (i) l'influence du brassage biologique décroissant en profondeur ; (ii) les caractéristiques physiques du sol, la densité apparente des horizons structuraux étant supérieure à celle des horizons organiques, le tassement augmentant en profondeur ; (iii) un « blocage » des charbons dans l'horizon C. En effet, une fois que le charbon a atteint le front d'altération de la roche - la transition C/R - il ne peut plus migrer qu'à la

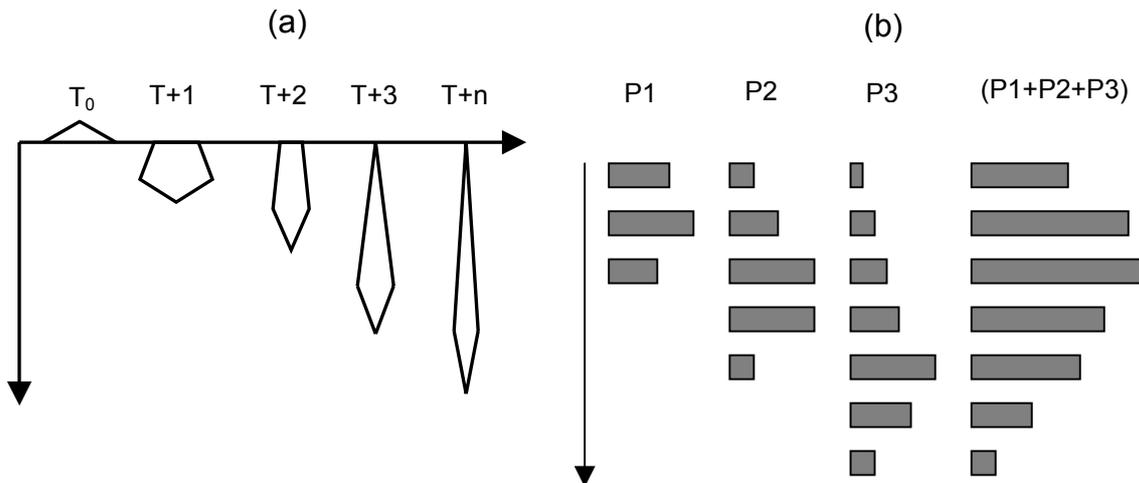


Fig. 5.8. : Répartition en « écailles » des charbons ; (a) Profil quantitatif de descente relative des charbons d'un incendie donné dans un sol en fonction du temps (hypothèse). T_0 correspond à l'accumulation des fragments de charbon de bois après l'incendie. On suppose que la masse totale de charbons est invariable en fonction du temps ; (b) Profils quantitatifs des charbons de bois provenant de 3 phases d'incendies : P1, P2 et P3. La courbe cumulée correspond à (P1, P2, P3) ; (Carcaillet & Talon, 1996)

vitesse d'enfoncement de ce front d'altération, soit des vitesses de l'ordre de 10^{-3} mm/an, soit 0,1 mm/100 ans pour prendre l'échelle de migration des charbons. Autrement dit les charbons sont bloqués (vitesse nulle) une fois arrivés dans le C. En effet, une fois que le charbon a atteint le front de « structure pédologique », c'est-à-dire la limite entre S_{al} et C, il ne peut plus migrer qu'à la vitesse d'enfoncement de ce front. En effet, dans le C, la porosité étant faible, la compacité importante et l'activité biologique faible, les charbons s'y bloquent.

Il n'existe pas de discrimination en fonction du type de sol entre rankers et alocrisols, ni en terme d'ASG, ni en terme de répartition en profondeur, ni en terme de vitesses de migration des charbons dans les sols. Il en est de même pour les types d'écosystèmes actuels, qui ne peuvent pas se discriminer à partir des caractéristiques des charbons dans les sol. Les processus physiques dans ces rankers et alocrisols ont donc les mêmes conséquences en terme de processus sur les charbons.

5.3.4. Comparaisons avec d'autres régions

Les sols étudiés dans les Vosges sont particulièrement riches en charbons. Les ASG les plus élevées sont celles sous hêtraie-sapinière (3FO 3), avec 450 mg.kg^{-1} , et de la chaume « primaire » de Fali 3, avec 119 mg.kg^{-1} . Le profil le plus pauvre, le profil forestier de 3FO 1, contient encore $4,7 \text{ mg.kg}^{-1}$. Globalement ces sols sont donc particulièrement riches. Peut-on considérer pour autant que la présence en quantités importantes de charbons dans nos sols est significative de la présence d'une végétation ligneuse passée ? Oui, si l'on considère les très faibles valeurs voire l'absence de charbons des sols alpins au-delà de 2700 m. Dans cette région, le facteur altitudinal est, contrairement à notre cas, un facteur majeur de la présence des charbons dans les sols. En effet, Carcaillet (1996, 1998), Carcaillet & Thinon

(1996), Talon (1997), Talon *et al.* (1998), Carcaillet *et al.* (1998), Carcaillet & Brun (2000), Carcaillet & Talon (2001), Carnelli (2002), Carnelli *et al.* (2004), ont mis en évidence dans les sols alpins :

- que la limite forestière actuelle est située de plusieurs centaines de mètres en dessous de la limite ancienne. Pour ces auteurs, la différence d'altitude serait d'au moins 300 m environ ;
- l'existence d'une diminution très nette des anthracomasses avec l'augmentation de l'altitude. Cette diminution est en lien direct avec les types d'écosystèmes. Arrivant aux limites supra-forestières, qu'elles soient anciennes, vers 2775 m dans les Alpes Suisses, ou actuelles, vers 2440 m, les espèces forestières fournissent une biomasse ligneuse décroissante. Cette diminution de biomasse est liée au ralentissement de la croissance, aux processus de recolonisation plus lents et à la production moindre de fruits avec l'augmentation de l'altitude. En résulte une diminution très importante des ASG dans les sols avec l'altitude. Dans les Alpes sud-occidentales, Talon (1997) obtient des ASG dont des valeurs deviennent inférieures à 1 mg.kg^{-1} de sol à partir de 2400 m d'altitude, et (quasiment) improductifs au-delà, ce qui s'explique par le fait que les prairies alpines naturelles, au-delà de 2700 m, ne contiennent pas de ligneux. Ces observations renforcent très clairement notre conclusion que les rankers des Hautes-Vosges ont connu par le passé une couverture végétale forestière.

5.3.5. Conclusion

Les quantités de charbons et leur répartition dans les sols dépendent finalement à la fois de la fréquence des feux (facteur temporel), de leur intensité (facteur intrinsèque au feu), et de la nature de l'écosystème brûlé (facteur biologique).

Les feux constituant des événements ponctuels dans le temps, les apports aux sols sont irréguliers. C'est pourquoi le schéma classique de décroissance des masses avec la profondeur, connu pour d'autres constituants tels que matières organiques, phytolithes etc (voir *infra*), ne fonctionne pas ici. L'assimilation au cours du temps s'effectuerait selon un schéma « en écaille » selon les hypothèses de Carcaillet & Talon (1996), ce que nous observons souvent sur nos sites d'étude.

CHAPITRE 6

MONOMÈRES DE LA LIGNINE ET PHYTOLITHES :
LES AUTRES TEMOINS DES VEGETATIONS PASSEES

6.1. Les monomères de la lignine

6.1.1. Distribution des monomères de la lignine

Le Tab. 6.1 présente l'ensemble des résultats des analyses des monomères de la lignine effectuées par Martin (2000) et Casner (2001) sur les sols des stations prairiales Ross 1 et Ross 4 et forestière Ross 3 au Rossberg, et sur les sols des chaumes « primaires » Fall 1 et « secondaires » Fall 3 au Hohneck. Il regroupe les variations de chaque unité composant la lignine en fonction de la profondeur : unité syringique (S), vanillique (V), cinnamique (C), p-hydroxy-benzoïque et lignine totale, les teneurs étant données en mg/g de sol. Les teneurs en carbone organique étant trop faibles en profondeur pour permettre une séparation des monomères des lignines, les résultats sont globalement donnés jusque vers 35/40 cm de profondeur.

Les variations des teneurs de chaque unité sont présentées en Fig. 6.1 en fonction de la profondeur pour les cinq profils étudiés. Les teneurs de l'unité syringique (Fig. 6.1 a) du profil forestier Ross 3 s'individualisent nettement par leurs faibles valeurs, tandis que celles des profils prairiaux sont élevées, en particulier Ross 1, celles-ci diminuant nettement jusque vers 20 cm, puis se stabilisant entre 20 et 30 cm. Vers 30 cm, les teneurs en unité syringique des profils sont tous quasiment identiques. La diminution des teneurs en unité vanillique (Fig. 6.1 b) sont fortes sur les 15 premiers cm ; en dessous de 15 cm, la diminution est plus faible. Deux profils se distinguent : Ross 3 dont les valeurs deviennent très stables dès 10-15 cm de profondeur, et Ross 1 dont les teneurs sont nettement supérieures à celles des autres prairies, hormis à partir de 40 cm. La Fig. 6.1 c, représentant l'unité cinnamique, montre des profils aux comportements différents : Ross 3 (forestier), Fall 3 et Ross 4 (chaumes « secondaires ») ont des teneurs très faibles (< 0,1 mg/g), hormis en surface pour Ross 4 (0-5 cm) ; à l'opposé, les teneurs de Fall 1 et Ross 1 augmentent fortement entre la surface (0-5 cm) et 5-15 cm, puis diminuent fortement en dessous de 15 cm. Nous ne commenterons pas les variations de l'unité p-hydroxy-benzoïque, celle-ci n'étant de toute manière guère interprétable en terme d'évolution de la végétation.

Profil, auteur, année	Echantill on profonde ur (cm)		syringi- que	vanilli- que	cinnami- que	lignine totale	p- hydroxy	phénols totaux	S/V	C/V	
											Teneurs en mg/g de sol
ROSS 1	142/2 bis	0 - 5	2,53	3,93	0,2	6,65	2,43	9,08	0,64	0,05	
	142/3	5 - 10	0,98	2,44	0,5	39,2	1,29	5,21	0,40	0,20	
	Martin (2000)	142/4	10 - 15	0,68	1,71	0,51	2,9	1,12	4,02	0,40	0,30
		42/5 quai	20 - 25	0,29	1,06	0	1,35	0,54	1,88	0,27	0,00
		142/6 bis	30 - 35	0,25	0,8	0,01	1,07	0,3	1,37	0,32	0,01
		142/7 bis	40 - 45	0,03	0,22	0	0,25	0,16	0,41	0,14	0,00
142/8 bis	50 - 55	0	0,07	0	0,07	0	0,07	0,02	0,00		
ROSS 3	144/2	0 - 5	0,17	2,24	0,05	2,46	1,37	3,83	0,08	0,02	
	144/3	10 - 15	0,08	0,86	0,04	0,98	0,75	1,73	0,09	0,05	
	Martin (2000)	144/4	20 - 25	0,05	0,66	0,02	0,72	0,33	1,06	0,07	0,03
		144/5	30 - 35	0,06	0,65	0,03	0,74	0,35	1,1	0,09	0,05
		144/6	40 - 45	0,08	0,73	0,02	0,83	0,28	1,11	0,12	0,02
		144/7	50 - 55	0,04	0,8	0	0,84	0,32	1,16	0,04	0
ROSS 4	145/2	0 - 2	3,2	6,66	1,01	10,86	0,9	11,77	0,48	0,15	
	145/3	2 - 5	0,91	1,71	0,41	3,03	0,97	3,99	0,53	0,24	
	Casner (2001)	145/4	5 - 10	0,34	0,72	0,11	1,17	0,38	1,55	0,47	0,15
		145/5	10 - 15	0,13	0,51	0,07	0,71	0,17	0,88	0,25	0,14
		145/6	20 - 25	0,07	0,34	0,04	0,44	0,06	0,5	0,20	0,12
		145/7	30 - 35	0,02	0,05	0	0,07	0,02	0,09	0,40	0,00
FALL 1	192/2	0 - 5	1,38	2,57	0,39	4,35	1,8	6,15	0,54	0,15	
	192/3	5 - 10	1,13	2,11	0,64	3,87	1,99	5,86	0,54	0,30	
	Casner (2001)	192/4	13 - 18	0,24	0,72	0,23	1,19	0,72	1,91	0,34	0,33
		192/5	19 - 24	0,21	0,59	0,16	0,97	0,72	1,68	0,36	0,27
		192/6	24 - 29	0,2	0,39	0,12	0,71	0,65	1,35	0,52	0,31
		192/7	29 - 36	0,07	0,21	0,12	0,4	0,27	0,67	0,32	0,58
192/9	45 - 50	0,04	0,15	0	0,21	0,15	0,35	Ndbl	Ndbl		
FALL 3	193/2	0 - 5	1,1	2,08	0,09	3,27	1,17	4,44	0,53	0,04	
	193/3	5 - 13	0,56	1,08	0,07	1,71	0,78	2,49	0,52	0,06	
	Casner (2001)	193/4	13 - 19	0,19	0,69	0,06	0,94	0,5	1,44	0,28	0,09
		193/5	19 - 24	0,01	0,31	0,01	0,33	0,35	0,68	0,03	0,03
		193/6	24 - 28	0,05	0,19	0	0,24	0,29	0,53	0,26	0
		193/7	28 - 34	0,06	0,11	0	0,17	0,2	0,37	0,55	0
193/8	34 - 39	0,05	0,14	0	0,19	0,19	0,38	0,36	0		

Tab. 6.1 : Analyse des monomères de la lignine (Martin, 2000 ; Casner, 2001)

6.1.2. Comparaison des rapports S/V et C/V

La Fig. 6.2 présente une synthèse de la distribution des lignines dans les profils étudiés, sous la forme d'un diagramme présentant le rapport S/V en fonction du rapport C/V. L'intérêt de cette représentation, comme expliqué dans le § 3.1.3, est de mettre en évidence l'influence prépondérante de quelques grands types de végétaux (graminées, gymnospermes, dicotylédones ligneuses) dans la composition des matières organiques pédologiques. Les points du profil forestier Ross 3 sont toutes très groupées près de l'origine, ce qui correspond à une forte prépondérance de l'unité vanillique. Ceci témoigne du fait que les matières organiques de ce profil dérivent principalement d'une forêt de résineux.

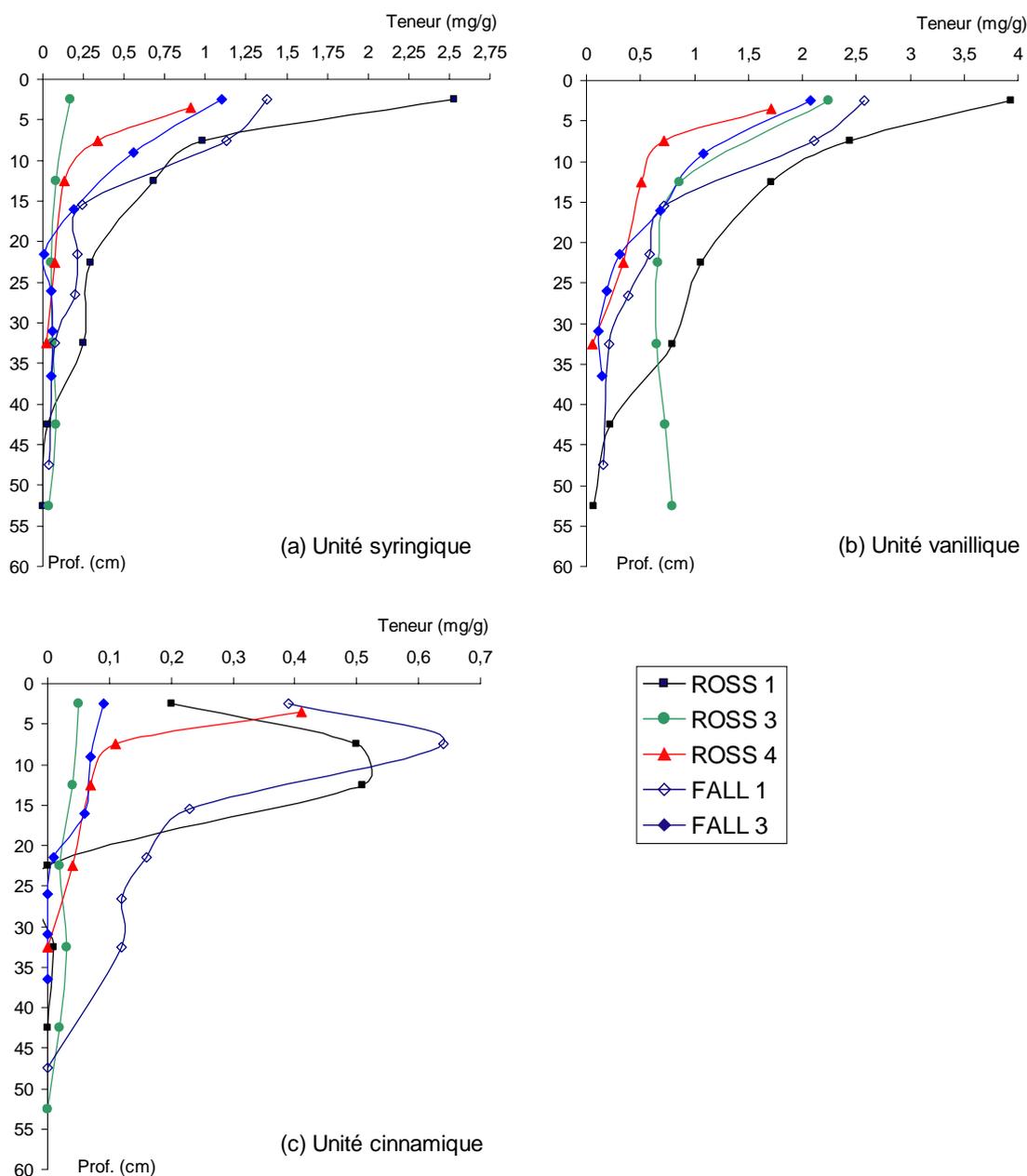


Fig. 6.1 : Variations en profondeur de la teneur en unité syringique (a), vanillique (b) et cinnamique (c)

A l'opposé, les échantillons du profil Fall 1 ont tous des rapport S/V et C/V élevés, respectivement de 0,32 à 0,55 et 0,15 à 0,58. Ceci témoigne d'une influence graminéenne prépondérante. Les valeurs des échantillons des horizons supérieurs de Ross 1 et de Ross 4 se rapprochent de ceux de Fall 1, bien que les rapports y soient généralement plus faibles. Sur ces deux profils, les échantillons de profondeur ont des C/V très faibles, voire nuls. Les points du profil Fall 3 sont globalement alignés verticalement le long de l'axe des ordonnées en raison des valeurs faibles du rapport C/V, ce qui se traduit par une tendance à un caractère forestier plus ou moins affirmé.

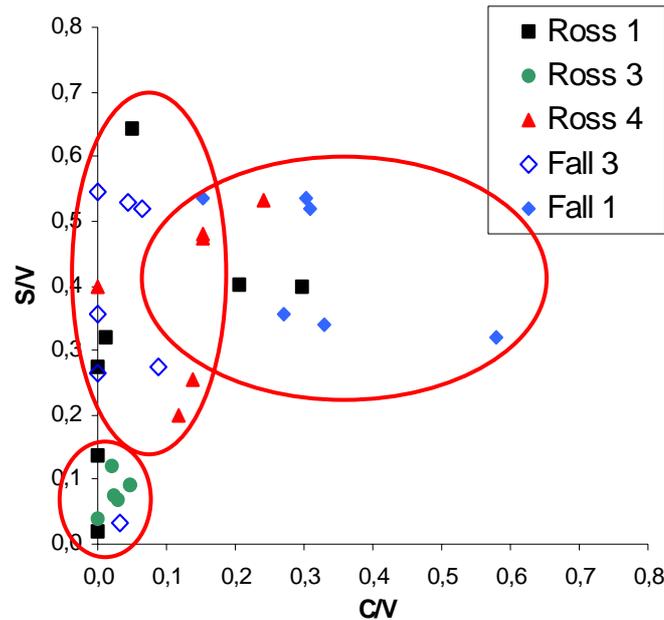


Fig. 6.2 : Distribution des profils de sols en fonction des rapports S/V (unité Syringique/unité Vanilique) et C/V (unité Cinnamique/unité Vanilique) - N.B. : V est produite en majorité par les Gymnospermes, S par les Angiospermes, et C par les graminées.

6.1.3. Discussion

Cette analyse biochimique des monomères de la lignine dans les secteurs du Rossberg et du Falimont (Martin, 2000 ; Casner, 2001 ; Schwartz *et al.*, en prép.) montrent des différences nettes d'un profil à l'autre, correspondant à des différences en terme d'écosystèmes (Fig. 3.1 et 6.2). Très clairement, le profil Ross 3 caractérise un environnement forestier fortement influencé par les Gymnospermes. La forêt actuelle, dont le signal est enregistré dans les horizons de surface est une hêtraie-sapinière à forte proportion de sapins. L'ensemble des points étant très regroupé, on peut estimer qu'ils correspondent tous à ce type d'écosystème, resté relativement stable au cours des derniers siècles. A l'inverse, le profil de chaumes « primaires » Fall 1 est caractérisé par une forte influence graminéenne, même dans les horizons les plus profonds, vers 35 cm. Dans ces horizons, le temps de résidence des matières organiques est de plusieurs siècles : on peut donc estimer que le profil Fall 1 a évolué sous un couvert graminéen quasiment continu depuis plus d'un millénaire. Les deux profils Ross 1 et Ross 4 ont un comportement quasiment identique : les horizons de surface sont très proches de ceux du profil Fall 1 et ont donc une signature prairiale. A l'inverse les horizons plus profonds ont une signature forestière. Le profil Fall 3, qui est également un profil de chaumes « secondaires » a un comportement relativement proche de celui des deux précédents.

Toutefois la signature des horizons de surface est aussi relativement proche d'une signature forestière. Dans ces horizons de surface, le temps moyen de résidence est faible : quelques dizaines d'années. Or il est incontestable que cette chaume a plus de deux ou trois siècles. On ne peut donc invoquer l'existence récente d'une forêt pour expliquer ce signal. Il est vraisemblable que ce soit la forte proportion de ligneux bas comme les callunes et la myrtille qui soit responsable dans cette chaume de ce signal forestier.

6.1.4. Conclusion

Pour partielle qu'elle soit, cette analyse permet nettement de discriminer les trois grands types d'écosystèmes : chaumes « primaires », chaumes « secondaires » et forêts. L'aspect le plus frappant ici est cette distinction entre les deux types de chaumes en terme de monomères des lignines. La chaume « primaire » est totalement exempte d'influence forestière sur l'épaisseur de profil analysée, soit environ 35 cm. A cette profondeur, le temps moyen de résidence de la matière organique est de quelques siècles (1436 ± 42 ans BP vers 29-36 cm). Une durée t égale au temps moyen de résidence étant nécessaire pour remplacer 67 % de la matière organique initiale (Balesdent & Guillet, 1982 ; Schwartz *et al.*, 1992), on peut estimer qu'il n'y a pas eu de forêt sur le profil analysé sur une durée de l'ordre du double, soit sur les derniers 2800 à 3000 ans.

6.2. L'analyse phytolithique

Les analyses ont été effectuées sur un profil forestier (Ross 3) et trois profils de prairie (Ross 1, Ross 4, Fall 2). Le dernier profil, Fall 2 correspond à un ranker cryptopodzolique sous chaume primaire du sommet du Falimont. Il convient d'y ajouter, à titre de comparaison, quatre échantillons de référence d'horizons de surface, pour la hêtraie (réf H), la sapinière (réf S), la lande à callune (réf LC) et la lande à myrtille (réf LM) (Goepp, 2001). Les résultats concernent à la fois l'utilisation des phytolithes pour les reconstitutions de paléovégétations (Goepp, 2001) et en terme pédologique, le rôle des processus pédogénétiques sur la distribution et la préservation des phytolithes (Goepp *et al.*, en prép.).

6.2.1. Utilisation des phytolithes en terme paléoenvironnemental

6.2.1.1. Résultats

Même si les phytolithes peuvent dans certains cas conserver la « mémoire » des écosystèmes passés (voir par ex. Kelly *et al.*, 1991 ; Bush *et al.*, 1992 ; Fredlund & Tieszen, 1994 ; Fisher *et al.*, 1995 ; Piperno & Becker, 1996 ; Alexandre *et al.*, 1997 ; Fredlund & Tieszen, 1997 a, 1997 b ; Kelly *et al.*, 1998 ; Barboni *et al.*, 1999), le détail des assemblages phytolithiques obtenus n'est pas repris ici, car ils ne sont pas particulièrement significatifs. Pour plus de précisions, on se reportera à Goepp (2001). D'autre part, leur interprétation est délicate dans les sols, comme on le verra dans la discussion *infra*. Nous commenterons simplement l'indice D/P (§ 3.1.4), qui nous permet d'estimer le rapport entre Dicotylédones ligneux et Poaceae (graminées), donc de donner une idée de la couverture forestière passée (Fig. 6.3).

Les D/P des profils Fali 3 et Ross 1 sont les plus faibles et relativement peu variables avec la profondeur. Les D/P de la station Ross 4 montrent à l'inverse des valeurs en moyenne plus élevées. Les valeurs de ces D/P sont de l'ordre de celles de la hêtraie-sapinière actuelle Ross 3. Notons que, sous cette forêt, les valeurs de surface (0-5 cm) sont plus faibles que dans les horizons sous-jacents.

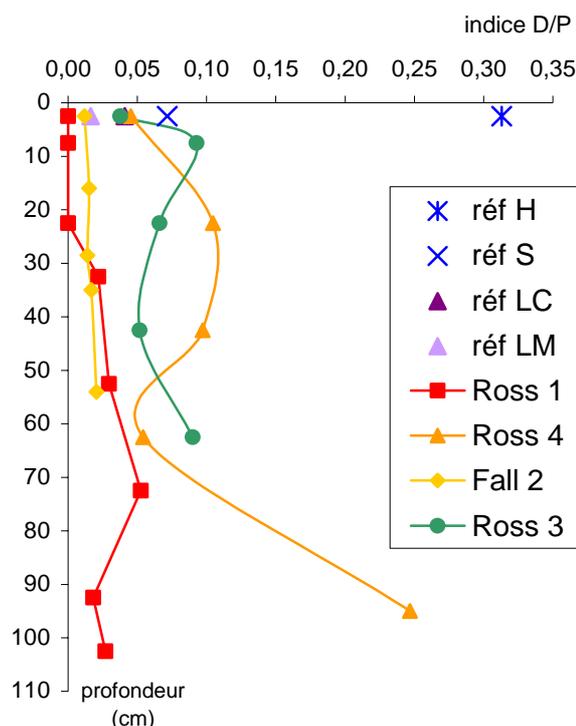


Fig. 6.3 : Indice D/P des échantillons de référence et variations avec la profondeur au Rossberg, sous prairies (Ross 1 et 4), sous hêtraie-sapinière (Ross 3) et sous chaumes dites « primaires » (Fall 2).

6.2.1.2. Discussion

La différenciation entre les trois pâturages analysés, dont 2 au Rossberg et 1 au Falimont, pourrait être liée au fait que les chaumes du Ross 4 semblent encore conserver, en atteste le D/P élevé, la trace d'un ancien milieu forestier. Ceci traduirait donc un âge des pâturages plus récent du massif du Rossberg par rapport à celui des pâturages du Falimont, et d'une date d'ouverture plus récente de Ross 4 par rapport à Ross 1.

Ces résultats peuvent être mis en parallèle avec ceux obtenus par la cartographie des charbonnières (Goepf, 2000) et des paléo-chablis (Cloitre, 2005, 2006) dans le massif du Rossberg, qui montrent que ces secteurs ont subi une « ultime » phase de défrichement par l'Homme au cours du XVIII^e siècle (voir *infra*).

6.2.2. Distribution et conservation des phytolithes dans les sols

6.2.2.1. Résultats

Le Tab. 6.II présente les teneurs, stocks et stocks cumulés en phytolithes et en carbone organique des profils Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2.

Les distributions en phytolithes et en carbone sont données en Fig. 6.4. On observera les fortes similitudes de distribution de ces deux constituants pour chaque profil. Les corrélations entre leur distribution sont de fait très fortes (R^2 d'au moins 0,77). Comme fréquemment décrit, les teneurs en phytolithes et en carbone diminuent en profondeur, très fortement dans le profil de ranker (Fall 2), très faiblement au contraire sous forêt (Ross 3).

Les stocks de carbone organique et de phytolithes ont été calculés en utilisant les teneurs (%) et la densité apparente, selon la formule donnée dans les § 3.1.1 et 3.1.4) ; ils sont ex-

Echantillon	Prof. (cm)	Teneur en Phytolithes (g.kg-1)	Stocks de Phytolithes (t/ha/cm)	Stocks cumulés de phytolithes (t/ha)	Teneur en Carbone (g.kg-1)	Stocks de Carbone (t/ha/cm)	Stocks cumulés de carbone (t/ha)
Ross 101	0-5	13,5	0,47	2,32	252	8,71	43,55
Ross 102	10-15	6,3	0,21	5,04	183	6,00	110,34
Ross 103	20-25	2,7	0,13	6,50	105	4,91	162,20
Ross 104	30-35	2,4	0,11	7,66	93	4,35	207,13
Ross 105	40-45	1,3	0,08	8,53	35	2,10	233,76
Ross 106	50-55	0,9	0,06	9,14	19	1,18	247,90
Ross 107	60-65	0,5	0,03	9,51	20	1,20	259,89
Ross 108	70-75	1,6	0,12	10,45	9	0,65	267,77
Ross 109	80-85	0,6	0,04	11,07	13	0,98	276,75
Ross 110	90-95	0,9	0,07	11,70	6	0,47	282,73
Ross 111	100-105	2,77	0,24	13,66	5	0,44	287,18
Ross 301	0-5	4,5	0,15	0,77	106	3,66	18,23
Ross 302	10-15	3,1	0,10	1,92	110	3,61	54,45
Ross 303	20-25	3,4	0,16	3,37	81	3,79	91,90
Ross 304	30-35	1,8	0,08	4,40	66	3,09	124,54
Ross 305	40-45	1,7	0,10	5,37	61	3,66	159,73
Ross 306	50-55	1,7	0,11	6,42	58	3,61	195,99
Ross 307	60-65	1,4	0,08	7,31	55	3,31	229,86
Ross 401	0-5	15,2	0,53	2,63	189	6,53	32,5
Ross 403	20-25	0,5	0,02	6,58	53	2,48	104,4
Ross 405	40-45	0,5	0,03	7,10	12	0,72	134,6
Ross 407	60-65	2,1	0,13	8,90	19	1,14	154,3
Ross 409	90-100	4,2	0,37	18,23	8	0,71	186,0
Fall 2-1	0-5	13,7	0,53	2,7	436	17,00	84,9
Fall 2-3	12-20	8,8	0,59	11,6	192	12,85	296,4
Fall 2-5	25-32	8,3	0,58	18,6	133	9,29	417,0
Fall 2-6	32-38	3,8	0,28	20,2	84	6,11	453,7
Fall 2-7	50-58	2,3	0,20	24,8	55	4,89	553,7

Tab. 6.II : Teneurs, stocks et stocks cumulés en phytolithes et en carbone organique des profils Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2

	Coefficient de détermination R ²		Coefficient de corrélation R	
	Contenu en phytolithes et en carbone	Stocks de phytolithes et de carbone	Contenu en phytolithes et en carbone	Stocks de phytolithes et de carbone
Ross 1	0,84	0,57	91,7	75,5
Ross 3	0,77	0,54	87,7	73,5
Ross 4	0,83	0,42	91,1	64,8
Fali 2	0,87	0,61	93,3	78,1

Tab. 6.III : Corrélations entre phytolithes et carbone, en terme de teneurs et en terme de stocks

primés en t/ha/cm de sol (Fig. 6.5). Les variations avec la profondeur sont du même type que les teneurs, même si les courbes montrent des différences significatives entre carbone organique et phytolithes dans les horizons profonds de Ross 1 et Ross 4 et en surface de Fall 2. Celles-ci sont liées à des variations de la densité apparente et/ou du contenu en éléments grossiers.

Dans les sols des deux chaumes « secondaires » (Ross 1 et Ross 4), on notera une forte diminution des stocks de phytolithes entre les horizons humiques et le S_{ai} , suivie d'un enrichissement dans la partie inférieure de l'horizon S_{ai} . Il est important de noter que ce sont les deux sols les plus épais. L'horizon organique (A_{11} , A_{12}) de la station forestière Ross 3 contient moins de phytolithes que les horizons organiques des autres sols. Dans ce sol, la diminution des stocks de phytolithes avec la profondeur est plus faible que celle des sols de pâturages. Les stocks de phytolithes du ranker cryptopodzolique Fall 2 sont très élevés dans tout l'horizon organique. Nous pouvons noter une forte diminution des stocks à la transition entre les horizons A_1S_{ai} et S_{ai} . Les stocks de carbone organique des sols sous pâturages (Ross 1, Ross 4 et Fall 2) varient de la même façon : ils diminuent du haut de l'horizon A vers la transition A/S_{ai} , la diminution étant faible ensuite dans le S_{ai} . Dans le profil Fall 2, les stocks de carbone restent élevés dans l'horizon S_{ai} . Par contraste avec les autres sites, le sol forestier Ross 3 montre des stocks de carbone constants, en surface mais aussi dans l'horizon S_{ai} . Les teneurs et stocks en phytolithes et en carbone sont comparés en utilisant une régression linéaire. Les coefficients de corrélation entre teneurs en phytolithes et en carbone sont très bonnes (Tab. 6.III). Elles vont de 0,88 (Ross 3) à 0,93 (Fall 2). Les coefficients de corrélation entre stocks sont un peu moins élevés, mais restent élevés, entre 0,65 (Ross 4) et 0,78 (Fall 2).

Les stocks cumulés de phytolithes et de carbone organique sont représentés en fonction de la profondeur (Fig. 6.6). Etant donné que ce type de représentation peut mener à des biais (Arrouays *et al.*, 2003), nous avons étudié les variations de stocks avec les stocks de terre fine. Les deux types de graphiques montrent finalement des résultats similaires, c'est pourquoi nous n'avons pas donné cette dernière figure. Le profil Fall 2 diffère des trois profils du Rossberg par des valeurs élevées du stock total (24,8 t/ha), malgré une épaisseur du profil moindre : 58 cm contre plus de 100 cm sous prairies secondaires. D'importantes différences des stocks totaux de phytolithes peuvent être notés entre le site forestier (Ross 3) et les sites de pâturages (Ross 1, Ross 4 et Fall 2) : ils sont de 7,3 t/ha à 65 cm de profondeur contre 13,7, 18,2 et 24,8 t/ha respectivement pour Ross 1, Ross 4 et Fall 2 à 105, 100 et 58 cm de profondeur (Tab. 6.II).

Si l'on calcule le rapport entre stocks de phytolithes et stocks de carbone organique (Fig. 6.7), ce rapport reste globalement constant au-dessus de 60 cm de profondeur, quel que soit le profil de sol étudié. Il augmente rapidement dans les horizons sous-jacents dans les deux sols les plus épais, Ross 1 et Ross 4, de 60 cm à 1 m. Malgré ces différences dans les horizons profonds, et même si nous ne pouvons pas donner de corrélation statistique, car nous n'avons étudié que quatre profils de sols, les stocks de phytolithes et de matières organiques varient globalement de la même façon sur l'ensemble des quatre sols.

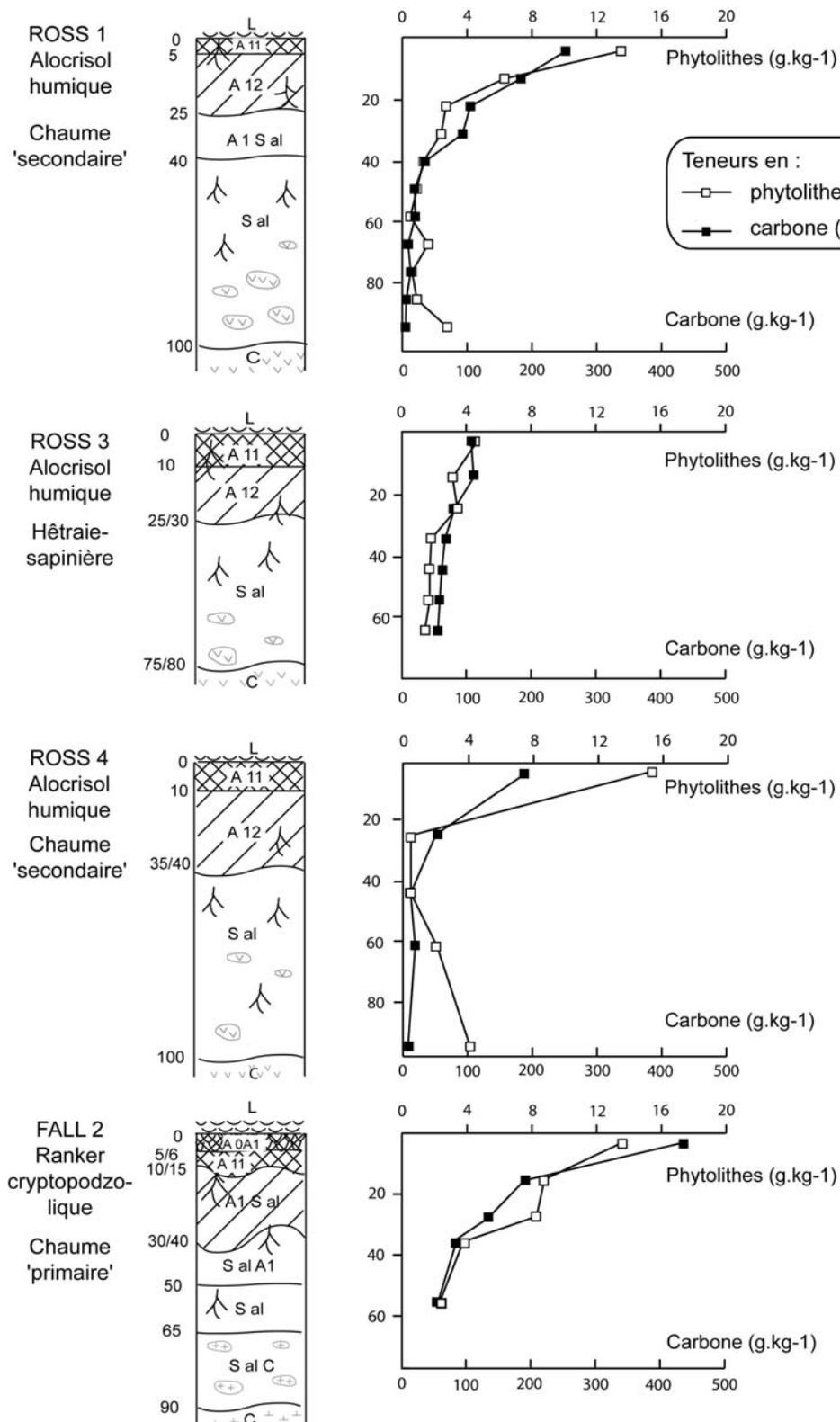


Fig. 6.4 : Comparaisons entre teneurs en carbone et teneurs en phytolithes en fonction de la profondeur pour les stations Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2. L'échelle horizontale est identique pour les quatre profils, et le rapport entre phytolithes et carbone, bien que choisi arbitrairement, est constant dans un rapport de 1 à 25 (20 g.kg⁻¹ de phytolithes pour 500 g.kg⁻¹ de carbone), afin de permettre des comparaisons à la fois entre teneurs et entre sols.

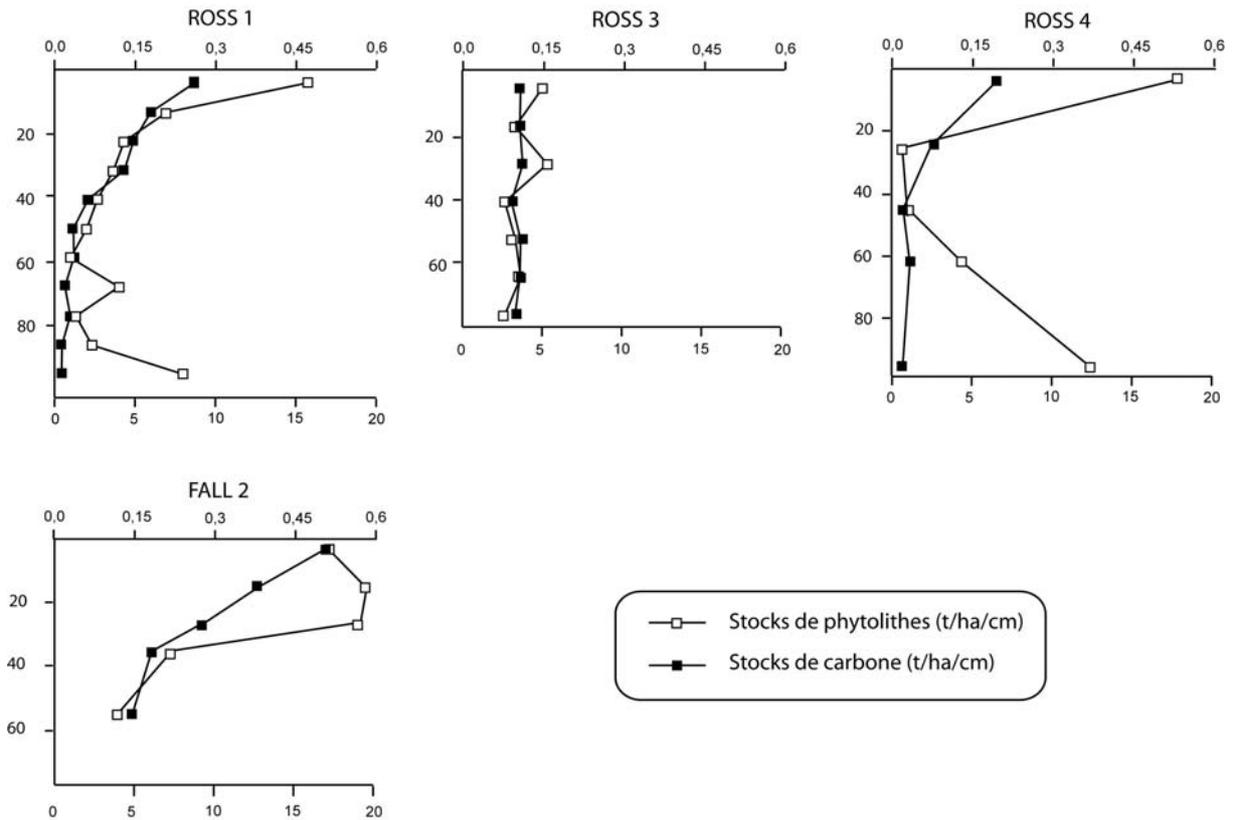


Fig.6.5 : Comparaisons entre stocks de carbone et stocks de phytolithes en fonction de la profondeur pour les stations Ross 1, Ross 3, Ross 4 et Fall 2. L'échelle horizontale est identique pour les quatre profils, et le rapport entre stocks de phytolithes et de carbone, bien que choisi arbitrairement, est constant dans un rapport de 1 à 33 (20 g.kg⁻¹ de phytolithes pour 500 g.kg⁻¹ de carbone), afin de permettre des comparaisons à la fois entre stocks et entre sols.

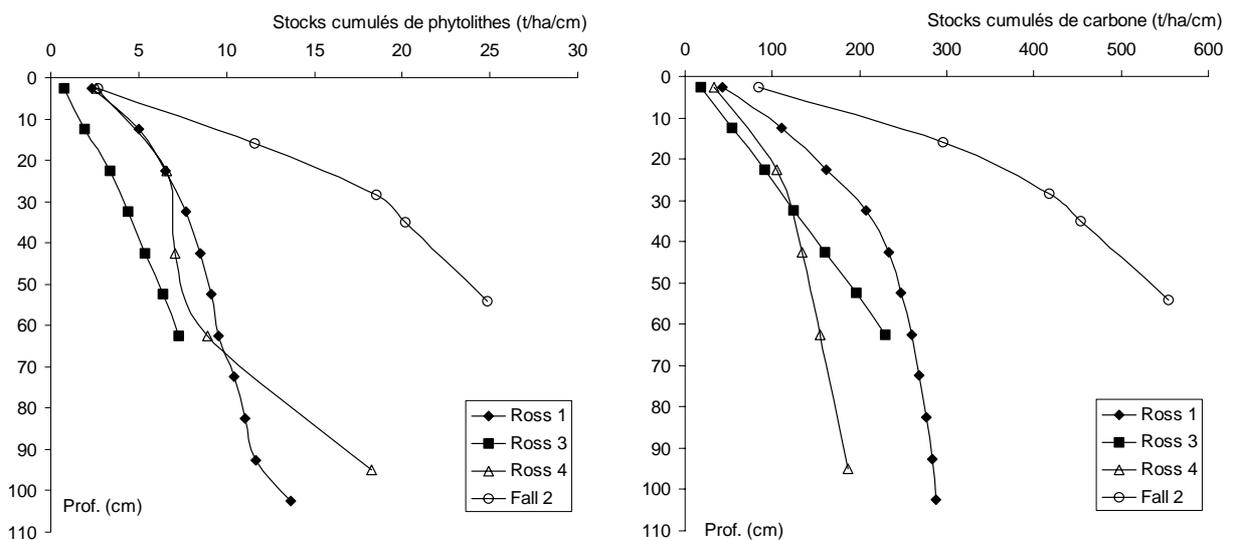


Fig. 6.6 : Stocks cumulés en phytolithes et en carbone dans les quatre profils de sols étudiés

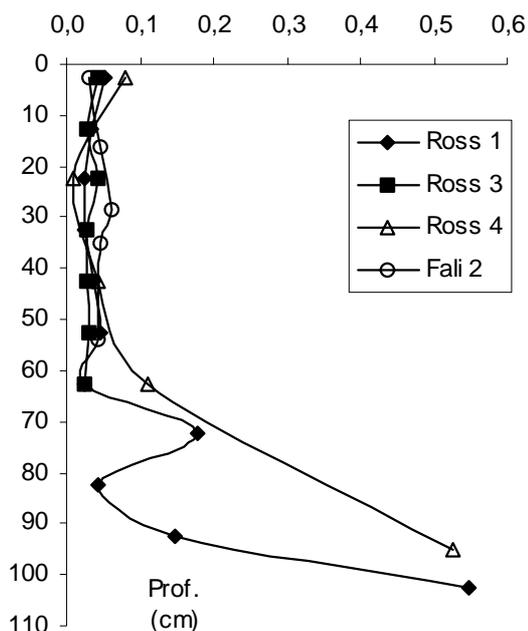


Fig. 6.7 : Rapport entre stocks de phytolithes et stocks de carbone

Enfin, la Fig. 6.8 montre pour chaque profil de sol le pourcentage de phytolithes indéterminables (calculé en % de phytolithes totaux) en fonction de la profondeur. Hormis pour Ross 3, ce rapport augmente significativement avec la profondeur.

6.2.2.2. Discussion

Les teneurs et stocks en phytolithes des sols étudiés sont très variables. Ils semblent dépendre de différents facteurs. Dans les horizons de surface, les variations semblent être corrélées en premier lieu au type de végétation, puis au type de sol. Ainsi, les trois sols sous pâturages (Ross 1, Ross 4 et Fall 2) montrent des teneurs en phytolithes beaucoup plus importantes que le sol forestier Ross 3 (Fig. 6.4). La raison en est l'abondance en Poaceae des pâturages. Il est bien connu que les Poaceae produisent de grandes quantités de phytolithes, contrairement aux autres plantes telles que les Dicotylédones (Jones & Handreck, 1967 ; Wilding & Drees, 1968, 1971 ; Carnelli *et al.*, 2001). Elles représentent la principale source de silice amorphe des sols. Dans les pâturages, elles représentent la principale biomasse végétale, ce qui n'est pas le cas sous forêt. Les différences relevées ainsi entre Ross 3 d'une part et les trois profils prairiaux s'expliquent donc aisément. Par ailleurs, au sein des profils prairiaux, des différences en teneur et en stocks apparaissent entre les deux sites d'étude du Rossberg d'une part et du Falimont de l'autre. Une première explication pourrait être que les pâturages du Falimont sont plus anciens que ceux du Rossberg, ce que semble indiquer l'étude des monomères de la lignine. On pourrait ainsi, en première approche, estimer que cela aurait permis une accumulation plus importante de phytolithes dans cette zone du Falimont. Toutefois, les phytolithes des sols sont soumis à une forte dissolution, et connaissent donc aussi un renouvellement, comme les matières organiques. Elles ne se conservent pas indéfiniment. On peut, à l'instar de la matière organique, définir un turnover et un temps de résidence de ces particules siliceuses dans les

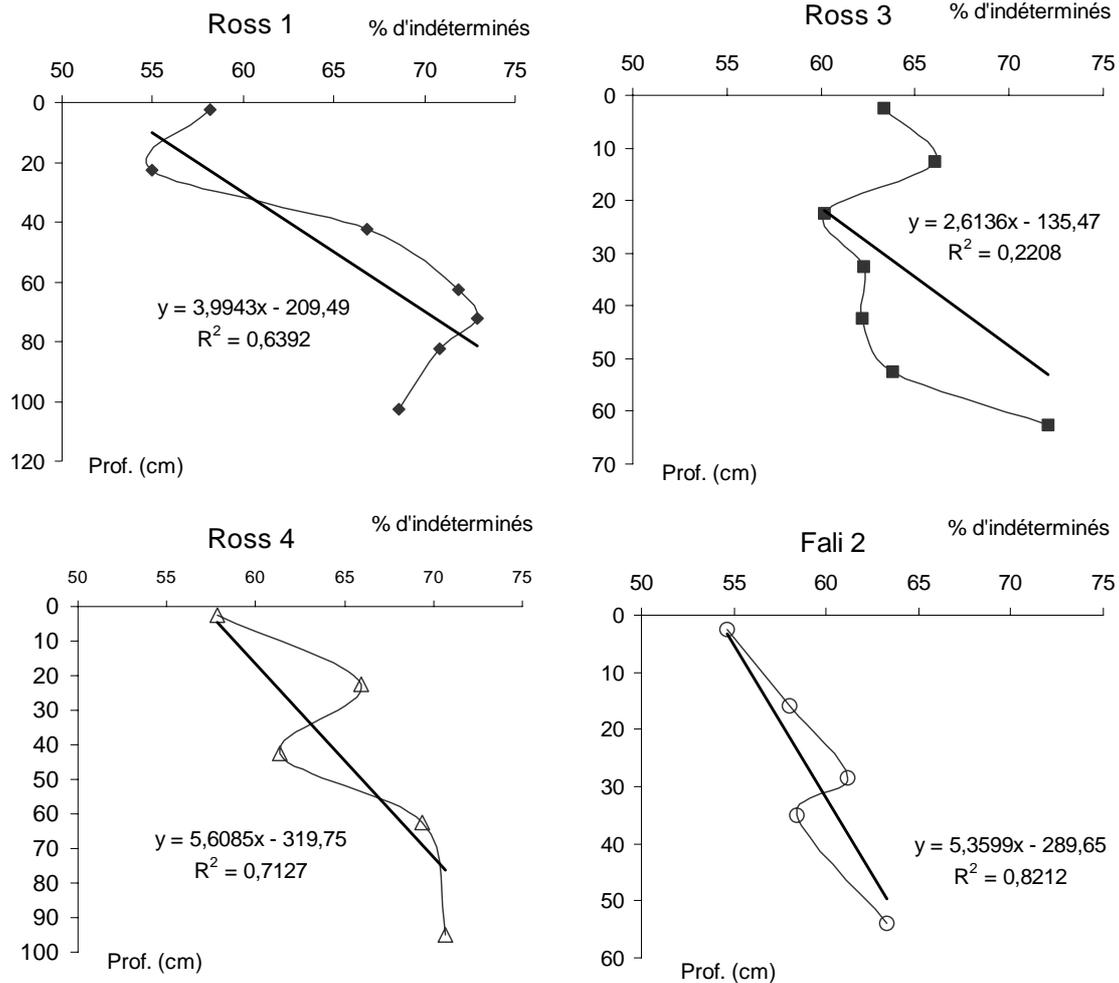


Fig. 6.8 : Pourcentage de phytolithes indéterminables (sur la somme des phytolithes) dans les quatre stations étudiées

sols (Bartoli & Souchier, 1978 ; Bartoli, 1981, 1983, 1986). A l'inverse, la forte corrélation que l'on observe systématiquement dans la répartition des matières organiques et les phytolithes incite à penser que la répartition et les stocks de ces constituants est régie par des processus relativement similaires. L'origine des différences de stocks et teneurs en phytolithes enregistrées dans les sols du Rossberg par rapport à ceux du Falimont, serait alors liée à une différence des propriétés de fonctionnement entre rankers et aloccrisols, sans que nous puissions pour l'heure préciser davantage le facteur expliquant le plus faible turnover des phytolithes, et donc leur accumulation préférentielle, dans le sol du Falimont.

D'autre part, nous pouvons noter que les teneurs et les stocks de phytolithes diminuent avec la profondeur. Cette diminution est rapide dans les profils de pâturages, lente sous forêt. En règle générale, les variations avec la profondeur du stock de phytolithes sont bien corrélées avec celles de la MO (Fig. 6.4 et 6.5). Dans le détail, certaines différences apparaissent dans les horizons profonds de Ross 1 (100-105 cm) et de Ross 4 (60-100 cm). Dans ces niveaux, teneurs et stocks de phytolithes augmentent, alors que ceux de la MO diminuent lentement. Nous développerons ce point *infra*. Mais malgré ce cas particulier, les processus qui

régissent la répartition du carbone organique et des phytolithes semblent être interdépendants. Ces processus sont de deux types. En premier lieu, il y a lieu de faire appel à une migration de la surface vers le bas du profil, matière organique et phytolithes produits dans les plantes étant restitués aux horizons de surface des sols lors de la décomposition des débris végétaux. Différents mécanismes peuvent être invoqués à cet égard. (i) Le plus important est selon toute vraisemblance la bioturbation liée à l'activité de la faune du sol. Ce sont alors des agrégats et micro-agrégats, liant matière organique, phytolithes, argiles... qui sont transportés. Nous discuterons un peu plus loin de la bioturbation. (ii) S'y ajoutent peut-être, au moins en partie, une migration de matière organique soluble dans le ranker (cryptopodzolisation), et une percolation mécanique (lessivage) des phytolithes dans les quatre sols. En second lieu, à ces mouvements verticaux de différentes natures, s'ajoutent des phénomènes de disparition sélective de ces constituants : par minéralisation pour la matière organique, par dissolution pour les phytolithes. Dissolution et minéralisation sont sélectives. Certains types sont plus réfractaires que d'autres à ces processus. L'âge accentue par ailleurs la probabilité de disparition. Quoi qu'il en soit de la connaissance précise de ces phénomènes, nous constatons clairement d'importantes similarités dans la distribution de chacun des constituants. Par ailleurs, comme l'a montré Bartoli (1981, 1985, 1986), les phytolithes sont protégés contre la dissolution dans les sols par une fine couche constituée des plus petites molécules organiques, les plus azotées et les plus acides (Bartoli, 1986). Ces molécules pourraient être absorbées à la surface des phytolithes. Pour ces raisons, nous estimons que la dynamique des phytolithes doit suivre un modèle vraisemblablement de ceux qui expliquent la diffusion et la répartition de la matière organique. Les processus de « translocation » (Alexandre *et al.*, 1997) qui mènent à la distribution et à la diffusion des particules de phytolithes au sein des sols devraient être les mêmes que ceux de la matière organique.

On peut tenter ici un parallèle avec les observations de Guillet (1972) sur la migration et la conservation des pollen dans les podzols et sols bruns acides. Cet auteur a noté que dans les sols bruns acides (alocrisols), les pollen sont très altérés et mélangés. Dans les podzols, ils sont mieux préservés et présentent une stratigraphie : les grains de pollen les plus récents sont situés dans les horizons de surface, les plus vieux ayant migré dans les horizons profonds. D'après Guillet (1972) cela résulterait de différents processus qui mènent à la translocation des pollen. Dans les sols bruns acides, le mélange des pollen est une conséquence de l'important taux de bioturbation par les lombrics. Dans les podzols, l'activité biologique est faible et les pollen pourraient migrer en profondeur par des processus mécaniques. En raison de leur faible taille, ils pourraient descendre dans les pores de l'horizon E, très sableux, en suivant les flux hydriques. Ainsi, dans les sols biologiquement actifs, tels que les alocrisols et rankers étudiés, le facteur majeur de la diffusion des phytolithes pourrait être la bioturbation par la faune du sol, spécialement la faune des lombrics et non les processus mécaniques, évoqués par Bartoli & Guillet (1977) pour expliquer la migration des phytolithes dans les podzols.

Comme nos observations le suggèrent, la grande similitude entre la répartition, les teneurs et les stocks de phytolithes et de matière organique sur les quatre sols étudiés pourrait donc s'expliquer par le fait que les processus de redistribution de ces constituants à partir des horizons de surface sont les mêmes. Il est dès lors tentant de proposer à titre d'hypothèse

exploratoire que les phytolithes de ces sols biologiquement actifs se répartissent en suivant une loi de même nature que celle qui est admise pour expliquer la répartition des matières organiques. Ce modèle, dit de distribution bi-compartimentale (Alexandre *et al.*, 1997 a), propose que les matières organiques se répartissent en deux compartiments ou pools (Fig. 6.9). Un pool de matières organiques stables rassemble les MO résistantes à la minéralisation. Ce pool est relativement constant avec la profondeur, et les MO qui le composent ont un âge moyen très élevé (plusieurs millénaires). Un deuxième compartiment comprend les MO labiles, très facilement biodégradables. L'âge moyen de ces MO est faible (quelques années). Ces matières organiques n'ont pour ces raisons que peu de chances statistiques de migrer en profondeur, et la proportion de ces MO décroît donc rapidement dans les horizons profonds des sols. Ce modèle théorique explique ainsi pourquoi l'âge moyen des MO augmente avec la profondeur du sol, analogie troublante mais fautive, avec l'augmentation de l'âge absolu des sédiments. La réalité de ce modèle a pu être prouvée dans des cas précis, en se servant notamment des différences de composition isotopiques en ^{13}C des MO des pools labiles et stables (Schwartz *et al.*, 1992).

Si ce modèle s'applique aux phytolithes, il convient d'identifier les pools stables et labiles. Alexandre *et al.* (1997 a) ont fait une tentative en ce sens sur des sols congolais. Ils y ont identifiés un pool stable constitué de morphotypes « circulaires rugueux » produits par les dicotylédones, et un pool labile composé de morphotypes « circulaires crénelés » produits par les Palmaceae. Les réflexions de Bartoli (1981) sont également une aide en ce sens.

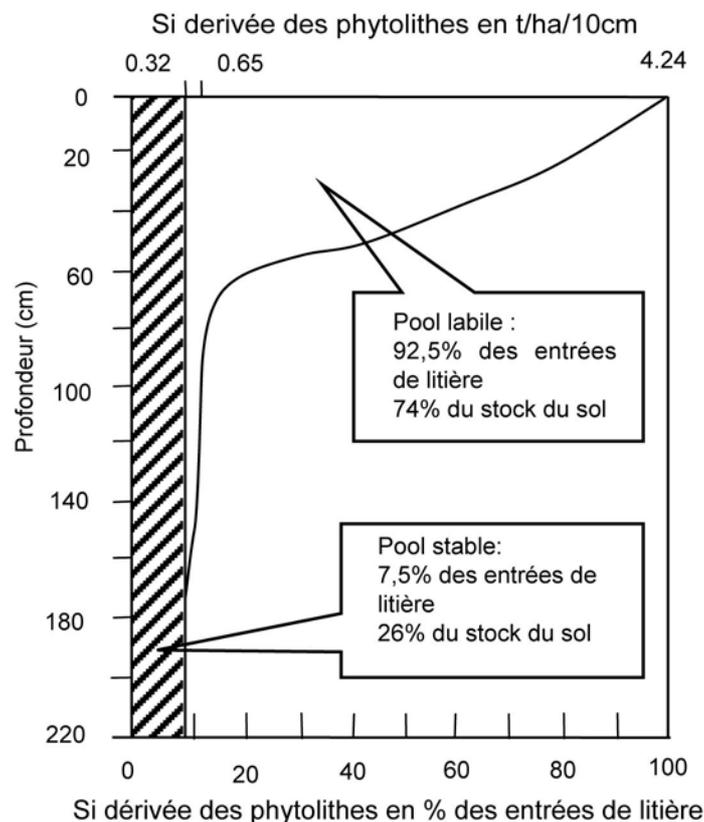


Fig. 6.9 : Distribution bi-compartimentale des phytolithes par analogie avec la distribution bi-compartimentale des matières organiques (d'après Alexandre *et al.*, 1997).

D'après cet auteur, la solubilité des phytolithes dépend de différents facteurs qui sont la surface spécifique, la taille des particules, le contenu en eau et le ratio Si/Al. Par exemple, les phytolithes de conifères sont moins solubles que les autres. Ainsi, une partie des phytolithes devrait rester plus longtemps dans les sols que les particules très solubles. Pour confirmer ces hypothèses, nous avons étudié la corrélation entre l'abondance relative de certains morphotypes (sphériques lisses, sphériques rugueux, cystolithes, circulaires, rectangulaires, bilobés...) et le ratio $1/(\text{teneur en phytolithes})$. Les résultats ne sont pas significatifs. Nous ne les présenterons donc pas de manière plus détaillée. Cela pourrait signifier que le pool stable de phytolithes n'est pas lié à un morphotype particulier.

En ce qui concerne l'augmentation de la teneur et des stocks en phytolithes dans les horizons profonds de certains sols, nous ne pouvons émettre que des hypothèses. Premièrement, nous devons considérer que ce processus concerne seulement les horizons très profonds, et seulement dans deux sols, à savoir Ross 1 (100-105 cm) et Ross 4 (60-100 cm). Dans ces niveaux, la distribution ne suit pas celle de la MO. Les phytolithes semblent avoir tendance à s'accumuler. On peut donc penser que l'âge moyen des phytolithes de ces horizons est plus élevé. Cette accumulation pourrait s'expliquer par un taux de dissolution faible à ces profondeurs, étant donné que les plus flux hydriques y sont moins intenses. L'augmentation significative des phytolithes indéterminables que l'on observe avec la profondeur (Fig. 6.8) en est sans doute une conséquence : s'ils sont réellement plus vieux en moyenne en profondeur qu'en surface du sol, ils ont statistiquement plus de chances d'être fragmentés ou partiellement dissous. Même si ce schéma est hautement hypothétique, il est clair que les dynamiques des phytolithes deviennent dans ces horizons très différentes de celles des MO, ce qui contraste avec l'important degré de similarités des distributions respectives des phytolithes et des MO dans la majorité de tous les sols et horizons étudiés. On notera également que l'augmentation des stocks de phytolithes vers 90-95 cm dans le profil Ross 4 (Fig. 6.5) s'accompagne d'une augmentation du D/P (Fig. 6.3). Il en est de même dans une moindre mesure dans le profil de Ross 1 (vers 70 cm et vers 100 cm). Si les phytolithes de ces horizons profonds avaient réellement un âge moyen plus élevé que celui des phytolithes des horizons sus-jacents, l'augmentation du D/P témoignerait alors de changements de végétation. Mais pour aller plus loin, il est nécessaire de trouver un bon indicateur capable de démontrer la validité du modèle bi-compartimental dans tous les cas. Il est en particulier nécessaire d'estimer directement le temps de résidence moyen des phytolithes dans les sols, ce qui n'est guère aisé.

6.3. Conclusion

Les deux méthodes testées ici diffèrent notablement. Elles illustrent chacune les limites de l'utilisation des archives pédologiques. Si l'étude des monomères des lignines met bien en évidence des différences entre chaumes « primaires » et « secondaires », que l'on peut interpréter par le fait que les chaumes « primaires » ont un signal et donc une histoire globalement plus prairial que les chaumes « secondaires », il n'est guère possible de remonter très loin dans le temps. Les quantités de matières organiques nécessaires pour

l'analyse font qu'on ne peut analyser des échantillons plus profonds que 35-40 cm. A cette profondeur, le temps moyen de résidence des matières organiques, mesuré au ^{14}C est de l'ordre de quelques siècles. Sachant qu'au bout d'un temps T égal au Temps Moyen de Résidence (TMR), 67 % des MO ont été renouvelées, il est possible de remonter jusqu'à 2800 à 3000 ans la validité de cette conclusion.

L'étude des phytolithes est encore plus délicate. Nos résultats, à savoir la convergence très grande de la répartition des phytolithes et matières organiques des sols, suggère que les phytolithes sont très brassées dans le sol, par l'action de la mésofaune de lombrics (bioturbation). Il n'est donc pas possible d'accorder une signification stratigraphique aux variations de morphotypes enregistrées avec la profondeur. On ne peut donc en tirer de conclusions concernant l'évolution du couvert végétal. Seule l'identification du pool de phytolithes stable permettrait de lever ce biais. Nous n'avons malheureusement pas pu identifier ce pool pour le moment.

CHAPITRE 7

LES APPROCHES SPÉCIFIQUES DES ÉVOLUTIONS
PAYSAGERES AU COURS DES TEMPS HISTORIQUES

7.1. Le couvert végétal appréhendé par les cartes anciennes

L'objectif de cette partie est de constituer une base documentaire cartographique qui soit en mesure de préciser les évolutions des espaces sommitaux au cours des périodes historiques. Nous avons analysé à cet effet un ensemble de cartes anciennes. Ce travail ne prétend pas être exhaustif. Nous avons ainsi écarté certains documents cités par Boyé (1903), des cartes et gravures du XVIII^e siècle pour la plupart, jugés par cet auteur comme trop peu précis ou trop grossiers, les géographes de l'époque ayant selon lui « *ignoré l'aspect de la crête ; ils ignoraient les chaumes.* » (p. 173). Boyé précise qu'il aura fallu attendre les cartes de Cassini pour « *avoir une idée quelque peu exacte du massif* » depuis la carte perspective de Thierry Alix (1576-1578).

Nous nous intéresserons principalement aux documents du XVIII^e siècle, les évolutions des XIX^e et XX^e siècles étant relativement bien connues.

7.1.1. Massif du Hohneck

La carte de Thierry Alix (1576-1578), déjà citée (voir § 2.6.4 et Fig. 2.14) constitue un document majeur, mais reste malheureusement trop générale pour pouvoir être utilisée dans la délimitation précise des pâturages d'altitude et de leurs forêts adjacentes.

Pour sa part, le plan d'arpentage de 1762 des communes de la vallée de Munster, dont un extrait est donné par la Fig. 7.1, est d'une exceptionnelle précision. Ce plan en couleurs, orienté par une rose des vents, est à l'échelle d'environ 1/30 000^e. Il couvre la totalité des communes à l'amont de Munster, mais les chaumes n'y figurent pas. Les arpenteurs n'ont en effet relevé que les parcelles exploitées en prés, terres labourables, prairies, qui forment un espace continu autour duquel ne sont indiquées que les forêts communales. Les pâturages d'altitude se trouvant au-delà des forêts, ils ne figurent pas sur le plan.

Un peu plus tard sont éditées les cartes des Cassini au 1/86 400^e. Celle présentée en Fig. 7.2 a (extraits) a été levée entre 1758 et 1761. Il s'agit de la Feuille de Luxeuil pour le secteur du Hohneck, rééditée en noir et blanc dans les années 1815 (Fig. 7.2 b). Les fermes d'altitude et les pâturages attenants y sont indiqués, mais les noms qui y figurent semblent souvent approximatifs, comme par ex. la ferme de Balverche (Balveurche), du Haut et du Bas Chatelet (Chitelet) ou de Bretzouse (Breitzouse), pour ne citer que les marcairies les plus proches du Hohneck. Les limites des chaumes semblent correspondre relativement bien aux limites actuelles, sans qu'il soit possible d'en donner une estimation très précise.

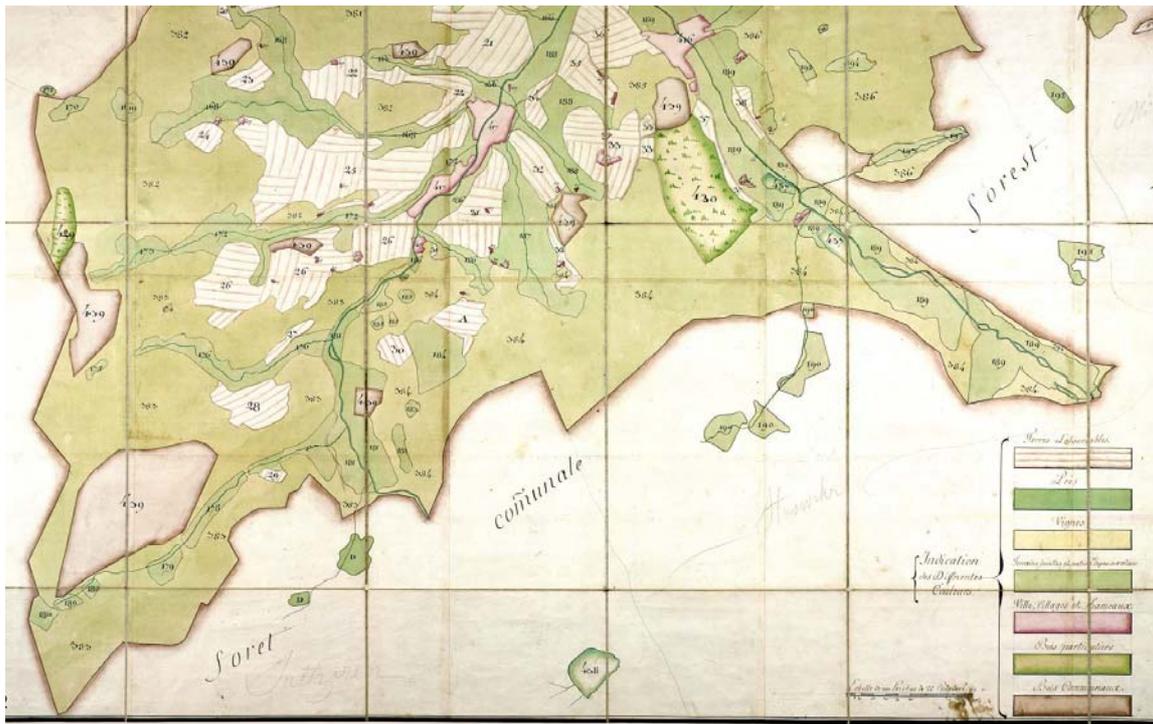


Fig. 7.1 : Extrait du « Plan et arpentage du Ban de La Ville et Dépendances de Münster au Val Saint Grégoire » (© Archives Départementales du Haut-Rhin, Munster - C1169/10,11,12 et 13).

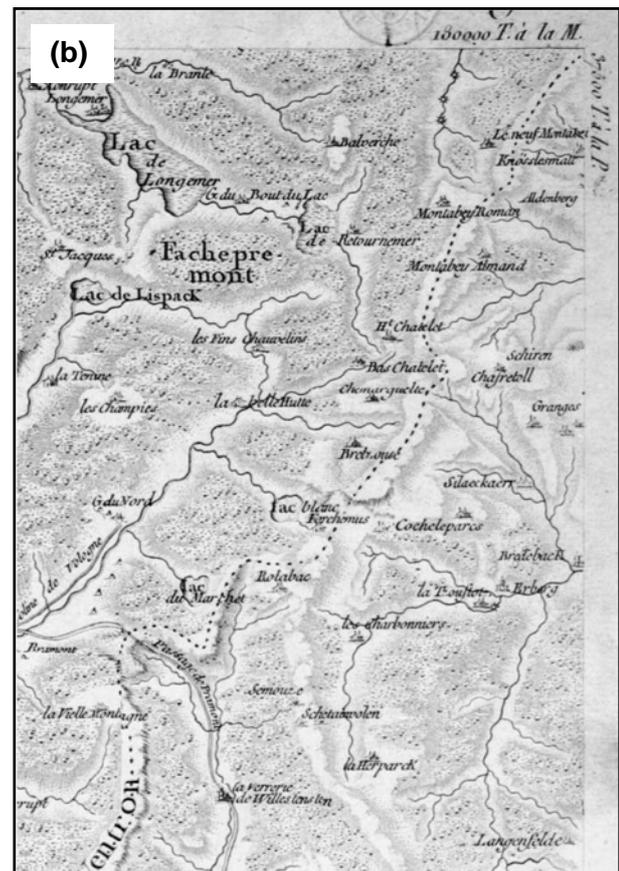
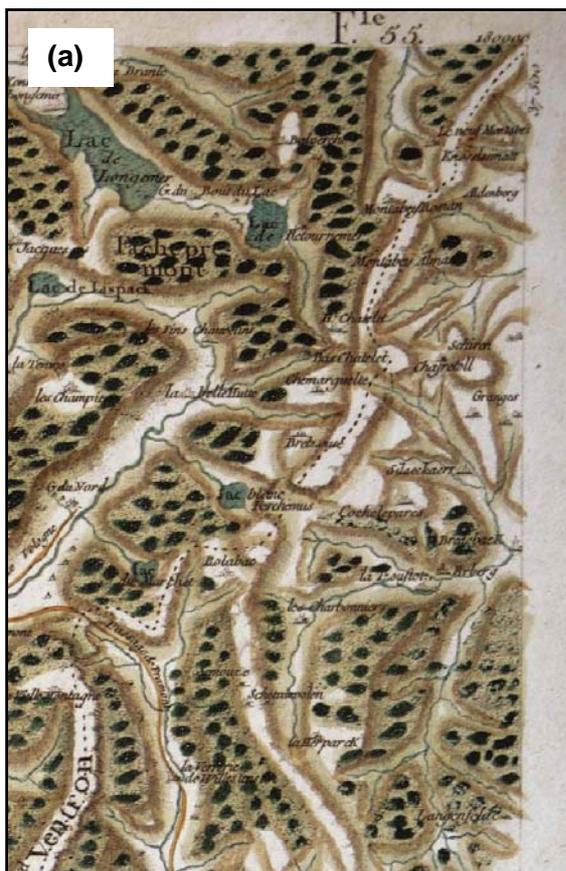


Fig. 7.2 : Extraits de la carte de Cassini représentant la crête centrale des Vosges dans le secteur du Hohneck ; (a) édition en couleur de 1761, levés effectués entre 1758 et 1761 (Luxeuil n° 144, Feuille 55) (b) réédition en N/B de 1815.

La carte de 1785 (Fig. 7.3) est en fait une carte militaire des frontières Est de la France (© IGN). Elle a été établie par Le Michaud D'Arçon, qui fut chargé de lever les frontières Est de la France (Jura et Vosges), à partir de 1777 (Rickenbacher, 2007). Pour la campagne de levés trigonométriques de 1780, il existe deux exemplaires d'un « Tableau général des opérations géométriques » au 1/86 400^e qui sert de canevas. Les levés proprement dits furent établis à l'échelle du 1/14 400^e. Les feuilles traitant des Vosges sont incluses dans la partie située entre Le Russey (Doubs) et Landau (Allemagne), en 126 feuilles.

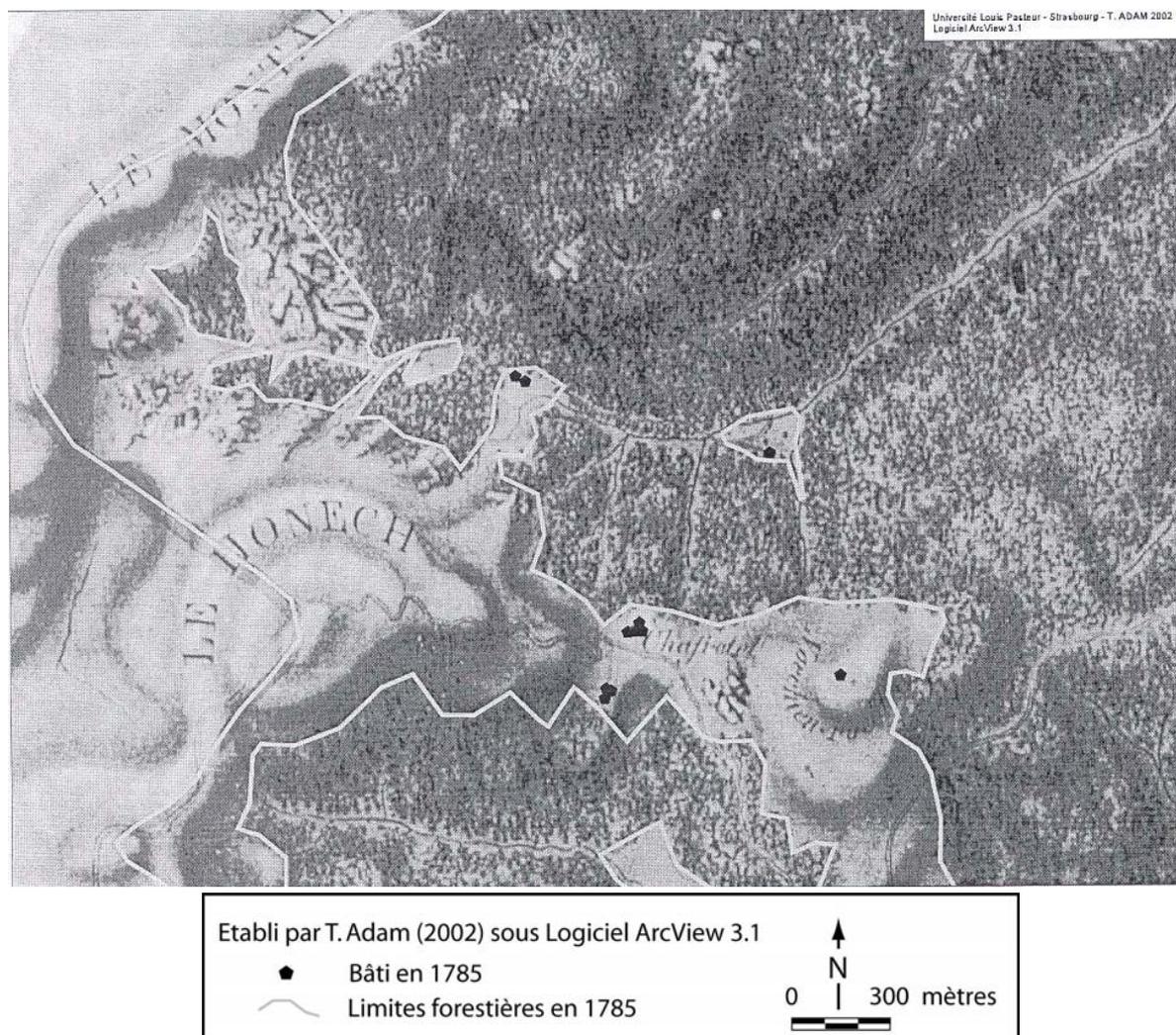


Fig. 7.3: Carte militaire de 1785. - Carte des frontières Est de la France - © IGN, coll. Cartothèque.

La carte des Vosges de 1787 est à une échelle moins détaillée que les cartes précédentes. L'extrait présenté sur la Fig. 7.4 concerne les vallées de la Petite et de la Grande Fecht en amont de Munster. Bien qu'elle exagère les pentes et surtout les lignes de crête, cette carte offre à la vue de larges bassins-versants. Une rapide comparaison avec une carte topographique actuelle au 1/100 000^e permet de se rendre compte que, malgré cette exagération des pentes qui semblent particulièrement concaves, le réseau hydrographique, les orientations des vallées et vallons, les pentes, les toponymes, etc, sont relativement fidèles à la réalité. Nous pouvons ainsi en tirer de nombreuses informations : les vallées sont très largement défrichées ; les espaces forestiers encore existants sont acculés aux versants



Fig. 7.4 : Extrait de la carte des Vosges de 1787 (vallée de la Fecht)

les plus raides et les plus reculés des fonds de vallées. Cela donne la forte impression d'un paysage largement ouvert. De plus, l'observation des lignes de crête est intéressante car elle permet de se rendre compte que nombreuses sont celles qui sont aussi défrichées, faisant ressembler la situation de 1787 à la situation actuelle. Bien que des espaces forestiers les séparent le plus souvent, il est parfois possible d'observer un milieu ouvert en continu du fond de la vallée aux sommets et lignes de crête. C'est le cas par exemple sur le versant est du Kastelberg, dont l'ouverture semble en outre correspondre à une voie de passage essentielle pour la montée vers les chaumes à partir du fond de la vallée. Notons encore que les versants les plus pentus des cirques du Frankenthal et de la Wormsa sont couverts de forêts. Cette carte donne donc une impression de « mitage » de la forêt à la veille de la

Révolution Française. La fin du XVIII^e siècle et le début du XIX^e siècle ont en effet constitué la seconde apogée du système agro-sylvo-pastoral (après celle de la fin du XVI^e siècle) dans lequel le « mitage » par le biais de défrichements s'est effectué à la fois à partir des vallées et des chaumes.

Dans son analyse de l'évolution historique de l'environnement de la réserve du Frankenthal, Garnier (1998 a) considère que tous les espaces, même les plus « naturels », ont connu sous l'impact de la pression anthropique, des dynamiques spatiales contradictoires marquées alternativement par les phases de régression en période de recul démographique et d'expansion liée à l'augmentation du nombre des hommes. Le XVIII^e siècle, fortement marqué par un essor démographique, est caractérisé par une pression anthropique croissante sur les forêts, les espaces agricoles et pastoraux, qui perdurera jusqu'au début du XIX^e siècle.

7.1.2. Massif du Rossberg

Pour le secteur du Rossberg, de nombreuses cartes anciennes sont disponibles. Leur intérêt est très variable. Nous ne faisons figurer ici que celles qui nous semblaient les plus intéressantes.

Le premier document est une carte de 1722 (Fig. 7.5). Malgré certaines imprécisions, l'échelle utilisée et l'absence de la topographie, on peut y distinguer :

- forêts, pâturages et espaces cultivés ; autant la distinction est bien faite entre ces terroirs, autant les espaces forestiers ne sont représentés que par les feuillus, ce qui pose la question de la représentation de la forêt ;
- les principaux cours d'eau dans les talwegs ;
- les noms des lieux-dits et villages ;
- des baraques isolées et « vacheries », dont 2 au Rossberg, 1 au Belacker et 2 au Baeselbach ;
- l'inexistence ou la non-représentation des fermes du Gsang et du Thanner Hubel.

Les cartes de Cassini, dont la première édition date des années 1760, restent d'un intérêt limité car à une échelle du 1/86 400^e. Tout comme sur la précédente carte apparaissent 2 « vacheries » au Rossberg ainsi qu'une indication de « Belach » (Belacker), ainsi que des habitations sans mention de nom (Fig. 7.6).

Les plans d'arpentage des communes sur lesquelles se trouve le massif du Rossberg, exécutés vers 1762 en couleur par l'intendance d'Alsace sont d'un niveau de précision remarquable. En effet, non seulement les limites des communes se superposent bien aux limites actuelles, mais chaque parcelle est numérotée, mesurée et répertoriée dans une catégorie ou terroir : terre, vigne, forêt, pâturage, pré, terre inculte, ou village (extrait en Fig. 7.7). Malheureusement, la commune de Wegscheid n'est pas répertoriée, et les communes de Bitschwiller, Willer, Moosch et Mitzach sont regroupées sur un document général de la rive droite de la Thur (vallée de Saint Amarin, extrait en Fig. 7.7).

Nous avons donc synthétisé à partir de ces plans d'arpentage, les limites entre pâturages et bois communaux ou particuliers sur le massif du Rossberg, hormis pour Wegscheid (Fig. 7.8). Bien que ces plans soient relativement précis, les limites doivent être interprétées avec précaution. Cette Fig.7.8 fait bien apparaître les limites forêt/pâturage en 1762 des secteurs

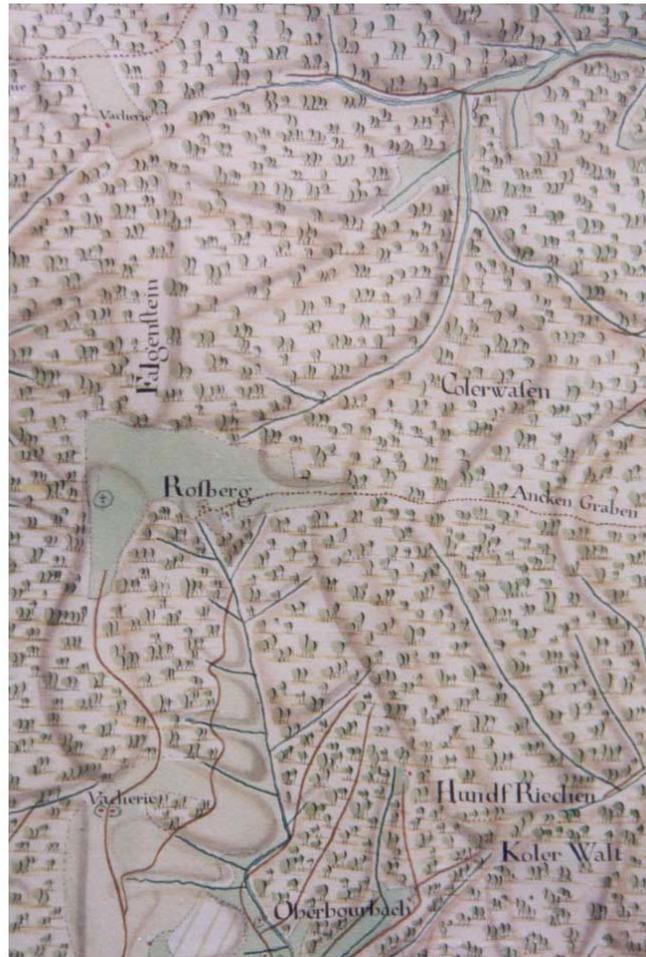


Fig. 7.5 : Carte de 1722 - Massif du Rossberg

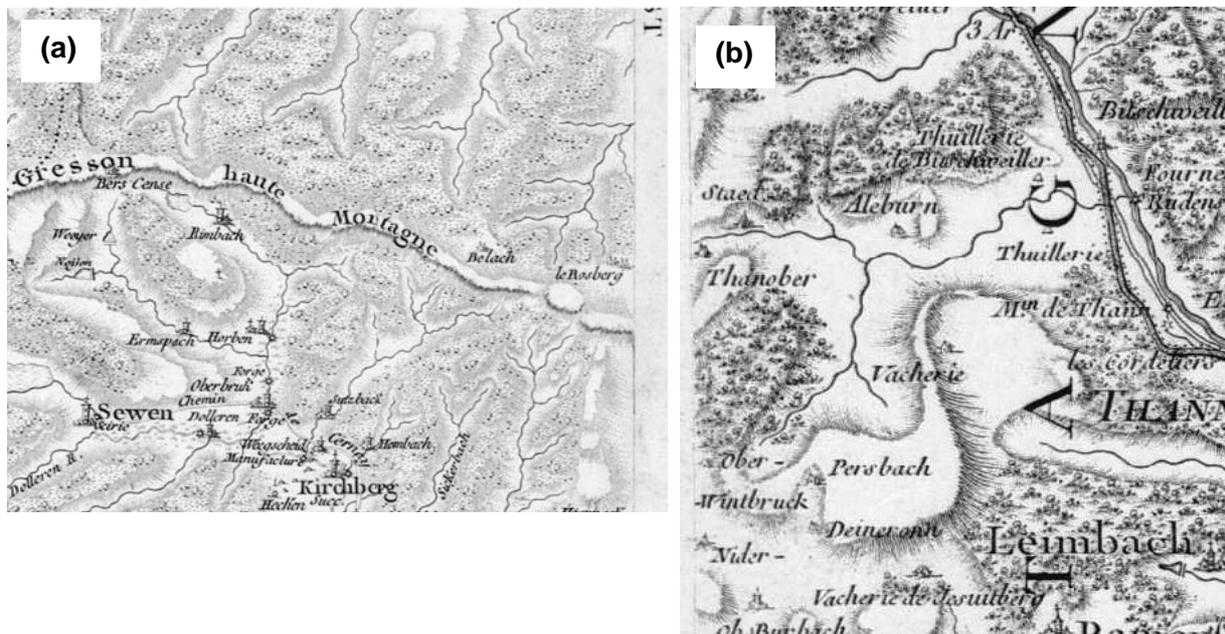


Fig. 7.6 : Détails de deux feuilles de la carte de Cassini dans le secteur du massif du Rossberg ; (a) Luxeuil-les-Bains n° 144 Nouv. Ed. (Feuille 55) pour la partie ouest ; (b) Neuf-Brisach n° 164 Nouv. Ed. (Feuille 77) pour la partie est.

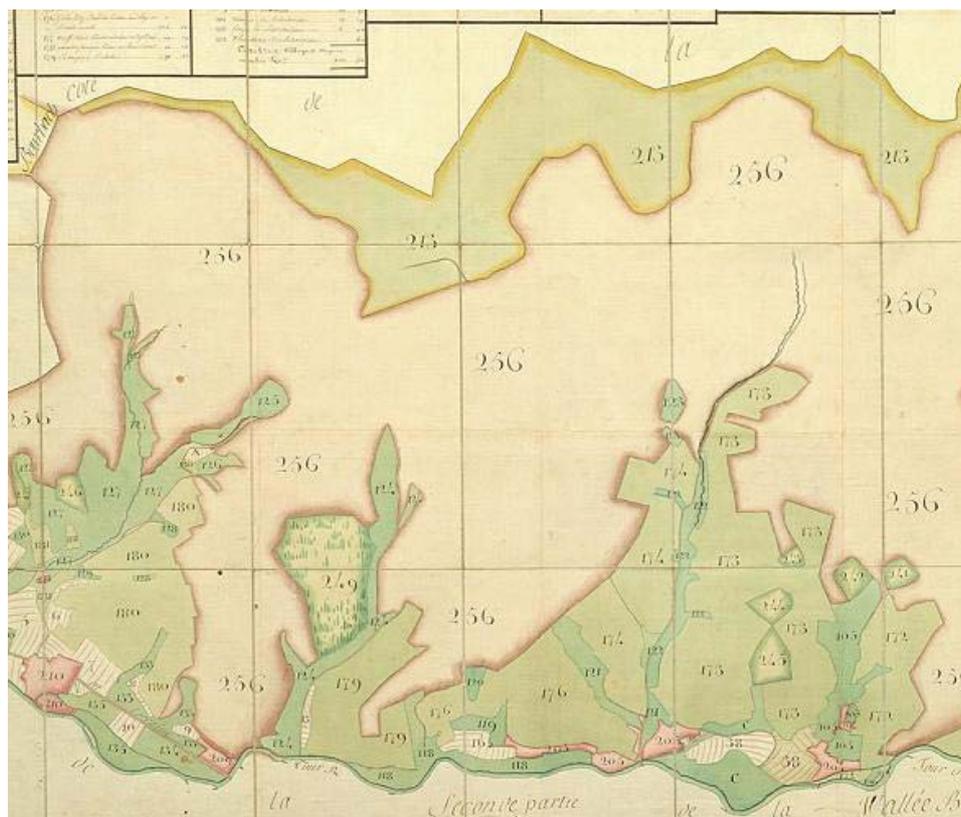


Fig. 7.7 : Extrait du plan d'arpentage en couleur de 1762 de la commune de Saint Amarin (ADHR - C1156/4) - Les n° figurés sont : 213, 173 à 180 : Pâturages ; 256 : Bois communaux ; 249 : Bois Seigneuriaux ; 241 à 245 : Bois particuliers...

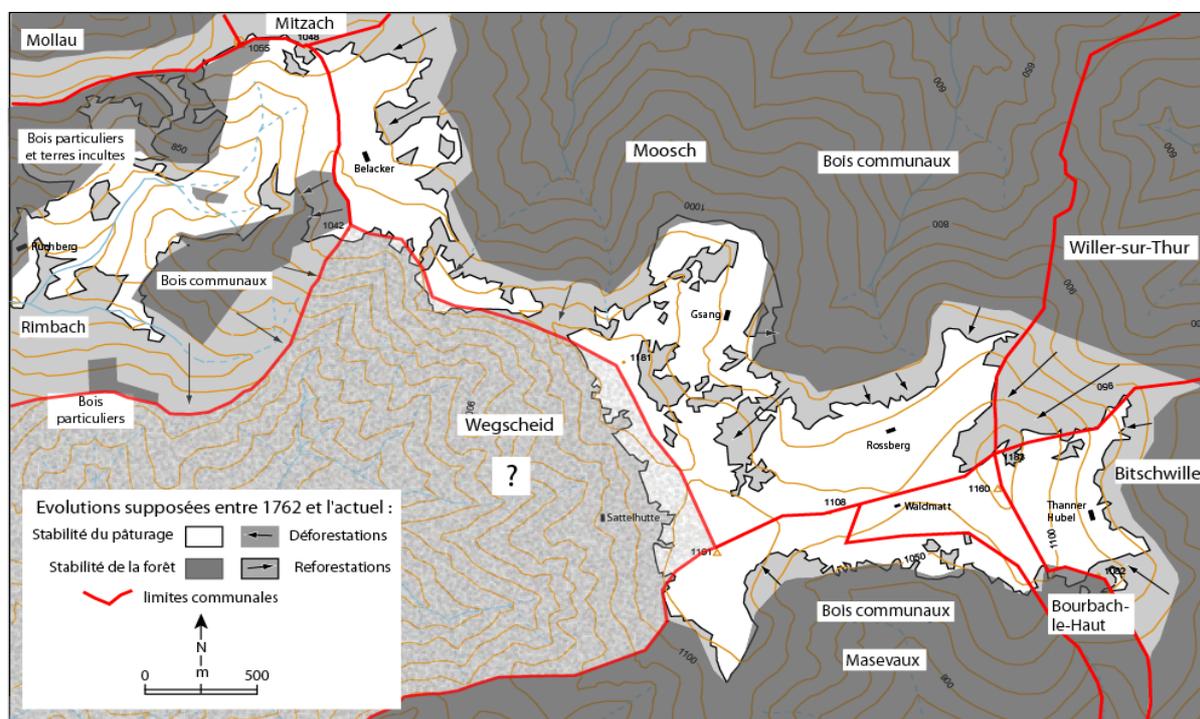


Fig. 7.8 : Carte partielle de l'état des chaumes en 1762 sur les communes de Rimbach-près-Masevaux, Masevaux, Bitschwiller, Willer, Moosch et Mitzach, d'après les Plans d'Arpentage.

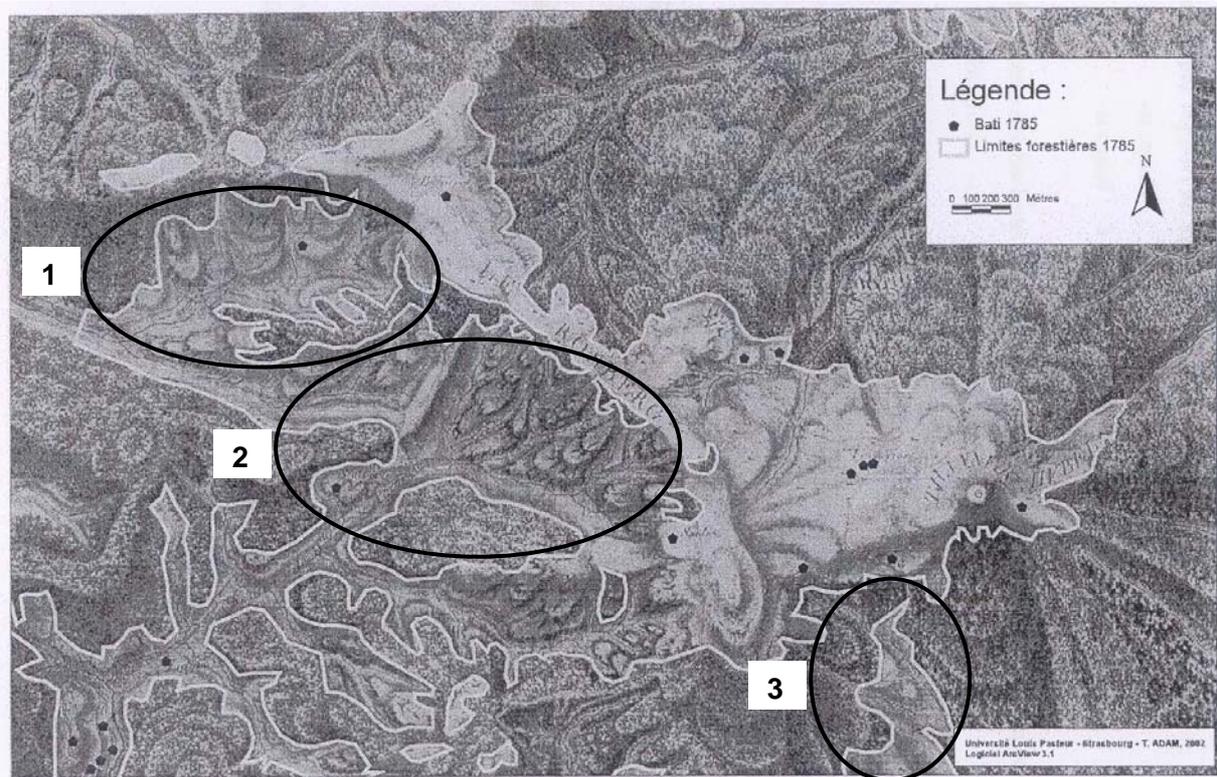


Fig. 7.10 : Carte militaire de 1785 dans le secteur du Rossberg - Carte des frontières Est de la France (© IGN, Coll. Cartothèque) - Repris d'après Adam (2002) - Secteur 1 : vallon de Rimbach ; secteur 2 : vallon de Wegscheid ; secteur 3 : vallon de Bourbach.



Fig. 7.11 : Carte de 1787 des vallées de Masevaux et de Saint-Amarin

Quant à la carte de 1787 (Fig. 7.11), équivalente elle aussi est, elle aussi, relativement précise. Elle confirme en grande partie les limites forêts/pâturages ou forêts/milieus ouverts de la carte de 1785. En particulier le secteur situé à l'ouest du Rossberg, qui correspond à la haute vallée du Soultzbach au-dessus de Wegscheid, largement défriché à la fin du XVIII^e siècle.

Certaines minutes du cadastre napoléonien, établies entre les années 1810 et 1830, ont pu être retrouvées pour les communes de Moosch (1813, ADHR - 3P 860), Bitschwiller-les-Thann (1829, ADHR - 3P 588), Willer-sur-Thur (1829, ADHR - 3P 597) et Wegscheid (1832, ADHR - 3p suppl. 120), Mollau (1813, ADHR - 3P 568) et Mitzach (1813, ADHR - 3P 567). Malheureusement, les communes de Bourbach-le-Haut, Masevaux et Rimbach-près-Masevaux sont manquantes. Etant donné que des chaumes ne couvrent qu'une faible surface de chaque commune, nous avons placé un extrait du tableau d'assemblage de Moosch en Annexe 11, et effectué une « synthèse » des six cartes disponibles, même si ces cartes ne datent pas exactement de la même année (Fig. 7.12).

L'interprétation des limites forêt/pâturage du massif du Rossberg vers les années 1813-1832 se doit donc de rester prudente. Pour ces six communes, la limite forestière a très nettement reculé par rapport aux années 1780 (voir *supra*) pour laisser place à de plus vastes pâturages.

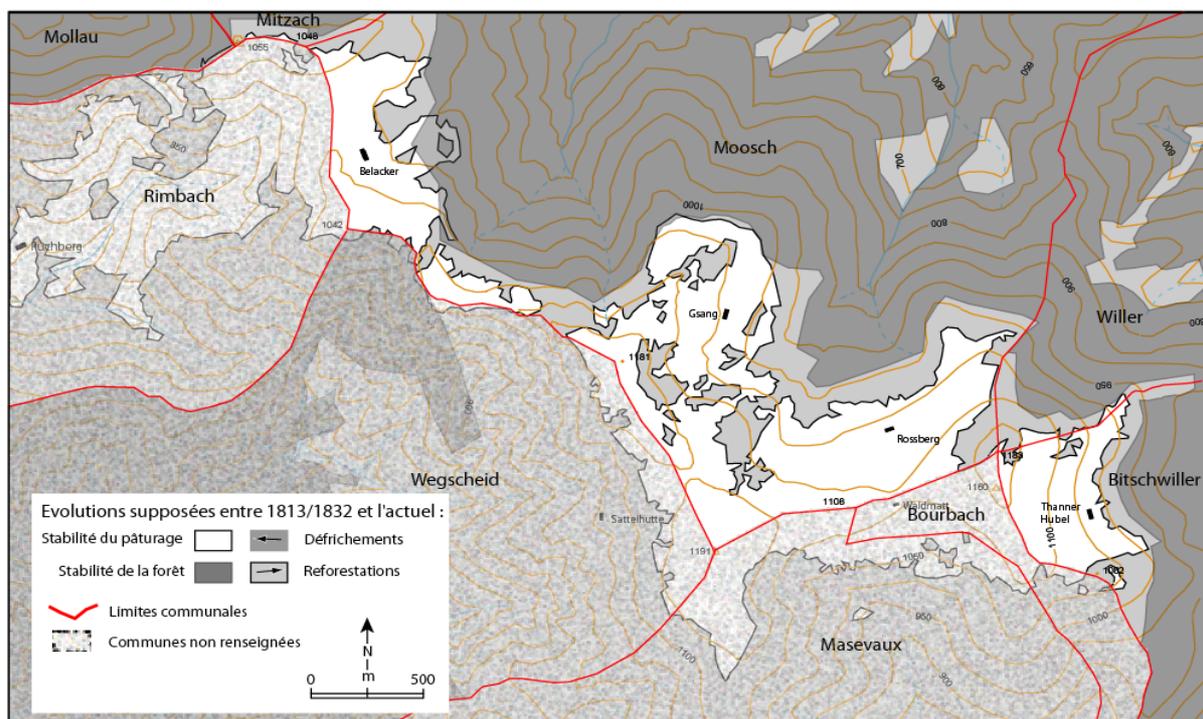


Fig. 7.12 : Limite supposée des pâturages au Rossberg vers 1813-1832 établie pour les communes de Mitzach (1813), Moosch (1813), Willer (1829), Bitschwiller (1829) et Wegscheid (1832)

Enfin, nous avons relevé les limites forêts/pâturages d'une carte topographique allemande de 1942. La carte topographique figure en Annexe 12. Ces limites (Fig. 7.13) font apparaître une régression très importante des pâturages jusqu'à nos jours, par deux processus bien

distincts : plantations artificielles ou déprise agricole entraînant une reconquête forestière rapide. Le premier processus s'illustre au travers de l'ex. du secteur de la Sattelhütte, à l'ouest du sommet du Rossberg, qui constituait encore en 1942 une chaume largement ouverte. Elle sera abandonnée par les marcaires dans les années 1960, et le terrain sera planté d'épicéas. Le second processus s'illustre par une reprise forestière très rapide dans certains secteurs, en particulier autour de la ferme du Gsang.

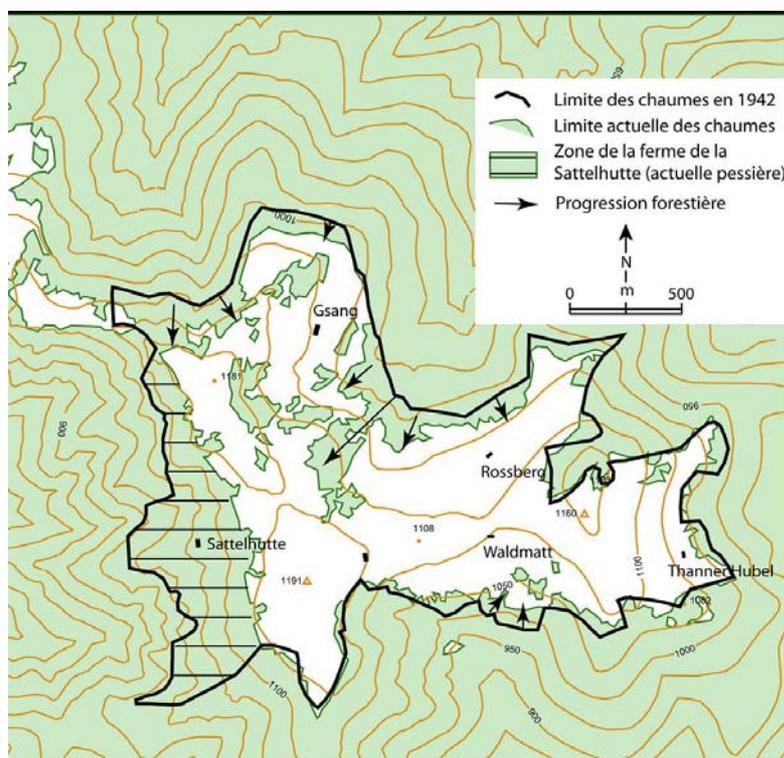


Fig. 7.13 : Limites des chaumes d'après la carte topographique allemande de 1942

7.2. Les microtopographies liées à l'extension des chaumes et leur cartographie

7.2.1. Les « paléo-chablis » et leur cartographie

On observe, sur un certain nombre de versants des pâturages du massif du Rossberg des microtopographies (Fig. 7.14). Leur étude approfondie et leur cartographie ont été effectuées par Cloître (2005, 2006). La morphologie est la suivante : une zone en creux en forme de croissant à l'amont et un bourrelet de terre plus ou moins prononcé à l'aval (Fig. 7.13). Plusieurs hypothèses *a priori* sur leur origine ont été émises :

- des vestiges d'une guerre mondiale (trous d'hommes ou d'obus...) ;
- des traces archéologiques d'anciens habitats (fonds de cabane) ;
- des formes résultant d'anciens chablis.

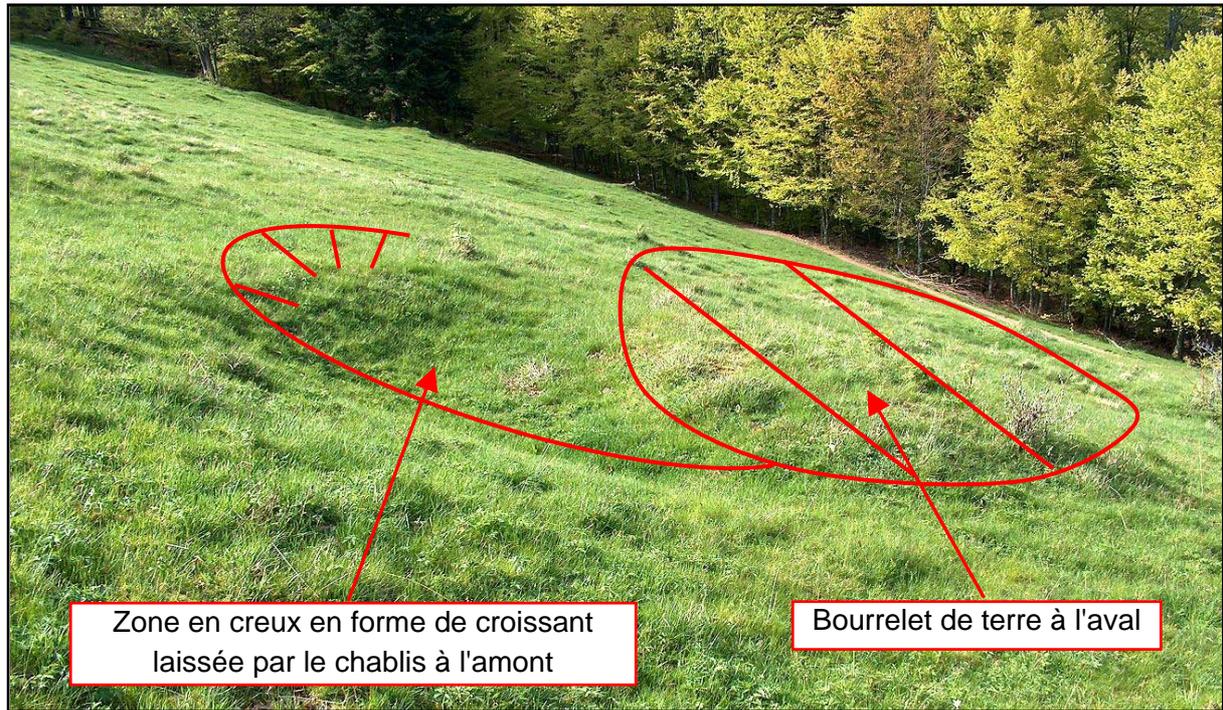


Fig. 7.14 : Photo d'une micro-topographie dans le massif du Rossberg (Crédit photo : D. Schwartz, 2005).

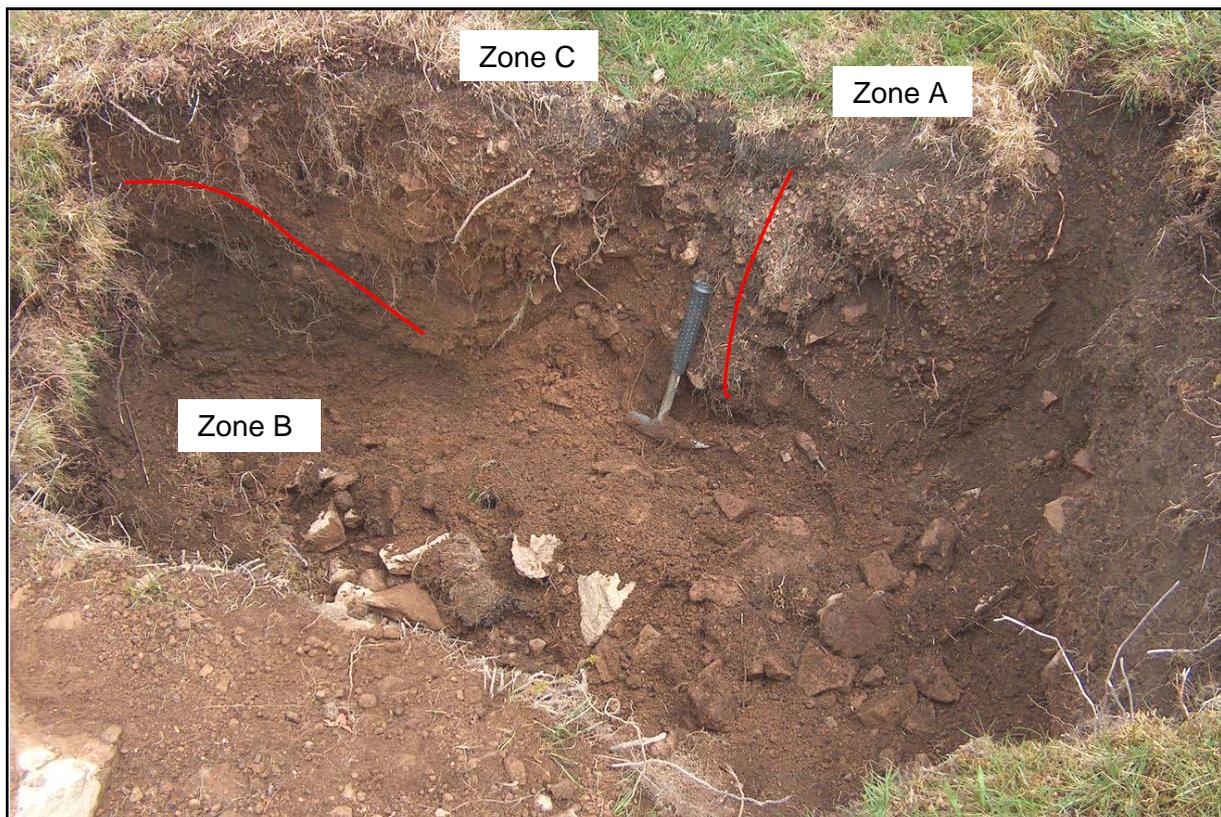


Fig. 7.15 : Photographie d'une coupe amont-aval faite dans un « paléo-chablis ». Les zones A, B et C sont respectivement les zones amont (sombre), aval (sombre) et centrale (plus claire).

L'observation du sol dans trois fosses pédologiques creusées perpendiculairement aux micro-topographies (Fig. 7.15) a montré que :

- l'organisation des structures est identique sur les trois fosses ;
- l'organisation pédologique y est particulière : trois zones peuvent être déterminées par des différences de couleurs de sol et de structure pédologique ; (i) une zone amont (zone A de la Fig. 7.15), caractérisée par un horizon sombre épais sous lequel les cailloux de l'horizon structural semblent plus ou moins granoclassés ; (ii) une zone aval (zone B) dans laquelle les horizons organiques et structuraux sont perturbés ; (iii) une zone centrale (zone C), en forme de U ou de V, de couleur plus claire, contenant des blocs de taille variable, parfois redressés ;
- cette organisation se fait toujours dans le sens de la pente, d'amont vers l'aval.

S'agissant de trous d'homme ou de tranchées, la butte de terre en aval devrait recouvrir l'ancienne surface du sol, enfouie, et la terre rejetée devrait être grossièrement organisée à l'inverse du sol en place, ce qui n'est pas le cas. S'agissant d'anciens fonds de cabane, ces traces d'habitat devraient être associées à des traces archéologiques : trous de poteaux, tessons de céramique, pièces de monnaies, outillage... qui sont ici absents. L'origine de ces microtopographies est donc liée à des chablis. Différents auteurs en ont donné des croquis très analogues, dont Langhor (1993, Fig. 7.16). Or l'orientation des déblais de terre de chaque chablis souligne le fait que, indépendamment du degré de la pente, de l'orientation du versant ou de l'orientation des vents dominants, ces chablis sont systématiquement orientés vers l'aval. Ces chablis ne peuvent donc être liés à des tempêtes. En effet, celles-ci auraient eu pour effet de coucher les arbres vers l'amont et non vers l'aval sur le versant exposé au vent. Ces chablis sont donc d'origine anthropique, sans doute liés à une phase d'abattage des arbres. Des bœufs ou des chevaux attelés à des chaînes ont couché au sol les troncs afin d'agrandir les pâturages.

La répartition et la densité de ces « paléo-chablis » (Cloitre, 2005, 2006, Fig. 7.17) fait apparaître des secteurs bien distincts : les versants nord du Thanner Hubel et le secteur nord de la chaume du Gsang ont les densités les plus fortes, alors que les secteurs amont de la ferme du Gsang et de celle du Thanner Hubel, ainsi que le versant sud-ouest du Thanner Hubel ont des densités moindres. De plus, les limites entre secteurs pourvus et ceux dépourvus de « paléo-chablis » sont nettes, certaines correspondant à des limites administratives entre communes. En particulier, les communes de Masevaux au sud et de Wegscheid à l'ouest ne sont pas ou peu concernées.

Par comparaison de cette carte avec celles des charbonnières (Fig. 7.18), celles de 1722 (Fig. 7.5) et de 1785 (Fig. 7.10), ainsi qu'avec la date ^{14}C moderne – postérieur à 1650 – d'un charbon trouvé dans une des fosses, Cloitre (2005) considère que la principale phase intensive de défrichements a eu lieu au courant du XVIII^e siècle. Il suppose que la technique utilisée était celle du surcenage*, suivie d'un déracinage des arbres après quelques années, technique supposée contemporaine des charbonnières du Rossberg (voir *infra*), leur localisation correspondant approximativement à celle des micro-topographies. On en déduit que le défrichement qui a abouti à cette extension date *grosso modo* du milieu du XVIII^e siècle.

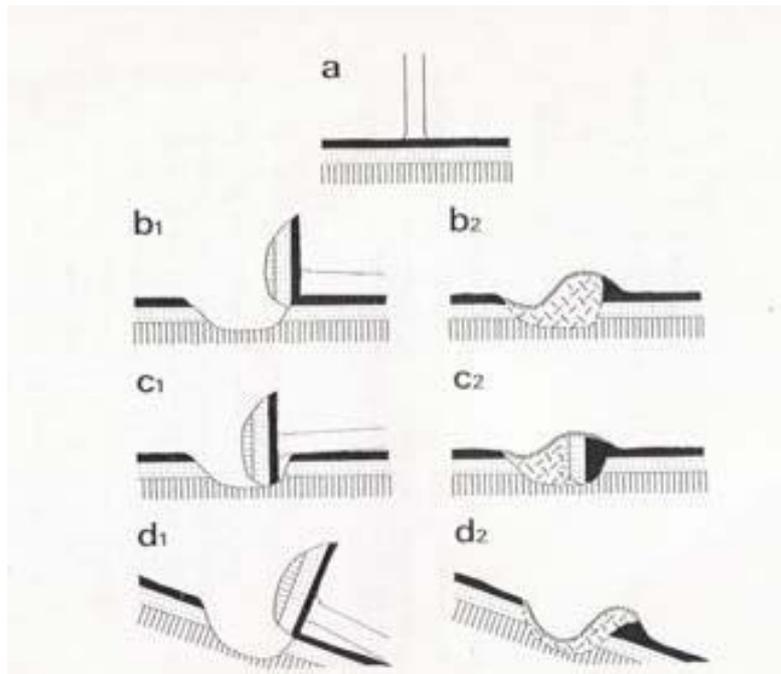


Fig. 7.16 : Croquis de différents type de chablis et leurs conséquences en terme de réorganisation pédologique (Langhor, 1993). Dans notre cas (Fig. 7.15), le scénario d'évolution pédologique le plus ressemblant serait le (d2).

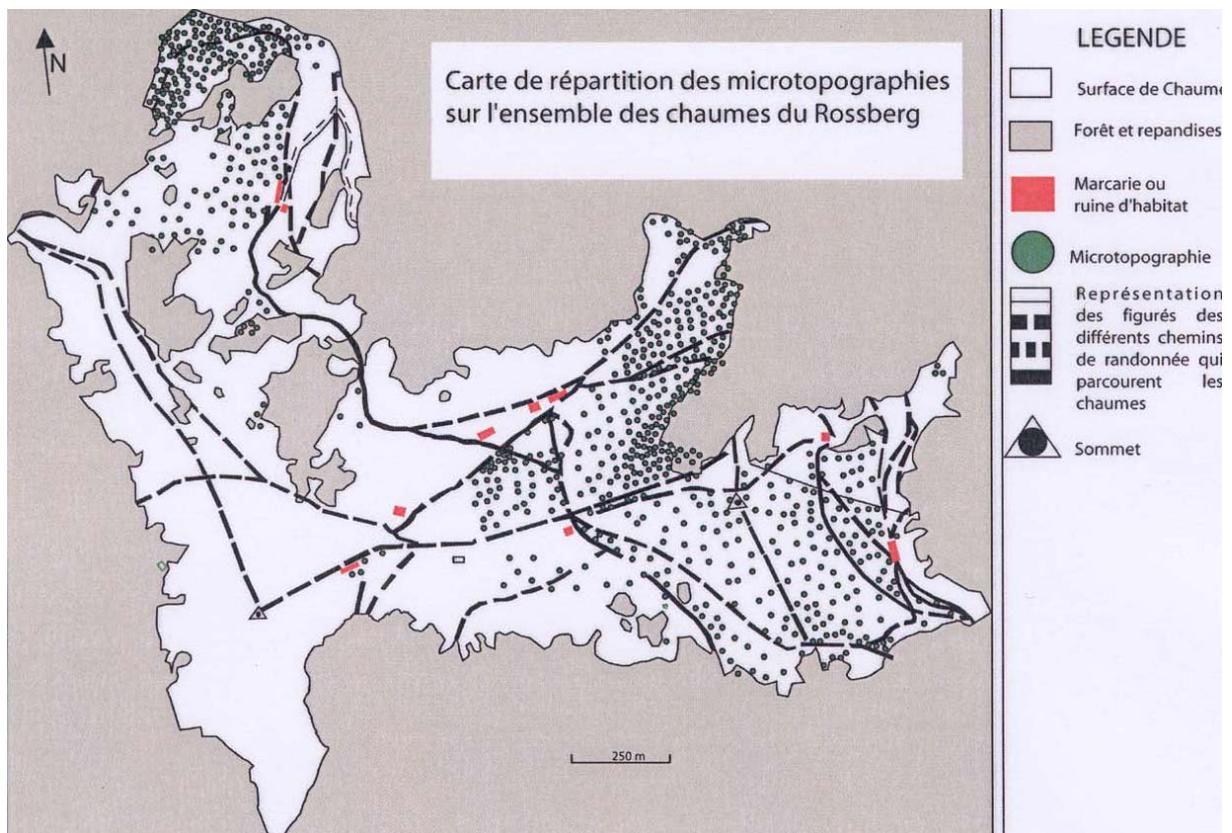


Fig. 7.17 : Cartographie des microtopographies dans le massif du Rossberg (Cloitre, 2005, 2006)

7.2.2. Cartographie des charbonnières

Les charbonnières constituent des plate-formes de 20 à 50 m², utilisées pour la fabrication de charbon de bois. Cette activité existerait depuis l'Antiquité (Izard, 1992 ; Métailié, 1992). Dans les Vosges, elle est connue depuis le Moyen Age (Nölken, 2005), mais ne prend son plein essor qu'au courant de l'époque moderne, et se poursuit jusqu'au début du XX^e siècle. Le charbonnage est une technique couramment utilisée au XVIII^e siècle pour répondre aux besoins en combustible des industries métallurgiques (forges) et verreries. Les charbonniers s'établissent donc sur les versants des vallées dans lesquelles l'industrie métallurgique est importante. Cette technique est bien connue dans de nombreuses régions, puisque de nombreuses charbonnières ont été trouvées et étudiées, dans les Pyrénées (Davasse, 1992 ; Métailié, 1981) le Sud de la France en forêt méditerranéenne (Fabre & Gervet, 1992 ; Riols, 1992 ; Vernet, 1991 ; Vernet *et al.*, 2002), en Ariège (Izard, 1992), dans le Maine (Boufflet, 1994)...

La cartographie établie dans le massif du Rossberg (Fig. 7.18) montre une forte abondance des charbonnières, et une localisation sur certains secteurs des chaumes et sous les forêts qui leur sont directement adjacentes (Goepp, 2000 ; Goepp *et al.*, 2007). Bien que non exhaustif, le repérage des charbonnières est relativement aisé sur les chaumes. Nous en avons daté une à partir d'un charbon de *Fagus sylvatica* à 129 ± 31 BP, soit 1680-1949 cal BP, ce qui semble confirmer leur appartenance à l'époque moderne.

La localisation des charbonnières (Fig. 7.18, Fig. 7.19) en altitude, sur les chaumes et sous la forêt adjacente soulève des questions. Leur absence flagrante sur les principaux sommets (Rossberg, Thanner Hubel, Vogelstein) pourrait témoigner des limites des chaumes avant l'exploitation des forêts par les charbonniers. Ainsi, l'époque moderne aurait vu une extension des chaumes au détriment des forêts voisines. Certains secteurs ont plus particulièrement été exploités par les charbonniers, notamment autour et au-dessus de la ferme du Gsang. Une question se pose quant aux raisons qui ont poussé les charbonniers à remonter jusqu'aux limites des chaumes pour fabriquer du charbon de bois, alors que les forêts des versants sont plus proches des forges et des industries métallurgiques, et que le charbon doit être redescendu dans les vallées. Plusieurs hypothèses étaient envisagées :

- (i) celle d'une dégradation importante des forêts sur les versants, qui aurait obligé les charbonniers à remonter sur les versants ;
- (ii) celle de raisons sociales qui obligerait les charbonniers à fuir les villages des vallées ; en effet, ils ont longtemps été mal considérés par les populations locales car *surexploiteurs* et *dégradeurs* de forêts (journaliers de basses classes, dont l'emploi est lié aux industries métallurgiques) ;
- (iii) enfin, et c'est l'hypothèse la plus probable, celle d'un charbonnage « opportuniste ». En effet, les charbonniers installaient leurs meules ou *fauldes* en lisière de la forêt afin d'agrandir les pâturages ou en créer de nouveaux ; la seconde moitié du XVIII^e siècle voit en effet une très forte augmentation de la charge pastorale sur les chaumes, et les demandes d'autorisation de créer de nouveaux « *gazons* » se multiplient (Garnier, 2001 a, 2004). De plus, les charbonnières se répartissent globalement dans les zones d'extension des « paléo-chablis », hormis sur le versant nord du Thanner Hubel où les « paléo-chablis » sont nombreux alors qu'aucune charbonnière n'a été relevée. Cela peut provenir d'un biais, le versant peu pentu se prêtant mal à leur repérage.

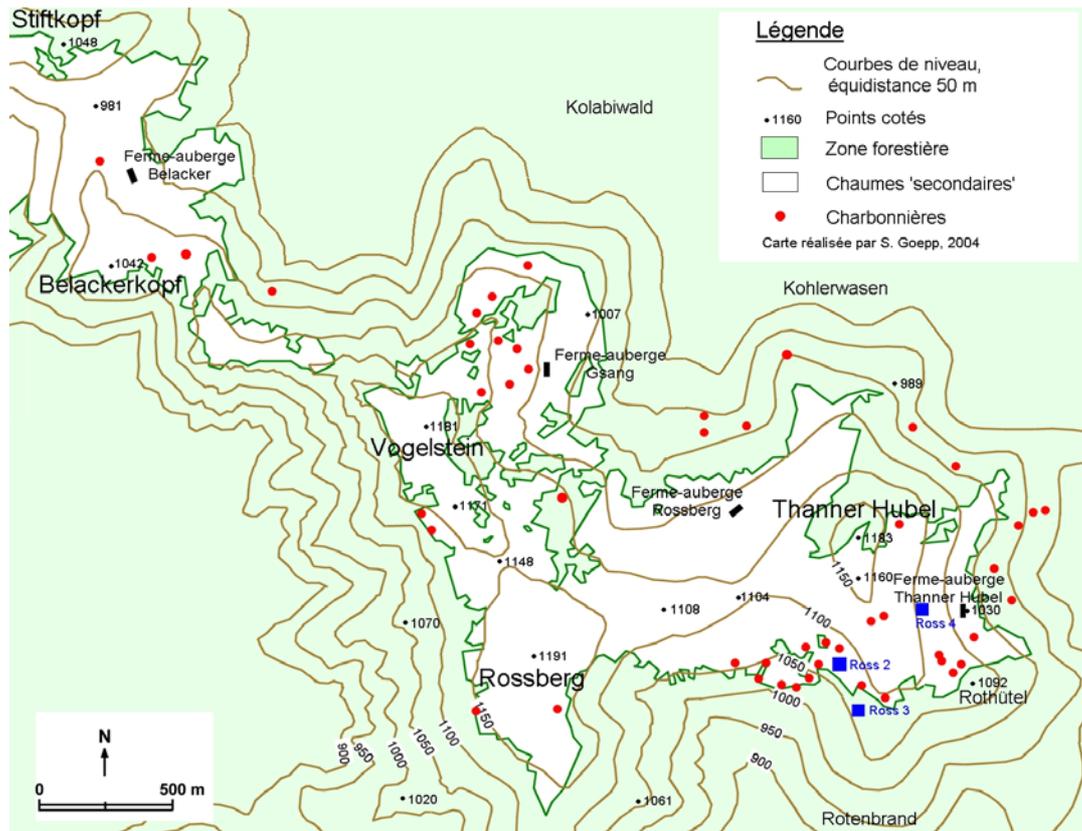


Fig. 7.18 : Cartographie des charbonnières dans le massif du Rossberg (Goepf, 2000, modifiée, 2004)

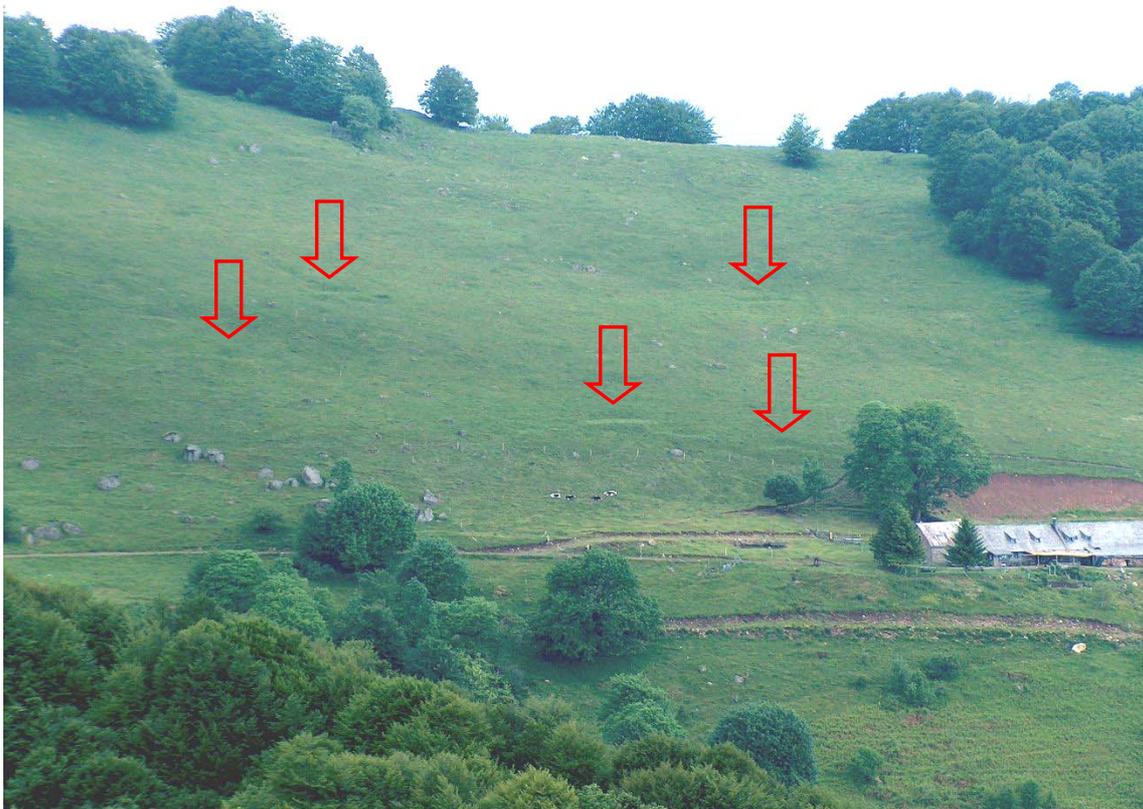


Fig. 7.19 : Photographie du versant orienté sud-est à l'amont de la ferme du Gsang montrant des plate-formes charbonnières, sous les flèches (Crédit photo : D.Schwartz)

Quoi qu'il en soit, une bonne corrélation entre le charbonnage et les paléo-chablis peut être établie au courant du XVIII^e siècle. Ce charbonnage ne serait donc pas dans notre cas une activité durable liée à l'exploitation forestière, mais un charbonnage « opportuniste ».

Le massif du Rossberg et les massifs adjacents sont riches en toponymes révélateurs de l'activité charbonnière (§ 2.7.3) : le *Kohlerwasen* au nord du Thanner Hubel, le *Kohlberg* à l'est de Bourbach-le-Haut, ou encore le *Col des Charbonniers* au nord de Sewen confirment l'importante activité charbonnière du massif.

7.3. Etude des dynamiques actuelles de la végétation

L'analyse de la végétation actuelle constitue une démarche importante. Elle nous amène, à partir de l'observation des milieux naturels actuels, à identifier les processus à l'origine de leurs évolutions. Elle permet également de fixer des ordres de grandeur des durées minimales d'évolution passées, lors de changements de couvert végétal. Elles permettent d'en estimer vitesse et intensité dans des conditions données. En ce sens, cette analyse constitue une sorte de « calibration » des dynamiques passées.

Dans les faits, les dynamiques spatio-temporelles actuelles de la végétation peuvent s'étudier par le biais de deux approches différentes. On peut ainsi faire une description détaillée de l'écosystème actuel, afin d'en comprendre le fonctionnement et les processus en cause, ou de spatialiser les stades d'évolution de la végétation. Ceci sera traité dans le § 7.3.1. On peut également déterminer les dynamiques spatio-temporelles à partir d'études diachroniques de la végétation, lorsqu'on dispose de marqueurs chronologiques fiables (§ 7.3.2).

7.3.1. De l'étude des écosystèmes actuels...

Wiederkehr (2006) a étudié dans le massif du Rossberg trois parcelles de pâturage envahies par des hêtres. Ses observations incluaient des relevés de la hauteur et des diamètres de troncs de ces hêtres. En effet, lors d'observations initiales nous avons remarqué la physionomie particulière de nombreux hêtres, jeunes ou adultes, poussant dans différents milieux : isolés en plein pâturage, en lisière forestière ou encore en pleine forêt. Dans ce dernier cas, l'analyse des cartes postales anciennes montre qu'il s'agit toujours de forêts pionnières, d'une centaine d'années, de conquête sur les pâturages. Wiederkehr a dans un premier temps étudié des hêtres à allure de bonsaïs dispersés çà et là sur les pâturages, le plus souvent en bordure extérieure de l'écotone, ou à proximité de bosquets composés d'arbres adultes. Certains de ces hêtres « bonsaïs » (Fig. 7.20), guère plus haut qu'un mètre ont un tronc qui fait une quinzaine de centimètres à la base, et sont âgés de plus de 30 ans. D'autre part, les observations faites par Wiederkehr (2006) sur la croissance des hêtres, tant sur les chaumes qu'au niveau de l'écotone forêt/pâturage décrivent avec précision leur physionomie particulière à l'âge adulte. Il s'agit d'individus dont le port intermédiaire entre fût et taillis s'explique par l'existence de plusieurs troncs soudés entre eux ; ces individus sont noueux et ont un port tortueux et bas-branchu. Certains de ces troncs englobent, en les « cannibalisant » d'autres individus qui n'ont pu se développer aussi vite qu'eux. Sur le

terrain, avec un peu d'habitude on distingue nettement la marque que fait sur le tronc l'insertion d'une basse branche de celle d'un jeune tronc « cannibalisé ».

La physionomie des hêtres bonsaïs s'explique principalement par les pressions exercées par le bétail. En effet, cette morphologie est absente des zones enforestées, ce qui ne serait pas le cas si le responsable en était la faune sauvage. La croissance des jeunes pousses de hêtre est dès le départ ralentie et perturbée par l'abroustissement des bourgeons terminaux au printemps, au moment du débouillage. Il en résulte d'abord des individus « bonsaïs » dont la croissance en hauteur est très lente ; le tronc s'épaissit et se démultiplie (Fig. 7.21). Le sujet reste à l'état buissonnant tant que la pression exercée par le bétail par abroustissement est importante. La croissance en hauteur s'accélère, à partir d'une ou plusieurs branche(s) centrale(s), dès que les bourgeons ne sont plus accessibles au bétail en raison de la croissance en largeur de la couronne, ou lorsque la pression sur le pâturage diminue. A long terme, cette perturbation biologique (abroustissement) aboutit à la croissance d'individus adultes à troncs multiples, formant un bosquet isolé sur le pâturage, puis une forêt plus ou moins ouverte. On observe en effet tous les intermédiaires entre les « bonsaïs » et les individus adultes à troncs multiples. Ces éléments traduisent donc la (re)fermeture du pâturage lié à un sous-pâturage, processus qui tend à se généraliser dans certains secteurs des chaumes du Rossberg.

Pour sa part, Morang (2006) a effectué des relevés phytosociologiques dans le secteur du Petit Ballon (1267 m), entre la vallée de la Fecht () et de la Lauch, respectivement vallées de Munster et de Guebwiller. Les secteurs de pâturages étudiés sont envahis par des espèces pionnières, majoritairement du genévrier commun (Fig. 7.22) et/ou de l'églantier, mais aussi par du prunellier (*Prunus avium*), etc. Ces landes à genévrier et/ou à églantier ne se forment pas par extension à partir d'un front mais par un envahissement « simultané » de tout l'espace ouvert. A l'inverse, les espaces pré-forestiers adjacents, souvent à épicéas, se forment à partir d'un front pionnier, par envahissement progressif de la lande à genévrier (envahissement par colonisation frontale). Morang (2006) note qu'il s'agit de stades de successions, avec pour chaque stade une composition floristique différente.

Les processus d'envahissement sont différents selon le stade et les espèces pionnières : alors que la dissémination rapide du genévrier est liée à son endozoochorie par les oiseaux, celle de l'épicéa s'effectue par le vent ou les animaux, à partir d'un front pionnier ou par extension d'îlots déjà existants. Les causes d'une extension rapide d'espèces colonisatrices puis pré-forestières sont identiques à celles évoquées précédemment, à savoir un abandon des espaces pastoraux, ou au moins leur mauvais entretien lié au sous-pâturage.

Ces observations nous permettent de faire des bilans spatiaux quant aux processus actuels dans un lieu donné. Ceci nous permet, dans une certaine mesure, de mettre en parallèle processus actuels et processus passés. Les charbons de genévrier datés de 2200-2100 ans BP au Rossberg (§ 5.2.1 et 5.2.4) en sont l'exemple le plus flagrant : une bonne connaissance des processus actuels qui ont lieu au Petit Ballon nous donnent une idée assez précise de la situation qui devait être celle du Rossberg à cette époque.

7.3.2. ...aux bilans spatio-temporels

Afin d'effectuer des bilans précis des évolutions sur un plus long terme, de l'ordre du siècle, l'échelle temporelle la mieux adaptée est décennale à pluridécennale. Ainsi, pour étudier les



Fig. 7.20 : Hêtre bonsaï dans le massif du Petit Ballon (Crédit photo : D. Schwartz, 2006)



Fig. 7.21 : Forêt de reconquête du massif du Rossberg, composée de hêtres adultes à troncs multiples et épaissis (Crédit photo : D. Schwartz)



Fig. 7.22 : Au Petit Ballon, lande envahie de genévriers, avec en arrière plan (sur la droite) l'apparition sur cette lande d'épicéas (Crédit photo : D. Schwartz, 2006)

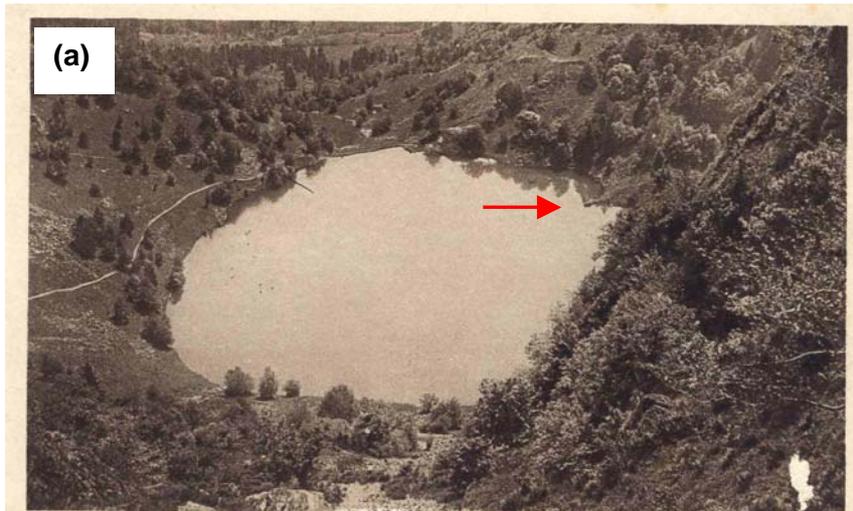


Fig. 7.23 : Lac des Perches au début du XX^e siècle (a) et un siècle plus tard (b) (Crédit photo : D. Schwartz) - La flèche qui indique un apointement rocheux sert de point de repère.



évolutions récentes des espaces pastoraux entre la 2^e moitié du XX^e siècle et le début du XXI^e siècle, les méthodes les plus couramment employées sont l'étude diachronique de photographies aériennes et la comparaison de cartes postales anciennes avec des photographies récentes.

Une étude diachronique de photographies aériennes à l'aide d'un SIG (ArcGis 9.0) a été effectuée dans le massif du Rossberg par Wiederkehr (2006) pour les 40 à 50 dernières années (entre 1956, 1977, 1997 et 1999). Morang (2006) a effectué cette même analyse pour les années 1956, 1969, 1985 et 2002 dans le massif du Petit Ballon. Ces études ont permis, dans les deux massifs, de mettre en évidence des évolutions forestières progressives ou régressives sur les pâturages. Alors que le Rossberg est plutôt soumis à des processus de progression forestière, le bilan des variations au Petit Ballon au cours des 45 dernières années est plus nuancé. Malgré tout, le fort déclin de l'activité agro-pastorale depuis la 2^e Guerre Mondiale y a entraîné l'établissement de faciès de colonisation des

espaces ouverts.

Quant au massif du Hohneck, il a été étudié par Adam (2002) qui a cherché à faire le bilan spatial des évolutions paysagères au cours des trois derniers siècles. Globalement, par comparaison des cartes et documents anciens, de photographies aériennes, et par la mise en place d'un SIG, il met en évidence une évolution régressive généralisée des espaces ouverts lié à un envahissement des espaces pastoraux par les ligneux. Cependant, ces évolutions y sont moins nettes qu'au Rossberg ou qu'au Petit Ballon, les vitesses de reconquête y étant plus lentes, en particulier dans le cirque du Frankenthal.

7.4. Conclusion

Les méthodes d'évaluation de l'évolution des Hautes-Chaumes au cours des trois derniers siècles nous ont permis de mettre en évidence :

- l'ouverture (ou réouverture) progressive des chaumes en lien avec l'augmentation de la pression anthropique sur les espaces forestiers au cours du XVIII^e siècle ;
- le maintien des espaces pastoraux et la diminution des pressions sur la forêt à partir du milieu du XIX^e siècle ;
- l'évolution progressive des espaces forestiers au détriment des chaumes dans le courant du XX^e siècle, ce phénomène allant en s'accroissant au cours de la 2^e moitié du XX^e siècle.

Les évolutions spatio-temporelles d'un écotone, d'un espace pastoral ou d'une forêt..., reconstituées sur les périodes récentes, nous amène aussi à considérer les vitesses (lente ou rapide) d'évolution de ces processus. Ces vitesses peuvent parfois s'avérer irrégulières. Les études sur la période actuelle soulignent combien un paysage, qui semble *a priori* « figé depuis la nuit des temps », est capable d'évoluer rapidement, comme c'est le cas à l'échelle des 50 dernières années. Il est alors possible d'imaginer combien ces paysages de chaumes sont susceptibles d'avoir évolué au cours des derniers millénaires.

A titre d'exemples pour le siècle passé, nous proposons deux comparaisons, l'une aux alentours du lac des Perches, situé dans la haute vallée de la Doller, à 985 m d'altitude (Fig. 7.23 a et b), l'autre au Rossberg, aux alentours de la ferme-auberge du Gsang (Fig. 7.24 a et b). De telles comparaisons sont évidemment nombreuses dans les Vosges et les exemples pourraient être multipliés.



*Fig. 7.24 : Ferme-auberge du Gsang il y a une centaine d'années (a) et actuellement (b)
(Crédit photo : T.Adam)*



QUATRIEME PARTIE

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

CHAPITRE 8

ANCIENNETE ET IMPORTANCE DES INFLUENCES
ANTHROPIQUES SUR L'EVOLUTION DES VEGETATIONS
DES HAUTES-CHAUMES

Nous avons dans un premier temps (chap. 5.2) analysé les données que nous avons obtenues sur l'évolution de la végétation au regard d'un cadre chronologique paléoclimatique. Nous avons toutefois convenu que nos données sur l'origine des charbons de bois des sols témoignaient selon toute vraisemblance d'actions anthropiques plutôt que d'événements naturels, incendies liés à la foudre par exemple. De même, les données obtenues par d'autres méthodes sur l'évolution historique de la végétation mettent en avant l'influence, directe (défrichement) ou indirecte (abandon des pâturages) de l'Homme sur l'évolution de la végétation. Pour cette raison, nous donnons ici une nouvelle interprétation de l'ensemble de la chronologie des changements de végétation, qui prend en compte l'action humaine, prise dans ses dimensions archéologiques, culturelles et historiques.

8.1. Comparaison des dates obtenues entre les massifs du
Hohneck et du Rossberg

La comparaison des 40 datations de charbons de bois prises dans leur ensemble et reclassées par ordre chronologique en âges calibrés, cal BC (Before Christ) ou cal AD (*Anno Domino*) (Fig 8.1 et Tab. 8.1) met en évidence plusieurs points majeurs (Fig. 8.2).

- Comme nous avons déjà eu l'occasion de le relever dans la chronologie paléo-climatique, la répartition des datations n'est pas homogène : 6 dates seulement entre 20 400 et 5720 cal BC, 4 dates pour le Néolithique, 30 dates depuis le début de la Protohistoire. Cette répartition souligne ainsi l'importance des phases d'anthropisation par rapport aux cycles climatiques.
- Les flèches doubles de la Fig. 8.2 représentent les intervalles de temps minimum entre deux phases de feux. On constate que de nombreuses dates sont regroupées sur de courtes périodes séparées par des durées importantes sans feux enregistrés, ce qui semble correspondre à une logique de périodisation des phases de feux. Cette périodisation est liée à des évolutions de la pression anthropique sur le milieu davantage qu'à des périodes climatiques. Ainsi par exemple, nous n'avons pas de feux enregistrés entre la période de La Tène (2^e âge du Fer) et le Bas Moyen Age au Falimont, soit une période minimale de 1220 ans, en prenant les extrêmes des intervalles de datations calibrées.

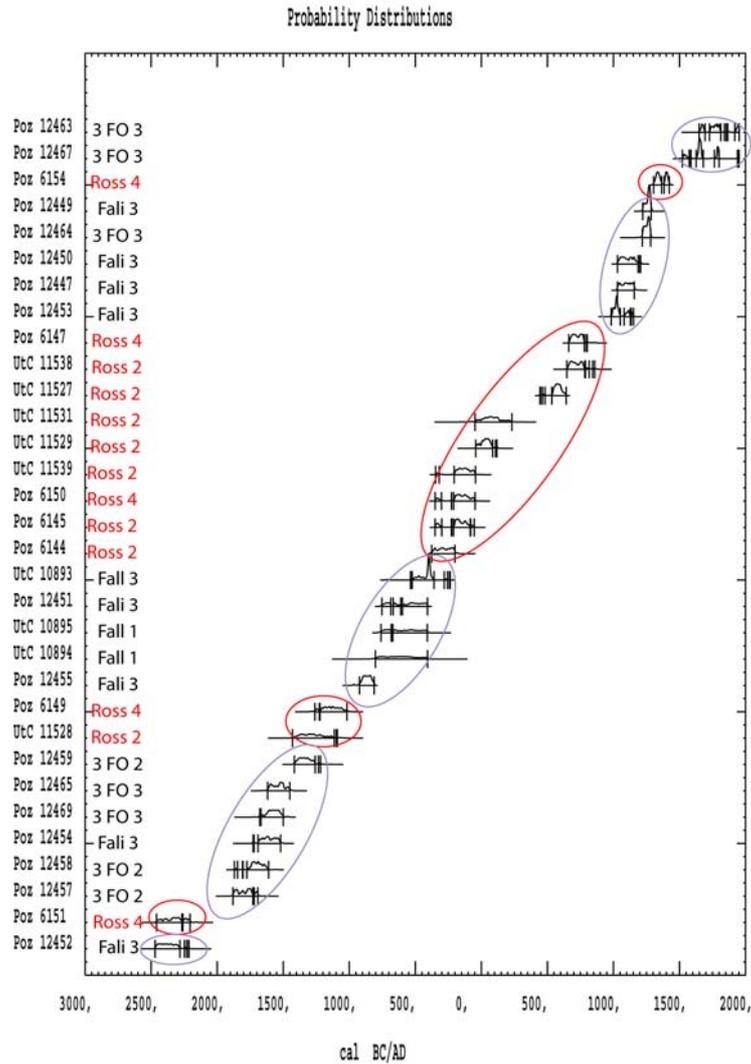


Fig. 8.1 : Calibration des datations pour les périodes les plus récentes (à partir du Néolithique final). Les datations des deux massifs s'opposent fortement.

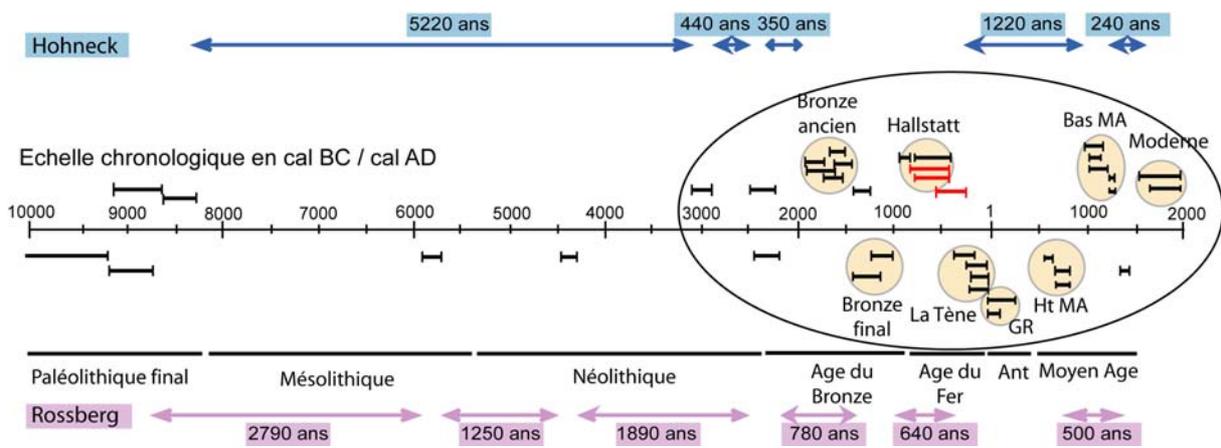


Fig. 8.2 : Schéma de comparaison des dates entre les massifs du Hohneck et du Rossberg, placées sur une échelle des périodes archéologiques. En rouge apparaissent les dates Fall 1 et Fall 3. Les flèches représentent les intervalles entre deux périodes de feux pour chaque site.

Référence	Nom	Age	Age calibré	Espèce	Période archéologique		
					Hohneck	Rosberg	
Labo	du site	14C BP	(cal BC / cal AD)				
Poz-12463	3 FO 3 - I	190 ± 30	1648 - 1952 cal AD	<i>Abies alba</i>	PERIODE MODERNE		
Poz-12467	3 FO 3 - III	250 ± 30	1522 - 1951 cal AD	<i>Fagus sylvatica</i>			
Poz 6154	ROSS 4-III	570 ± 30	1304 - 1423 cal AD	<i>Acer pseudoplatanus</i>	236 ANS	BAS MOYEN AGE	
Poz-12449	FALI 3 - II	750 ± 30	1222 - 1286 cal AD	<i>Fagus sylvatica</i>	BAS MOYEN AGE		503 ans
Poz-12464	3 FO 3 - III	765 ± 30	1219 - 1282 cal AD	<i>Acer sp.</i>			
Poz-12450	FALI 3 - II	915 ± 30	1031 - 1206 cal AD	Ericaceae			
Poz-12447	FALI 3 - II	935 ± 25	1030 - 1158 cal AD	<i>Abies alba</i>			
Poz-12453	FALI 3 - VI	1000 ± 30	983 - 1152 cal AD	<i>Genista sp.</i>			
Poz 6147	ROSS 4-VIII	1280 ± 30	662 - 801 cal AD	<i>Acer pseudoplatanus</i>		HAUT MOYEN AGE	
UtC 11538	ROSS 2-XI	1301 ± 45	647 - 859 cal AD	<i>Fagus sylvatica</i>		213 ANS	
UtC 11527	ROSS 2-III	1494 ± 30	444 - 642 cal AD	<i>Abies pectinata</i>			
UtC 11531	ROSS 2-XI	1930 ± 60	48 cal BC - 231 cal AD	<i>Abies pectinata</i>	1219 ANS	GALLO-ROMAIN	
UtC 11529	ROSS 2-VIII	1968 ± 32	43 cal BC - 117 cal AD	<i>Populus sp.</i>			
UtC 11539	ROSS 2-III	2113 ± 35	347 - 44 cal BC	<i>Juniperus communis</i>		2e AGE DU FER (LA TENE)	
Poz 6150	ROSS 4-VI	2125 ± 35	350 - 47 cal BC	<i>Fraxinus excelsior</i>			
Poz 6145	ROSS 2-VI	2135 ± 30	351 - 54 cal BC	<i>Juniperus communis</i>			
Poz 6144	ROSS 2-VIII	2210 ± 30	376 - 200 cal BC	<i>Juniperus communis</i>			
UtC 10893	FALL 3	2339 ± 37	536 - 236 cal BC	<i>Acer sp.</i>			
Poz-12451	FALI 3 - IV	2445 ± 35	760 - 400 cal BC	<i>Vaccinium uliginosum</i>	1er AGE DU FER (HALLSTATT)	642 ANS	
UtC 10895	FALL 1	2456 ± 47	760 - 409 cal BC	<i>Fagus sylvatica</i>			
UtC 10894	FALL 1	2510 ± 90	803 - 407 cal BC	<i>Fagus sylvatica</i>			
Poz-12455	FALI 3 - VI	2725 ± 30	923 - 811 cal BC	<i>Calluna vulgaris</i>	BRONZE FINAL	BRONZE FINAL	
Poz 6149	ROSS 4-VIII	2930 ± 35	1260 - 1018 cal BC	<i>Fagus sylvatica</i>	294 ANS		
UtC 11528	ROSS 2-VI	3030 ± 60	1430 - 1091 cal BC	<i>Acer pseudoplatanus</i>		TR. B. MOYEN / B. FINAL	
Poz-12459	3 FO 2 - VI	3060 ± 35	1416 - 1217 cal BC	<i>Abies alba</i>	TRANSITION B. MOYEN / B.	775 ANS	
Poz-12465	3 FO 3 - III	3260 ± 35	1618 - 1450 cal BC	<i>Fraxinus excelsior</i>			
Poz-12469	3 FO 3 - VIII	3300 ± 35	1678 - 1499 cal BC	<i>Fraxinus excelsior</i>			
Poz-12454	FALI 3 - VI	3330 ± 35	1728 - 1520 cal BC	<i>Fagus sylvatica</i>			
Poz-12458	3 FO 2 - VI	3400 ± 35	1870 - 1611 cal BC	<i>Acer sp.</i>			
Poz-12457	3 FO 2 - VI	3460 ± 30	1881 - 1692 cal BC	<i>Fagus sylvatica</i>	BRONZE ANCIEN		
Poz 6151	ROSS 4-III	3850 ± 35	2459 - 2205 cal BC	<i>Coryllus avellana</i>	349 ANS	TR. NEO. / BRONZE	
Poz-12452	FALI 3 - IV	3885 ± 35	2470 - 2230 cal BC	<i>Sorbus sp.</i>	R. NEO. / BRONZE		
Poz-12468	3 FO 3 - VIII	4370 ± 35	3090 - 2906 cal BC	<i>Abies alba</i>	436 ANS	1888 ANS	
Poz 6143	ROSS 2-XI	5580 ± 40	4488 - 4347 cal BC	<i>Fagus sylvatica</i>	NEO. MOYEN		
UtC 11530	ROSS 2-VIII	6970 ± 60	5983 - 5735 cal BC	<i>Tilia platyphyllos</i>	5218 ANS	1247 ANS	MESOLITHIQUE
Poz-12460	3 FO 2 - VIII	9260 ± 60	8628 - 8308 cal BC	<i>Salix sp.</i>	PALEOLITHIQUE	2790 ANS	
Poz-12461	3 FO 2 - VIII	9520 ± 50	9139 - 8659 cal BC	Papilionaceae			
Poz 6208	ROSS 4-VI	9570 ± 50	9176 - 8773 cal BC	<i>Pinus sylvestris</i>		PALEOLITHIQUE	
Poz 6153	ROSS 4-III	10170 ± 170	10616 - 9296 cal BC	<i>Pinus sylvestris</i>			
Poz 6146	ROSS 4-IX	18200 ± 100	20103 - 19232 cal BC	<i>Abies pectinata</i>			

Tableau 8.1 : Ensemble des datations, classées par ordre chronologique et par site. A droite, les périodes concernées et les intervalles entre deux périodes de feux pour chaque site.

- En outre, le regroupement des dates par massif, distants de 25 km environ, fait apparaître des oppositions de phases de feux nettes. En effet, alors que les dates sont groupées au Bronze ancien, Hallstatt, Bas Moyen Age et à la période moderne au Falimont (au-dessus de l'échelle chronologique, Fig. 8.2) elles sont centrées sur le Bronze final, La Tène, la période gallo-romaine et le Haut Moyen Age au Rosberg (en dessous de l'échelle

chronologique, Fig. 8.2). Les deux sites étudiés se distinguent donc très nettement, témoignant de la prééminence des facteurs locaux par rapport aux facteurs régionaux. Cette observation renforce la vraisemblance d'une explication mettant en avant l'action anthropique : des crises climatiques, même de courtes durées, auraient davantage joué à l'échelle régionale, et cela d'autant plus que les conditions climatiques sont relativement semblables sur les deux massifs.

L'influence anthropique est donc avérée, à la fois par l'augmentation du nombre des feux à partir de la période protohistorique, et par l'opposition des périodes.

Afin de discuter des résultats des datations ^{14}C AMS obtenues sur les charbons de bois des sols, ces dates sont replacées dans les Fig. 8.3 (Hohneck) et 8.10 (Rossberg) dans une chronologie d'ensemble.

8.2. Approches de l'évolution de la végétation dans le massif du Falimont

Nous proposons ici un scénario des grandes étapes d'évolution de la végétation et des sols du massif du Falimont. Pour retracer cette évolution, nous nous fonderons sur un cadre extra-local bâti sur les analyses polliniques de De Valk (1981), avec des compléments pour les échelles locales, constituées par nos propres résultats. Nous tenterons aussi de mettre en évidence les déterminismes climatiques et/ou anthropiques qui ont pu agir sur ces évolutions passées.

Pour cela, le tableau 8.1 reprend les résultats obtenus pour le site du Hohneck, contenant les dates non calibrées (^{14}C BP), les âges calibrés (en cal BC ou cal AD) et la détermination de l'espèce de chaque charbon. La Fig. 8.3. (A à G) permet de replacer ces dates dans une chronologie débutant vers 12 000 cal BP. Elles sont comparées à la fois :

- aux grandes périodes archéologiques (A et C) présentées en âges calibrés cal BC/cal AD ;
- à l'évolution de la végétation des crêtes (D) établie à partir des analyses palynologiques de De Valk (1981) vers 926 m au lac de l'Altenweiher (926 m) au pied du Kastelberg pour

Fig. 8.3 p. suivante : Calage des datations du massif du Hohneck au cours de l'Holocène avec les paramètres climatiques et anthropiques :

A : périodes archéologiques et historiques (Mauvilly, 1991 ; Jeunesse, 1991)

B : datations de charbons de bois des sols

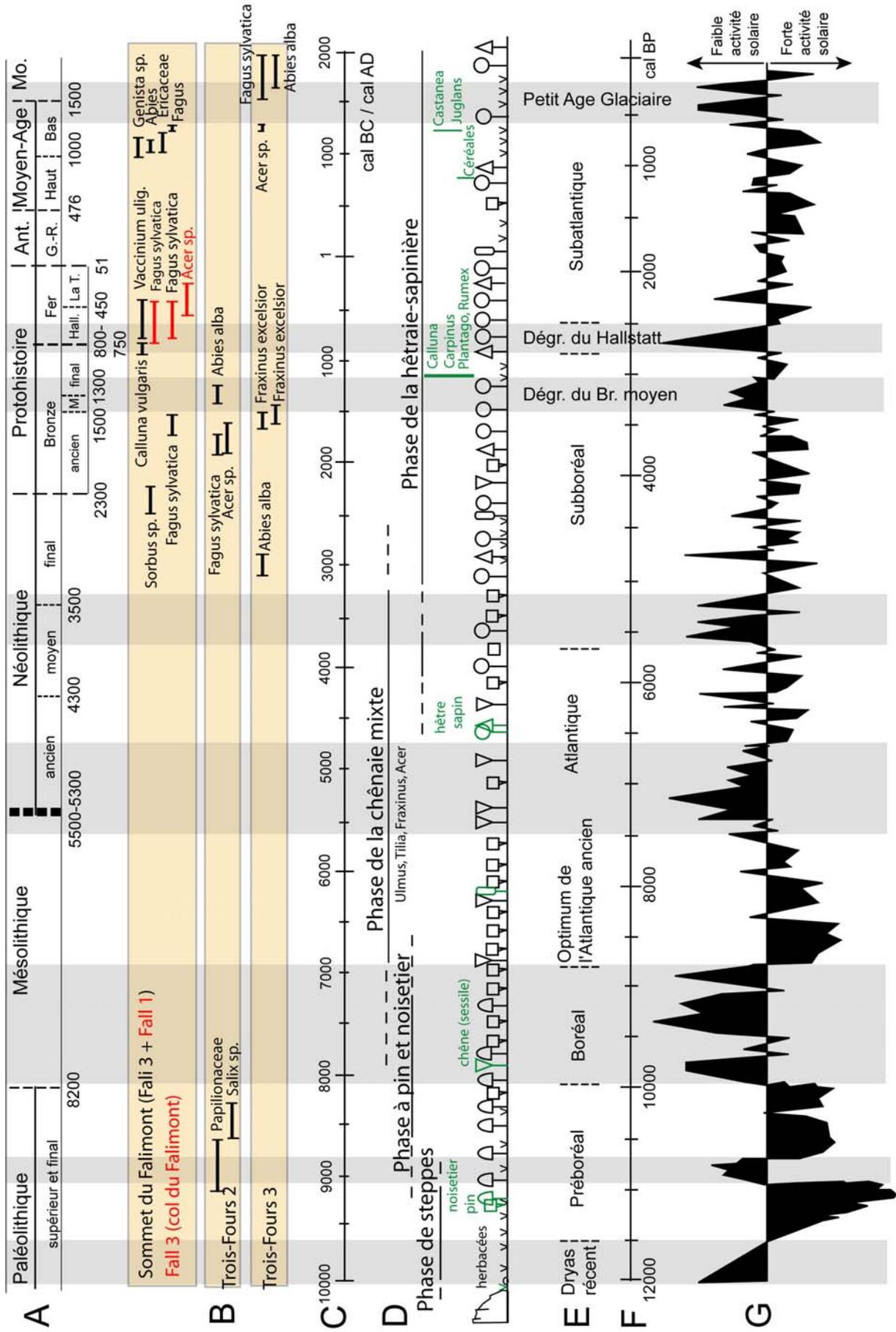
C : Chronologie en âges cal BC/cal AD

D : Evolutions de la végétation et premières apparitions d'espèces (symboles verts avec leur nom) d'après les diagrammes palynologiques du lac de l'Altenweiher (926 m) et de la tourbière de la source de la Moselotte (De Valk, 1981)

E : Principales chronozones

F : échelle chronologique en cal BP

G : Variations du ^{14}C résiduel (d'après Stuiver *et al.*, 1993) ; en gris, périodes de refroidissement.



la période antérieure à 5500 cal BC, et à la source de la Moselotte (1260 m) pour la période postérieure à cette date ;

- aux grandes chronozones (E) ;
- et enfin, aux variations du ^{14}C résiduel de l'atmosphère (G) qui donne les grandes tendances des variations de l'activité solaire au cours de l'Holocène, ce qui nous permet de mettre en évidence les tendances générales du climat (Stuiver *et al.*, 1993).

8.2.1. L'évolution de la végétation des périodes du Paléolithique supérieur et du Mésolithique

L'évolution de la végétation des périodes du Paléolithique supérieur (avant 8200 cal BC) et du Mésolithique (8200 cal BC à 5500/5300 cal BC) est assez bien connue par l'analyse palynologique (De Valk, 1981). A l'échelle extra-locale ou régionale, le Paléolithique supérieur est marqué par l'arrivée des premiers arbres pionniers, qui remplacent vers 11 500 cal BP une végétation steppique. Ces pionniers s'étendent au Paléolithique final. Le Mésolithique (Fig. 8.4) est principalement caractérisée d'après De Valk (1981) par la présence d'espaces forestiers, composés de noisetiers et de chênes, accompagnés de pins, ormes, tilleuls et frênes. Les deux charbons que nous avons déterminés et datés de cette période confortent ce schéma à l'échelle locale. Le charbon de Papilionacée indéterminée daté d'environ 9100-8600 cal BC évoque des espaces encore très ouverts. Quant au saule, qui est sans doute lié à des conditions d'hydromorphie très locales, il a souvent un comportement pionnier et s'inscrit bien dans le cadre de forêts majoritairement composées d'espèces de ce type. La rareté des charbons datant de ces périodes ne permet pas de souligner une quelconque action anthropique sur les chaumes à ces périodes. Cette rareté des charbons est à corrélérer à la rareté des indices d'anthropisation de ces milieux (rares objets lithique, absence d'habitat...).

L'amélioration des conditions climatiques à partir de l'Holocène ayant entraîné l'installation d'une végétation ligneuse sur les versants, une certaine stabilité morphoclimatique s'amorce dès le début du Boréal, qui correspond globalement au début du Mésolithique, du moins dans la vallée de la Moselle, avec un envasement et un boisement du fond de la vallée mis en évidence par Carcaud (1990) et Richard (1990). Nous estimons vraisemblable que le développement des sols depuis la déglaciation tend vers la brunification, sous un couvert en voie de densification forestière, sur un substratum constitué selon le cas d'une arène granitique, de formations de pente (Fali 1, 3FO 3), et sans doute de formations morainiques.

8.2.2. L'évolution au Néolithique

Toujours d'après la palynologie (De Valk, 1981 ; Edelman, 1985), le Néolithique ancien (5500/5300 à 4300 ans cal BC environ) est encore marqué par la phase de la chênaie mixte et du noisetier, qui diminue progressivement. Les pollen de hêtre et de sapin, bien que déjà présents dans les diagrammes, restent en proportion faible, au moins jusqu'au Néolithique moyen au cours duquel se met en place la hêtraie-sapinière, végétation qui a subsisté jusqu'à nos jours. Elle est accompagnée du noisetier, de l'aulne... (Fig. 8.5). La présence de chêne à cette altitude semble étonnante ; elle est pourtant attestée par d'autres diagrammes (Lemée, 1963 a) aux mêmes altitudes. Pour cette période, De Valk (1981) considère qu'une

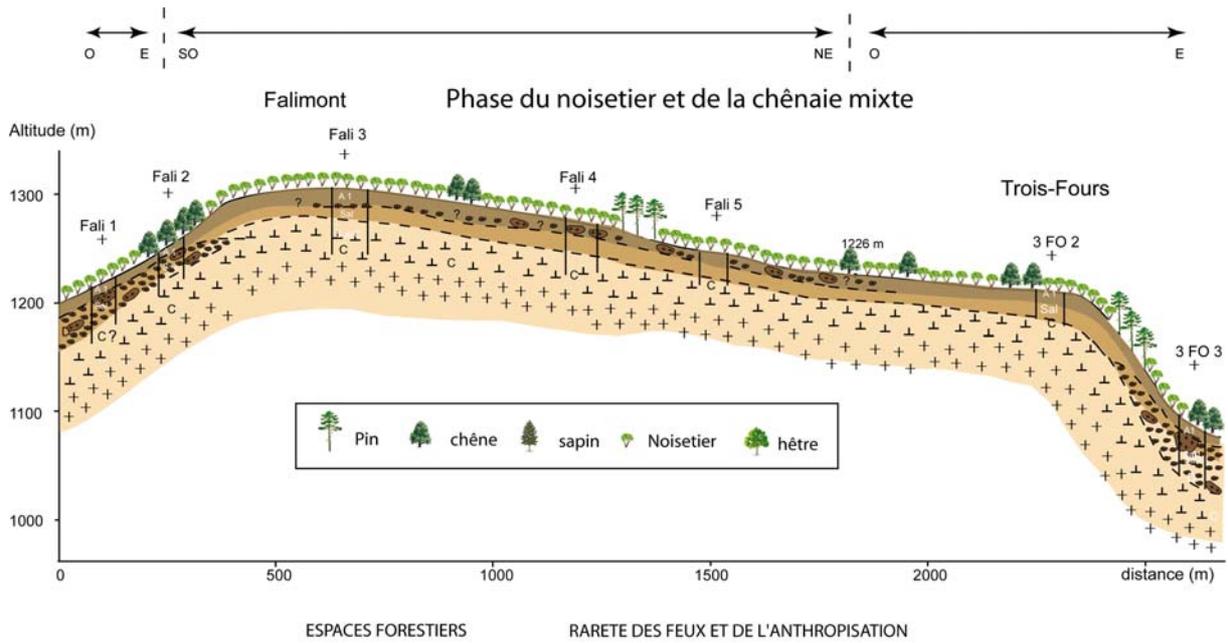


Fig. 8.4 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au cours de la période mésolithique (8200-5500/5300 cal BC). Espaces largement forestiers ; présence humaine faible.

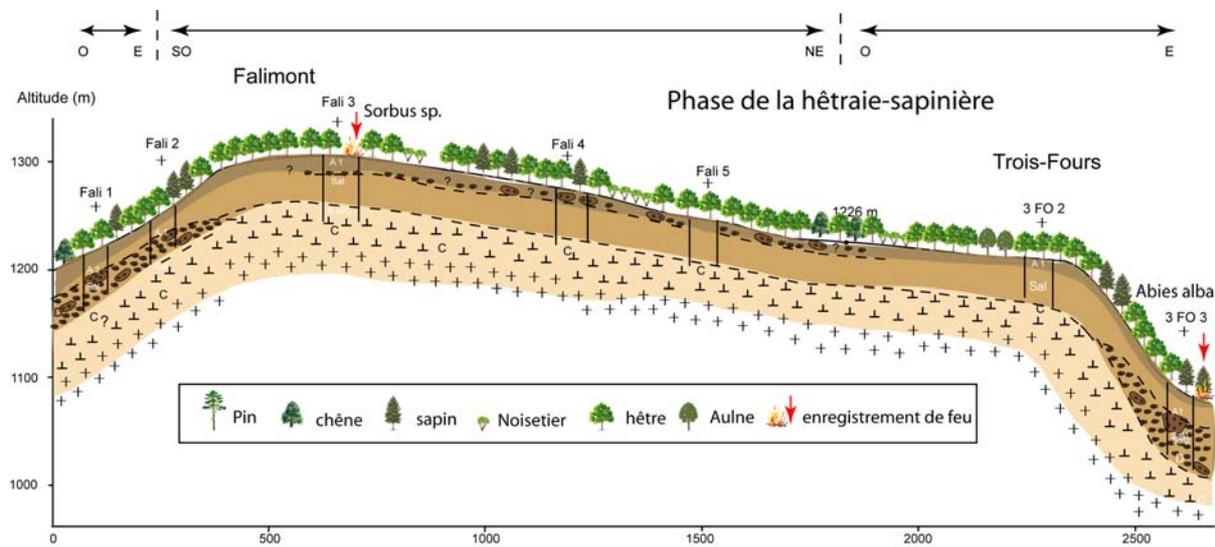


Fig. 8.5 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au cours du Néolithique final (3500-2300 cal BC). Le milieu est encore très peu anthropisé.

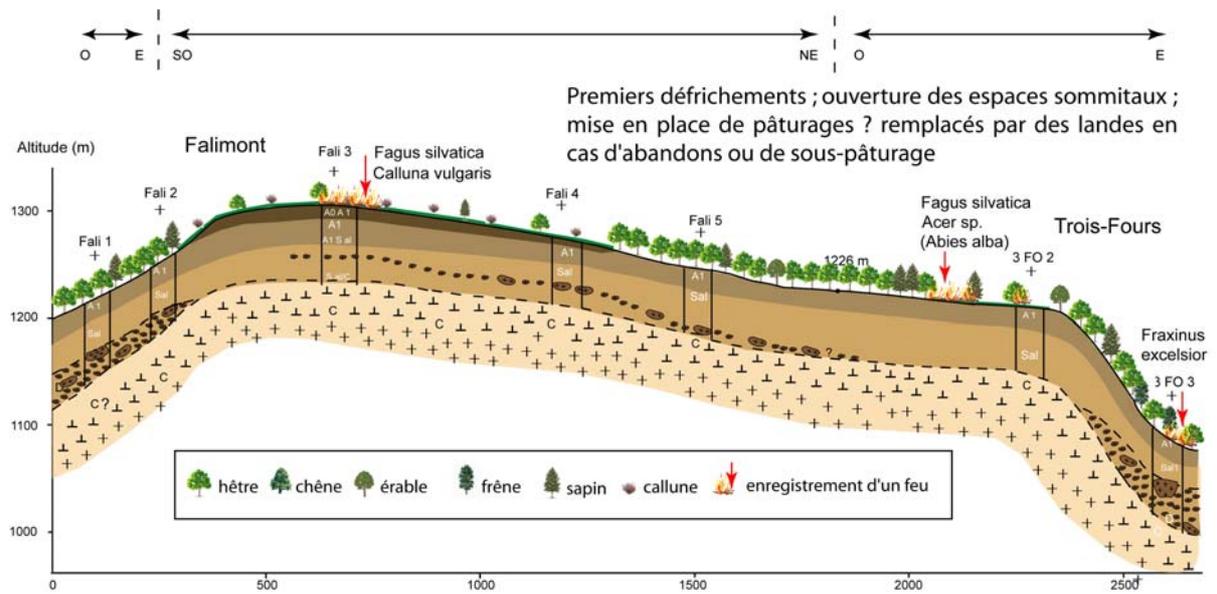


Fig. 8.6 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont à l'âge du Bronze ancien (2300-1500 cal BC). Premiers forçages anthropiques d'ampleur. Développement d'activités agro-pastorales supposées.

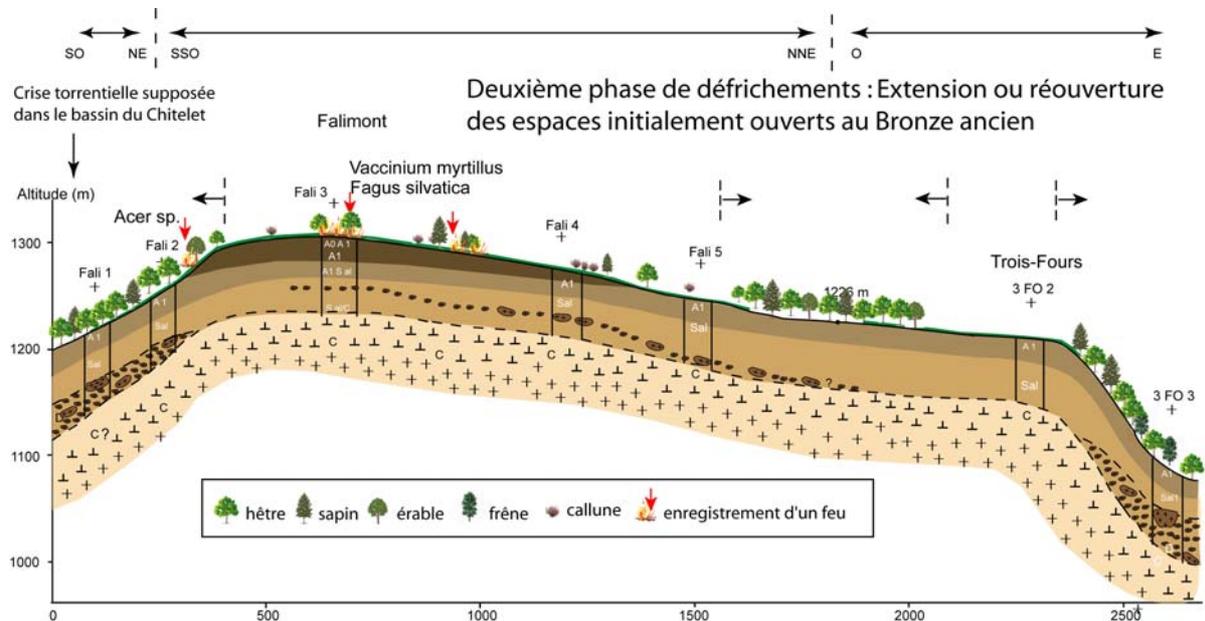


Fig. 8.7 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au Hallstatt (1^{er} âge du Fer, 800/750-450 cal BC). Deuxième phase de défrichements ; l'extension se fait sans doute à partir des sommets et clairières précédemment défrichés.

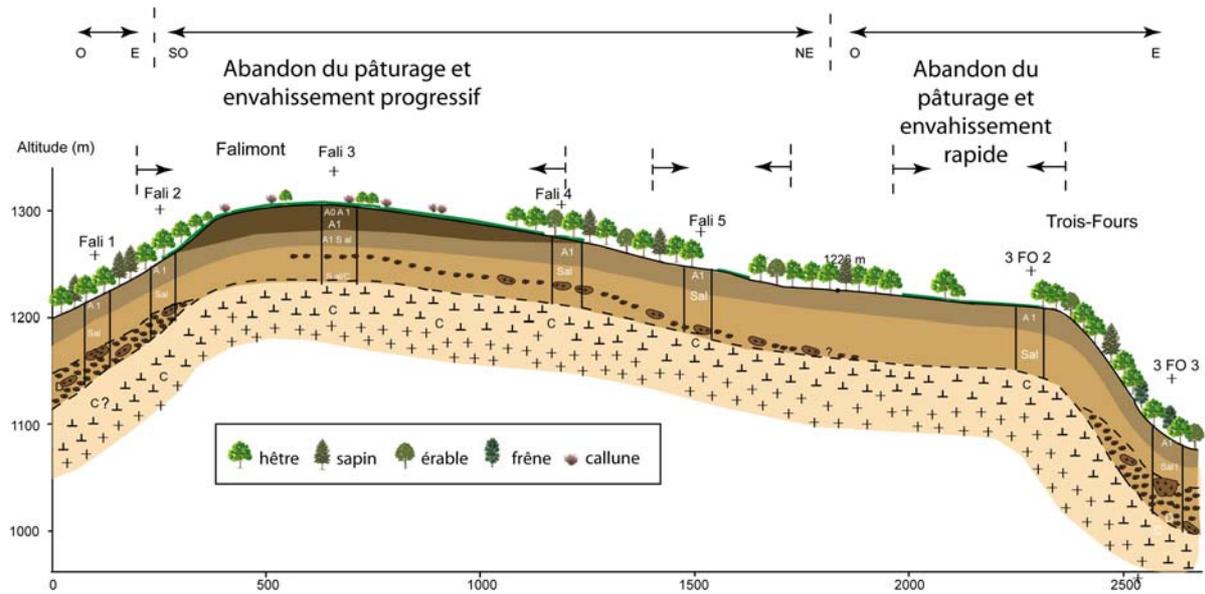


Fig. 8.8 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont du début de La Tène (450 cal BC) à la fin du Haut Moyen Age (1000 cal BC). Selon l'hypothèse la plus probable, la faible anthropisation a créée les conditions favorables au réenfrichement des pâturages, à partir de fronts pionniers.

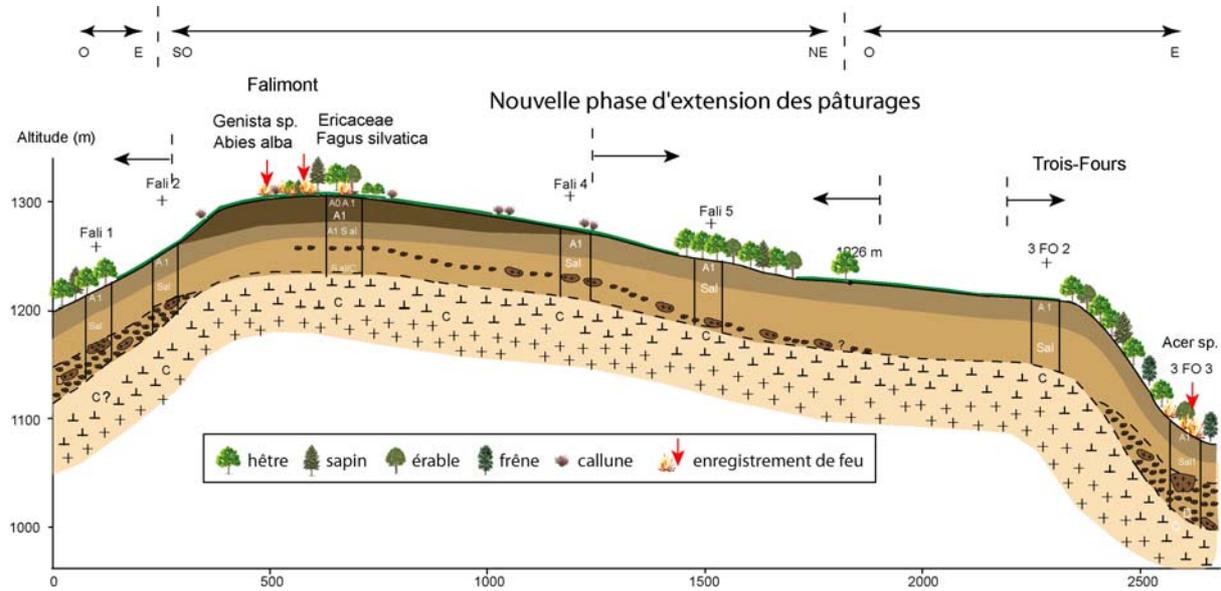


Fig. 8.9 : Scénarios d'évolutions de la végétation dans le massif du Falimont au Bas Moyen Age. Troisième phase de défrichements.

augmentation des ligneux hauts a lieu à la source de la Moselotte (1290 m) et au sommet du Kastelberg (1350 m), mais il considère surtout qu'il s'agit de formations buissonnantes naines. Pourtant, la « forme » prise par cette forêt, son degré d'ouverture, peuvent difficilement être estimés.

Seuls un ou deux charbons peuvent être rapportés à cet ensemble. Au Néolithique final, *Abies alba* vers 3090-2906 cal BC est présent sous l'actuelle forêt des Trois-Fours (Fig. 8.5). Au sommet du Falimont, un charbon de *Sorbus sp.*, daté vers 2470-2230 cal BC est à rapporter à la transition Néolithique/Bronze. Leur présence confirme d'une part l'existence d'une forêt sans doute mixte, de type hêtraie-sapinière sur les versants, et d'autre part la présence de feuillus sur les sommets. *Sorbus* ayant un comportement très pionnier, deux hypothèses pourraient expliquer sa présence : (i) les espaces sommitaux du Falimont auraient été défrichés très précocement au courant ou à la fin du Néolithique, puis abandonnés et repris par des espèces pionnières ; malheureusement nous ne pouvons en avoir de preuves ; (ii) ce sorbier se trouvait dans une forêt relativement claire, permettant aux espèces héliophiles de s'y développer.

Bien que le Néolithique soit bien représenté en plaine dès le Néolithique ancien (Rubané), sur les terrasses de loess en particulier, le massif vosgien reste semble-t-il peu exploré. Un seul charbon peut en fait être rapporté de façon certaine au Néolithique dans le secteur étudié ; celui de *Sorbus sp.* peut dater du Bronze ancien. Nos résultats ne permettent donc pas de souligner une quelconque action anthropique sur les chaumes du massif du Hohneck à ces périodes. Les feux restant rares voire absents, seuls quelques objets archéologiques trouvés sur la crête attestent la présence et le passage des cols par les populations du Néolithique. Il s'agit en général de lames de silex et d'éclats, ou de pointes de flèche, retrouvés au Petit Hohneck, au Schnepfenried, ou encore au Gazon du Faing (Fig. 2.7). En outre, il est établi que le massif vosgien a fait l'objet d'activités minières ou de débitages lithiques non seulement au Néolithique (Vosges Saônoises ; Plancher-les-Mines ; vallée de Saint-Amarin), mais plus anciennement au cours du Paléolithique final (Plancher-les-Mines, Pétrequin & Jeunesse, 1995).

Les fonds de vallées vosgiennes semblent faire l'objet, au Néolithique tout comme auparavant au Mésolithique, d'une relative stabilité morphoclimatique sur le versant lorrain (Carcaud, 1990 ; Richard, 1990). Ce n'est qu'à partir du Néolithique final (Campaniforme) et du Bronze (secteur de Vandières ; Carcaud, 1990 ; Richard, 1990) qu'une recrudescence des crues a lieu, du moins dans la vallée de la Moselle, ce qui ne semble pas correspondre à une phase de détérioration climatique. A l'inverse, en Forêt Noire, Mäckel *et al.* (2003) estiment que des phases de détériorations climatiques provoquant des changements de l'utilisation du sol et de l'intensité des processus géomorphologiques comme l'érosion des sols ont lieu dès le Néolithique moyen (à partir de 3800 cal BC environ). Ce déterminisme pourrait être en partie climatique (dégradation au Néolithique moyen), mais une influence anthropique est possible.

8.2.3. Les premiers défrichements protohistoriques du Bronze

L'activité agro-pastorale ne débute véritablement qu'à partir de la période protohistorique,

voire la toute fin du Néolithique (Néolithique final), allant en s'accroissant au cours des quatre derniers millénaires. Les dates obtenues (Tab. 8.1, Fig. 8.1, Fig. 8.3) sont plus particulièrement centrées sur deux périodes : le Bronze ancien (2300-1500 ans cal BC) et le Hallstatt (1^{er} âge du Fer, 800/750-450 ans cal BC). Le Bronze moyen et final, ainsi que La Tène (2^e âge du Fer), à l'inverse, ne sont pas ou faiblement représentés dans le massif du Falimont en terme de datations.

8.2.3.1. Le Bronze ancien

Le Bronze ancien (2300-1500 ans cal BC environ) semble correspondre aux premiers forçages anthropiques (Fig. 8.6) sur le massif du Hohneck, *via* des défrichements par le feu. Cinq à six datations de charbons correspondent à cette période, dont cinq compris sur une période de 200 à 300 ans. Ainsi aux Trois-Fours, on note la présence de *Fagus sylvatica* vers 1881-1692 cal BC, et *Acer sp.* vers 1870-1611 cal BC, qui accompagne le hêtre et le sapin. A cette même époque ont lieu les premiers défrichements des sommets : la présence au Bronze ancien, vers 1728-1520 ans cal BC de charbon de *Fagus sylvatica* au sommet du Falimont, nous permet de considérer l'existence d'arbres et d'un premier défrichement par le feu.

Aux Trois-Fours (3FO 3) vers 1080 m d'altitude, la présence de *Fraxinus excelsior* entre 1680 et 1450 cal BC traduit : (i) soit l'existence d'une hêtraie-sapinière dans laquelle le frêne est disséminé ; (ii) soit son rôle de pionnier sur un terrain préalablement ouvert, puis abandonné. Quoi qu'il en soit, son feuillage constituant un très bon fourrage pour les animaux (Rameau *et al.*, 1993), il a peut-être été employé à des fins d'émondage* ou de pâturage sous forêt, à l'instar de ce qui est pratiqué en plaine d'Alsace dès le Néolithique (Pétrequin & Jeunesse, 1995).

Cette période correspond donc au développement des premières activités agro-pastorales. On notera à cet égard que l'exploitation de zones de haute montagne à des fins d'élevage extensif est attestée ailleurs, notamment dans les Alpes et les Pyrénées au-delà de 2000 m, en complémentarité des zones de piémonts (Carozza & Marcigny, 2007). Les territoires de moyenne montagne, que l'on peut penser *a priori* très faiblement anthropisés, subissent en réalité une intensification des économies de montagne, et une importance croissante du pastoralisme, surtout à partir du Bronze moyen. « [...] On retiendra donc que l'âge du Bronze est une étape majeure de la construction des paysages. » (Carozza & Marcigny, 2007).

Le massif vosgien n'échappe pas à cette règle. Un système agro-pastoral plus ou moins pérenne semble donc s'être mis en place au début du Bronze, un entretien régulier par le feu s'avérant sans doute nécessaire afin d'éviter l'envahissement des espaces pastoraux par des ligneux bas puis une reconquête forestière. La présence de différents objets archéologiques, même s'ils restent isolés, attestent d'ailleurs d'une présence de l'Homme plus importante sur les chaumes : un dépôt de haches du Bronze ancien au col du Bonhomme (Simon, 1992), des pointes de flèche en silex et éclats de silex au Gazon du Faing (1295 m), au Falimont (Fig. 2.8) et au Rainkopf (1250 m), et une meule en grès au col du Schaeferthal (date indéterminée entre Néolithique et Protohistoire) ont été trouvés sur les sommets pour la période protohistorique. Zehner (1998) note que ces découvertes mineures dans les vallées vosgiennes et les Hautes-Vosges s'opposent aux découvertes majeures faites en plaine. Il convient toutefois de noter que le Bronze ancien est très rare en plaine

d'Alsace : l'intensification de l'utilisation des espaces montagnards par des défrichements et des brûlis ne peut pour l'heure être corrélée à des habitats en plaine.

Enfin, Casner (2002) relève, dans le bassin-versant du Chitelet sur le versant ouest du Falimont, des témoignages de deux crises torrentielles majeures, qui ont provoqué l'édification de cônes de déjection. Il suppose que la seconde crise pourrait être en relation avec ces premiers défrichements sur les hauteurs, même s'il ne peut pas la replacer dans une chronologie absolue. Cette crise torrentielle pourrait donc dater du Bronze ancien, période qui ne correspond d'ailleurs pas à une crise climatique.

8.2.3.2. *Le Bronze moyen et final*

Le Bronze moyen et le Bronze final semblent caractérisés par une diminution des pressions anthropiques sur le massif du Hohneck. Cette diminution pourrait être soulignée par l'apparition des premières landes consécutive à l'abandon des pâturages. La présence de *Calluna vulgaris* et *Vaccinium sp.*, caractéristiques de pâturages mal entretenus, l'attestent. Cette période voit d'ailleurs la prolifération dans les diagrammes palynologiques de *Plantago lanceolata*, *Rumex acetosella*, *Urtica sp.*, etc, espèces rudérales, à la fin du Bronze final (Tab. 8.1 ; De Valk, 1981).

Dans ce cadre plus régional, on note une stabilité hydrologique des cours d'eau. Sur la Moselle (Buzzi *et al.*, 1993), l'installation de populations dans le lit majeur au Bronze moyen, dont l'apogée se situe vers 3450-3250 BP, puis du Bronze final au 1^{er} âge du Fer (2800-2400 ans BP environ) atteste de cette stabilité. En Forêt Noire, les versants des vallées sont particulièrement stables d'après Mäckel *et al.* (2003). Dans le bassin du Chitelet, Casner (2002) note lui aussi une stabilité relative (non recalée sur un plan chronologique cependant) qui pourrait correspondre à cette période.

Cette stabilité survient au moment de la dégradation climatique du Bronze moyen, entre 1500 et 1200 ans cal BC environ, au cours de laquelle le climat devient plus humide et plus frais (Fig. 8.3 G). La diminution de pression ressentie au niveau des chaumes est-elle en lien avec cette dégradation ? Il est difficile de corréler ici rôle du climat et anthropisation du milieu.

8.2.4. Les défrichements secondaires protohistoriques du 1^{er} âge du Fer

Si on s'intéresse dans un premier temps au contexte régional, diverses preuves de l'évolution vers un milieu ouvert peuvent être notées. En particulier, le diagramme palynologique de Janssen & Janssen-Kettlitz (1972) au Tanet, au nord du col de la Schlucht, indique une forte augmentation des NAP un peu avant la transition Hallstatt/La Tène et une augmentation brutale - voire parfois une apparition - d'espèces, principalement de *Pteridium* et de *Plantago lanceolata*.

De même, Buzzi *et al.* (1993) notent dans la vallée de la Moselle une stabilité hydrologique du cours d'eau jusqu'à la transition Hallstatt/La Tène vers 450 cal BC. A partir de là, les inondations reprennent. Un parallèle avec la Forêt Noire peut être tenté. Mäckel *et al.* (2003) attestent pour la première fois de l'existence de déforestations à grande échelle en Forêt Noire, qui concourent à une augmentation significative des aires agricoles, provoquant une destabilisation des versants et une phase érosive consécutive aux mises en culture des

versants. Cette dynamique de crise alluviale pourrait être corrélée à la dégradation climatique du 1^{er} âge du Fer, les conditions devenant plus fraîches et plus humides, mais il est difficile de l'affirmer. Comme l'indique Buchsenschutz (2004) à propos de la « construction du paysage » à l'âge du Fer pour la moitié Nord de la France, « ...*les derniers défrichements datent de l'âge du Fer, ceux qui interviennent plus tard dans l'histoire ne sont la plupart du temps que des reconquêtes sur des zones momentanément abandonnées* ».

Dans ce contexte, nos résultats attestent de défrichements sur les sommets au Hallstatt (1^{er} âge du Fer), même si quatre dates seulement sont à rapporter à cette phase (Fig. 8.7). On notera en particulier la présence de hêtre au col du Falimont (Fall 1), et celle d'érable sur le sommet (Fall 3), sur des espaces censés être des chaumes « primaires », tout comme au sommet du Falimont on notait la présence de hêtre 1000 ans plus tôt.

Le 1^{er} âge du Fer semble donc, d'après nos hypothèses, caractérisé par :

- le réemploi et le maintien des espaces ouverts précédemment à l'âge du Bronze ancien ;
- l'extension des espaces sommitaux ou de clairières au détriment de la forêt adjacente, dans des secteurs assez favorables ; en témoigne la présence de *Fagus sylvatica* au sommet du Falimont ;
- l'exploitation supposée des forêts, voire le pâturage sous forêt ;
- la présence de landes à callune et/ou à myrtille en cas d'abandon ou de sous-pâturage attestée par des feux d'entretien, mis en évidence par la présence de *Vaccinium uliginosum* sur le Falimont.

8.2.5. Le long hiatus de La Tène au Haut Moyen Age

Les périodes de La Tène (450-50 cal BC), gallo-romaine (50 cal BC - 450 cal AD) et du Haut Moyen Age (450 cal AD - 1000 cal AD) ont été regroupées car, comme le montre la Fig. 8.1, l'ensemble correspond à un long hiatus de datations de 1220 ans environ (Fig. 8.8). Ce hiatus inexpliqué, s'étalant au minimum de 240 ans cal BC à 980 ans cal AD, atteste soit d'un éventuel abandon des pâturages créés, agrandis et exploités précédemment au cours de la Protohistoire, soit de pratiques de défrichements excluant l'utilisation du feu, tels que l'essartage*, soit d'une permanence d'espaces ouverts pendant cette période. Cette dernière hypothèse paraît toutefois peu probable, l'histoire régionale étant caractérisée par une régression de la pression anthropique sur le milieu entre la fin de l'Empire romain et la fin du VIII^e siècle. Cette durée de l'ordre de 300 ans est largement suffisante pour que de la forêt puisse reconquérir les espaces ouverts.

8.2.5.1. La Tène

Hormis une date d'*Acer sp.* au Fali 2 (Tab. 8.1 et Fig. 8.3) au début de La Tène, cette période du 2^e âge du Fer est pour nous une période « vide » de données anthracologiques dans le massif du Hohneck. Nous savons par ailleurs qu'à la période de La Tène, l'influence humaine croît avec les densités de population, principalement en plaine. S'ensuivent une diminution des espaces forestiers, une augmentation des aires agricoles et des activités minières... ce qui provoque des effets sur la végétation et les processus géomorphologiques. Ces faits sont attestés par : (i) l'augmentation des pollen d'espèces d'environnement non arboré (NAP) vers 2250 ± 90 BP, soit 540-50 cal BC dans la tourbière du Tanet ; Janssen &

Janssen-Kettlitz (1972) soulèvent donc la question de l'existence de traces d'activités agricoles ; (ii) une augmentation de l'érosion au pied de la Forêt Noire liée à des changements environnementaux (Mäckel *et al.*, 2003).

Buzzi *et al.* (1993) notent par ailleurs dans la vallée de la Moselle une reprise des inondations à partir de 2400 BP, soit au début de La Tène.

8.2.5.2. L'évolution à la période gallo-romaine

L'anthracologie ne nous permet pas ici non plus d'avoir des indications quant à la période gallo-romaine. Les débuts de la romanisation correspondent à un hiatus à la fin du 1^{er} siècle avant notre ère (Zehner, 1998). Mais ni la *Pax Romana* (69-235 apr. J.-C.), ni la Guerre civile (235-284 apr. J.-C.), ni l'invasion de tribus germaniques qui débute dès le IV^e siècle apr. J.-C. ne semblent avoir d'influences sur de possibles défrichements par le feu des Hautes-Chaumes du massif du Hohneck.

De plus, les données archéologiques sont inexistantes sur les lignes de crête principales pour la période antique, et de rares traces romaines dans les vallées vosgiennes (Simon, 1992), telles des voies romaines des vallées de la Thur et de la Weiss et au niveau des cols (par ex. au col de Bussang) sont attestées, ainsi que bas-reliefs (Orbey) et trésors monétaires épars. Les Romains ne semblent pas s'intéresser aux massifs montagneux ; ils se cantonnent dans les plaines, plus faciles d'accès, et utilisent les principales vallées comme voies de passage. La palynologie n'apporte pas plus d'arguments. Janssen & Janssen-Kettlitz (1972) notent bien une augmentation des pollen non arborés et l'apparition des pollen de céréales, vers 1900 ± 90 BP, soit 110-340 cal AD, ce qui atteste d'une anthropisation croissante du milieu. Mais les pollen de céréales ne peuvent provenir des Hautes-Chaumes, situées à des altitudes interdisant leur culture. Bien que les pollen de céréales soient souvent considérés comme faiblement transportés, il ne peut s'agir que de pollen transportés (comme ceux de vigne d'ailleurs) depuis la plaine.

Par ailleurs, la persistance des processus morphodynamiques d'érosion au cours de l'époque gallo-romaine entre les 1^{er} et 4^e siècles AD témoigne de l'influence d'une anthropisation forte en Forêt Noire (Mäckel *et al.*, 2003). Cette augmentation de l'érosion a lieu malgré une période d'optimum climatique, le climat étant plus sec et plus chaud qu'à La Tène.

8.2.5.3. L'évolution au début du Moyen Age

La fin de la période gallo-romaine et le début du Haut Moyen Age est, d'après l'étude de la tourbière du Tanet (Janssen & Janssen-Kettlitz, 1972), une période de reprise forestière, liée sans doute au temps des Invasions en Europe de l'Ouest, lesquelles ont provoqué dans un premier temps une diminution de la population et consécutivement une diminution des activités agricoles.

D'après Mäckel *et al.* (2003), avec la retraite des Romains entre les IV^e et VI^e siècles AD, seuls les espaces les plus favorables restent exploités par les Alamans. La diminution des densités de populations, l'abandon des terres, des mines, la diminution des cultures, et l'augmentation des prairies (prés et pâturages), concourent à la progression des forêts, ce qui se traduit par une stabilisation des versants, d'où l'absence de sédiments alluviaux dans les vallées de la Forêt Noire, malgré une période de péjoration climatique (rafraîchissement considérable et plus forte humidité).

L'installation des premières abbayes dans les vallées vosgiennes aux VII^e - VIII^e siècles AD

ne semblent pas entraîner une reprise des pratiques de défrichements par le feu sur les pâturages d'altitude du massif du Hohneck. Le Haut Moyen Age constitue donc la dernière phase de ce long hiatus enregistré par l'absence de datations sur les Chaumes.

8.2.6. La « reprise d'activités » du Bas Moyen Age et de la période moderne

Au Bas Moyen Age (1000-1500 cal AD), le passage de feux est à nouveau établi au Falimont (Fig. 8.9). Une réouverture du milieu a dû avoir lieu, l'utilisation du feu étant un moyen simple de faire disparaître les espèces envahissantes des landes (*Genista* sp., Ericaceae, etc). En particulier, la présence d'*Abies pectinata* et *Fagus sylvatica* respectivement vers 1030-1158 cal AD et 1222-1286 cal AD semble indiquer un envahissement par des ligneux hauts au sommet du Falimont. La faible pression anthropique des précédents siècles mise en évidence par le hiatus de datations entre La Tène et la fin du Haut Moyen Age a très vraisemblablement provoqué l'abandon des pâturages précédemment créés. La recolonisation à la fois des versants et du sommet du Falimont est d'autant plus probable que la période d'abandon a été longue (1220 ans). Au Bas Moyen Age la colonisation majeure des vallées a dû provoquer une reprise des activités sylvo-pastorales dans le massif du Hohneck, par des défrichements notamment.

Au cours de cette période, Casner (2002) enregistre des alternances de phases d'incisions et de détritisme. Une première période de détritisme a lieu avant le XII^e siècle. Elle pourrait être mise en relation avec les défrichements intensifs (sans brûlis ?) associés à la fondation des abbayes du Haut et du Bas Moyen Age. Un lien peut aussi être fait avec la phase de croissance économique des Hautes-Chaumes. Bien que plus tardif, le Traité de Marquard rappelle l'importance de l'économie agro-pastorale de la vallée de Munster au XIV^e siècle (1339). Entre le XII^e et la première moitié du XIII^e siècle, une phase d'incision a lieu. La diminution de la charge solide du cours d'eau est liée à une diminution de l'érosion, elle-même liée à la stabilisation des versants. Cette stabilité s'oppose donc étonnamment à la colonisation croissante des vallées vosgiennes à cette époque. S'ensuit une nouvelle phase de détritisme alluvial à partir de la 2^e moitié du XIII^e siècle. Elle ne s'achèvera qu'au tout début de l'époque moderne. Ceci malgré les épidémies de peste, dont la Grande Peste de 1349, les disettes et les guerres du XIV^e siècle, la Guerre de Trente Ans (1618-1648) et les épidémies du XVII^e siècle, qui ont périodiquement et parfois durablement provoqué un effondrement considérable de la démographie. Ces calamités ont provoqué une désertification des vallées et des Hautes-Chaumes, une déprise agricole et consécutivement une reconquête forestière des versants.

Plus récemment, le bassin-versant du Chitelet a enregistré une diminution de la charge solide du cours d'eau (phase d'incision), ceci malgré la dégradation climatique du Petit Age Glaciaire. La dernière phase de détritisme enregistrée est récente à sub-actuelle, peut-être liée à la reprise des activités agro-sylvo-pastorales des XVIII^e - XIX^e siècles. Enfin, la phase actuelle est marquée dans le bassin du Chitelet par une incision du vallon, à laquelle la déprise agricole n'est sans doute pas étrangère.

On ne peut s'empêcher de voir dans les fluctuations hydro-dynamiques du Chitelet les conséquences de l'influence anthropique sur les versants de ce petit bassin-versant, davantage que celles des péjorations climatiques passées.

8.3. Approches de l'évolution de la végétation dans le Massif du Rossberg

Nous procéderons ici comme précédemment pour le massif du Hohneck. Les datations (Tab. 8.I) sont recalées dans la Fig. 8.10 dans une chronologie des périodes archéologiques (A et C), des grandes chronozones (E) basées sur la palynologie et des variations du ^{14}C résiduel de l'atmosphère (G) qui donnent les tendances générales du climat.

Cette partie est découpée en fonction des caractéristiques de différentes périodes. La première concerne toute la période de l'Holocène ancien au cours de laquelle rares sont les signes d'anthropisation. La seconde est celle de l'Holocène récent, au cours de laquelle l'anthropisation devient de plus en plus perceptible, bien qu'elle soit particulièrement fluctuante au cours des derniers siècles. Le Tab. 8.I des datations fait en effet apparaître les discontinuités entre certaines périodes pour lesquelles nous obtenons des dates et celles pour lesquelles nous n'avons aucune datation.

8.3.1. Les évolutions de la végétation de l'Holocène ancien

Cette période, dont nous choisissons arbitrairement la limite supérieure à la fin du Néolithique, est caractérisée par une absence ou une quasi-absence de traces d'anthropisation. La date isolée d'*Abies pectinata* vers $18\,200 \pm 100$ ans BP (Tab. 8.I) a fait l'objet d'une discussion préalable (§ 5.2.4) qui ne sera pas reprise ici. L'origine naturelle ou anthropique de la carbonisation reste hypothétique.

8.3.1.1. La fin du Paléolithique

La présence de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), vers 10 700-9200 et 9170-8740 cal BC, s'intègre parfaitement dans la phase à pins et bouleaux des palynologues (Ruhland, 1969 d'après Firbas *et al.*, 1948 ; De Valk, 1981, etc). Elle confirme le début précoce de la colonisation des versants suite au réchauffement climatique de la fin du Tardiglaciaire, même si les conditions restent encore froides et sèches. Pour autant, la question de l'origine de ces feux peut difficilement être tranchée.

Fig. 8.10 p. suivante : Calage des datations du massif du Hohneck au cours de l'Holocène avec les paramètres climatiques et anthropiques :

A : Périodes archéologiques et historiques (Mauvilly, 1991 ; Jeunesse, 1991)

B : Datations de charbons de bois des sols

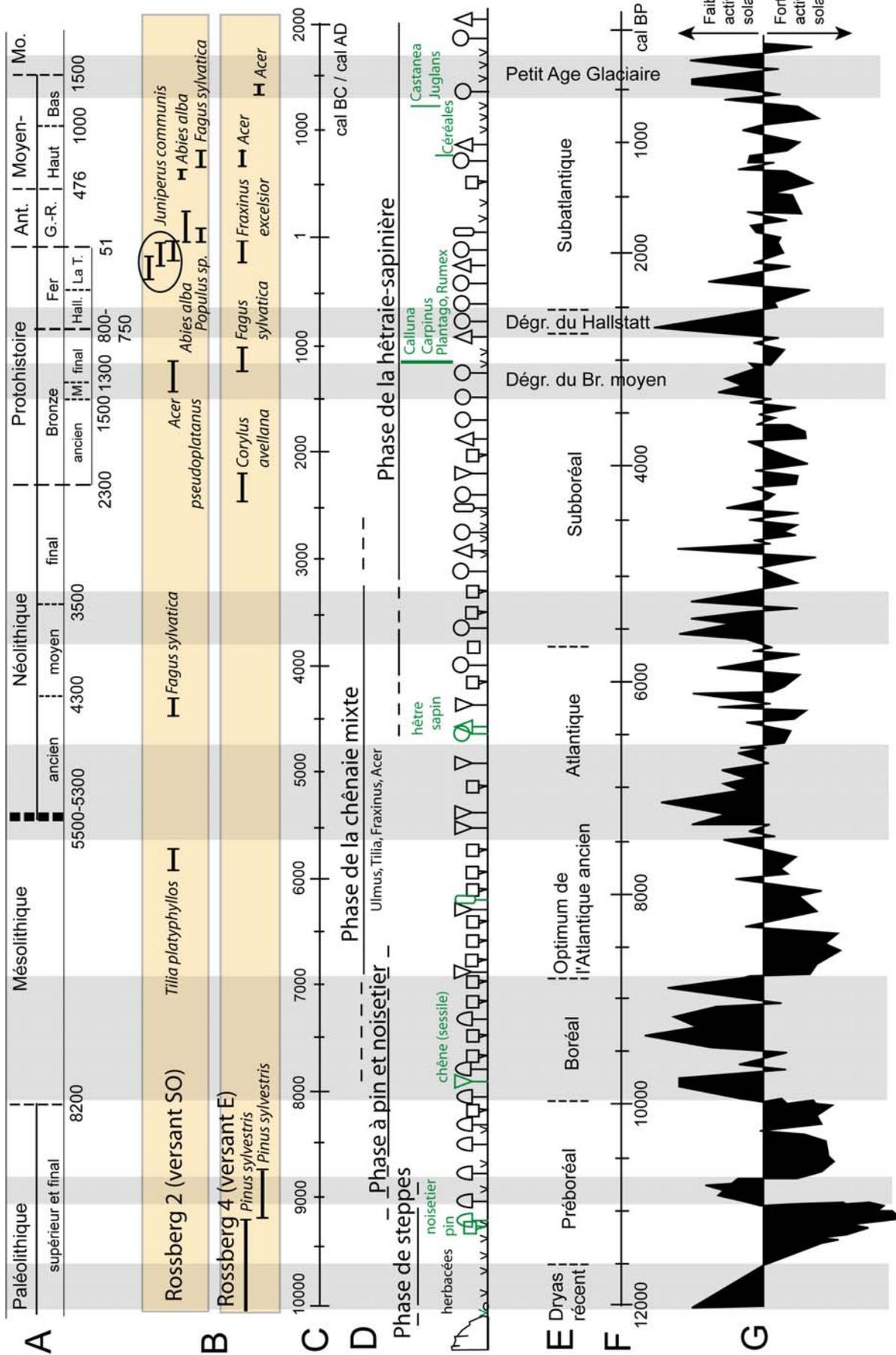
C : Chronologie en âges cal BC/cal AD

D : Evolutions de la végétation et premières apparitions d'espèces (symboles verts avec leur nom) d'après les diagrammes palynologiques du lac de l'Altenweiher (926 m) et de la tourbière de la source de la Moselotte (De Valk, 1981)

E : Principales chronozones

F : Echelle chronologique en cal BP

G : Variations du ^{14}C résiduel (d'après Stuiver *et al.*, 1993) ; en gris, périodes de refroidissement



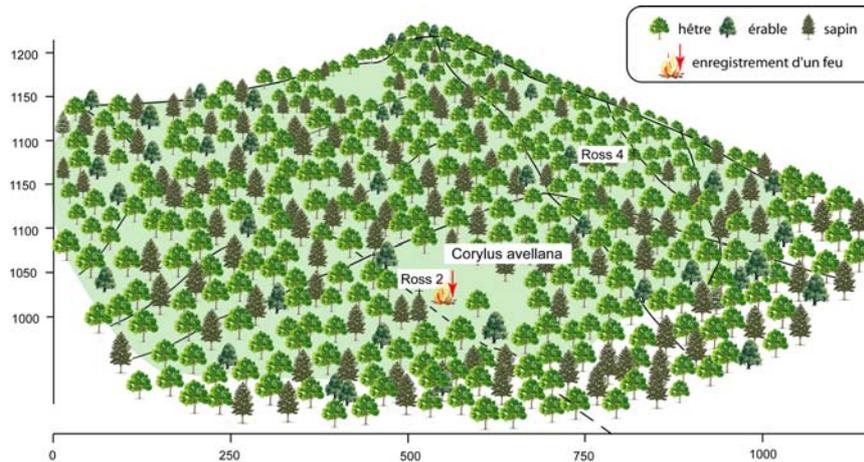


Fig. 8.11 : Périodes du Néolithique et du Bronze ancien (avant 1500 cal BC). Anthropisation faible, massif forestier continu, hormis quelques clairières supposées.

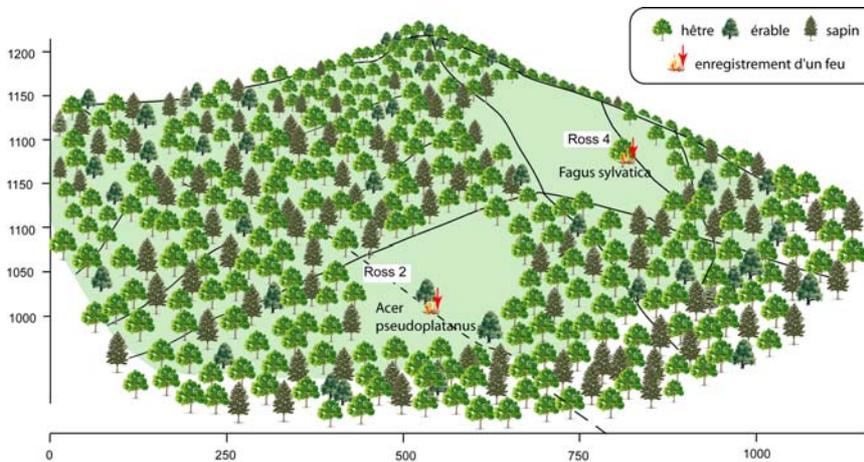


Fig. 8.12 : Période du Bronze moyen/final (1500-800 cal BC). Première phase de défrichements par le feu.

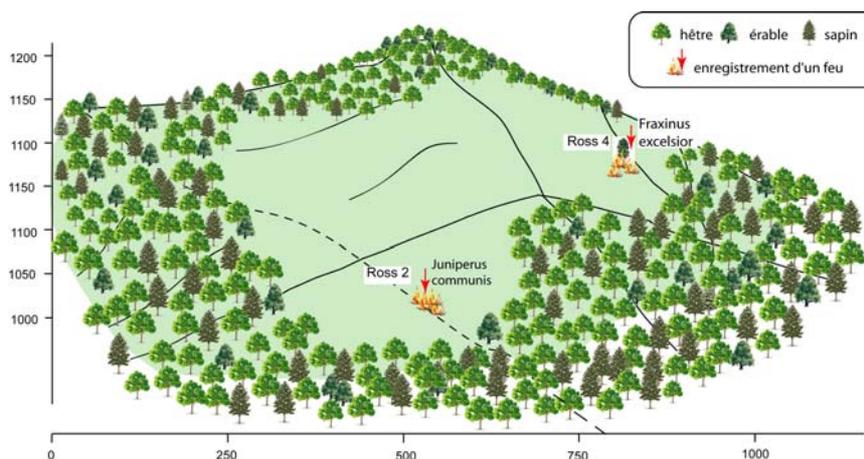


Fig 8.13 : Périodes de La Tène (450-50 cal BC) et gallo-romaine (50 cal BC - 500 cal AD). Deuxième phase de défrichements et réouverture de pâturages, mal entretenus ou abandonnés, puis remis en état par brûlis. L'existence de pâturages préalablement à cette période est certaine. Alternances entre phases de recolonisation par des espèces pionnières et phases de réutilisation et d'entretien des pâturages.

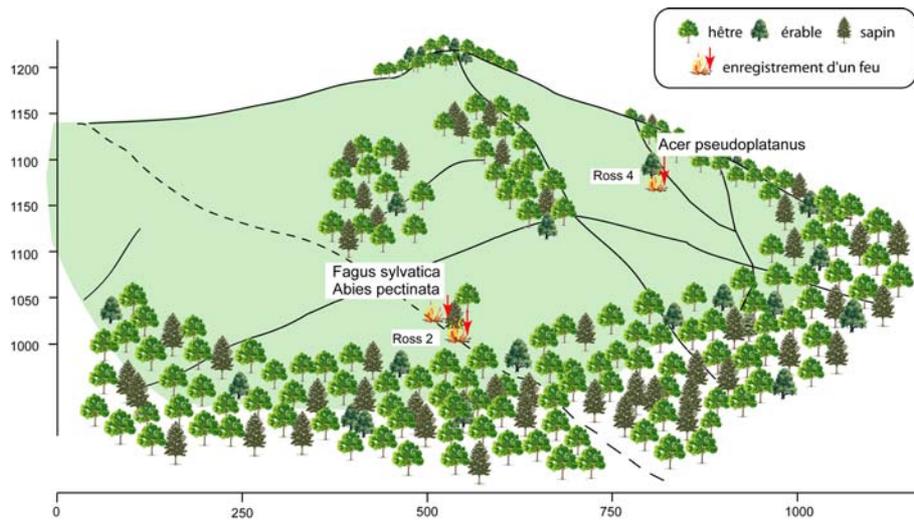


Fig. 8.14 : Période du Haut Moyen Age (500-1000 cal AD). Reprise des défrichements après un recul – de faible durée – des activités pastorales.

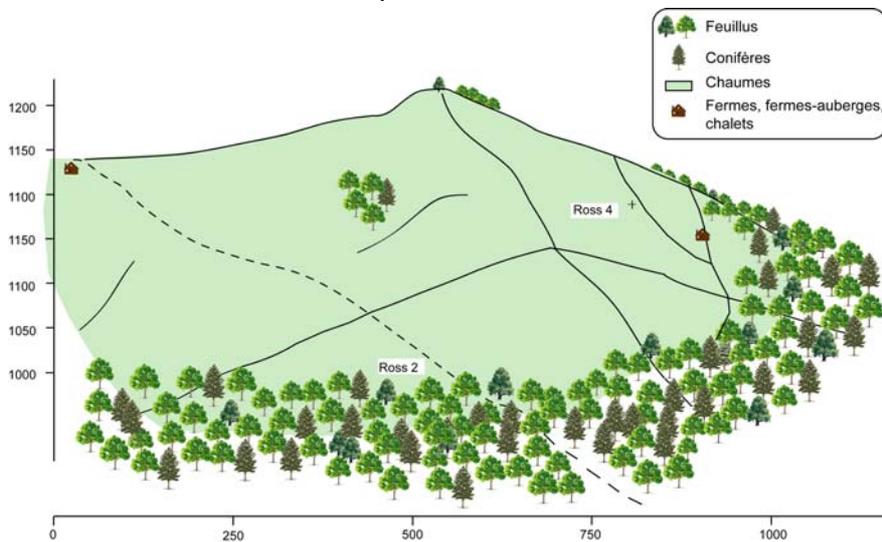


Fig. 8.15 : Fin du XVI^e siècle. Première apogée historique du système agro-pastoral.

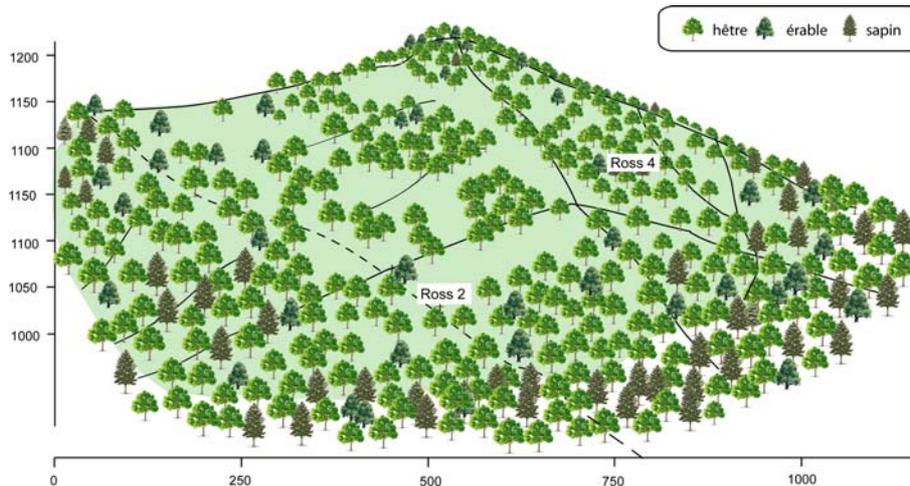


Fig. 8.16 : Situation au début du XVII^e siècle. La Guerre de Trente Ans et les épidémies du XVII^e siècle ont abouti à l'abandon pur et simple des pâturages durant près d'un siècle. La reprise forestière a, sembl-t-il, été importante.

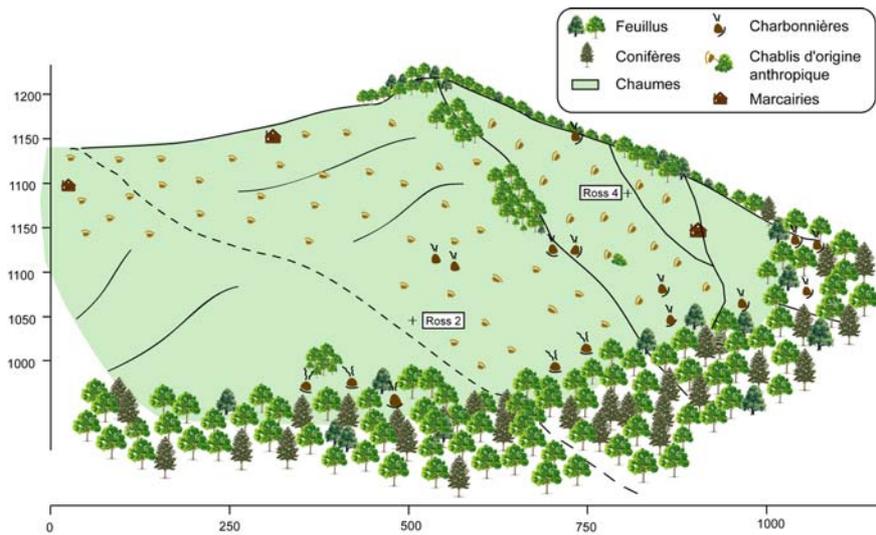


Fig. 8.17 : Situation à la fin du XVIII^e siècle. Une nouvelle phase de défrichements majeure a eu lieu. L'arrachage des arbres, sans doute après surcenage, et la fabrication de charbon de bois étaient pratiqués. Les « paléo-chablis » attestent que la chaume s'était refermée.

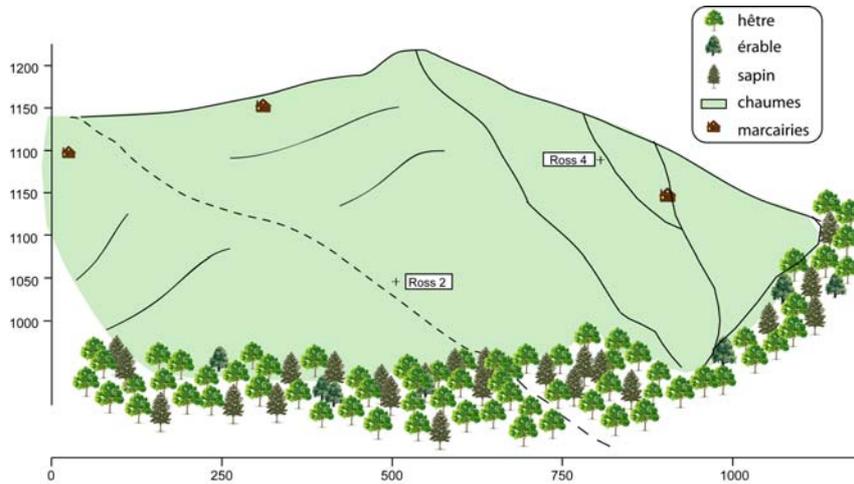


Fig. 8.18 : Situation au début du XIX^e siècle, vers 1830. Deuxième apogée historique du système agro-pastoral en terme d'extension spatiale et d'importance économique.

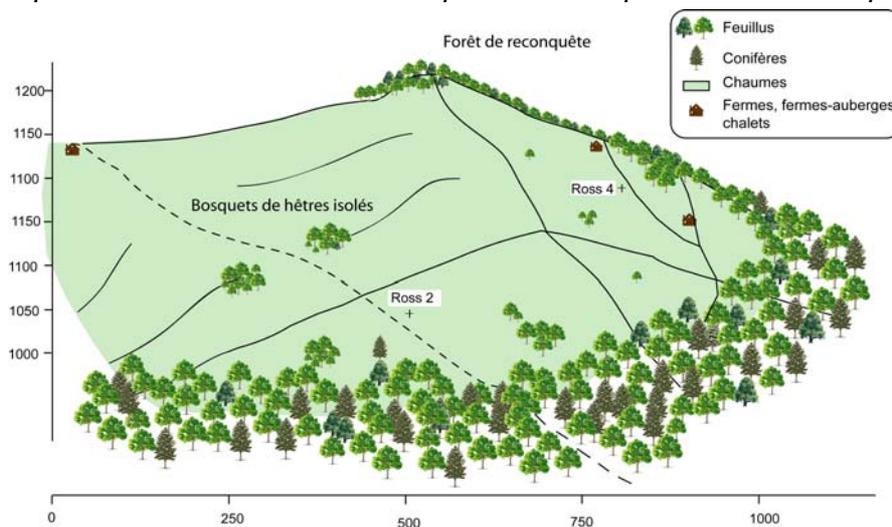


Fig. 8.19 : Situation actuelle. Phase de reconquête forestière, à partir d'un front pionnier ou à partir de bosquets isolés.

8.3.1.2. Mésolithique et Néolithique

Le tilleul (*Tilia platyphyllos*) apparaît à l'optimum climatique holocène, vers 5930-5720 cal BC. Cette espèce ne dépasse pas 900 m d'altitude actuellement dans les Vosges (Issler *et al.*, 1965). Sa présence à 1050 m d'altitude témoigne de conditions plus clémentes que les conditions actuelles. De plus, il a été trouvé sur le versant adret (Ross 2), situation ensoleillée préférée par cette espèce ligneuse. Le tilleul ne se trouve pas en peuplement pur, mais il accompagne la chênaie mixte, avec *Corylus*, *Fraxinus*, *Ulmus*, *Acer*... Sa présence dans les Vosges à cette époque est aussi bien attestée par l'ensemble des diagrammes palynologiques.

Le charbon de *Fagus sylvatica* daté de 4488-4347 cal BC s'inscrit dans la période de développement de la hêtraie-sapinière, qui correspond à la phase de déclin de la chênaie mixte et du coudrier. Le hêtre apparaît de manière significative à partir de 5890 ± 70 BP au pied du Hohneck à la source de la Moselotte (De Valk, 1981), soit vers 4940-4580 cal BC. L'auteur d'une synthèse sur l'extension du hêtre en Europe (Bradshaw, 2004) souligne la bonne corrélation de cette extension avec l'anthropisation du milieu. En particulier, l'extension et le développement de l'agriculture seraient selon lui en cause dans les « perturbations » de la composition forestière, l'Homme y favorisant le développement du hêtre.

La présence du noisetier (*Corylus avellana*) vers 2460-2200 cal BC peut s'expliquer de différentes manières. Cette espèce héliophile se trouve préférentiellement soit dans des faciès forestiers très ouverts, du type forêt naturelle ouverte ou clairière naturelle, soit dans des faciès arbustifs de (re)colonisation, tels que d'anciens pâturages abandonnés ou des friches. Vers 2460-2200 cal BC la forêt est déjà largement reconstituée. Dans un contexte non perturbé par l'action anthropique, on pourrait trouver du noisetier à proximité de chablis ou de chandelles, comme c'est le cas actuellement dans un secteur du massif du Rossberg occupé par une forêt en voie de naturalisation (elle n'est plus exploitée depuis au moins 250 ans), où il est abondant. Mais sa présence pourrait aussi correspondre à une exploitation du milieu par l'Homme dès le Néolithique final (Fig. 8.11). La carbonisation, dans un contexte non favorable aux incendies naturels, plaide en ce sens.

Sur les sommets les indices de présence humaine sont ténus : des lames signent la présence des Hommes au Néolithique au Hohneck. Les deux secteurs majeurs d'extraction de matière première dans le sud du massif vosgien pour la période Néolithique sont les carrières de Plancher-les-Mines à Giromagny et celles exploitées au-dessus de Saint Amarin dans la vallée de la Thur. Toutes deux sont situées à plus de 800 m d'altitude, la première étant en outre située à moins de 10 km à vol d'oiseau du Rossberg (Fig. 2.7).

8.3.2. Les fluctuations de l'évolution de la végétation de la Protohistoire (2300 cal BC) à la période actuelle

Comme nous l'avons déjà mentionné aux § 8.2.3 et 8.2.4, la Protohistoire constitue une phase d'anthropisation croissante au cours des trois derniers millénaires, dans des proportions jusque là ignorées. Sur le Rossberg alternent des phases de défrichements et des phases pour lesquelles nous n'avons aucune trace de ces actions.

8.3.2.1. Périodes de défrichements supposées

Le Bronze final correspond très certainement à la première période de défrichements des chaumes du Rossberg (Fig. 8.12). En attestent les charbons d'*Acer pseudoplatanus* et *Fagus sylvatica* datés respectivement de 1430-1110 et 1220-1000 cal BC. L'érable est globalement très faiblement représenté dans l'ensemble des diagrammes polliniques de la région. Cela peut être lié à la très faible production en pollen (plus faible que celle des autres arbres du Nord de l'Europe) ; ainsi, le genre *Acer* serait systématiquement sous-estimé dans les études polliniques (Andersen, 1970).

Pour la période de La Tène (Fig. 8.13), trois charbons de genévrier commun (*Juniperus communis*) ont été datés de 380-180 cal BC, 240-50 cal BC et 210-40 cal BC. Comme indiqué précédemment (§ 5.2.4), la présence de cette espèce pionnière, atteste :

- (i) de l'existence des chaumes depuis au moins le 2^e âge du Fer ;
- (ii) que celles-ci subissent une phase d'abandon ;
- (iii) suivie d'une réouverture délibérée par le feu.

L'antériorité de l'existence des pâturages à la période de feu ne fait que peu de doutes, d'une part au vu de l'écologie du genévrier, espèce envahissante typique des prés sous-pâturés, d'autre part de l'existence de défrichements au Bronze final.

La présence de frêne (*Fraxinus excelsior*) sur le versant est du Thanner Hubel à la même période que les charbons de genévrier, est plus difficile à interpréter. Elle pourrait traduire :

- (i) soit la présence initiale d'une hêtraie-sapinière accompagnée éventuellement de chêne, d'aulne, etc, dans laquelle le frêne est toujours disséminé ; cette forêt aurait été défrichée à cette date ;
- (ii) soit l'existence d'un terrain ouvert abandonné, mais en conditions d'ubac. Le frêne, qui aime la fraîcheur et l'humidité, y aurait alors joué un rôle de pionnier.

Le frêne est aussi connu pour offrir un bon fourrage pour les animaux (Rameau *et al.*, 1993) ; il pouvait être employé à des fins d'émondage* ou de pâturage sous forêt.

Les dates de l'époque gallo-romaine sont en relative continuité avec La Tène, même si une durée de 150 à 250 ans séparent tout de même le genévrier commun des charbons de peuplier et de sapin. Elles semblent correspondre à une phase de défrichement d'un milieu qui s'était partiellement refermé, suite peut-être à un abandon des chaumes : la présence de *Populus sp.* (50 cal BC - 90 cal AD) pourrait correspondre à *Populus tremula*, le tremble (voir la discussion à ce sujet au § 5.2.4). La présence de cette espèce exigeante en lumière, caractéristique des lisières et des clairières, ferait suite à un précédent abandon des chaumes. Le feu enregistré correspondrait à une réouverture de la chaume afin de réintroduire l'activité pastorale dans le secteur.

Ainsi, à au moins trois reprises entre le 4^e siècle av. J.C. et le 2^e siècle apr. J.C., des mises à feu délibérées succèdent à un abandon ou à une sous-exploitation des chaumes et au début de leur (re)colonisation par des espèces pionnières (*Juniperus communis*) ou exigeantes en lumière (*Populus sp.*). Cela correspond-t-il à une présence de l'Homme plus ténue ? une charge pastorale insuffisante ? un abandon pur et simple des chaumes ? Quoi qu'il en soit, les feux enregistrés correspondent :

- (i) soit à des essartages afin de (ré)ouvrir une friche inexploitable pour les pasteurs ou de fertiliser les sols par le feu (cendres) ;

(ii) soit à un pastoralisme « itinérant », qui favorise les secteurs les plus riches, les mieux entretenus. L'occupation des chaumes pourrait alors n'avoir été que temporaire. Cette période correspond d'ailleurs à une phase où à l'échelle régionale, les indices d'anthropisation du milieu commencent évidemment à apparaître de manière significative dans les diagrammes palynologiques, comme nous l'avons déjà vu au § 8.2. On rappellera ainsi les résultats de Janssen & Janssen-Kettlitz (1972) qui notent dans la tourbière du Tanet, entre 400/200 cal BC et 20/230 cal AD, à la fois une augmentation des pollen non arborés (NAP) et l'apparition des céréales, même si le signal de ces dernières ne devient continu qu'à partir de 600 ans cal AD.

Quant à l'activité pastorale au Haut Moyen Age (Fig. 8.14), elle s'est développée après une période déconnectée, bien que faiblement, de l'époque gallo-romaine. En effet, une courte période entre la fin de l'Empire gallo-romain et le Haut Moyen Age apparaît. Trois feux d'*Abies pectinata*, *Fagus sylvatica* et *Acer pseudoplatanus* (530-650, 650-830 et 660-830 cal AD), groupés sur 200 ans, sur la première moitié du Haut Moyen Age, semblent bien corrélés avec les périodes de création des principales abbayes dans les vallées vosgiennes, soit des VII^e au IX^e siècles (§ 2.5.4 et 2.6.2). Les feux se raréfiant par la suite, le Haut Moyen Age constituerait la dernière phase au cours de laquelle le feu est employé à des fins d'ouverture ou de réouverture forestière, ou d'entretien des pâturages.

8.3.2.2. Périodes d'absence de défrichements et/ou de défrichements par le feu

Les périodes du Bronze ancien (2300-1500 cal BC), du Hallstatt (800/750-450 cal BC) et la période allant du Bas Moyen Age (vers 1000 cal AD) à nos jours, constituent des périodes pour lesquelles nous n'avons pas de datations anthracologiques. Trois hypothèses peuvent expliquer ces lacunes chronologiques :

- l'absence de défrichements pourrait être corrélative d'une faible pression anthropique ou de sa diminution sur le milieu ; cette hypothèse peut paraître valable pour les périodes les plus anciennes citées, les pressions exercées restant dans de faibles proportions ; à partir du Bas Moyen Age par contre, cela ne nous paraît pas justifié : bien que fluctuantes en fonction des alternances entre périodes de prospérité et périodes de catastrophes (par ex. aux XIV^e et XVII^e siècles), les pressions anthropiques sont en constante augmentation au cours de la période historique ; au point d'aboutir à l'apogée du système agro-sylvo-pastoral des Hautes-Chaumes à la fin du XVI^e siècle (Fig. 8.15) ; en outre, nous avons des preuves cartographiques de l'extension des chaumes au cours de la période moderne ;
- l'absence de défrichements pourrait aussi indiquer l'utilisation d'un milieu ouvert précédemment et suffisamment entretenu durant ces périodes. Des défrichements complémentaires ne s'avèrent donc pas nécessaires dans ce cas. Toutefois, les vitesses d'enfrichement pouvant être rapides, inférieure au siècle – les exemples les plus flagrants en sont la période actuelle et la période La Tène-Antiquité – une pression anthropique constante au cours du temps serait nécessaire pour maintenir ces espaces ouverts, ce qui paraît peu probable ;
- des techniques de défrichements ne faisant pas appel à l'utilisation du feu sont utilisées. L'absence de passages de feux depuis 600 ans, à partir du Bas Moyen Age, est sans nul doute liée à une pression pastorale forte. Garnier (2001 a), bien qu'il n'ait pas travaillé sur le massif du Rossberg, montre que les chaumes ont été soumises à des charges de bétail

très importantes au Hohneck. Pour les périodes dont on sait qu'elles ont correspondu à des phases de défrichements, comme le XVIII^e siècle (Fig. 8.16 et 8.17), l'absence de charbons épars dans les sols traduit sans aucun doute une évolution des techniques vers d'autres modes de défrichements. Ces techniques de création, défrichements ou entretien des pâturages ne faisant pas appel au feu sont par exemple le surcenage*, suivi de l'arrachage des arbres par déracinage, ainsi que l'exploitation forestière à des fins de charbonnage, même si cette technique n'a pas pour but initial de défricher, hormis en cas de charbonnage opportuniste (voir le § 7.2.2 et Goepp *et al.*, 2007). Le bois est au XVIII^e siècle la seule source d'énergie avec l'eau. Le développement des industries minières, métallurgiques et des verreries le rend si précieux que lors de défrichements, on ne va pas le gaspiller en le brûlant sur place, mais le valoriser en filière-énergie. Ce mode d'exploitation est aussi un indicateur de la très forte pression qui s'exerçait sur les forêts situées à proximité des habitats.

Quant aux XIX^e et XX^e siècles (Fig. 8.18 et 8.19), ils correspondent respectivement à la dernière apogée du système agro-sylvo-pastoral et à son déclin. Bien qu'à la Révolution française, les pâturages étaient largement ouverts, le démantèlement des espaces forestiers s'est poursuivi au XIX^e siècle.

8.3.3. Conclusion

L'analyse des datations de charbons et de leur détermination préalable nous ont donc permis d'élargir notre champ de connaissances des chaumes du Rossberg. Les dates sont pour la plupart postérieures au Néolithique final et réparties sur 3900 ans environ. Seuls le Bronze final, le 2^e âge du Fer (La Tène) et le Haut Moyen Age apparaissent de façon significative dans notre corpus de dates. Les périodes du Bronze ancien et du 1^{er} âge du Fer en sont absentes, ce qui met en évidence certaines fluctuations dans l'anthropisation du milieu.

8.4. Synthèse

Jusque vers le milieu de l'Holocène, les dynamiques végétales sont sous l'emprise essentielle des facteurs naturels : le retour à l'Holocène à des conditions plus clémentes permet la recolonisation des versants par des faciès forestiers successifs. Les données palynologiques et paléo-climatiques nous le confirment. Toutefois, il n'est pas impossible qu'un léger décalage chronologique existe entre le massif du Hohneck-Falimont et celui du Rossberg. Sur la deuxième partie de l'Holocène, des traces de défrichements sont attestées par l'augmentation du nombre de feux, peut-être dès le Néolithique final, mais plus sûrement depuis le Bronze (Bronze ancien au Falimont, Bronze moyen/final au Rossberg). L'intensification des feux va de paire avec l'augmentation de la pression anthropique au cours du temps, ce qui souligne l'influence anthropique passée sur les évolutions de la végétation des Hautes-Chaumes des Vosges pour cette période.

Ces phases de défrichements s'inscrivent bien dans le contexte régional, à savoir que les périodes de pressions anthropiques fortes sur les chaumes correspondent globalement aux fluctuations anthropiques des vallées et de la plaine. Seule la forte anthropisation des

chaumes au Bronze ancien au Hohneck est en totale inadéquation avec l'anthropisation en plaine ; cette période constitue un cas particulier. Concernant le contexte climatique régional, la corrélation des tendances évolutives avec les variations climatiques holocènes n'est pas probante ; l'accentuation des pressions anthropiques dès la fin du Néolithique marque la fin de la sensibilité du facteur climatique en tant que moteur des évolutions végétales depuis au moins le début de la période protohistorique. Pour autant, les périodes de péjoration ou d'optimum climatiques restent perceptibles lors des périodes de forte anthropisation. Celles-ci sont mises en évidence par les crises morphoclimatiques enregistrées notamment par Casner (2002) dans le bassin du Chitelet et par Mäckel *et al.* (2003) en Forêt Noire.

La comparaison des deux massifs étudiés souligne l'existence d'oppositions de phases certaines : les âges des défrichements n'y sont pas identiques. Les périodes de feux apparaissent au Bronze ancien, au Hallstatt et au Bas Moyen Age au Hohneck, alors qu'elles apparaissent aux périodes du Bronze final, de La Tène et du Haut Moyen Age au Rossberg (Fig. 8.1). Si ces oppositions témoignent bel et bien de la perte de sensibilité climatique, elles ne sont pas pour autant aisément explicables. Elles attesteraient de l'influence locale des populations, et non d'une influence régionale des modes d'exploitation des pâturages.

Depuis les premières phases de défrichements, un certain nombre d'évolutions ont eu lieu en terme d'utilisation du milieu : pour exemple, les défrichements par le feu semblent ne plus avoir lieu depuis le Bas Moyen Age, qui constitue un indice de la nécessité de valoriser les sous-produits de l'activité pastorale (charbonnage...). Comme second exemple, nous pouvons souligner aussi la différence entre des feux de défrichements (Fagus, Abies,..) et des feux d'entretien (Juniperus, Vaccinium, Calluna,..).

Tous les résultats, même ceux s'inscrivant dans un contexte général qu'ils confortent, montrent bien un ensemble de contrastes chrono-spatiaux : l'Holocène inférieur et supérieur s'opposent, de même que les deux massifs étudiés. Les périodes ancienne et récente n'ont pas de modes identiques d'exploitation des milieux, qu'ils soient pastoraux ou forestiers. Il n'est donc pas possible de déduire des lois générales sur le massif vosgien à partir d'un seul site d'étude. Cela justifie *a posteriori* la démarche ayant consisté à travailler à l'échelle locale, sur plusieurs sites d'étude.

CHAPITRE 9

BILAN FINAL, CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES

9.1. Le système éco-géographique des Hautes-Chaumes

Le système éco-géographique étudié ici est celui des Hautes-Chaumes des Vosges. Ce système ouvert est en interaction avec de nombreux paramètres (climat, Homme, sol, etc.) et répond aux perturbations qu'il reçoit en provenance de son environnement actif. Ces forçages par des agents externes – anciens ou actuels – et par des agents internes, ont modifié ou modifient la structure de cet écosystème, en particulier la dynamique de l'écotone forêt-pâturage (Fig 9.1). Ces modifications sont d'autant plus conséquentes que les perturbations ont été (ou sont) fortes, ou qu'elles dépassent des seuils et provoquent des ruptures.

Des premières ruptures...

Les premiers défrichements anthropiques des forêts sommitales il y a 4000 ans environ ont entraîné des modifications importantes de l'écosystème. Même si nous ne pouvons pas le prouver, ces modifications ont pu provoquer une (ou des) rupture(s) plus ou moins brutale(s), telle qu'une érosion des sols (ce que semble indiquer Casner, 2002), induite par les défrichements et peut-être par le surpâturage.

Le système est donc, depuis l'ouverture du milieu, maintenu dans un état de déséquilibre constant, même s'il tend *en théorie* vers un stade ultime d'évolution, à savoir le stade forestier mûre, en équilibre avec les conditions du milieu. Les facteurs externes et internes exercent en effet des pressions suffisantes pour maintenir ouverts les Hautes-Chaumes, que ces pressions soient constantes ou qu'elles soient fluctuantes au cours du temps. Ce sont principalement, depuis 4000 ans, les activités agro-sylvo-pastorales sur ces pâturages qui en sont les principales causes.

... aux processus *a priori* « irréversibles »...

En outre, depuis les premiers défrichements, les évolutions ont été telles que le défrichement des sommets au-delà de 1250/1300 m constitue aujourd'hui un processus « irréversible » (à court terme), et « réversible » à long terme seulement. Trois raisons peuvent selon nous expliquer cette « irréversibilité ».

1°/ Une boucle de rétro-actions négative des rankers cryptopodzoliques pourrait s'exercer

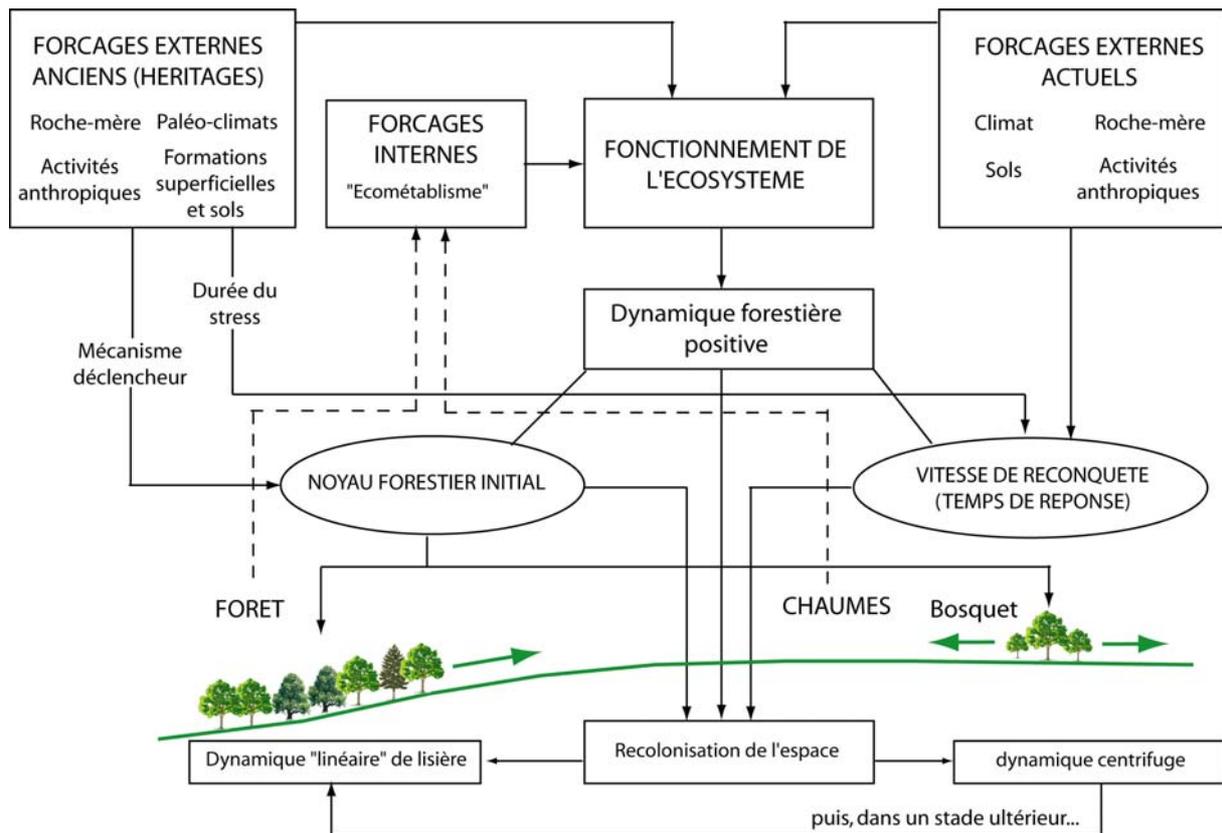


Fig. 9.1 : Schéma systémique de l'écosystème des Hautes-Chaumes (Schéma repris et modifié de Schwartz et al., 1997). Les agents internes et externes, qu'ils soient anciens ou actuels, sont en interactions entre eux ; pour des raisons de simplicité de lecture, nous n'avons pas fait figurer ces interactions.

sur la forêt, les caractéristiques de ces sols empêchant ou freinant fortement la réinstallation des espèces forestières sur les pâturages. Ce « blocage » au moins partiel, dépend évidemment de l'échelle temporelle à laquelle on se place. Les processus pédologiques en général (ex : acidification, podzolisation...) constituent souvent de bons exemples de processus « irréversibles ». En résulte donc l'impossibilité de retour à un état initial ou ancien... Les processus pédogénétiques qui concourent à ce blocage pourraient par exemple être l'épaisseur de la litière, le chevelu racinaire trop dense..., peu propices au développement des jeunes plants de ligneux hauts. Le système aurait donc tendance à s'auto-entretenir.

2°/ A partir de l'ouverture du milieu peut se mettre en place une autre boucle de rétro-action négative, liée aux conditions microstationnelles et microclimatiques induites sous pâturages par rapport à celles induites sous forêts. Les effets du vent, par exemple l'effet de crête décrit par Carbiener (1966), ceux de la neige, des gelées, de même que les extrêmes de températures sont souvent atténués sous forêt. Les conditions forestières permettent une meilleure protection des arbres, qui, à l'inverse, ne sont pas protégés sur les pâturages. Il existe donc un effet interne, la forêt protégeant la forêt, alors qu'à l'inverse, l'absence de forêt freine la reconquête sur les pâturages.

3°/ Dans le même ordre d'idée, la reconquête forestière s'effectue le plus souvent à partir d'un front pionnier, donc à partir d'une forêt dont les individus sont en mesure de produire

des graines ou de se reproduire par voie asexuée. Or les vitesses de reconquête dépendent notamment des pressions et perturbations exercées sur le milieu, et par la distance entre le front pionnier et les espaces à reconquérir. Ainsi, les sommets les plus hauts sont aussi les plus éloignés du front pionnier. Tant que les pressions sur le pâturage sont maintenues ou suffisantes, ce front pionnier ne peut pas atteindre les sommets. Seule une diminution drastique des forçages, en particulier de la pression anthropique, est susceptible de rendre réversible la reconquête forestière.

... dépendant en réalité de l'échelle d'observation

En réalité, ces processus supposés « irréversibles » tels que les défrichements, ou l'existence de chaumes « primaires », ne le sont, comme nous l'avons déjà souligné, qu'à une échelle temporelle donnée. L'observation des évolutions des Hautes-Chaumes à court ou moyen terme donne une image relativement figée de cette végétation. Or les processus qui s'exercent sur la végétation des Hautes-Chaumes des Vosges ont chacun leur rythme propre. Nous pouvons ainsi distinguer :

- des processus aux évolutions plurimillénaires, tels que les variations climatiques et évolution des sols ;
- des processus évoluant sur un temps plus court, sur plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'années ; parmi eux, les évolutions de la végétation, la dégradation des sols, les activités anthropiques ;
- enfin, des processus évoluant sur un temps court, à l'échelle de l'événement, comme par exemple le passage d'un feu, une crise érosive, ou le passage d'une tempête.

Les temporalités de ces processus sont donc multiples (Bertrand & Bertrand, 1975, 2000 ; Bertrand, 2002). De ce fait se créent nécessairement des discordances et décalages temporels entre les processus. La réponse de la végétation à des variations climatiques par exemple est nettement plus rapide que celle des sols, dont l'évolution est plus lente. Quant au temps de réponse des sols aux variations de végétation, elle est elle aussi plus lente. Pour Duchaufour (1968), il « *ne faut pas s'attendre à une correspondance trop étroite entre une association "secondaire" et le sol qui la caractérise habituellement* ». La raison en est évidemment le plus souvent ce « déphasage » entre la végétation et le sol sous-jacent.

Nous pouvons donc considérer que les chaumes dites « primaires » n'ont de « stabilité » qu'à une échelle temporelle donnée. A l'échelle des derniers millénaires, cette stabilité est fonction d'un facteur majeur qu'est l'Homme, les autres facteurs étant secondaires.

9.2. Conclusion

Des pressions anthropiques passées...

Les résultats de cette étude montrent que l'évolution de la végétation des Hautes-Chaumes des Vosges est bien plus complexe que ce qui était supposé jusqu'à présent. En particulier, les chaumes « secondaires » et les chaumes « primaires » ont un passé forestier commun : elles résultent de défrichements anciens, datant d'au moins 3700 ans dans le massif du

Hohneck, et d'au moins 3200 ans dans celui du Rossberg. L'origine des chaumes est liée à des défrichements anthropiques précoces, de l'âge du Bronze ancien dans le massif du Hohneck, du Bronze final dans le massif du Rossberg. Ces premiers défrichements – du moins supposés être les premiers – ont été suivis par plusieurs phases alternant entre abandons et redéfrichements secondaires, plus tardifs, datés du 1^{er} âge du Fer et du Bas Moyen Age au Hohneck, de La Tène et du Haut Moyen Age au Rossberg. Cette étude remet donc en question à la fois l'existence de chaumes « primaires » et l'âge – supposé médiéval par les historiens – des espaces pastoraux « secondaires ».

Bien que ces chaumes aient une origine commune, il existe entre elles un certain nombre de différences. Depuis les défrichements « primaires » protohistoriques, la reconquête du milieu par la forêt a été plus tardive sur les espaces sommitaux. Ces espaces ont donc évolué plus longtemps sous pâturage, d'après l'analyse des monomères des lignines. A l'inverse, les chaumes dites « secondaires » ont connu des évolutions spatiales et temporelles plus contrastées. La raison en est simple : à partir d'espaces défrichés de façon contemporaine, les fluctuations sont plus rapides dans les secteurs adjacents aux sommets car plus proches des espaces et noyaux forestiers. La reconquête forestière y est donc facilitée.

Les Hautes-Chaumes n'échappent donc pas, et n'ont pas échappé par le passé, à la règle générale de l'anthropisation de la moyenne montagne tempérée en Europe depuis le Néolithique. Elles ne constituent donc pas « l'exception vosgienne » par rapport à d'autres massifs montagneux, quant aux limites supérieures naturelles de la forêt. Elles ne sont qu'un exemple parmi tant d'autres de l'influence toujours croissante de l'Homme sur les milieux naturels, en particulier montagnards, et de la transformation des paysages par l'Homme depuis le Néolithique.

... aux enjeux de gestion actuels...

Sur le principe de « mieux connaître pour mieux gérer », il est certes important de connaître le fonctionnement et les processus d'évolution actuels d'un écosystème. Mais il est important aussi d'en connaître les origines et les évolutions passées.

Ainsi, au-delà de l'intérêt purement académique de l'étude de l'évolution de ces espaces pastoraux et de leurs forêts adjacentes, l'analyse faite ici doit pouvoir constituer une piste pour leur gestion. Les nouvelles connaissances acquises devraient permettre de remettre en question la gestion relativement « naturaliste », basée sur le principe de « protection de la nature ». Cette vision est notamment entretenue par le fondement « naturaliste » – parfois encore très vivement enraciné – d'écologues considérant l'Homme comme un agent exclu – et à exclure – de la nature.

Or, la déprise agricole et pastorale des milieux les plus enclavés et les moins productifs, qui ne font que s'accroître depuis la fin du XIX^e siècle, ne risquent-elles pas de « faire disparaître » les espaces ouverts, à plus ou moins longue échéance ? Non seulement les espaces les plus sensibles à la reconquête disparaîtraient, mais également les espaces ouverts dits « primaires ». L'exemple de la Guerre de Trente Ans en est sans doute l'illustration la plus frappante : en moins d'un siècle, de nombreuses chaumes abandonnées ont été reforestées. Les vitesses de reconquête peuvent alors parfois surprendre, elles sont pourtant bien réelles, et le bilan de la déprise agricole actuelle en est la preuve. Mais, alors que l'histoire de ces derniers siècles ne nous donne que de brefs aperçus de ces reforestations possibles,

l'histoire sur le long terme nous apporte des certitudes. Celle notamment qu'aucune évolution, passée ou future, n'est irréversible, à condition de choisir une échelle temporelle suffisamment large, qui dépasse nettement l'échelle au mieux pluriannuelle des gestionnaires.

Quoi qu'il en soit, l'heure n'est plus à exclure l'Homme de la nature. Et la question n'en est plus à l'existence de forêts « primaires », de chaumes « primaires », ou tout autre écosystème « naturel », sur lesquels l'Homme ne serait jamais intervenu. Considérons que ces termes-là devraient être réservés aux milieux les plus inhabités, les plus isolés de la planète, et encore...

Dans le cas des Hautes-Chaumes, comme dans bien d'autres cas, exclure l'Homme et les activités agro-pastorales serait sans doute, sur le long terme, voire le moyen terme, condamner cet écosystème à une refermeture certaine. Le maintien des chaumes, y compris les chaumes dites « primaires », nécessiterait sans doute à l'avenir de favoriser l'action humaine.

La gestion durable des espaces « naturels », quels qu'ils soient, n'est finalement possible qu'à la condition de voir à une échelle temporelle qui dépasse de loin l'échelle humaine. D'où l'importance de comprendre l'histoire et les dynamiques passées d'un écosystème, afin de mieux gérer et appréhender l'avenir.

...pour quels paysages demain ?

Bien sûr, les choix de gestion qui se font aujourd'hui sont avant tout dépendants de l'évolution de la demande sociale. Or cette demande dépend fortement de la perception des espaces naturels qu'a chacun de ces paysages : exploitant agricole, éleveur, gestionnaire, forestier, écologue, scientifique ou simple touriste... Dans ce cas, quels choix s'imposent en fonction de quelle(s) demande(s) sociétale(s) ? Doit-on maintenir les paysages ouverts ? Pourquoi favoriserait-on un paysage ouvert au détriment d'un espace fermé ? un paysage « naturel » plutôt qu'un paysage anthropisé ? Quel degré d'anthropisation, ou au contraire de « naturalité » est-il souhaitable pour répondre aux demandes sociales et culturelles actuelles ? Si des choix en faveur du maintien ouvert des espaces sont faits, au nom de quoi et grâce à quels moyens (techniques, financiers...) sera-t-il possible de maintenir les paysages ouverts ? Quels que soient les décisions prises et les choix d'orientations effectués, la gestion des paysages actuels influencera, parfois sur le long terme, les dynamiques des paysages de demain.

9.3. Perspectives

Ces travaux, répondant à un certain nombre de questions, en soulèvent nécessairement d'autres. Voici quelques pistes de réflexions et nouvelles perspectives à approfondir.

- En premier lieu, la question de la présence d'espèces reliques des temps glaciaires sur les Hautes-Chaumes est posée. Nos travaux montrant que les chaumes « primaires » ne sont pas naturelles, la présence de ces espèces reliques n'est possible que par leur

préservation dans des refuges et microrefuges, en particulier sur les pentes des cirques glaciaires, les éboulis, les formations de pentes, rochers, ourlets divers entre forêt et rochers...

Nos travaux posent donc un nouveau cadre théorique à l'établissement de ces espèces dites reliques, qui ont en fait occupé ou réoccupé plus largement l'espace dès qu'il a été défriché, à partir de ces micro-refuges. La question de ces dynamiques en terme de processus, de durée et de vitesse est donc posée.

- En second lieu, ces résultats d'analyses paléoenvironnementales nous amènent à reconsidérer les hypothèses mal fondées de Carbiener (1963 a, 1963 b, 1964 a, 1966 a) sur l'existence de chaumes « naturelles ». Son principal argument est basé sur l'opposition entre rankers cryptopodzoliques, qui se seraient formés sous chaumes « primaires », et aloclisols, formés sous chaumes « secondaires ». Cette différenciation entre sols a, selon nous, une origine différente, dont nous formulons ici les hypothèses. Nous supposons que l'existence de forêts sur les sommets vosgiens, préalablement aux premiers défrichements, aurait entraîné la formation d'aloclisols. A partir des défrichements protohistoriques, contemporains sur les sommets et leurs espaces adjacents, un début de différenciation entre rankers cryptopodzoliques et aloclisols se serait amorcée. Celle-ci serait donc liée aux évolutions spatiales et temporelles contrastées de la végétation, entre les sommets et leurs espaces adjacents (Fig. 9.2). Sur les sommets, les sols situés depuis environ 4000 ans sous une végétation ouverte de manière continue (ou supposée continue) évoluent vers un ranker cryptopodzolique, alors que les sols situés dans les espaces adjacents, dans lesquels l'écotone forêt/pâturage est très fluctuant (chaumes « secondaires » selon Carbiener) auraient gardé dans leur profil le « souvenir » de la forêt ancienne. La végétation de landes favorisant une imprégnation en matière organique plus forte que celle de la végétation forestière, le caractère originellement brunifié des horizons structuraux S_{al} des aloclisols serait simplement masqué par cette matière organique dans les rankers. Une connaissance approfondie des rankers cryptopodzoliques en terme de processus et d'évolutions pédogénétiques permettrait donc de confirmer par différentes analyses cet ensemble d'hypothèses.

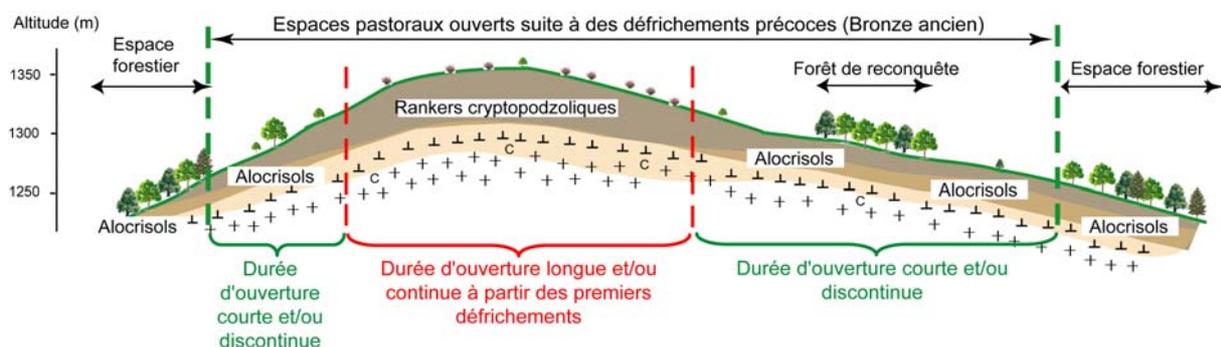


Fig. 9.2 : Evolutions spatiales et temporelles contrastées de la végétation, et hypothèses de l'origine des rankers cryptopodzoliques.

- D'autre part, une réflexion pourrait être menée sur les sols des Hautes-Chaumes dans leur globalité, de manière à les considérer sur des temps plus longs que sur la seule période Holocène. En effet, plusieurs éléments de discussion soulèvent des questions. Tout d'abord, la présence de charbons de sapin à $18\,200 \pm 100$ ans BP et de pin vers 10 000 ans BP au Rossberg, de papilionacées et de saule vers 9500 ans BP aux Trois-Fours prouve l'existence de sols, au moins sur certains versants, même s'il est probable qu'ils étaient moins évolués qu'actuellement. Ensuite, des questions relatives à la présence de « stones-lines » dans certains sols du massif du Hohneck restent posées. Il semble difficile d'en donner une explication. Enfin, dans le cadre d'une tournée de terrain lors de l'Eurosoil 2004 (Fleck & Schwartz, 2004), certains collègues pédologues (comm. orale) indiquaient que les rankers cryptopodzoliques du Hohneck pourraient être d'anciens sols de toundras. Ces trois axes constituent aussi une perspective de nouvelles études sur ces sols en considérant qu'ils ne sont pas seulement holocènes.
- Ensuite, l'archéologie des paysages gagnerait à étudier des milieux peu anthropisés tels que les Hautes-Chaumes. Des travaux archéologiques et d'archéologie des paysages permettraient de mieux appréhender les modes d'exploitation des espaces pastoraux, toutes époques confondues. Plusieurs éléments viennent confirmer les lacunes actuelles de ce domaine d'étude. En premier lieu, l'existence de « steinrudel » (pierriers) est attestée au Petit Ballon. Alors que ceux-ci sont connus dans les collines sous-vosgiennes (Schwartz *et al.*, 2003), ils restent méconnus, non documentés et non étudiés en milieu montagnard vosgien. En second lieu, les modes de gestion des zones agro-pastorales de montagne mis en évidence par nos résultats sont très mal connus en terme de pratiques sociétales. En effet, les défrichements par le feu ne constituent pas, selon Jeunesse (comm. orale), un mode de gestion habituel dans l'Europe ancienne, du moins pas dans des environnements impropres à l'agriculture comme le sont les sommets vosgiens. Le mode de gestion connu est plutôt réservé aux zones basses avec des brûlis à finalité agricole (agriculture itinérante). Le mode de gestion ordinaire des zones forestières (dès le Néolithique) consistait plutôt en une exploitation extensive, à un pâturage sous forêt et à la pratique de l'émondage*. Jeunesse (comm. orale) émet donc l'hypothèse d'influences orientales (steppiques) de populations allochtones qui auraient apporté avec elles de nouvelles techniques de défrichements et de gestion des pâturages d'altitude. Cette problématique souligne donc la mauvaise connaissance des archéologues pour les environnements faiblement anthropisés.
- Enfin, la période du Bronze ancien soulève, à elle seule, certaines interrogations. En effet, alors que nous trouvons des traces de feux pour cette période au Hohneck (4 dates) ainsi que 2 dates à la transition Néolithique final/Bronze ancien, dont 1 au Hohneck et 1 au Rossberg, les traces d'anthropisation sont ténues en plaine d'Alsace (Zehner, 1998 ; Flotté & Fuchs, 2000). Pétry (1984) suppose le développement d'activités pastorales et de la transhumance, mais uniquement à la fin du Bronze final (§ 2.5.2), sans argumentation particulière. Aucune indication ne nous permet donc, à l'heure actuelle, d'expliquer ce phénomène.
En outre se pose la question de savoir pour quelle(s) raison(s) les Hommes ont été amenés à monter sur les sommets vosgiens au Bronze ancien. Ces raisons ont-elles un lien avec leur faible présence en plaine d'Alsace à cette époque précise ? Quoi qu'il en

soit, différentes raisons sont possibles. La plus probable est que le développement de l'élevage dans l'économie aurait amené les individus à pratiquer la transhumance et le pastoralisme en milieu montagnard, dès le début de la période protohistorique (ou peut-être dès le Néolithique), donc bien plus précocément que ce que l'on supposait pour les Vosges jusqu'à présent. La seconde hypothèse, qui n'est valable que si le pastoralisme est avéré, ce qui semble être le cas, est liée au fait qu'une meilleure surveillance des troupeaux est possible, et à l'absence ou au moins à la raréfaction des prédateurs sur les sommets

Glossaire

Acensement (Garnier, 2004) : Acte juridique par lequel le seigneur se dépouille d'une partie de son domaine (sol) au profit d'un sujet qui lui verse une redevance et acquitte les droits seigneuriaux. Le censitaire est réellement propriétaire de « l'immeuble » puisqu'il peut en disposer à sa guise, à condition d'observer les clauses de son contrat, à savoir la résidence et le versement d'un cens. A compter du XVI^e siècle, l'acensement devient une des principales formes de mise en valeur et de colonisation du massif vosgien.

Affouage (Garnier, 2004) : « Fouage », « Bois de feu », « Losholz » : Droit des habitants d'une communauté de recevoir du bois de chauffage.

Cantonnement (Garnier, 2004) : Action par laquelle le propriétaire délaisse à des usagers une portion de bois qui se substitue aux droits d'usage exercés auparavant sur toute l'étendue forestière. A ne pas confondre avec le mot triage.

Ecobuage : ancienne technique de défrichements répandue en Europe, et utilisée jusqu'au XIX^e siècle. Ce mode de défrichement permettait d'étendre les surfaces agricoles, au détriment des prairies, des landes basses et des forêts. Une houe appelée « écobue » servait à enlever des mottes de gazon régulières qu'on retournait et laissait sécher. Ces mottes étaient ensuite mises à feu et se consumaient lentement. Les cendres recueillies étaient répandues, un semis était pratiqué après avoir pratiqué un léger sarclage (Sigaut, 1975 ; Métaillé, 1981).

Emondage : action d'émonder, c'est-à-dire de couper les branches d'arbres ou de haies pour le fourrage des animaux.

Essart (Garnier, 2004) : défrichement de surface réduite effectué par le paysan au sein des bois communaux pour être cultivé ou transformé en pâturage. Il devient le support foncier essentiel des habitants les moins aisés dans le courant du XVIII^e siècle.

Essartage (Métaillé, 1981) : mode de défrichement de la forêt par abattage, brûlis de branches, puis ensemencement presque direct (équivalent de la culture sur brûlis).

Herminette : outil de travail du bois. Sorte de hache au tranchant perpendiculaire au manche, qui sert au dégrossissage des ouvrages sculptés, au dressage de la face supérieure des poutres posées au sol, au façonnage de formes galbées et au creusage. Afin d'avoir une meilleure ergonomie, le manche peut être cintré.

Pélite-quartz : roche sédimentaire noire opaque où dominent les quartz à grains très fins.

Répardise (Garnier, 2004) : Composante essentielle du système des chaumes, elle désigne la forêt limitrophe du pâturage dont elle fait partie intégrante dans les baux de location. Il s'agit d'espaces forestiers d'altitude constitués au niveau le plus élevé d'une hêtraie pure et pour l'étage inférieur d'une sapinière mélangée au hêtre. La répardise valorise le pâturage en procurant aux bêtes une ombre rafraîchissante et un terrain de parcours apprécié. Elle fournit aussi et surtout au marcaire son bois de chauffage et de construction.

Surcenage, Cernage, Kerben (Garnier, 2004) : Technique de défrichage consistant à entailler un arbre sur sa circonférence à une hauteur de 1 m environ à l'aide d'une hache, au printemps, à la montée de sève. L'arbre ainsi mutilé sèche sur pied au bout de quelques années.

Références bibliographiques

- Adam T., 2002. *Une approche de l'évolution paysagère des Hautes-Chaumes du Hohneck et du Rossberg – Aspects descriptifs, interprétatifs et méthodologiques*. Mém. fin d'études (DEA et Ing. ENGEES), Strasbourg, 75p + annexes.
- Alexandre A., Meunier J.-D., Lézine A.-M., Vincens A. & Schwartz D., 1997. Phytoliths : indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136, 213-229.
- Ali A.A., Carcaillet C., Guendon J.-L., Quinif Y., Roiron P. & Terral J.-F., 2003. The early Holocene treeline in the southern French Alps : new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography*, 12, 411-419.
- André M.-F., 1991. *L'empreinte glaciaire dans les Vosges*. Presses Univ. de Nancy, coll. « Etudes Géographiques », 119 p.
- Andréoli R., 2003. *Le Haut-Bassin de la Fecht du Dernier Glaciaire au Postglaciaire : Bilan des travaux, nouvelles données, et perspectives*. Mém. Géo. Physique, DEA « Systèmes Spatiaux et Environnement », ULP Strasbourg I, 128 p.
- Andréoli R., Rosique T., Schmidt M. & Carozza J.-M., 2006. La dernière phase glaciaire du haut bassin de la Fecht (Vosges, France) : dynamique de l'englacement et chronologie relative de la déglaciation - The last glacial epoch in the upper Fecht basin (Vosges, France) : past glacial dynamics and relative chronology of glacier retreat. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 1, 23-36.
- Andersen S.A., 1970. The relative pollen productivity and pollen representation of northern european trees, and correction factors for tree pollen spectra. *Geological Survey of Denmark II*, Series n° 96.
- Aran D., 1998. *Andosolisation dans les Hautes-Vosges. Conditions de développement et comparaison avec les autres processus de pédogenèse*. CNRS, Centre de Pédologie Biologique. Thèse, Univ. Nancy I, 202 p. + annexes.
- Aran D., Gury M., Zida M, Jeanroy E. & Herbillon A.J., 1998. Influence de la roche-mère et du climat sur les propriétés andiques des sols en région montagnarde tempérée (Vosges, France). *Eur. J. of Soil Sci.* 49, 2, 269-281.
- Aran D., Gury M. & Jeanroy E., 2001. Organo-metallic complexes in an andosol : a comparative study with a cambisol and podzol. *Geoderma* 99, 65-79.
- Arrouays, D. Feller, C. Jolivet, C. Saby, N. Andreux, F. Bernoux, M. & Cerri, C. 2003. Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. *Etude & Gestion des Sols* 10, 4, 347-355.
- Bal M.-C., 2006. *Constructions et dynamiques des espaces et des terrasses agro-pastorales en zone intermédiaire des Pyrénées du Néolithique à nos jours (Cerdagne, Pays basque et Pays de Sault) : approche archéoenvironnementale par la pédoanthracologie*. Thèse Doctorat Géographie, Univ. Toulouse II Le Mirail, 272 p.

- Balesdent J. & Guillet B., 1982. Les datations par le ^{14}C des matières organiques des sols - Contribution à l'étude de l'humification et du renouvellement des substances humiques. *Science du Sol - Bull. de l'A.F.E.S.* n°2, 93-112.
- Barboni D., Bonnefille R., Alexandre A. & Meunier J.-D., 1999. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology* 152, 87-100.
- Bartoli F., 1981. *Le cycle biogéochimique du silicium sur roche acide. Application à deux systèmes forestiers tempérés (Vosges)*. Thèse de doctorat, Univ. Nancy I, 187 p.
- Bartoli F., 1983. The biogeochemical cycle of silicon in two temperate forest ecosystems. *Environment Biogeochem. Ecol. Bull.* 35, 469-476.
- Bartoli F., 1985. Crystallochemistry and surface properties of biogenic opal. *Journal of soil science* 36, 335-350.
- Bartoli F., 1986. Les cycles biogéochimiques dans les écosystèmes forestiers tempérés. *Sci. Géol. Bull.* 39, 2, 195-209, Strasbourg.
- Bartoli F. & Guillet B., 1977. Etude comparée des diagrammes phytolithiques et polliniques d'un podzol des Vosges gréseuses. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 284, série D, 353-356.
- Bartoli F. & Souchier B., 1978. Cycle et rôle du silicium d'origine végétale dans les écosystèmes forestiers tempérés. *Ann. Sci. Forest.* 35 (3), 187-202.
- Baumann J., 1981. *Histoire de Thann. Des origines à nos jours*. Ed. S.A.E.P. Ingersheim Colmar, Hors commerce.
- Beaulieu J.-L. de & Reille M., 1992. The last climatic cycle at La Grande Pile (Vosges, France) : a new pollen profile. *Quat. Science Reviews* 11, 431-438.
- Bertault J.G., 1991. Quand la forêt tropicale s'enflamme. Près de trois millions d'hectares détruits par le feu à Kalimantan. *Bois et Forêts des Tropiques* 230, 5-14.
- Bertrand C. & Bertrand G., 1975. Pour une histoire écologique de la France rurale. In : DUBY G. (ed.), *Histoire de la France rurale*, Paris, Ed. Le Seuil, 35-116.
- Bertrand C. & Bertrand G., 2000. Le géosystème : un espace-temps anthropisé. Esquisse d'une temporalité environnementale. In : Barrué-Pastor M., Bertrand G. (eds.), *Les Temps de l'Environnement*, Toulouse, Presses Univ. du Mirail, 65-76.
- Bertrand G., 2002. La discordance des temps. In : Richard H. & Vignot A. (eds.), *Equilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest*, Actes du Coll. Int. de Besançon, sept. 2000, Presses Univ. Franc-Comtoises, 15-23. (Annales Litt. ; 730. Série « Env., soc. et archéologie » ;3).
- Birost P., 1970. *Les régions naturelles du globe*. Masson et C^{ie}, cartes, fig., index, bibliogr., 380 p.
- Blauwart N., 2006. *Etude de l'évolution de la répartition des charbons de bois dans les sols*. Rapport de stage, Master 1 Pro. « Géosc. Env. et Risques », ULP-UHA, Strasbourg I, 18 p.
- Boeuf R., 2001. Originalité syntaxonomique des landes et pelouses du Champ du Feu et du Hochfeld (Bas-Rhin, France). *Bull. Soc. Bot. Cent. Ouest*, t 32, 79-146.
- Bogenrieder A., 2001. Schwarzwald und Vogesen – ein vegetationskundlicher Vergleich. *Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz*, NE 17, 4, 745-792 (Freiburg-im-Breisgau).
- Bonneau M., Faivre P., Gury M., Hétier J.-M. & Le Tacon F., 1978. *Carte pédologique de France à moyenne échelle (1/100 000e) - Saint-Dié*. Carte + Notice explicative, INRA, 160 p.

- Boudot J.-P., 1974. Etude de quelques associations végétales vosgiennes sur un substrat peu connu et des sols correspondants : Contribution à l'écologie des Grauwackes de la série du Markstein. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, 55^e vol., 89-100.
- Boudot J.-P., 1976. *Ecologie du paysage et processus de pédogenèse sur les grauwackes de la série du Markstein (Hautes-Vosges)*. Thèse, Strasbourg I, 153 p.
- Boudot J.-P., 1982. *Relations entre l'altération minérale et le cycle de l'azote sur matériel chloriteux du massif schisto-grauwackeux vosgien*. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 168 p. + annexes.
- Boudot J.-P., 1983. Hautes-Chaumes. 2. Végétation et sols. In : *Encyclopédie de l'Alsace*, vol. 3, Publitotal, Strasbourg, 1646-1650.
- Boudot J.-P., Bruckert S. & Souchier B., 1981. Végétation et sols climax sur les grauwackes de la série du Markstein (Hautes-Vosges). *Ann. Sci. forest.* 38 (1), 87-106.
- Boufflet B., 1994. Les « chaffras » du Maine. *Maine Découvertes*, n°2, sept.- oct. – nov. 1994, « Forêts : l'or vert du Maine », 47-49.
- Boyé P., 1903. *Les Hautes-Chaumes des Vosges. Etude de géographie et d'économie historiques*. Ed. Berger-Levrault, Paris-Nancy, 431 p.
- Braber F.I., 1983. *Verslag van een pollenanalytisch onderzoek van een komveen in het Chajoux-dal (Hage Vogezen, Frankrijk)*. Ongepubliceerd doctoraalverslag.
- Braber F.I., Bunnik F.P.M., Delibrias G., Janssen C.R., Kalis A.J. & Mook W.G., 1984. The significance of chronology in the ecological interpretation of pollen assemblages of contrasting sites in the Vosges. *Pre Report of the joint meeting of the I.G.C.P., Project 158 B*, Marseille, 3-8.
- Bradshaw R.H.W., 2004. Past anthropogenic influence on European forests and some possible genetic consequences. *Forest Ecology and Management* 197, 203-212.
- Braun-Blanquet J., 1953. Essai sur la végétation du Mont Lozère comparée à celle de l'Aigoual. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 100, 47-59 ; 80^e sess. extr., SIGMA, 1952 ; comm. n°127.
- Bravard J.-P., 1997. Géoarchéologie des vallées fluviales de Rhône-Alpes depuis le Tardiglaciaire. In : *Dynamique du paysage, Entretiens de Géoarchéologie*, Lyon, 17-18 nov. 1995, DARA : 129-150.
- Bravard J.-P., 2002. Les paléoenvironnements fluviaux et lacustres depuis 15 000 ans - Conclusions méthodologiques et perspectives. In : *Les fleuves ont une histoire - Paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*. Bravard J.-P. et Magny M. (dir.), éd. Errance, 312 p., 303-312.
- Bruckert S., 1979. Classification des sols bruns ocreux et cryptopodzoliques par analyse des extraits tétraborates tamponnés à pH 9,5. *Geoderma* 22, 205-212.
- Brunotte C., 1899. Nouvelles stations de plantes rares dans le massif du Hohneck. *Bull. de la Section vosgienne du Club alpin français*, Nancy, 72-77 et 85-91.
- Brunotte C., 1903. La flore des Hautes Vosges et ses plantes officinales. *Bull. de la Section vosgienne du Club alpin français*, Nancy, 40-44, 59-63, 68-75 et 86-89.
- Brunotte C., 1905. Le jardin d'essai de la Section vosgienne du Club alpin français. *Bull. de la Section vosgienne du Club alpin français*, Nancy, 22-28.
- Brunotte C., 1907. *Le Hohneck ; la flore d'autrefois, celle d'aujourd'hui*. Epinal, Huguenin.
- Brunotte C. & Lemasson C., 1893. *Guide du botaniste herborisant au Hohneck et aux environs de Gérardmer*. Ed. Berger-Levrault, Nancy, Paris, 1-39, 1 carte.
- Buchsenschutz O., 2004. *Les Celtes de l'âge du fer dans la moitié nord de la France*. Ed. la maison des roches, 128 p.

- Bürger K., 2004. *Veränderung von Waldökosystemen aufgrund historischer Nutzung im Schwarzwald und in den Vogesen*. Thèse, Univ. Freiburg im Breisgau, INRA Nancy, 177 p.
- Bush M.B., Piperno R., Colinvaux P.A., De Oliveira P.E., Krissek L.A., Miller M.C. & Rowe W.E., 1992. A 14 300-YR paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panama. *Ecological monographs (Ecological Society of America)*, Vol. 62, n° 2, 251-275.
- Buzzi P., Carcaud N., Koenig M.-P. & Weisrock A., 1993. Morphodynamique fluviale holocène et établissements humains protohistoriques en fond de vallée de la Moselle à Crévéchamps (Lorraine méridionale). *Revue Géog. de l'Est* n°4, T XXXIII, *Vallées fluviales en Europe à l'Holocène*, 281-295.
- Cailleux A. & Taylor G., 1954. *Cryopédologie : étude des sols gelés*. Actualités Scientifiques et Industrielles 1203, Missions Paul-Émile Victor, No. IV, Paris, Hermann & C^{ie}, 219 p., 115 ill., 12 pl.
- Carbiener R., 1957. Etude de quelques sols des Hautes Vosges. *Bull. Ass. franç. Etude du Sol*.
- Carbiener R., 1963 a. Les sols du massif du Hohneck - Leurs rapports avec le tapis végétal. In : *Le Hohneck - Aspects physiques, biologiques et humains*. Ed. Assoc. Philom. Alsace Lorraine, pour le Centenaire de l'Assoc., 450 p, 103-154.
- Carbiener R., 1963 b. Remarques sur un type de sol encore peu étudié : le « Ranker cryptopodzolique » de l'étage subalpin des massifs hercyniens français. *C.R. Aca. Sc. Paris* n°256 : 977-979.
- Carbiener R., 1963 c. Un remarquable groupement végétal des Hautes-Vosges : la Calamagrostidaie subalpine. *C.R. Acad. Sci Paris* n°256, 11, 4967-4969.
- Carbiener R., 1964 a. La détermination de la limite naturelle de la forêt par des critères pédologiques et géomorphologiques dans les Hautes-Vosges et le Massif Central. *C.R. Aca. Sc. Paris*, t. 258, gp. 11, 4136-4138.
- Carbiener R., 1964 b. Etude de la genèse des « réseaux de buttes gazonnées » ou « thufur », une forme de sol cryoturbé, dans les Hautes-Vosges. *C.R. Aca. Sc. Paris*, t. 258, gp. 9, 5503-5505.
- Carbiener R., 1966 a. *La végétation des Hautes-Vosges dans ses rapports avec les climats locaux, les sols et la géomorphologie. Comparaison avec la végétation subalpine d'autres massifs montagneux à climat allochtone d'Europe occidentale*. Thèse sciences, Paris, 112 p.
- Carbiener R., 1966 b. Relations entre cryoturbation, solifluxion et groupements végétaux dans les Hautes-Vosges (France). *Oecol. Plant.* T1, 335-367, Gauthier-Villars, Paris.
- Carbiener R., 1984-87. Deux aspects biogéographiques très contrastés de l'Alsace : la grande crête des Hautes Vosges et les rives du Rhin. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, 59^e vol., 7-13.
- Carcaillet C., 1996. *Evolution de l'organisation spatiale des communautés végétales d'altitude depuis 7000 ans BP dans la vallée de la Maurienne (Alpes de Savoie, France) : une analyse pédoanthracologique*. Thèse d'université, Aix-Marseille III, 95 p.
- Carcaillet C., 1998. A spatially precise study of Holocene fire history, climate and human impact within the Maurienne valley, North French Alps. *Journal of Ecology* 86, 384-396.
- Carcaillet C., 2001 a. Soils particles reworking evidences by AMS 14C dating of charcoal. *C.R. Acad. Sc. Paris, Sc. de la Terre et des Planètes, Géosc. de Surface*, 332, 21-28.
- Carcaillet C., 2001 b. Are Holocene wood-charcoal fragments stratified in alpine and

- subalpine soils ? Evidence from the Alps based on AMS ^{14}C dates. *The Holocene* 11, 2, 231-242.
- Carcaillet C. & Talon B., 1996. Aspects taphonomiques de la stratigraphie et de la datation de charbons dans les sols : exemple de quelques sols des Alpes. *Géogr. Physique et Quaternaire*, vol.50, 233-244, 7 fig., 2 tabl.
- Carcaillet C. & Thinon M., 1996. Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (North French Alps) : methodology and preliminary data. *Review of Palaeobotany and Palynology* 91, 399-416.
- Carcaillet C. & Brun J.-J., 2000. Changes in landscape structure in the northwestern Alps over the last 7000 years : lessons from soil charcoal. *Journal of Vegetation Science* 11, 705-714.
- Carcaillet C. & Talon B., 2001. Soil carbon sequestration by Holocene fires inferred from soil charcoal in the dry french Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol.33, n°3, 282-288.
- Carcaillet C., Talon B. & Barbero M., 1998. *Pinus cembra* et incendies pendant l'Holocène, 300 m au-dessus de la limite actuelle des arbres dans le massif de la Vanoise (Alpes du Nord-Ouest). *Ecologie*, t. 29 (1-2), 277-282.
- Carcaillet C., Bergman I., Delorme S., Hornberg G. & Zackrisson O., 2007. Long-term fire frequency not linked frequency not linked to prehistoric occupations in Northern Swedish Boreal Forest. *Ecology* 88 (2), 465-477.
- Carcaud N., 1990. Etude préliminaire du comblement de fond de vallée de la Moselle à Vandières (Meurthe-et-Moselle). *Revue Géog. de l'Est* n°1, *Géoarchéologie des paysages : Genèse des fonds de vallées de l'Est de la France* (Géomorphologie. Quaternaire), 37-48.
- Carnelli A.L., 2002. *Long Term Dynamics of the Vegetation at the Subalpine-Alpine Ecocline during the Holocene: Comparative Study in the Aletsch Region, Val D'Arpette, and Furka Pass (Valais, Switzerland)*. Thèse, Fac. des Sc. Univ. Genève, 349 p.
- Carnelli A.L., Madella M. & Theurillat J.-P., 2001. Biogenic silica production in selected alpine plant species and plant communities. *Annals of botany* 87, 425-434.
- Carnelli A.L., Theurillat J.-P., Thinon M., Vadi G. & Talon B., 2004. Past uppermost tree limit in the Central European Alps (Switzerland) based on soil and soil charcoal. *The Holocene* 14, 3, 393-405.
- Carozza L. & Marcigny C., 2007. *L'âge du Bronze en France*. Ed. La Découverte, Coll. « Archéologies de la France », Paris, 155 p.
- Casner J., 2001. *Analyse des monomères de la lignine par Electrophorèse Capillaire : Application à l'histoire des Hautes-Chaumes de Hohneck et du Rossberg (massif vosgien)*. Mém. de Maîtrise de Géogr. physique, Strasbourg I, 74 p.
- Casner J., 2002. *Evolution morphogénique postglaciaire d'un bassin-versant des Vosges centrales : le vallon du Chitelet (versant occidental du massif du Hohneck)*. Mém. de DEA de Géogr. physique, Strasbourg, 75p + annexes.
- Chabal L., 1992. La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. *Bull. Soc. Bot. France*, 139, *Actual. Bot.* (2/3/4), 213-236. Colloque Montpellier 10-13 Sept. 1991, sous la dir. de J.L. Vernet.
- Cloître M., 2005. *Les microtopographies des chaumes du massif du Rossberg (Vosges) : vestiges d'un défrichement du XVIII^e siècle en relation avec des pratiques*

- charbonnières ? Mém. Maîtrise Géo. physique, ULP Strasbourg, 92 p.
- Cloître M., 2006. *Reconstitution d'une forêt du XVII^e - XVIII^e siècle du Rossberg - Mesures effectuées sur des microtopographies*. Mém. Master 2 « Géosc. Env. et Risques », ULP Strasbourg I, 51 p.
- Closset D., 2004. *Sylvigénèse en hêtraie-sapinière dans le contexte vosgien*. Thèse Doctorat, Univ. Paul Verlaine, Metz, 156 p.
- CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols), 1967. *Classification des sols*. Grignon, France, 96 p.
- CSL, 2001. *Plan de gestion 2001 à 2005 - Réserve Naturelle du Tanet - Gazon du Faing*. Conservatoire des Sites Lorrains, Min. Amén. du Terr. et Env. DIREN Lorraine, Réserves Naturelles de France, Préf. Vosges, env. 140 p.
- Darmois-Théobald M., Denèfle M. & Menillet F., 1976. Tourbières de moyenne altitude de la forêt de Haute-Meurthe (Vosges, France). *Bull. Assoc. Fr. pour l'Etude du Quat.* 2, 99-107.
- Davasse B., 1992. Anthracologie et espaces forestiers charbonnés. Quelques exemples dans la moitié orientale des Pyrénées. *Bull. Soc. Bot. France* 139, Actual. Bot. (2/3/4), 579-586.
- Detienne P., 1988. *Cours illustré d'anatomie des bois*. Ed. Centre Technique Forestier Tropical, Dépt du CIRAD, Nogent-sur-Marne, 48 p.
- De Valk, E.J., 1979. Polloeanalytische contributions towards late-Holocene history of the subalpine plant communities of the Kastelberg (Vosges, France). In : Willmanns & R. Tuxen (eds.), *Werden und Vergehen von Pflanzengesellschaften*. Cramer, Vaduz, 269-280.
- De Valk, E.J., 1981. *Late Holocene and present vegetation of the Kastelberg (Vosges, France)*. PhD Thesis, Lab. of Palaeobotany and Palynology, Utrecht, The Netherlands, 294 p.
- Dimbleby G.W., 1961. Soil pollen analysis. *J. of Soil Science* 12, 1-11.
- Dion J., 1985. *Les forêts vosgiennes, étude biogéographique*. Thèse, Atelier National Reproduction des thèses, Univ. Lille III, Lille, Aux Amateurs de Livres, Paris, 484 p.
- Dresh J., Elhaï M. & Denèfle-Labiolle M., 1966. Analyse pollinique de quatre tourbières du Ballon d'Alsace (Vosges, France). *C.R. Soc. Biogéogr.* 376, 78-89.
- Dubois G., Hatt J.-P., 1930. La tourbière du Champ du Feu. *Bull. de la Soc. Ecol. de France* 4, 30, 1027-1041.
- Dubois G., Dubois C., 1937. Note sur les affleurements tourbeux de la route des crêtes au nord de la Schlucht (Vosges). *Bull. du Serv. Carte Géol. d'Alsace et de Lorr.* 4, 80-82.
- Dubois G., 1938. Les végétations forestières quaternaires dans le Nord-Est de la France d'après la méthode pollenanalytique. *Compte Rendu du 1^{er} Congrès des Soc. Savantes de l'Est de la France*, 161-172.
- Duchaufour P., 1960. *Précis de pédologie*. Paris, Masson, 438 p.
- Duchaufour P., 1968. *L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils*. Ed. Masson et Cie, Paris, 93 p.
- Duchaufour P., 1977. *Pédologie. T1 : Pédogenèse et classification*. Ss la dir. de P. Duchaufour & B. Souchier, Ed. Masson, Paris, 477 p.
- Duchaufour P., 1997. *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement*. Ed. Masson, Paris, 5^e édition, 291 p.
- Duchaufour P. & Souchier B., 1966. Sols andosoliques et roches volcaniques des Vosges.

- Sci. De la Terre, t. XI, n°3, 345-365.*
- Edelman H.J., 1985. *Late glacial and holocene vegetation development of la Goutte Loiselot (Vosges, France)*. Thèse, Lab. of Palaeobotany and Palynology, Univ. of Utrecht, The Netherlands, 197 p.
- Eller J.P. von, Fluck P., Hameurt J. & Ruhland M., 1972. Présentation d'une carte structurale du socle vosgien. *Sci. Géol., Bull.* 25, fasc. 1, 3-19.
- Eller J.-P. von, 1984. *Guides géologiques régionaux - Vosges Alsace*. 2^e édition révisée, Ed. Masson, Paris, 182 p.
- Emiliani C., 1955. Pleistocene temperatures. *J. Geol.* 63, 538-578.
- Englert E., 2001. *Conséquences morphogéniques et enregistrements sédimentaires des mutations holocènes des écosystèmes vosgiens (Massif du Rossberg, Haut-Rhin)*. Mémoire maîtrise Géogr. physique, ULP, Strasbourg, 86 p.
- Ertlen D., 2005. *Utilisation de la méthode NIRS (Near Infrared Spectrometry) pour caractériser la source végétale des matières organiques du sol. Aspects méthodologiques et premiers résultats sur des milieux tempérés et tropicaux (Hautes-Chaumes Vosgiennes, Cameroun)*. Mém. DEA « Sys. Spat. et Env. », ULP Strasbourg I, Sept. 2005, 40 p.
- Fabre L & Gervet X., 1992. Première approche du charbonnage de l'histoire de la forêt méditerranéenne : l'exemple du canton d'Aniane (Hérault). *Bull. Soc. Bot. Fr.* 139, *Actual. Bot.* (2/3/4), 617-625.
- Firbas F., Grünig G., Weischedel I. & Worzel G., 1948. Beiträge zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Vogesen. [The late- and postglacial vegetation history of the Vosges Mountains, France.] *Bibliotheca Botanica* 121, 1-76.
- Flageollet J.-C., 2002. *Sur les traces des glaciers vosgiens*. CNRS Ed., Paris, 212 p.
- Flageollet J.-C. & Hameurt J., 1971. Les accumulations glaciaires de la vallée de la Cleurie (Vosges). *Rev. Géo. Est* 2, Nancy II, 119-181.
- Flahault C.H.M., 1901. Les limites supérieures de la végétation forestière et les prairies pseudo-alpines en France. *Rev. Eaux Forêts*, 40.
- Fleck W. & Schwartz D., 2004. The Rhine Valley from West to East – Soils along a cross section from the Southern Vosges to the Northern Black Forest. Eurosoil – Excursion n°2, Freiburg Sept. 2004, *In : Excursion Guide Book – Soil, landscapes and environmental problems*, by K. Stahr & W. Fleck (eds.), Freiburg im Breisgau, Germany, 57-93.
- Flotté P. & Fuchs M., 2000. *Carte archéologique de la Gaule - Le Bas-Rhin*. 67/1. Acad. Inscr. Belles Lettres, Min. Educ. Nat., Min. Recherche (etc.), diff. Fondation Maison Sc. Homme, Paris, 735 p.
- Fisher R.F., Newell Bourn C. & Fisher W.F., 1995. Opal phytoliths as an indicator of the floristics of prehistoric grasslands. *Geoderma* 68, 243-255.
- Fredlund G.G. & Tieszen L.T., 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal of Biogeography* 21, 321-335.
- Fredlund G.G. & Tieszen L.T., 1997 a. Phytolith and carbon isotope evidence for late Quaternary vegetation and climate change in the Southern Black Hills, South Dakota. *Quaternary Research* 47, 206-217.
- Fredlund G.G. & Tieszen L.T., 1997 b. Calibrating grass phytolith assemblages in climatic terms: Application to late pleistocene assemblages from Kansas and Nebraska. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136, 199-211.

- 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. *Veget. Hist. Archaeobot.* 3, 225-244.
- Galop D., Vannière B. & Fontugne M., 2002. Human activities and fire history since 4500 BC on the northern slope of the Pyrenees : a record from Cuguron (central Pyrenees, France). In : *Charcoal Analysis, Methodological Approaches, Palaeoecological results and wood uses*, S. Thiebault (eds.), British International Reports Series 1063 : 43-51.
- Garnier E., 1991. *L'Homme et la forêt dans les Vosges saônoises (seconde moitié du XVIII^e siècle)*. 214 p.
- Garnier E., 1994. *L'Homme et son milieu. Le massif du Grand Ventron à travers les âges*. Univ. Fr.-Comté, Fac. des Lettres de Besançon, PNRBV, Déc. 1993, 64 p.
- Garnier E., 1997. *Un massif forestier et son histoire : la forêt de Saint-Antoine. Permanences, mutations et enjeux*. Labo. Sc. Hist, Univ. Franche-Comté, ONF, 125 p.
- Garnier E., 1998 a. *Jalons pour une histoire de l'environnement : la réserve naturelle du Frankenthal-Missheimle*. Labo Sciences Historiques, Univ. Besançon, PNRBV, Munster, 59 p.
- Garnier E., 1998 b. La forêt vosgienne : un espace pionnier sous l'Ancien Régime ? In : *Des bois dont on fait les Vosges. Une histoire de la forêt vosgienne*, Epinal 1998. Catalogue d'exposition des ADV, 132-145.
- Garnier E., 2000. Les forêts vosgiennes à l'épreuve des tempêtes sous l'Ancien Régime (XVII^e et XVIII^e siècles). *Revue Géo de l'Est*, tome XL, 3/2000, 133-139.
- Garnier E., 2001 a. Le « Grand Pâturage des Hautes-Chaumes » sous l'Ancien Régime – sylvo-pastoralisme et écosystèmes forestiers. In : A. Corvol (dir.) : *Forêts et troupeaux. Cahier d'Etudes n°11, Forêt, Environnement et Société XVI^e-XVIII^e siècle* ; CNRS-IHMC, 32-39.
- Garnier E., 2001 b. Le jardinage traditionnel vosgien : une « sylviculture proche de la nature » avant l'heure. XVI^e-XVIII^e siècles ? In : *Le sapin, enjeux anciens, enjeux actuels*, A. Corvol (dir.), Ed. l'Harmattan, 391 p ; 137-158.
- Garnier E., 2002 a. La politique forestière de la monarchie et les catastrophes naturelles dans les Vosges aux XVIII^e et XIX^e siècles. In : *Les pouvoirs publics face aux risques naturels dans l'histoire*, (dir.) R. Favier ; Publ. MSH-Alpes, Grenoble, CNRS, 444 p., 219-241.
- Garnier E., 2002 b. Bio-indicateurs et évolution des écosystèmes forestiers (XVI^e-XX^e siècles). In : *Forêt et faune*. A. Corvol (dir.) ; *Cahier d'Etudes n°12, Forêt, Environnement et Société XVI^e-XVIII^e siècle* ; CNRS-IHMC, 25-32.
- Garnier E., 2002 c. Plans anciens et reconstitution paysagère. Le système montagnard vosgien (XVI^e- XVIII^e siècle). *Histoire et Sociétés rurales* n° 17, 123-152.
- Garnier E., 2004. *Terre de conquêtes. La forêt vosgienne sous l'Ancien Régime*. Paris, Ed. Fayard, 620 p.
- Goepp S., 2000. *Les paysages de chaumes du massif du Rossberg : Apports de la pédologie et de la biogéographie à l'étude de leur évolution*. Mém. Maîtrise Géogr. Physique, Univ. Strasbourg I, 88 p. + annexes.
- Goepp S., 2001. *Les assemblages phytolithiques de sols comme indicateurs de la dynamique de l'écotone forêt/prairie dans les Vosges (Rossberg et Falimont)*. Mém. DEA « Sys. Spat. et Env. », ULP, Strasbourg I, 47 p. + annexes.
- Goepp S., Schwartz D., Guillet B. & Thinon M., 2006. L'archivage pédologique des

- évolutions paléoenvironnementales – Intérêt, spécificités, risques de biais (cas des chaumes vosgiennes). In : *L'érosion entre société, climat et paléoenvironnement*. Actes de la Table ronde en l'honneur de R. Neboit-Guilhot, P. Allée & L. Lespez (dir.), 25-27 mars 2004, Clermont-Ferrand, 103-108.
- Goepf S., Thion M. & Schwartz D., 2007. Feux et façonnement des paysages de chaumes en moyenne montagne tempérée : premiers résultats pédoanthracologiques dans le massif du Rossberg (Vosges haut-rhinoises, France). *Actes du colloque « l'Homme et le feu de l'Antiquité à nos jours »*, Besançon, 26-27 sept. 2003 ; 343-352.
- Goepf S., Schwartz D. & Alexandre A., *en prép.* Role of pedogenetic processes on the phytolith distribution and preservation: case studies in temperate mountain soils (Vosges, France). Pour *Eur. J. Soil Sci.*
- Greguss P., 1959. *Holzanatomie des europäischen Laubhölzer und Sträucher*. Budapest, 330 p. + planches.
- Guillet B., 1968. Essai de détermination de l'âge de deux podzols vosgiens par la palynologie. *Oecol. Plant.* III, 101-119.
- Guillet B., 1970. Etude palynologique des podzols. I. La podzolisation sur alluvions anciennes en Lorraine. *Pollens et Spores* XII (1), 45-69.
- Guillet B., 1971 a. Etude palynologique des podzols. II. La podzolisation sur les versants secs gréseux des Basses Vosges. *Pollens et Spores* XIII (2), 233-254.
- Guillet B., 1971 b. Etude palynologique des podzols. III. La podzolisation sur granites dans les Vosges hercyniennes de l'étage montagnard. Comparaison avec la podzolisation dans les Basses Vosges gréseuses et sur le plateau lorrain. *Pollens et Spores* XIII (3), 421-446.
- Guillet B., 1972. *Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges*. Thèse Etat, Sc. Nat., Univ. Nancy I, 112 p. + annexes (39 p).
- Guillet B., 1979. Etude du renouvellement des matières organiques des sols par les radioisotopes (^{14}C). In : Bonneau M. & Souchier B., 1979, *Pédologie. T.2 : Constituants et propriétés du sol*, Ph. Duchaufour & B. Souchier (dir.), éd. Masson, Paris, 460 p. Chapitre X, 211-226.
- Guillet B. & Robin A.-M., 1972. Interprétation de datations par le ^{14}C d'horizons Bh de deux podzols humo-ferrugineux, l'un formé sous callune, l'autre sous chênaie-hêtraie. *C.R. Acad. Sci. Paris* 274, série D, 2859-2862.
- Guillet B., Hassko B. & Jaegy R., 1972. Approche palynologique de la limite spontanée du sapin sur la bordure orientale du plateau Lorrain. *C.R. Acad. Sci. Paris* 274, 1966-1968.
- Gury M., Merlet D., Desjardines T., Becquer T. & Boudot J.-P., 1992. *Carte des Hautes-Chaumes primaires des Vosges* (Etude PNR et CSL). CNRS, Centre de Pédologie Biologique, Vandoeuvre-les-Nancy, env. 10 p. + cartes.
- Hatt J.P., 1937. Contribution à l'analyse pollinique des tourbières du Nord-Est de la France. *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.* 4, 1-79, Strasbourg.
- Hedges J.I. & Mann D.C., 1979. Characterization of plant tissues by their lignin oxidation products. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 43, 1803-1807.
- Hergès L., 1983. Hautes Chaumes. 3. Occupation par les marcaires alsaciens. In : *Encyclopédie de l'Alsace* vol. 3, Publitotal, Strasbourg, 1650-1652.
- Hétier J.-M., 1968. *Etude de quelques sols andosoliques sur roches volcaniques primaires des Vosges*. Thèse de 3^e cycle, Univ. de Nancy I, 54 p.

- Hoff M., 1978. La haute vallée de la Doller : relations phytoécologiques entre les groupements herbacés et les groupements forestiers. *Bull. Soc. Ind. Mulhouse* 770, 2, 1^{ère} partie : les Vosges Haut-Rhinoises (Vie et richesses naturelles), 57-66.
- Hoff M., Dreger F. & Miesch R., 1995. L'herbier « Stirpes cryptogamae vogeso-rhenanae » de J.B. Mougeot, C.G. Nestler & W.P. Schimper. *Bull. Assoc. Philom. Alsace et de Lorr.* 31, 77-91.
- Huisman T., 1973 a. Een pollenanalytisch onderzoek van het Ronfaing en het Marirose, twee venen in de Vogezes. *Intern. Rapport v.d. Werkgroep Vogezes*, 14.
- Huisman T., 1973 b. Een vegetatiekundig onderzoek van twee helling-venen in de centrale Vogezes, het Haut-Chitelet en Bas Chitelet. *Intern Rapport v.d. Werkgroep Vogezes*, 15.
- Issler E., 1924. Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhénane avoisinante. Première partie : les forêts. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, N.S., T XVIII, 203-270.
- Issler E., 1926. Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhénane avoisinante. Deuxième partie : les garides et les landes. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, N.S., T XX, 1-62.
- Issler E., 1927-1928. Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhénane avoisinante. Première partie : les forêts. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, N.S., T XXI, 47-167.
- Issler E., 1953. L'histoire de la forêt haut-rhinoise dans ses rapports avec les climats et les premiers Hommes au cours du Quaternaire. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, 44^e vol., 4-12.
- Issler E., Loyson E. & Walter E., 1965. *Flore d'Alsace (plaine rhénane, Vosges, Sundgau)*. Strasbourg, Soc. d'Etude de la flore d'Alsace, 621 p.
- Izard V., 1992. L'art du charbonnier : contributions archéo-botanique et géographico-historique à l'étude des paysages métallurgiques d'après l'anthraco-analyse des charbonnières. *Bull. Soc. Bot. France* 139, *Actual. Bot.* (2/3/4), 587-596.
- Jacamon M. & Sigwarth G., 1982. *Arbres et forêts d'Alsace - Connaître les forêts d'Alsace; identifier arbres et forêts d'Alsace*. Ed. SAEP, Ingersheim-Colmar, 136 p.
- Jacob J.C., 1988. Une flore originale. In : *La vallée de Masevaux et le Ballon d'Alsace*, *Bull. Soc. Ind. Mulhouse* 809, 33-35.
- Jacob J.C. & Scheubel J., 1988. Les grands groupements végétaux : une dominante forestière. In : *La vallée de Masevaux et le Ballon d'Alsace*, *Bull. Soc. Ind. Mulhouse* 809, 27-29.
- Jaeger P., 1959-60. A travers les régions botaniques du Haut-Rhin. *Bull. Soc. Naturelle de Colmar*, 49^e vol., 25-45.
- Jacquot C., 1955. *Atlas d'anatomie des bois des conifères*. Centre technique du Bois, Paris, 2 t., 133 p., 64 pl. h.t. (9-15).
- Jacquot C., Trenard Y. & Dirol D., 1973. *Atlas d'anatomie des bois des Angiospermes (essences feuillues)*. Centre technique du Bois, Paris, T I - texte, 175 p ; T II - planches, 148 p.
- Janssen C.R., 1981. Contemporary pollen assemblages from the Vosges (France). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 33, 183-313.
- Janssen C.R. & Janssen-Kettlitz E.L., 1970. Een pollenanalytisch onderzoek van een profiel uit het tourbière du Tanet (Vogezes). *Intern. rapport v.d. Werkgroep Vogezes*, 1.
- Janssen C.R. & Janssen-Kettlitz E.L., 1972. A post-atlantic sequence from the tourbière du

- Tanet (Vosges, France). *Pollen et spores* 14, 65-77.
- Janssen C.R., Kalis A.J., Tamboer-Van Den Heuvel G. & Valk E.J. de, 1974. Palynological and palaeoecological investigations in the Vosges (France) : a research project. *Geol. Mijnb.* 53, 6, 406-414.
- Janssen C.R., Cup-Uiterwijk M.J.J., Edeman M.J., Mekel te., Riele J. & Pals J.P., 1975. Ecologic and paleoecologic studies in the Feigne d'Artimont (Vosges, France). *Plant. Ecology* 30, 3, 165-178.
- Janssen C.R., Braber F.I., Bunnick F.P.M., Delibrias G., Kalis A.J. & Mook W.G., 1985. The significance of chronology in the ecological interpretation of pollen assemblages of contrasting sites in the Vosges. *Ecologia Mediterranea* 11, 1, 39-43.
- Jéhin P., 2003. *Mutations des paysages forestiers dans les Vosges du Nord du Moyen Age à la Révolution française*. Thèse Doctorat Histoire, Univ. Marc Bloch, Strasbourg, 3 vol., 771 p.
- Jéhin P., 2005. *Les forêts des Vosges du Nord du Moyen Age à la Révolution - milieux, usages, exploitations*. Presses Univ. de Strasbourg, 398 p.
- Jeunesse C., 1991. Le Néolithique (5300 - 2300 av. J.-C.). In : *L'archéologie en Alsace*, Baud G., Jeunesse C., Voegtlin M. & Voegtlin C. (dir.). Assoc. Pour la Promotion de la Recherche Archéo en Alsace (APRAA), Hors Série, 90 p.
- Jolivet C., Guillet B., Karroum M., Andreux F., Bernoux M. & Arrouays D., 2001. Les phénols de la lignine et le ¹³C, traceurs de l'origine des matières organiques du sol. *C.R. Aca. Sc. Paris, Géosc. de Surface* 333, 651-657.
- Jones L.H.P. & Handreck K.A., 1967. Silica in soils, plants, and animals. *Adv. Agronomy* 19, 107-149.
- Juillard E., 1953. *La vie rurale dans la plaine de Basse-Alsace. Essai de Géographie Sociale*. Ed. Les Belles Lettres, Paris, 582 p.
- Kalis A.J., 1972. Een pollenanalytisch onderzoek van een profiel uit het Tourbière des Hauts Vieux (Vogezien). *Intern. rapport v.d. Werkgroep Vogesen*, 11.
- Kalis A.J., 1984. L'indigénat de l'épicéa dans les Hautes-Vosges. *Revue de Paléobiologie*, vol. spécial, 103-115.
- Kalis A.J., van der Knaap W.O., Schweizer A. & Urz R., 2006. A three thousand year succession of plant communities on a valley bottom in the Vosges Mountains, NE France, reconstructed from fossil pollen, plant macrofossils, and modern phytosociological communities. *Veget. Hist. Archaeobot.* 15, 377-390.
- Kapp E., 1955. La forêt vosgienne au cours de l'époque Quaternaire. Son histoire révélée par la palynologie. *Les Vosges, Bull. off. Club Vosgien* 3, 1-5.
- Kelly E.F., 1990. Methods for extracting opal phytoliths from soil and plant material. *For Workshop on biotic indicators of global change*. University of Washington. June 1-3, 1990. Seattle, Washington.
- Kelly E.F., Amundson R.G., Marino B.D., & DeNiro M.J., 1991. Stable isotope ratios of carbon in phytoliths as a quantitative method of monitoring vegetation and climate change. *Quat. Research* 35, 222-233.
- Kelly E.F., Blecker S.W., Yonker C.M., Olson C.G., Wohl E.E. & Todd L.C., 1998. Stable isotope composition of soil organic matter and phytoliths as paleoenvironmental indicators. *Geoderma* 82, 59-81.
- Kirschleger F., 1825. *Liste des plantes les moins connues de l'Alsace et des Vosges*.
- Kirschleger F., 1852. *Flore d'Alsace et des contrées limitrophes*. Vol. 1, Ed. Huder,

- Strasbourg, env. 670 p.
- Kirschleger F., 1857. *Flore d'Alsace et des contrées limitrophes*. Vol. 2, Ed. Huder, Strasbourg, env. 739 p.
- Kirschleger F., 1862. *Flore d'Alsace et des contrées limitrophes*. Vol. 3; Ed. Huder, Strasbourg, env. 461 p.
- Kirschleger F., 1870. *Flore vogéso-rhénane*. Tome premier, env. 509 p., tome second Strasbourg, Paris, env. 402 p.
- Koerner W., 1999. *Impacts des anciennes utilisations agricoles sur la fertilité du milieu forestier actuel*. Thèse de géographie, Univ. Paris 7, INRA Nancy, 188 p.
- Koerner W., Dupouey J.-L., Dambrine E. & Benoit M., 1997. Influence of past land use on the vegetation and soils of present day forest in the Vosges mountains, France. *Journal of Ecology* 85, 351-358.
- Koerner W., Benoit M., Dambrine E. & Dupouey J.-L., 1999 a. Influence des anciennes pratiques agricoles sur la végétation et les sols des forêts reboisées dans le massif vosgien. *Rev. For. Fr.* LI.
- Koerner W., Dambrine E., Dupouey J.-L. & Benoit M., 1999 b. $\delta^{15}\text{N}$ of forest soil and understorey vegetation reflect the former agricultural land use. *Oecologia* 121, 421-425.
- Köppen W., 1920. Verhältnis des Baumgrenze zur Lufttemperatur. *Meteorologische Ztschr.* 37, 39-42.
- Köppen W., 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Walter de Gruyter Berlin New York, 388 p.
- Kowalski P., Taous A. & Weisrock A., 1990. Etude morphosédimentaire du remblaiement de fond de vallée de la Meurthe à Sainte-Marguerite (Vosges) : comparaison avec la Moselle à Chavelot (Vosges) et premiers enseignements. *Revue Géog. de l'Est* 1, T XXX, « Géoarchéologie des paysages : Genèse des fonds de vallées de l'Est de la France » (Géomorphologie Quaternaire), 19-36.
- Langhor R., 1993. Types of tree windthrow, their impact on the environment and their importance for the understanding of archaeological excavation data. *Helinium* 33 (1), 36-49.
- Lemée G., 1953. Observations sur la végétation actuelle et son évolution postglaciaire dans le massif du Mézenc. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 100, fasc. 10 : 67-77 ; 80^e sess. extr. SIGMA.
- Lemée G., 1955. L'évolution de la forêt française au cours du Quaternaire d'après les analyses polliniques. *Rev. For. Fr.* 6, 442-460.
- Lemée G., 1963 a. L'évolution de la végétation et du climat des Hautes Vosges centrales depuis la dernière glaciation. In : *Le Hohneck, aspects physiques, biologiques et humains*, édité par l'Assoc. phil. Als. Lorr., Centenaire, Strasbourg, 185-192.
- Lemée G., 1963 b. Un exemple de la dynamique des groupements végétaux dans un lac-tourbière de cirque glaciaire vosgien : la tourbière du Frankenthal. In : *Le Hohneck, aspects physiques, biologiques et humains*, édité par l'Assoc. phil. Als. Lorr., Centenaire, Strasbourg, 193-196.
- Leser G., 1998. La conquête des Hautes-Chaumes par les marcaires de la vallée de Munster. In : *La conquête des Hauts. Explorateurs des Hautes-Vosges du X^e au XIX^e siècle*. Coll. PNR Ballons des Vosges, *Dialogues Transvosgiens* n°2, Fombaron J.-C., Gueth F., Leser G. & Stoehr B.(dir.), 18-23.
- Litt T., Brauer A., Goslar T., Merkt J., Balaga K., Müller H., Ralska-Jasiewiczowa M., Stebich M. & Negendank J.F.W., 2001. Correlation and synchronisation of Lateglacial

- continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments. *Quat. Science Reviews* 20, 1233-1249.
- Mäckel R., Schneider R. & Seidel J., 2003. Anthropogenic impact on the landscape of southern Badenia (Germany) during the Holocene. Documented by colluvial and alluvial sediments. *Archaeometry* 45, 3, 487-501.
- Magny M., 1994. Holocene climatic oscillations in Jura and Alps: oceanic and solar forcing ? *C.R. Acad. Sci. Paris* 319, série II, 667-674.
- Magny M., 1995. *Une histoire de climat*. Ed. Errance, 175 p.
- Magny M. & Bravard J.-P., 2002. Variations paléohydrologiques en France depuis 15 000 ans - Une introduction. In : *Les fleuves ont une histoire - Paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*. Bravard J.-P. & Magny M. (dir.), Ed. Errance, 312 p., 303-312.
- Maman O., Marseille F., Guillet B., Disnar J.R. & Morin P., 1996. Separation of phenolic aldehydes, ketones and acids from lignin degradation by capillary zone electrophoresis. *Journal of Chromatography A*. 755, 89-97.
- Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E. & Donner J.J., 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas* 3, 109-128.
- Martin Ch., 2000. *Analyse des monomères de la lignine de sols de prairie et de sols forestiers échantillonnés au Rossberg dans les Vosges*. Mém. Maîtrise Sc. de l'Environnement, 25 p + annexes.
- Mauvilly, 1991. Le Paléolithique (2 000 000 - 8200 av. J.-C.). In : *L'archéologie en Alsace*, Baud G., Jeunesse C., Voegtlin M. & Voegtlin C. (dir.). Assoc. Pour la Promotion de la Recherche Archéo en Alsace (APRAA), Hors Série, 90 p.
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Curt Stager J., Karlen W., Maascha K.A., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveling S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G, Racki F., Staubwasser M., Schneider R.R. & Steiglitz E.J., 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62, 243– 255.
- Ménillet F., 1982. Alluvions. In : *Encyclopédie de l'Alsace*, vol. 1. Ed. Publitotal, Strasbourg, 121-124.
- Ménillet F. *et al.*, 1976. Notice explicative de la carte géologique de Munster (377). BRGM, 66 p.
- Ménillet F., Coulon M., Fourquin C., Paicheler J.-C., Loughon J.-M. & Lettermann M., 1989. Carte géologique de la France à 1/50 000^e, feuille Thann (412). Ed. BRGM, Orléans. Carte + notice, 137 p.
- Mercier J.-L. & Jeser N., 2001. Cartography of the glacial past of the Vosges Mountains. In : Anonymous (Editor), *The International Association of Geomorphologists ; fifth international conference on Geomorphology ; abstracts of conference papers*. Chikai = Transactions - Japanese Geomorphological Union. 22 ; 4, p. C-153.
- Mercier J.-L. & Jeser N., 2004. The glacial history of the Vosges mountains. In : *Quaternary Glaciation - extent and chronology*, Part I : Europe, Ehlers J. & Gibbard P.L. (Eds.), Development in *Quat. Sci.*, Vol. 2a, Amsterdam, Elsevier, 113-118.
- Mercier, J.L., Bourles, D., Kalvoda, J., Vergne V., Braucher R., Paschen A., Raisbeck G.M. & Yiou F., 1999. ¹⁰Be dating of moraines and roches moutonnées at low altitude in continental Europe during the Holocene. *Geophysical Research Abstracts* 1, 576.

- Mercier J.-L., Bourles D.L., Kalvoda I., Vergne V., Braucher R., Paschen A., Raisbeck G.M. & Yiou F., 1999. ^{10}Be dating of moraines and roches moutonnées at low altitude in continental Europe during the Holocene. *Geophysical Research Abstracts* 1, 576.
- Mercier, J.L., Bourles, D., Kalvoda, J., Braucher, R. & Vilimek, V., 2001. The early Holocene deglaciation in European mid-latitude mountains dated by (super 10) Be cosmogenic nuclides ; a case study of the Vosges and Giant mountains. In : Anonymous (Editor), *The International Association of Geomorphologists ; fifth international conference on Geomorphology ; abstracts of conference papers*. Chikei = Transactions - Japanese Geomorphological Union. 22; 4, p. C-153.
- Metailié J.-P., 1981. *Le feu pastoral dans les Pyrénées centrales (Barousse, Oueil, Larboust)*. Ed. du CNRS, Centre Rég. Publication de Toulouse, Paris, 297 p.
- Metailié J.P., 1992. Anthracologie, proto-industries et nouvelles perspectives en histoire des forêts. *Bull. Soc. Bot. France* 139, *Actual. Bot.* (2/3/4), 579-586.
- Meunier J.-D., Colin F. & Alarcon C., 1999. Biogenic silica storage in soils. *Geology* 27, 9 : 835-838.
- Meunier J.-D., Alexandre A., Colin F. & Braun J.-J., 2001. Intérêt de l'étude du cycle biogéochimique du silicium pour interpréter la dynamique des sols tropicaux. *Bull. Soc. Géol. France* 172, n°5, 533-538.
- Michler M., 2005. *Carte archéologique de la Gaule : les Vosges (88)*. M. Provost (dir. sc.), Acad. des inscriptions et Belles-Lettres, Min. éduc. nat., Min. Rech., Paris, 426 p.
- Morang R., 2006. *Les modalités de reconquête forestière sur les chaumes du Petit Ballon*. Mém. Master 1, Géosc. Env. et Risques, ULP Strasbourg I, 119 p.
- Mougeot J.B., 1846. *Considérations générales sur la végétation du département des Vosges - Extrait de la statistique du département des Vosges*. Par H. Lepage et Ch. Charton. « *Histoire Naturelle - Règne végétal* ». Epinal, 353 p.
- Munaut A.V., 1967. *Recherches paléo-écologiques en basse et moyenne Belgique*. Thèse, Univ. Louvain, 190 p.
- Nölken W., 2005. *Holzkohleanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte der Vogesen*. Thèse de Doctorat, Fakultät für Biologie, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau, 182 p.
- Nonn H., 1983. Déboisements. In : *Encyclopédie de l'Alsace*, vol. 4, Ed. Publitotal, Strasbourg, 2284-2287.
- Normand B., 1998. *La civilisation celtique entre Vosges et Forêt Noire (VIII^e – V^e siècle av. J.-C.)*. Ed. Le Verger, Aubenas, France, 159 p.
- Oberdorfer E., 1937. Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Oberelsasses und der Vogesen. *Zeitschrift f. Botanik* 3 , 513-572.
- Oberti D., 1990. *Catalogue des stations forestières des Vosges alsaciennes. Fasc. n° 3 : Types stationnels des collines sous-vosgiennes*. Min. Agri. et Forêt, DRAF, Conseil Régional, SRF, ONF Alsace, ENGREF, IFN, 573 - 898.
- Ochsenbein G., 1963. La végétation du Hohneck. In : *Le Hohneck - Aspects physiques, biologiques et humains*. Ed. Assoc. Philom. Alsace Lorraine, pour le Centenaire de l'Assoc., 450 p, 157-184.
- Ochsenbein G., 1966. La flore du massif du Rossberg. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, 52^e vol., 7-10.
- Ochsenbein G., 1972. *Fleurs des Vosges*. Ed. SAEP Colmar-Ingersheim, 183 p.
- Ochsenbein G., 1977. Reconstitution du tapis végétal après les glaciations. *Saisons*

- d'Alsace*, N.S., n°61-62, 22^e année, 27-43.
- OREAM Lorraine, OEDA Alsace, Mission Régionale de Franche-Comté, 1976. *Les paysages dans l'aménagement du massif vosgien - Schéma d'orientation et d'aménagement du massif vosgien*. Etude réal. par J. Sgard, OREAM Lorraine, OEDA Alsace, avec la coll. de F. Bresch et Y. Canaguier, Metz, 67 p.
- Pétrequin P. & Jeunesse C., 1995. *La hache de pierre : carrières vosgiennes et échanges de lames polies pendant le Néolithique (5400 - 2000 av. J.-C.)*. Ed. Errance, Paris, 128 p.
- Pétry F., 1984. Histoire de l'agriculture. In : *Encyclopédie de l'Alsace* vol. 7, Ed. Publitotal, Strasbourg.
- Piperno D.R., 1988. *Phytolith analysis. An archaeological and geological perspective*. Academic press, San Diego, 280 p.
- Piperno D.R. & Becker P., 1996. Vegetational history of a site in the Central Amazon basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. *Quaternary Research* 45, 202-209.
- Ponel P., 1994. Les fluctuations climatiques au Pléniglaciaire würmien déduites des assemblages d'Arthropodes fossiles à La Grande Pile (Haute-Saône). *C.R. Acad. Sci. Paris* 319, série II, 845-852.
- Preusser H., 1980. Evolution récente dans l'économie des Hautes Chaumes des Vosges. *Mosella, Revue du Centre d'Etudes géographiques de l'Univ. de Metz*, T. X, 91-110.
- Quézel P. & Rioux J. A., 1954. L'étage subalpin dans le Cantal (Massif Central de France). *Vegetatio: Acta Geobotanica* 4 (6), 345-378.
- Quilès D., Rohr V., Joly K., Lhuillier S., Ogereau P., Martin A., Bazile F. & Vernet J.L., 2002. Les feux préhistoriques holocènes en montagne sub-méditerranéenne : premiers résultats sur le Causse Méjean (Lozère, France). *C.R. Aca. Sc., Paléontologie humaine et préhistoire*, 59-65.
- Rameau J.C., Mansion D., Dumé G., Lecointe A., Timbal J., Dupont P. & Keller R., 1993. *Flore forestière française. Guide écologique illustré. 2. Montagnes*. Institut pour le Dév. Forestier, Min. Agri. et Pêche, Dir. Esp. Rural et Forêt, ENGREF, 2421 p.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Warren Beck J., Bertrand C.J.H., Blackwell P.G., Buck C.E., Burr G.S., Cutler K.B., Damon P.E., Lawrence Edwards R., Fairbanks R.G., Friedrich M., Guilderson T.P., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., McCormac G., Manning S., Bronk Ramsey C., Reimer R.W., Remmele S., Southon J.R., Stuiver M., Talamo S., Taylor F.W., van der Plicht J. & Weyhenmeyer C.E., 2004. INTCAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* vol. 46, 1029-1058.
- Reitzer J.-L. (dir.), 1990. *Les Vosges du Sud. Du Rossberg au Ballon d'Alsace (histoire, traditions, promenades)*. Centre de Ressources des Vosges du Sud, Ed. La Nuée Bleue, Strasbourg, 125 p.
- REKLIP, 1996. *Atlas climatique du fossé rhénan - Klima-atlas Oberrhein Mitte-Süd*. Editeurs : IFG (Institut für angewandte Geowissenschaften), Offenbach ; vdf Hochschulverlag AG an der ETH, Zurich ; Editions Coprur, Strasbourg ; 2 vol : 74 cartes, 212 p.+ annexes.
- Richard H., 1990. Premiers résultats des analyses polliniques appliquées aux paléoméandres de la Moselle. *Revue Géog. de l'Est* n°1, *Géoarchéologie des paysages : Genèse des fonds de vallées de l'Est de la France (Géomorphologie Quaternaire)*, 49-56.

- Rickenbacher M., 2007. L'extension de la carte de France vers la « Suisse » entre 1780 et 1815. In : *le Monde des Cartes - CFC*, n°191, 25-39.
- Riols A., 1992. Les verreries forestières et les charbonnières du Causse de l'Hortus (Hérault). Sources historiques et sites archéologiques. *Bull. Soc. Bot. France* 139, *Actual. Bot.* (2/3/4), 609-616.
- Riquier J., 1960. Les phytolithes de certains sols tropicaux et des podzols. *7th Intern. Congress of Soil Science*, Madison, Wisc., U.S.A., V.60, Reprint Transactions Vol. IV, 425-431.
- Rosenblatt F., 1983. La voie romaine de la vallée de la Thur. *Les Vosges* 2, 7-9.
- Rosenblatt F., 1989. La réaction seigneuriale dans la vallée de Saint-Amarin à la fin de l'Ancien Régime. In : *La Révolution française et l'Alsace*, Cernay, 53-64.
- R.P., 1995. *Référentiel Pédologique*. D. Baize & M.C. Girard (coord.), Assoc. Française pour l'Etude des Sols, Ed. INRA, Paris, 332 p.
- Ruellan A., 1971. L'histoire des sols : quelques problèmes de définition et d'interprétation. *Cahiers ORSTOM, sér. Pédol.* 9, 3, 335-343.
- Ruhland M., 1969. Histoire géologique du lac de Sewen (Haut-Rhin). *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, 53^e vol., 3-8.
- Salomé A.I., 1968. *A geomorphological study of the drainage area of the Moselotte and upper Vologne in the Vosges (France)*. Thèse, Utrecht, 98 p.
- Schlooss S., 1979. Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen im Sewensee. Ein Beitrag zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte der Sudvogesen. *Dissertationes Botanicae* (Cramer, Vaduz, Lehre), 52.
- Schnitzler A. & Closset D., 2003. Forest dynamics in unexploited birch (*Betula pendula*) stands in the Vosges (France) : structure, architecture and light patterns. *Forest Ecology and Management* 183, 205-220.
- Schwartz D., Mariotti A., Trouvé C., Van Den Borg K. & Guillet B., 1992. Etude des profils isotopiques ¹³C et ¹⁴C d'un sol ferrallitique sableux du littoral congolais. Implications sur la dynamique de la matière organique et l'histoire de la végétation. *C.R. Acad. Sci. Paris* 315, sér. II, 11, 1411-1417.
- Schwartz D., Elenga H., Vincens A., Bertaux J., Mariotti A., Achoundong G., Alexandre A., Belingard C., Girardin C., Guillet B., Maley J., de Namur C., Reynaud-Farrera I. & Youta Happi J., 1997. Origine et évolution de savanes des marges forestières en Afrique centrale atlantique (Cameroun, Gabon, Congo). Approches aux échelles millénaires et séculaires. *Actes du Symposium ECOFIT. Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Paris, 20-21 Mars 1996.
- Schwartz D., Bernardy L., Jouve-Litaudon C. & Vonna A., 2003. Le Bickenberg à Osenbach (Haut-Rhin) – Etude d'un paysage d'enclos médiéval sur les collines calcaires sèches sous-vosgiennes. *Revue Géographique de l'Est*, t. XLIII, 2003, n°3/Septembre, Les Vosges : vieux terroirs, nouveaux espaces, 81-94.
- Schwartz D., Thinon M., Goepf S., Schmitt C., Casner J., Rosique T., Wuscher P., Alexandre A., Dambrine E., Martin C., Guillet B., 2005. Premières datations directes de défrichements protohistoriques sur les chaumes secondaires des Vosges (Rossberg, Haut-Rhin). Approche pédoanthracologique. *C.R. Géosc.* 337, 1250-1256.
- Schweingruber F.H., 1978. *Mikroskopische Holzanatomie. Anatomie microscopique du bois. Microscopic Wood Anatomy*. Ed. Birmensdorf, Suisse, 230 p.

- Schweingruber F.H., 1990. *Anatomie europäischer Hölzer. Anatomy of european woods.* Eidgenoss. Forschungsanst für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. Verlag Paul Haupt, Bern, 800 p.
- Sell Y., Berchtold J.-P., Callot H., Hoff M., Gall J.-C. & Walter J.-M., 1998. *L'Alsace et les Vosges. Géologie, milieux naturels, flore et faune.* Bib. du naturaliste, Ed. Delachaux et Niestlé, Paris, 352 p.
- Seret G., 1967. *Les systèmes glaciaires de la vallée de la Moselle et leurs enseignements.* Soc. Royale Belge de Géo., Bruxelles, 577 p.
- Shackleton N.J., 1969. The last interglacial in the marine and terrestrial records. *Proc. of the Royal Soc. B* 174, 135-154.
- Sigaut F., 1975. *L'agriculture et le feu, rôle et place du feu dans les techniques de préparation du champs de l'ancienne agriculture européenne.* Ed. Mouton & Co., Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 320 p.
- Simon A., 1992. Sur les sentiers vosgiens à l'époque préhistorique et romaine. La voie du col du Bonhomme. *Dialogues transvosgiens*, n° double ½, réed. 1992. Ed. ARVA, Ingersheim, 1992, 36-43.
- Sittler C. & Ochsenbein G., 1986. Tourbières. In : *Encyclopédie de l'Alsace* vol. 12, Ed. Publitotal, Strasbourg.
- Souchier B., 1971. *Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges).* Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy, 134 p.
- Stoehr B., 1995. La découverte des Hautes-Vosges par les botanistes du XIX^e siècle. 3^e Rencontre d'histoire des Hautes-Vosges du 20 octobre 1993, Chalet Univ. de la Schlucht. In : *Dialogues Transvosgiens* 10, 61-66.
- Stuiver M., Long A. & Kra R., 1993. Calibration 1993, *Radiocarbon* 35 (1), 1-244.
- Talon B., 1997. *Evolution des zones supra-forestières des Alpes sud-occidentales françaises au cours de l'Holocène : Analyse pédoanthracologique.* Thèse de Sc. spéc. Biol. Pop. et Ecologie, Univ. Droit, Econ. et Sc. Aix Marseille III, Fac. Sc. et Techn St Jérôme, IMEP-CNRS, 210 p.
- Talon B., Carcaillet C. & Thinon M., 1998. Etudes pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'Holocène dans les Alpes françaises. (Pedoanthracological studies of the upper tree-limit change during the Holocene in the French Alps). *Géographie physique et Quaternaire* 52, Issue 2, 195-208.
- Thévenin A., 1984. Histoire de l'agriculture. In : *Encyclopédie de l'Alsace*, vol.7, Ed. Publitotal, Strasbourg.
- Thinon M., 1978. La pédoanthracologie : une nouvelle méthode d'analyse phytochronologique depuis le Néolithique. *C.R. Acad. Sci. Paris* 287, série D, 1203-1205.
- Thinon M., 1992. *L'analyse pédoanthracologique : Aspects méthodologiques et applications.* Thèse Sc. Biologiques, Univ. Droit, Econ. et Sc. d'Aix-Marseille, Fac. Sc. et Tech. de Saint-Jérôme, 317 p.
- Thinon M., 1994 a. Un système rationnel d'identification des charbons de bois pour la pédoanthracologie et l'archéo-anthracologie. *Bull. Soc. linn. Provence*, t.45 – Hommage scientifique à G. Clauzade, 105-117.
- Thinon M., 1994 b. Description codifiée des caractères anatomiques des bois carbonisés des angiospermes dicotylédones et des gnétales. *Bull. Soc. linn. Provence*, t.45 – Hommage scientifique à G. Clauzade, 119-164.

- Thinon M., 1994 c. Description codifiée des caractères anatomiques des bois carbonisés des conifères et des gingkoales. *Bull. Soc. linn. Provence*, t.45 – Hommage scientifique à G. Clauzade, 165-185.
- Toutain, F. 1974. *Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles*. Thèse Univ. Nancy I, 114 p.
- Tricart J., 1963. Aspects et problèmes géomorphologiques du massif du Hohneck. In : *Le Hohneck - Aspects physiques, biologiques et humains*. Ed. Assoc. Philom. Alsace Lorraine, pour le Centenaire de l'Assoc., 450 p, 43-62.
- Tronquart G., 1989. *Le « Camp Celtique » de la Bure, Saint-Dié-des-Vosges*. Ed. Le Chardon, 127 p.
- Twiss P.C., 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In : *Phytolith Systematics*, G. Rapp, Jr & S.C. Mulholland (Eds.), Pleum Press, New Nork and London; 113-128.
- Twiss P.C., Suess E. & Smith R.M., 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33, 109-115.
- Uhlrich L., Ehret J.-M. & Scheubel J., 1988. L'histoire de la vallée de Masevaux : grandes étapes et dates marquantes. *Bull. Soc. Ind. Mulhouse* 809, 113-119.
- Vanpeene Bruhier S., 1998. *Transformations des paysages et dynamique de la biodiversité végétale. Les écotones, un concept clé pour l'étude des végétations post-culturelles. L'exemple de la commune d'Aussois (Savoie)*. Thèse de Docteur de l'ENGREF, « Sc. de l'Env. », Cemagref Grenoble, 312 p. + annexes.
- Vernet J.-L., 1991. L'histoire du milieu méditerranéen humanisé révélée par les charbons de bois. In : *Pour une archéologie agraire*, J. Guilaine (dir.), Ed. Armand Colin, 1991, Paris, 576 p ; 369-408.
- Vernet J.L., Ogereau P., Martin A., Bazile F. & Zeraia L., 2002. Charbonnage historique et anthropisation de la chênaie d'Yeuse (*Quercus ilex* L.), le cas du Causse de l'Hortus (Valflaunès, Hérault). In : *Equilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest*, Actes du Colloque international de Besançon, sept. 2000, Richard H. & Vignot A. (dir.). Besançon : Presses Univ. Franc-Comtoises, 423-430. (*Annales Littéraires* ; 730 ; Série « Environnement, sociétés et archéologie » ; 3).
- Voegtlin C., 1991. L'âge du Bronze (2300 - 750 av. J.Ch.). In : Baud G., Jeunesse C., Voegtlin M. & Voegtlin C. (dir.) : *L'archéologie en Alsace*. Assoc. Pour la Promotion de la Recherche Archéo en Alsace (APRAA), Hors Série, 90 p.
- Vogler B., Bischoff G., Igersheim F., Petry F. & Zumsteeg C., 1998. *L'Alsace une histoire*. 7^e éd., Ed. Oberlin, 224 p.
- Vogt H. & Sittler J., 1972. Le Quaternaire du département du Haut-Rhin. *Bull. Sci. Géol.* 25, fasc.2-3, 127-135, Strasbourg.
- Walkley A. & Black I.A., 1934. An examination of the Degtjarell method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38.
- Wiederkehr J., 2006. *Modalités et conditions de croissance des Hêtres nains sur les zones de reconquête forestière spontanée du Massif du Rossberg*. Mém. Master 1 « Syst. Eco-Géo. », ULP Strasbourg I, 65 p. + annexes.
- Wilding L.P. & Drees L.R., 1968. Biogenic opal in soils as an index of vegetative history in the prairie peninsula. In : R.E. Bergstrom (ed.), *the Quaternary of Illinois*; Univ. Of

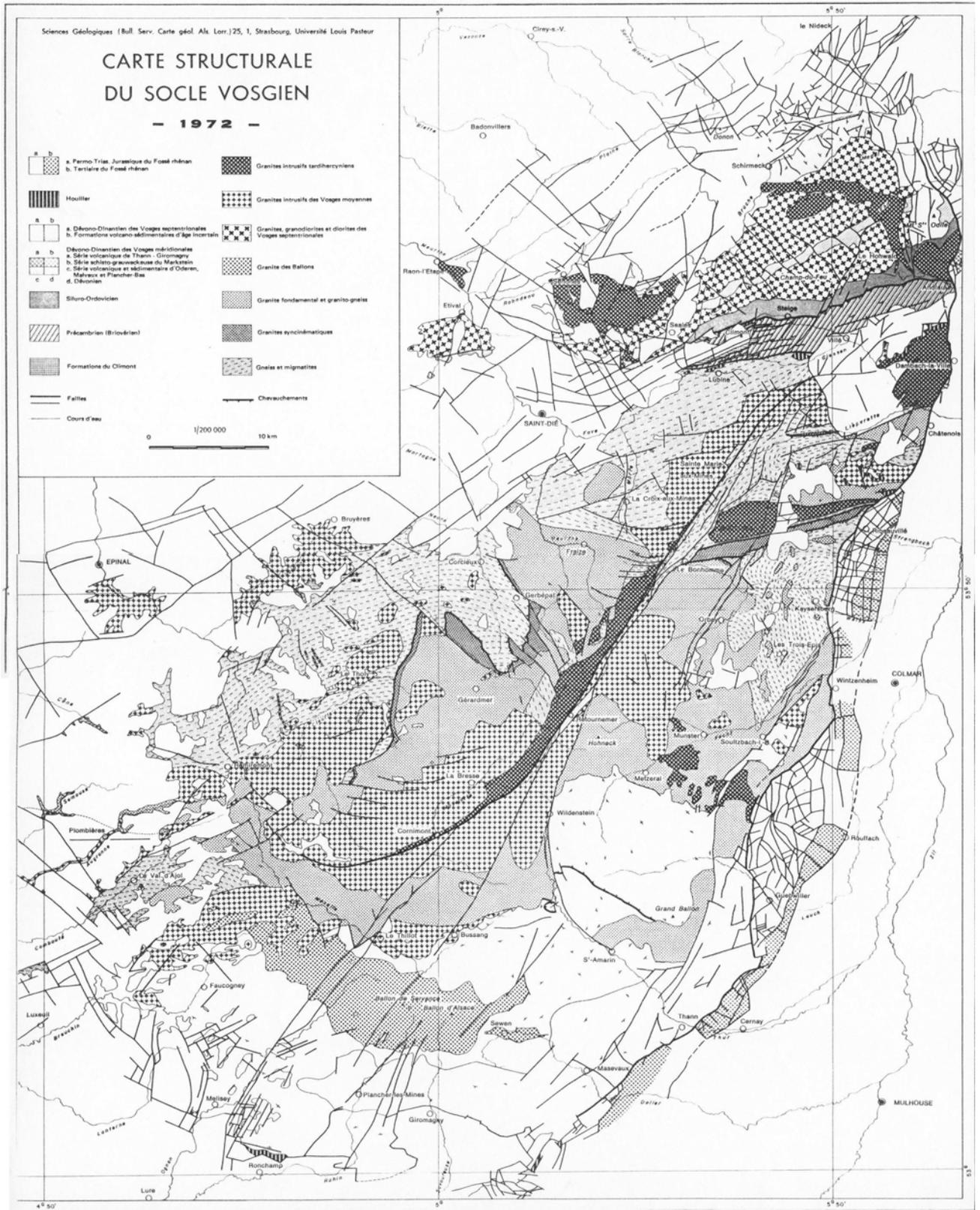
- Illinois, College of Agr. Spec. Publ. 14, 96-103.
- Wilding L.P. & Drees L.R., 1971. Biogenic opal in Ohio soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35; 1004-1010.
- Woillard G., 1978. Grande Pile peat bog : a continuous pollen record for the last 140 000 years. *Quat. Research* 9, 1-21.
- Woillard G., 1979. The last interglacial-glacial cycle at Grande Pile in Northeastern France. *Bull. Soc. belge de Géologie*, Bruxelles, T. 88, fasc. 1, 51-69.
- Woillard G., 1980. The pollen record of Grande Pile (NE France) and the climatic chronology through the last interglacial-glacial cycle. In : Chaline J. (dir.), *Problèmes de stratigraphie quaternaire en France et dans les pays limitrophes*, Dijon, suppl. *Bull. Ass. Fr. Et. Quat.* 1, 95-103.
- Woillard G. & Mook W.G., 1982. Carbon-14 Dates at Grande Pile: Correlation of Land and Sea Chronologies. *Science* 215, 159-161.
- Zehner M., 1998. *Carte archéologique de la France - Haut-Rhin*. N°68, Acad. Inscr. Belles Lettres, Min. Culture, Min. Ens. Sup. et Recherche (etc.), diff. Fondation Maison Sc. Homme, Paris, 375 p.

Annexes

Liste des annexes

- Annexe 1 : Carte géologique des Vosges méridionales (von Eller *et al.*, 1972)
- Annexe 2 : Sol brun ocreux humifère (Bonneau *et al.*, 1978)
- Annexe 3 : Sol ocre podzolique (Bonneau *et al.*, 1978)
- Annexe 4 : Profil de ranker cryptopodzolique (Bonneau *et al.*, 1978)
- Annexe 5 : Carte provisoire de la limite climatique de la forêt dans le massif du Hohneck établie par Carbiener (1966)
- Annexe 6 : Diagramme palynologique de la Grande Pile, d'après Woillard (1979)
- Annexe 7 : Analyse palynologique de la tourbière du tanet (Janssen & Janssen-Kettlitz, 1972)
- Annexe 8 : Protocoles d'analyses pédologiques.
- Annexe 9 : Protocole d'extraction des charbons de bois des échantillons de sol
- Annexe 10 : Protocole d'extraction des phytolithes de sols
- Annexe 11 : Extrait du tableau d'assemblage de plan du cadastre napoléonien de la commune de Moosch (vallée de la Thur, 1813)
- Annexe 12 : Extrait d'une carte topographique allemande (1942) du secteur du Rossberg, n° 8108 TANN (Thann)
- Annexe 13 : Questionnaire sur les feux de forêt
- Annexe 14 a : Profil de sol du Gazon du Faing 1
- Annexe 14 b : Profil de sol du Gazon du Faing 2
- Annexe 15 : Masses de charbons obtenues après extraction, masses et pourcentages des éléments grossiers > 5 mm, de 2 à 5 mm et des sables de 0,4 à 2 mm.
- Annexe 16 : Calibrations des datations d'après Reimer *et al.* (2004)
- Annexe 17 : Feuille de calcul des vitesses (moyennes, minimales et maximales) de migration des charbons dans les sols

Annexe 1 : Carte géologique des Vosges méridionales (von Eller *et al.*, 1972)



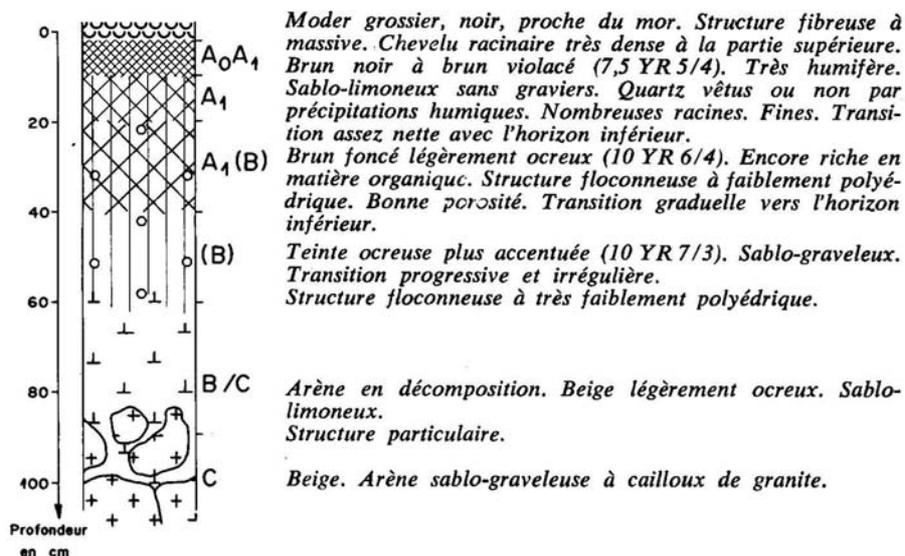
Annexe 2 : sol brun ocreux humifère (Bonneau *et al.*, 1978)**PROFIL 706****Sol brun ocreux humifère**

IGN 1/25 000 Gérardmer 7-8 - Le Tanet (88) - E : 7°03'03" - N : 48°04'58" - Altitude 1 240 m.

Topographie : Replat (pente légère vers le NW).

Roche-mère : Granite fondamental.

Végétation : Chaume résultant d'une dégradation ancienne de la forêt; *Vaccinium myrtillus*, *Nardus stricta*, *Deschampsia flexuosa*, *Festuca rubra*, *Gentiana lutea*, *Vaccinium uliginosum*; *Vaccinium vitis idaea*, *Calluna vulgaris*.



Prof.	Hor.	Granulométrie %					M.O. %	N total %	C/N	pH
		SG	SF	LG	LF	A.				
0-40	A ₀ A ₁						53,6	0,90	29,8	3,3
10-20	A ₁	40,2	8,0	6,0	15,7	15,8	10,4	0,33	15,8	3,4
20-40	A ₁ (B)	73,5	5,6	2,9	7,1	6,7	5,0	0,08	31,2	3,6
40-60	(B)	71,5	5,4	3,7	9,4	6,4	2,5	0,09	13,5	3,7
60-80	B/C	53,3	9,8	6,2	16,2	10,7	1,1	0,03	18,7	3,6

Prof.	Hor.	Bases échangeables m.e/100 g					S/T	Elém. libres ‰		
		Ca	Mg	K	S	T		Fe	Al	Si
0-10	A ₀ A ₁	0,80	0,56	0,82	1,38	24,6	5,6	7,2	4,0	1,6
10-20	A ₁	0,23	0,22	0,23	0,68	12,8	5,3	9,6	4,0	1,2
20-40	A ₁ (B)	0,02	0,06	0,02	0,10	2,4	4,2	11,6	6,0	0,8
40-60	(B)	0,03	0,07	0,02	0,12	3,2	3,8	8,4	4,6	0,8
60-80	B/C	0,01	0,01	0,02	0,04	3,8	1,1	6,4	5,6	1,0

— Sol très humifère (5 % de matière organique à 40 cm).

— pH et taux de saturation très bas, C/N élevé, peuvent être considérés comme des caractères de sols de la série podzolique. Cependant, les valeurs élevées du rapport C/N sont liées à l'abondance des éricacées dans la pelouse.

— Les caractères de sol brun ocreux se marquent par la faible redistribution de l'aluminium et du fer, ce qui différencie ce profil du sol ocre podzolique.

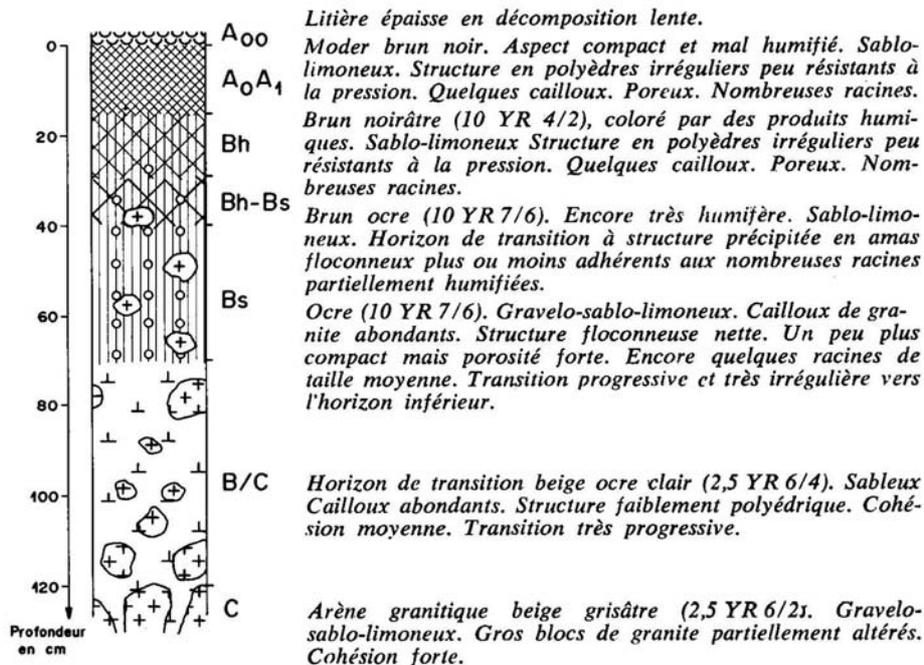
Annexe 3 : Sol ocre podzolique (Bonneau et al., 1978)

PROFIL 161
Sol ocre podzolique

IGN 1/25 000 Gerardmer 7-8 - Le Rudlin (88) - E : 7°03'20" - N : 48°07'10" -
Altitude 950 m - Pente 50 % - Exposition Sud.

Roche-mère : Granite.

Végétation : Sapinière à flore acidiphile (*Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*,
Luzula maxima, *Dicranum scoparium*, *Hypnum loreum*).



Prof.	Hor.	Granulométrie %					M.O. %	C/N	pH
		SG	SF	LG	LF	A.			
0-15	A ₀ A ₁	44	7,7	4,4	15,3	9,7	19,5	22	3,7
25-30	Bh	35	13	4,0	19,0	14,8	14,4	26	3,6
50-60	Bs	46,7	13,7	4,9	18,8	9,7	5,2	26	3,9
<120	C	56	16,3	9,7	14,2	3,1	0,7	13	4,1

Prof.	Hor.	Bases échangeables m.e./100 g					S/T	Mn éch. ‰	Elém. libres ‰			P ₂ O ₅ ‰
		Ca	Mg	K	S	T			Fe	Al	Si	
0-15	A ₀ A ₁	0,35	0,3	0,25	0,90	27	3		8,6	3,1	3,6	0,01
25-30	Bh	0,5	0,2	0,15	0,85	25	3		15,1	8,0	3,6	tr.
50-60	Bs	0,4	0,15	0,05	0,60	11,5	5	0,02	14,4	8,2	6,3	0,01
<120	C	0,45	0,10	0,10	0,65	7,0	9	0,02	7,2	6,7		tr.

- Moder épais faiblement humifié.
- Incorporation profonde de la matière organique sans pour autant masquer l'horizon Bs bien marqué.
- Profil complètement désaturé, très pauvre en bases.
- Redistribution du fer importante au niveau Bh et migration de l'aluminium diffuse et plus profonde.

Annexe 4 : Profil de ranker cryptopodzolique (Bonneau *et al.*, 1978)

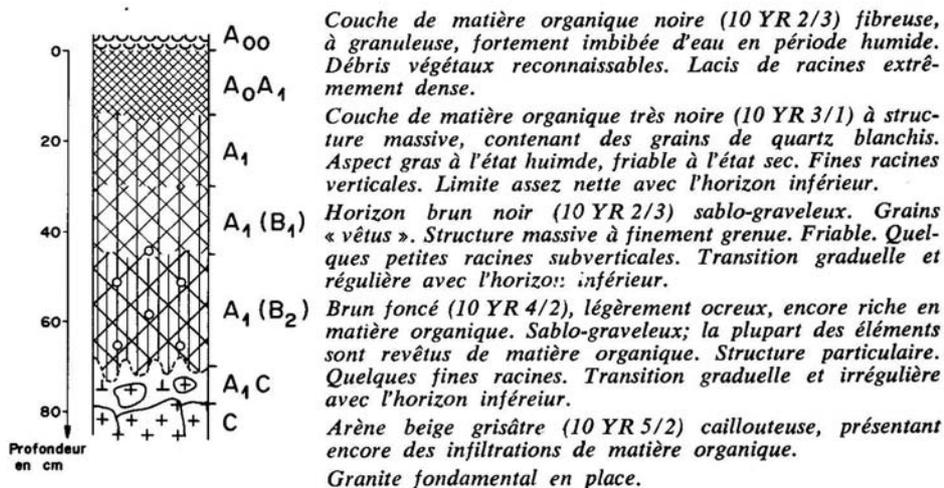
PROFIL 704
Ranker cryptopodzolique

IGN 1/25 000 Gérardmer 7-8 - Le Gazon de Faite (88) - E: 7°03'59" - N: 48°05'55" - Altitude 1 300 m.

Topographie: Sommet d'un dôme. Pente très faible vers SW.

Roche-mère: Granite fondamental.

Végétation: Pelouse pseudo-alpine: *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis idaea*, *Calluna vulgaris*, *Nardus stricta*, *Deschampsia flexuosa*, *Festuca rubra*, *Gentiana lutea*.



Prof.	Hor.	Granulométrie %					M.O. %	C org. %	N total %	C/N	pH
		SG	SF	LG	LF	A					
0-15	A ₀ A ₁						57,2	28,6	1,32	21,7	3,2
15-30	A ₁						26,0	13,0	0,57	22,8	3,1
30-45	A ₁ B ₁₁	52,6	9,6	4,6	7,9	7,9	18,4	9,2	0,31	29,7	3,5
45-70	A ₁ B ₁₂	59,8	9,8	5,2	7,3	6,4	8,4	4,2	0,18	23,3	3,5
70-80	A ₁ C	56,5	12,0	8,9	10,8	4,0	5,8	2,9	0,10	29,0	3,7

Prof.	Hor.	Bases échangeables m.e./100 g					S/T	Elém. libres %		
		Ca	Mg	K	S	T		Fe	Al	Si
0-15	A ₀ A ₁	7,60	2,38	1,84	11,8	62,6	18,9	3,2	2,4	1,6
15-30	A ₁	0,70	0,40	0,41	1,51	38,2	4,0	5,6	4,0	1,6
30-45	A ₁ B ₁₁	0,20	0,15	0,11	0,46	17,0	2,7	6,4	4,4	0,8
45-70	A ₁ B ₁₂	0,30	0,10	0,05	0,45	16,8	2,6	10,8	8,8	1,2
70-80	A ₁ C	0,40	0,16	0,09	0,65	10,0	6,5	5,8	5,0	0,8

— Profil extrêmement riche en matière organique, surtout dans les horizons supérieurs, mais pénétration fulvique jusque dans la zone d'arénisation profonde.

— C/N relativement élevé en raison de l'abondance des éricacées.

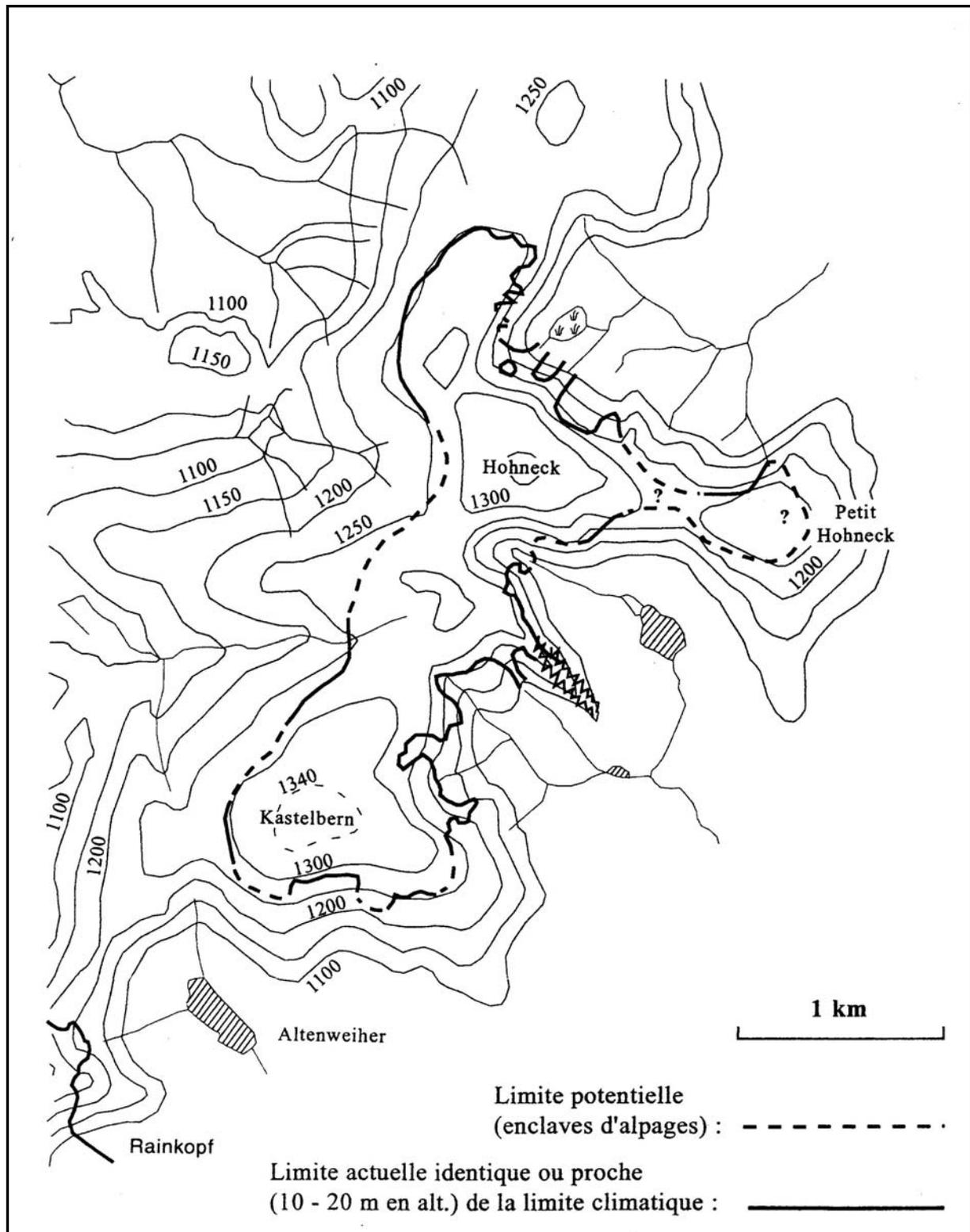
— Début de podzolisation marqué par :

- pH et S/T très bas,

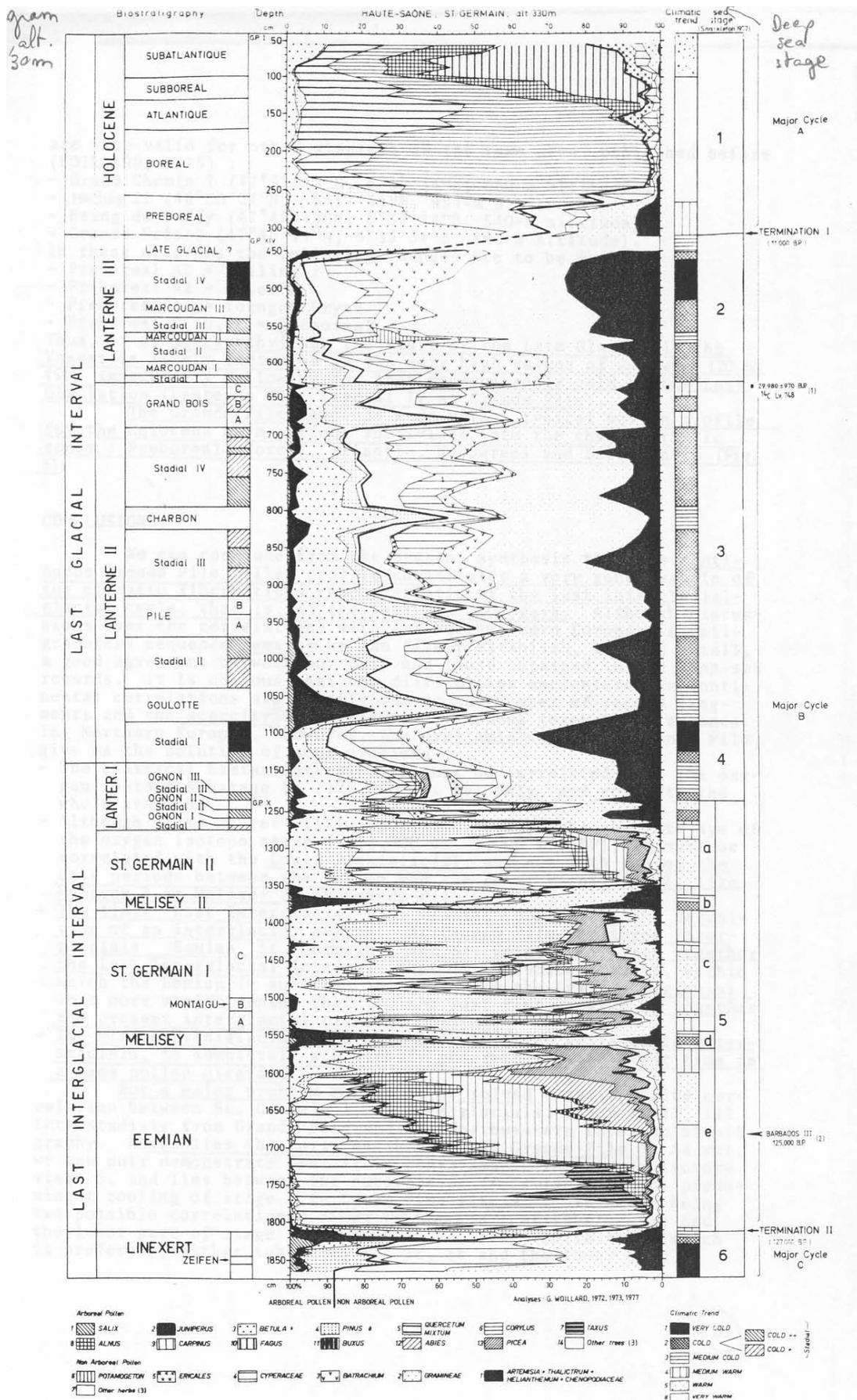
- redistribution moyenne de l'aluminium et du fer.

La cryptopodzolisation chimique est accentuée dans les stations à éricacées.

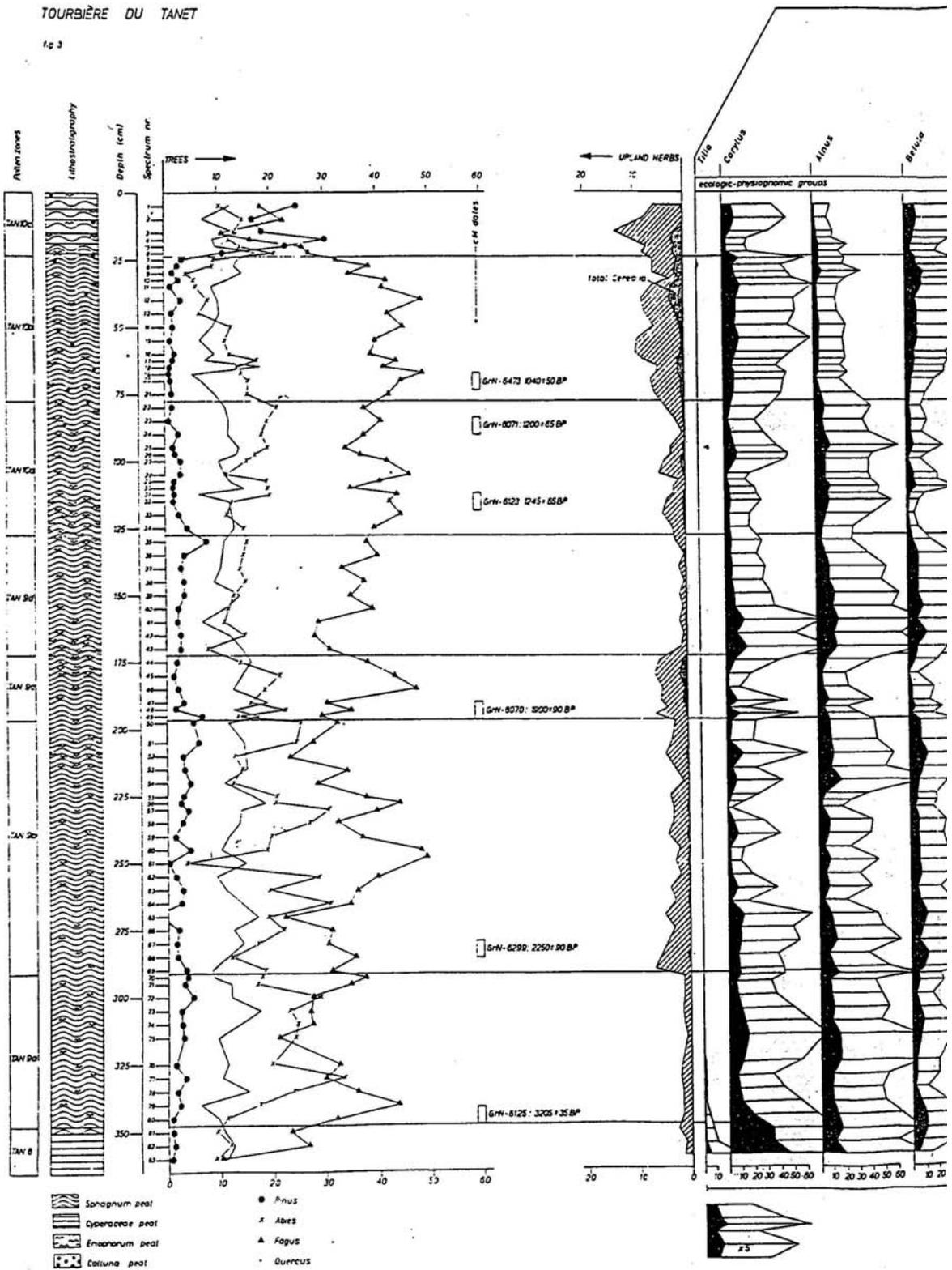
Annexe 5 : Carte provisoire de la limite climatique de la forêt
dans le massif du Hohneck établie par Carbiener (1966)



Annexe 6 : Diagramme palynologique de la Grande Pile (Woillard, 1979)



Annexe 7 : Analyse palynologique de la tourbière du tanet (Janssen & Janssen-Kettlitz, 1972)



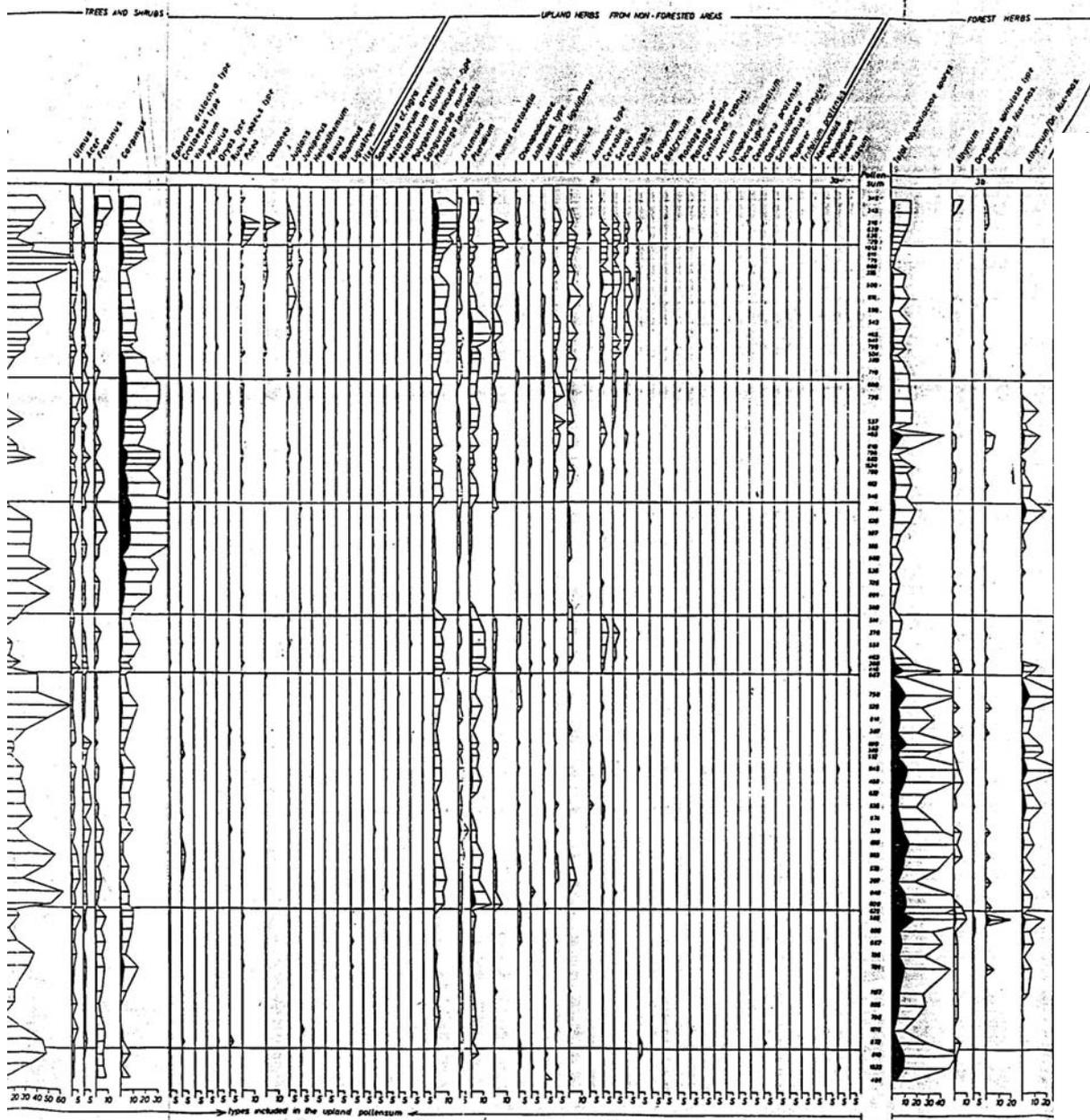


FIG. 3. — Pollen diagram of the Tourbière du Tanet.

Annexe 8 : Protocoles d'analyses pédologiques

- Densité apparente (D_a) :

Un cylindre de volume connu (250 cm^3) est enfoncé dans le sol, en évitant le plus possible les tassements. L'échantillon est pesé après avoir été séché à l'étuve à 105 °C . La densité apparente est calculée par le rapport entre la masse d'un échantillon sec et le volume occupé par cette masse d'échantillon.

- $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et pH_{KCl} :

Les mesures de pH ont été effectuées à partir du protocole préconisé par le R.P. (1995), à savoir que la mesure s'est faite dans un rapport eau/terre égal à 2,5. 20 g d'échantillons sont donc placés dans 50 ml d'eau distillée (ou de solution KCl de concentration normale N) et mélangés. Le pH de la solution est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.

- Matière organique :

Les taux de matière organique d'un échantillon (de quelques grammes) sont déterminés grossièrement par Perte Au Feu (PAF) à 375 °C pendant une durée de 16 heures. La méthode de la Perte Au Feu donne des ordres de grandeur, les valeurs obtenues pouvant servir de base pour la prise d'essai des échantillons dans le protocole de dosage du carbone organique. Les résultats sont exprimés en % du poids initial de l'échantillon (avant perte au feu).

Ce taux ne tient pas compte de l'humidité résiduelle de l'échantillon avant perte au feu. Les résultats sont relativement approximatifs, mais peuvent être utilisés pour la prise d'essai lors du dosage du carbone organique.

- Carbone organique :

La méthode utilisée est celle de Walkley & Black (1934).

Principe : on fait agir sur le sol, dans des conditions bien définies, une quantité connue d'un corps oxydant dont on dose l'excès inutilisé. Pour le calcul, on admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser. L'oxydation se fait par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès est dosé par le sel de Mohr en présence de diphénylamine et de fluorure de sodium qui forme avec les ions ferriques gênants un sel peu dissocié.

- Azote et Carbone totaux :

Certains échantillons ont fait l'objet d'une double analyse de carbone et d'azote par un analyseur CHN (INRA de Nancy Champenoux). Les échantillons sont tamisés par voie humide à $50 \mu\text{m}$, cette fraction fine est mise à flocculer (5 mg/l de CaCl_2 à $55,5 \text{ g/l}$), séchée puis pesée. L'échantillon est ensuite broyé finement avec des billes de verre. Chaque échantillon est pesé puis placé dans une capsule pour passage au spectromètre de masse.

- Granulométrie :

Les fractions granulométriques sont exprimées en pourcentage de la fraction minérale obtenue après tamisage à 2 mm , destruction de la matière organique par de l'eau oxygénée

(H₂O₂) et élimination des ions flocculants. L'élimination de la matière organique permet de détruire des agrégats dont la taille est supérieure aux fractions granulométriques réelles. Les mesures sont ensuite effectuées au Granulomètre Laser. Les fractions granulométriques retenues sont les suivantes :

Argiles (A)	0 - 2 µm
Limons fins (LF)	2 - 20 µm
Limons grossiers (LG)	20 - 50 µm
Sables fins (SF)	50 - 200 µm
Sables grossiers (SG)	200 - 2000 µm

Annexe 9 : Protocole d'extraction des charbons de bois des échantillons de sol

1/ Protocole de prélèvements :

Des prélèvements systématiques de sols sont effectués, d'environ 10-12 kg de sol par niveau, sur 5 cm d'épaisseur. Dans certains sols, nous prélevons tous les 10 cm (soit un niveau sur deux), dans d'autres tous les 5 cm (prélèvement systématique). Le choix est fonction de l'épaisseur et de la nature du sol.

Ces prélèvements ont toujours été effectués à partir d'une fosse pédologique, sur l'un des profils de la fosse. Ils sont effectués du haut en bas car les quantités d'échantillons prélevées constituent une difficulté à effectuer les prélèvements du bas en haut.

Les principales campagnes de terrain se sont déroulées au cours des étés 2003 et 2004. Des fosses pédologiques ont été creusées, après repérages préliminaires (localisation des futures fosses, en fonction de la végétation, des pentes...). La meilleure localisation de la fosse dépend de la pente, le type de végétation, l'absence de perturbations anthropiques (amendement des pâtures, tranchées de guerre, semelle de labours...) ou de perturbations du sol ou du soubassement (solifluxion, paléosol...). La fosse doit être la plus profonde possible, si possible jusqu'à l'horizon C, ce qui dépend de l'épaisseur du sol.

2/ Protocole d'extraction :

2.1. Première phase d'extraction des charbons :

1°. Peser l'échantillon initial de sol.

Celui-ci doit être sec, l'idéal étant de l'avoir laissé sécher à l'air libre, et idéalement être de l'ordre de 10 kg, éléments grossiers compris. Il doit être parfaitement identifié par un code permettant de retrouver la localisation, le n° de profil, la profondeur de prélèvement, l'épaisseur du prélèvement,...

2° Remplir partiellement une bétonnière ou une cuve rotative d'eau. Verser l'échantillon dans la bétonnière, et la faire tourner sur une position inclinée.

Ceci permet de désagréger le sol, de mettre en suspension les matières organiques légères (fragments de feuille, fragments de racines, certains charbons,...), ainsi qu'une bonne partie de la fraction minérale fine du sol (argiles, une partie des limons).

Au bout d'un laps de temps peu précis, mais de l'ordre de la dizaine de minutes, incliner la sortie de la cuve de la bétonnière au dessus d'un tamis de 400 microns aux bords surélevés par un seau dont on aura découpé au préalable le fond. Couper le moteur, verser l'eau sur le tamis, sur lequel viendront sédimenter les fragments végétaux.

Répéter l'opération 2 fois ; s'il reste encore des fragments végétaux, continuer jusqu'à ce qu'il n'y en ait plus.

3° Recueillir la fraction légère en rinçant soigneusement à l'eau, sous un robinet en remuant avec un gros pinceau de peintre (à poils longs et soyeux). Recueillir les éventuels gros

charbons visibles à l'oeil nu à la pince, les mettre dans un récipient.

On aura au préalable introduit dans ce récipient (pot de yaourt) un fond de défloculant (hexamétaphosphate de sodium à 100 g/l), puis de l'eau jusqu'à la moitié de la hauteur du récipient. Ne pas oublier de mettre sur le récipient une étiquette d'identification précise.

Récupérer à la cuiller la fraction légère, la mettre également dans un récipient avec un fond d'hexamétaphosphate et de l'eau. A la fin, récupérer le reste par rinçage, d'abord à l'eau courante (tuyau flexible relié au robinet), puis à la pissette. L'échantillon final conservé dans son bocal doit être entièrement recouvert d'eau. Ne pas oublier, là non plus, l'étiquette d'identification.

4° Verser le contenu de la bétonnière dans un jeu de tamis, comprenant successivement une maille de 5, 2 et 0,4 mm. Récupérer la colonne de tamis, la poser au fond d'un évier (suffisamment large...). Travailler le tamis supérieur au pinceau, sous l'eau, en commençant systématiquement par un des côtés, et progresser vers l'autre bord.

Récupérer au fur et à mesure les charbons retenus par ce tamis à la pince, et les mettre dans le même récipient que les premiers récupérés au tamis de 0,4 mm avec la fraction légère.

En principe, on trouve peu de charbons dans ce tamis là.

Enlever ce tamis, faire sécher, puis peser les éléments grossiers > 5 mm. Jeter ensuite cette fraction (sachant que les charbons de taille supérieure à 5 mm s'observent très bien à l'oeil nu).

Cette pesée permettra par différence, d'évaluer la quantité totale de matériau de taille 0-5 mm, à laquelle on rapportera à la fin des opérations la masse totale de charbons.

5° Recommencer l'opération avec le tamis de 2 mm. Repérer également les charbons visibles à l'oeil nu, les mettre dans le récipient avec les précédents. Lorsque toute la fraction fine est passée à travers le tamis, récupérer à la cuiller la fraction 5-2 mm, et la transvaser dans des bocaux contenant également un fond d'hexamétaphosphate. Terminer l'opération avec le tuyau flexible, puis à la pissette. Prendre bien soin d'identifier le bocal et la fraction.

6° Faire de même avec le tamis de 0,4 mm (récupérer les charbons, rincer, récupérer le matériau).

2.2. Deuxième phase d'extraction des charbons

But : Obtenir des sables et des échantillons propres pour être placés sur une colonne de lévigation.

2.2.1. Fraction la plus fine (> 400 µm), avec les racines :

Prendre cette fraction, la tamiser à 0,315 mm et la rincer. Rincer doucement afin de ne pas abîmer les charbons.

Laisser les échantillons un à deux jours au minimum dans le défloculant.

Rincer le pot, mettre dans une barquette puis à l'étuve (à 40 °C).

2.2.2. Fractions sableuses (0,4 à 2 mm) et fraction 2-4 mm :

On cherche à mettre de côté le maximum de microracines et de charbons.

Mettre les éléments en suspension en remplissant le bocal avec de l'eau.

Faire passer la fraction de l'échantillon qui est en suspension dans le tamis (0,315 mm).

Remarque : si besoin est, transvaser une partie des sables dans une autre pot pour traiter l'opération en 2 fois (si l'échantillon est trop important).

Répéter l'opération jusqu'à ce que l'eau soit claire.

Récupérer la fraction sableuse à la cuillère, en la plaçant dans une barquette (métal, alu, plastique) puis placer cette barquette à l'étuve à 40 °C.

Remarques :

- Eliminer le maximum d'eau en la passant sur le tamis.
- Etant donné qu'il s'agit un même échantillon (bien que de fractions différentes : > 0,4, 0,4-2, 2-4 mm), on place l'ensemble des 'résidus' (charbons et microracines) dans le même tamis.

On met cette partie ('résidus') à sécher à l'étuve à 40 °C.

Etant donné que cette partie ne peut pas faire l'objet d'une séparations par flottation, on sépare manuellement sous microscope binoculaire ou sous appareil grossissant les charbons et les racines (Nachet Vision GLi 156, 400.000 petites lunettes de Galilée – appareil stéréoscopique).

2.2.3. Tri granulométrique des fractions sableuses :

Une fois sèches, les fractions sableuses font l'objet d'un tri granulométrique à sec comme suit : 4 (ou 5) mm ; 2 mm ; 1,25 mm ; 0,8 mm ; 0,5 mm ; 0,4 mm.

Le principe de la colonne de lévigation est basé sur la loi de Stokes, à savoir que la vitesse de chute des particules est limite constante (vitesse asymptotique). Cette vitesse dépend de la température, de la densité et de la masse des particules, de leur forme (arrondie ≠ anguleuse).

Le problème : faire des classes de taille.

Principe : l'échantillon traverse une colonne d'eau remontante. Le flux de cette colonne d'eau est connu et choisi en fonction de la classe granulométrique choisie.

Seuls les charbons (de densité < aux autres particules) remontent dans la colonne. Ils sont récupérés dans un tamis de 0,315 mm. Toutes les autres particules tombent au fond du système de lévigation.

Pour cette colonne de tri :

classes	débits	vitesse de chute des charbons
> 1,25 mm	1450 l/h	9,38 cm/s (=1300)
1,25 – 0,8 mm	900 l/h	5,41 cm/s (=750)
0,8 – 0,5 mm	750 l/h	4,69 cm/s (=650)
0,5 – 0,4 mm	650 l/h	(600)
0,4 – 0,315 mm	550 l/h	

Ces mesures ont été choisies de façon empirique, pour des charbons les plus denses possibles, afin de ne pas perdre de charbons.

Annexe 10 : Protocole d'extraction des phytolithes de sols

La méthode utilisée est celle préconisée par Kelly (1990), et légèrement modifiée pour être mieux adaptée à la nature des échantillons de sols.

L'extraction se fait sous hotte aspirante et en portant des gants.

Les échantillons sont placés dans des tubes à centrifuger en téflon.

Les déchets acides (surnageant) sont stockés dans un conteneur de rejets chimiques à recycler.

-Sécher tous les échantillons à l'étuve pendant 24 h à 110 °C.

-Tamiser à sec quelques dizaines de g de sol avec un tamis de 2 mm, pour finalement avoir 30g de sol sec < 2mm.

-Broyer légèrement.

-Peser.

Phase de décarbonatation :

- Ajouter 30 ml d'acide chlorhydrique dilué pour 1N.

- Agiter (agitateur mécanique) pendant une heure.

- S'il y a réaction et donc présence de carbonates, on obtient un dégazage et un "pshiiit" à l'ouverture du tube.

- Rincer : ajout d'eau distillée et de quelques gouttes de chlorure de calcium CaCl_2 (floculant) et centrifugation (5 minutes à environ 4000 tours par minute), extraction du surnageant.

- Recommencer l'opération jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de dégazage et rincer deux fois.

Phase d'oxydation de la MO :

- Ajouter 30 ml d'eau distillée.

- Chauffer l'échantillon dans un bain d'eau (T °C de l'eau 100 °C et celle de l'échantillon à 90 °C) ou un bain de sable.

- Lorsque le sol + eau est chaud, ajouter quelques gouttes d'eau oxygénée à 30 % et bien mélanger avec une spatule ou en remuant le tube à centrifuger. Attention à la réaction qui peut être intense.

- Rincer à chaque fin de journée. Répéter l'opération jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de réaction.

Phase de mise en solution du fer :

- Ajouter 30 ml d'eau et 30 ml de citrate de sodium à 88,4 g/l.

- Chauffer au bain de sable ou au bain d'eau à 80 °C.

- Lorsque le sol + citrate est à 80 °C, ajouter 1 g de dithionite de sodium. Bien remuer pendant quelques minutes. La couleur brun-rouge (Fe^{3+} sous forme d'oxyde) s'amenuise.

- Rincer.

- Répéter l'opération jusqu'à ce que l'échantillon soit gris-vert (Fe^{2+} sous forme dissoute) et rincer deux fois.

Phase d'extraction de la fraction granulométrique < 2 µm :

- Ajouter 30 ml de Calgon (dispersant) et agiter 24h sur un agitateur mécanique, en vérifiant que le sol est décollé du fond du tube à centrifuger.
- Après 24h, tamiser l'échantillon sous eau à 50 µm. La fraction granulométrique < 50 µm est transvasée dans une haute allonge de 1 litre.
- Ce qui reste dans le tamis est conservé (pour vérification par la suite).
- Application de la loi de Stokes pour l'extraction des argiles. Ajouter de l'eau distillée pour que la hauteur de la suspension atteigne 31 cm. Au bout de 24h, prélever les argiles au moyen d'une pompe à eau.
- Répéter cette étape jusqu'à ce que la solution soit claire.
- Transvaser la fraction 2-50 µm dans le tube à centrifuger, centrifuger et sécher le tout à 110 °C pendant 24 h.

Phase de séparation densimétrique des phytolithes :

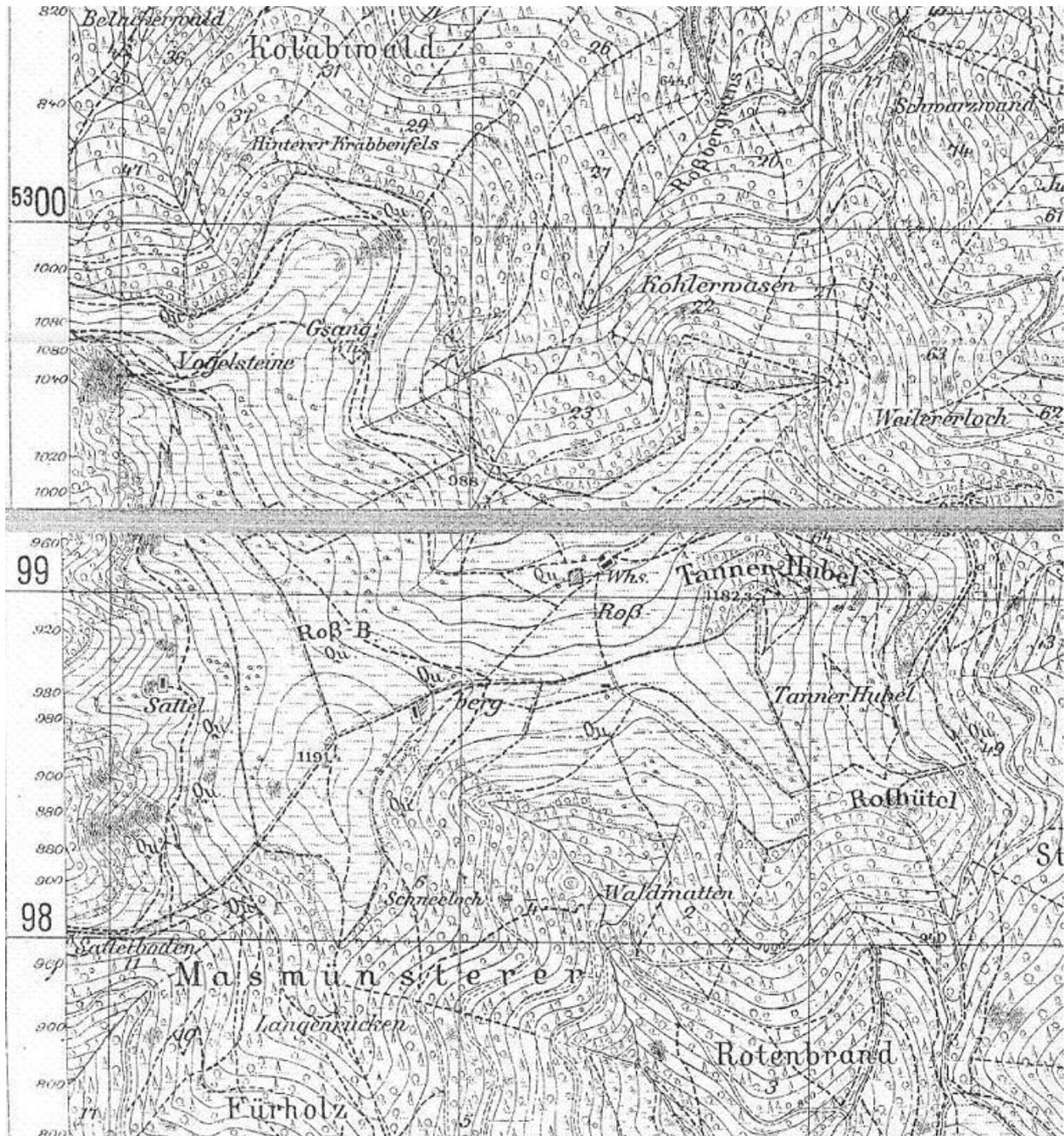
Les phytolithes ont une densité maximale de 2,3 inférieure à celle des autres minéraux du sol. Ils surnagent donc dans une liqueur dense de 2,3 (bromure de zinc dilué dans de l'acide chlorhydrique), alors que les minéraux plus lourds restent au fond du tube à centrifuger.

- Ajouter environ 20 ml de liqueur dense à 2,3 et bien remuer.
- Centrifuger pendant 10 minutes à 4000t/min.
- Une couche très fine de particules surnage. Pipetter le surnageant et le transvaser dans une unité de filtration en verre avec filtre en téflon de porosité 1,2 ou 2 µm.
- Filtrer le surnageant. Transvaser la liqueur dense filtrée dans le tube à centrifuger et répéter cette étape jusqu'à ce que la liqueur dense ne présente plus de particules en suspension après centrifugation.
- Recycler la liqueur dense.
- Rincer les particules déposées sur le filtre à l'acide chlorhydrique (1N) et à l'eau distillée.
- Transvaser les particules à l'aide d'une pissette dans un bécher, laisser sédimenter, évacuer l'eau, puis dans un flacon de 5ml qui sera séché à 110 °C pendant 24 h.
- Peser.
- Les phytolithes sont prêts à être montés sur lame.

Préparation des lames minces :

- Poser les phytolithes sur la lamelle avec de l'alcool jusqu'à obtenir une répartition homogène du matériel.
- Faire chauffer la lame environ 10 minutes.
- Etaler une à deux gouttes de Baume du Canada.
- Le baume est assez chaud lorsqu'il craque sur l'ongle.
- Poser la lamelle sur la lame; des bulles se forment.
- Appuyer sur plaque chauffante puis hors plaque pour dégager les bulles.
- Laisser refroidir.
- Faire une vérification au microscope.

Annexe 12 : Extrait d'une carte topographique allemande (1942)
du secteur du Rossberg, n°8108 TANN (Thann)



Annexe 13 : Questionnaire sur les feux de forêt

QUESTIONNAIRE

1^{ère} série : Généralités, caractéristiques de votre secteur

Q1 - Pourriez-vous, s'il vous plaît, donner les indications suivantes : Noms, Prénom, Grade ou fonction...

Q2 - Dans quel secteur ou circonscription de l'ONF intervenez-vous (commune(s), département) ?

Q3 - Depuis combien de temps êtes vous en poste sur ce secteur ?

Q4 - Quelle est la superficie (en hectares) de votre secteur ?

Q5 - Quelles sont les caractéristiques générales de votre secteur (situation topographique, soubassement géologique, sols,...) ?

Q6 - Quelles sont les caractéristiques forestières de votre secteur (type de forêt, mode d'exploitation, essences dominantes...)?

2^{ème} série : Les incendies de forêt sur votre secteur

Q7 - Avez-vous connaissance d'incendies de forêts sur votre secteur depuis votre prise de fonction (rappeler l'année) :

Si non : passez directement à la question 15

Si oui : répondez aux questions suivantes :

Q8 - A quelle(s) date(s) a-t-il (ont-ils) eu lieu ?

Q9 - Donner la localisation précise : (au besoin, compléter avec un plan)

Q10 – Type de forêt et d'essences touchés :

Q11 – Origine du sinistre (accidentel, criminel, naturel, non déterminé) :

Q12 – Pouvez-vous donner des précisions (enquête de police,...) ?

Q13 – Superficie concernée ?

Q14 – Type de traitement sylvicole postérieur à l'incendie ?

3^{ème} série : Importance de la foudre

Q15 - Avez-vous connaissance d'arbres foudroyés sur votre secteur ou d'autres secteurs ?

-si non, fin du questionnaire

-si oui, répondez SVP aux questions suivantes

Q16 - Fréquence approximative (nombre total, nombre par année...)

Q17 - Ces arbres prennent-ils feu ou sont-ils simplement « éclatés », déchiquetés ?

Q18 - S'ils prennent feu : quelles sont les essences concernées (simplement les résineux, toutes les essences, ...) ?

Q19 - S'ils sont simplement déchiquetés, quelles sont les essences concernées (simplement les résineux, toutes les essences, ...) ?

Q20 - S'ils prennent feu, l'incendie gagne-t- il la forêt :

Q21 - Si non, avez-vous une idée de la raison qui en empêche la propagation (pluie,...)

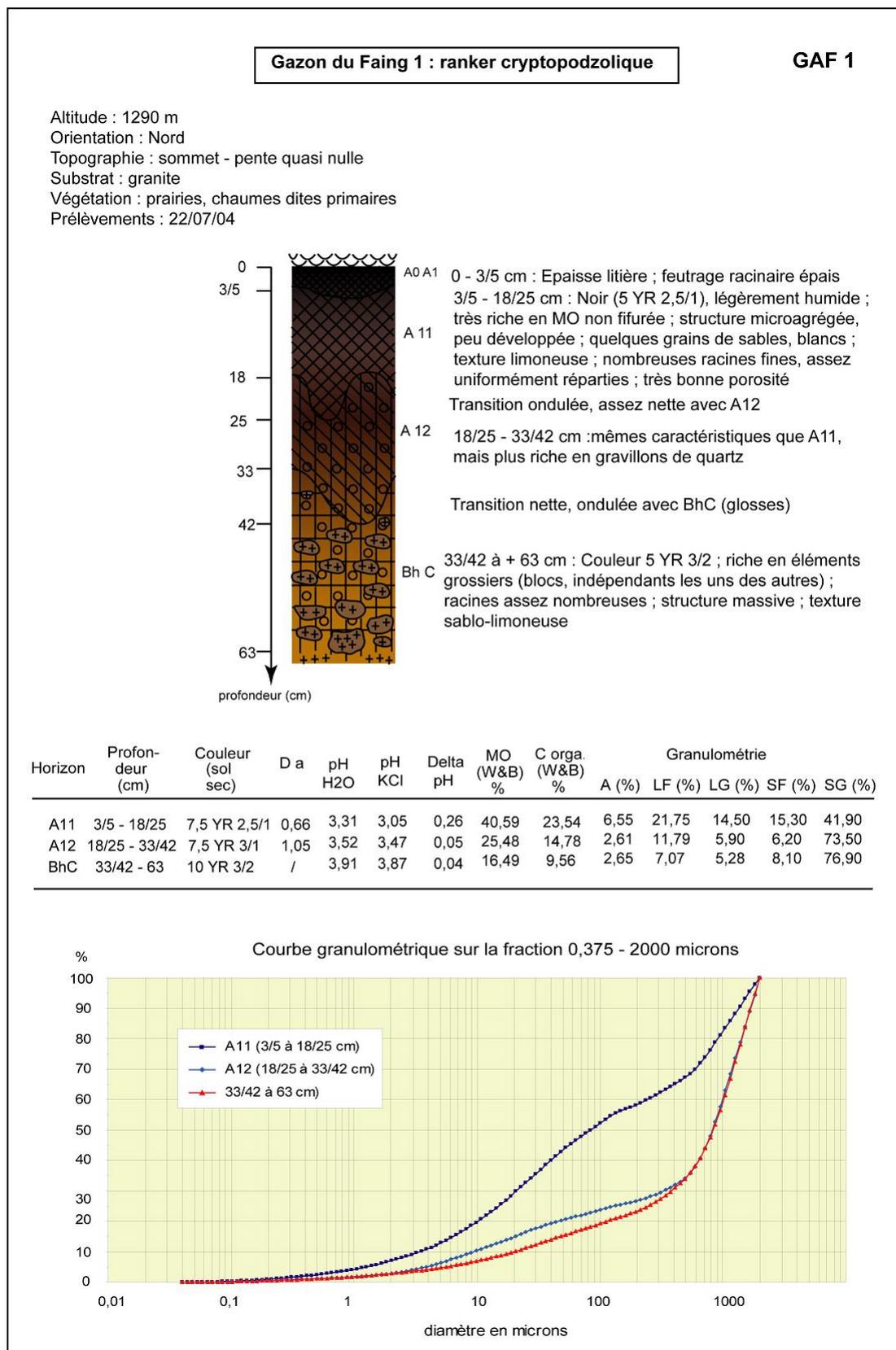
Q22 - Si oui, pouvez-vous donner des précisions sur cet incendie :

Q23 - Les éclairs à l'origine du foudroyage sont-ils des éclairs secs («éclairs de chaleur ») ou liés à un orage accompagné de pluie ?

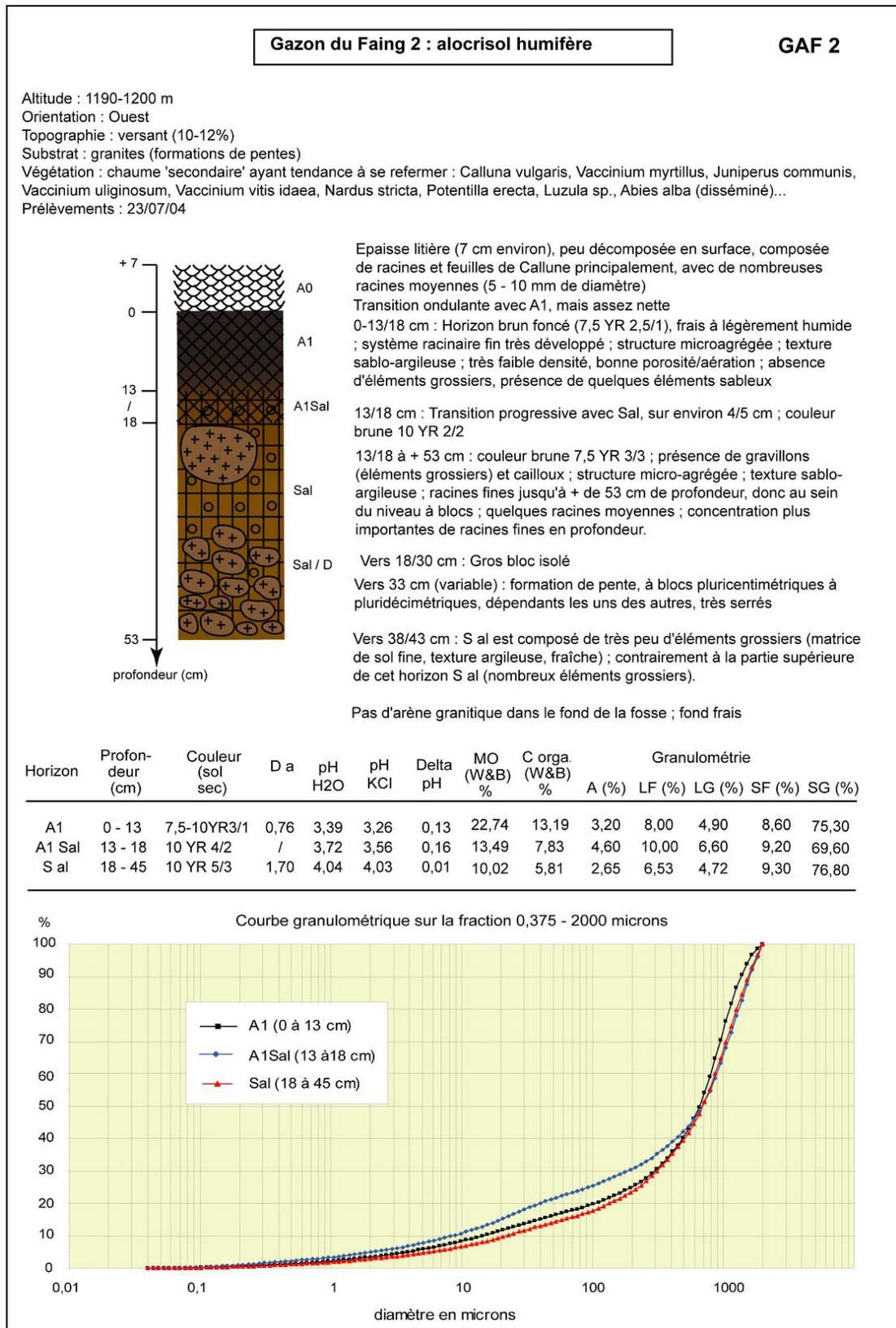
Q24 – Ajouter tout commentaire et/ou tout document que vous jugerez utile sur papier libre.

Merci d'avoir accepté, lu, traité et renvoyé ce questionnaire. Je vous rappelle que le but de ce questionnaire est uniquement universitaire et que nous agissons dans le cadre d'un mémoire de master.de géographie.

Annexe 14 a : Profil de sol du Gazon du Faing 1



Annexe 14 b : Profil de sol du Gazon du Faing 2



**Annexe 15 : Masses de charbons obtenues après extraction,
masses et pourcentages des éléments grossiers > 5 mm, de 2 à 5 mm
et des sables de 0,4 à 2 mm.**

Echant	Horizon	Profon- deur (cm)	Poids Total échant. (g)	Poids EG > 5 mm (g)	%ge d'EG	Poids EG 2 - 5 mm (g)	%ge EG 2 - 5 mm	Poids Sables 0,4 - 2 mm (g)	%ge Sables	Poids charbons extraits (g)
FALI 1 - I	A1	0-5	5165	450	8,7	525	10,2	1660	32,1	0,5204
FALI 1 - II	A1	10-15	6435	830	12,9	950	14,8	2335	36,3	1,4068
FALI 1 - III	S al	20-25	7065	1035	14,6	910	12,9	2555	36,2	0,7547
FALI 1 - IV	S al	30-35	5385	710	13,2	705	13,1	1965	36,5	0,2482
FALI 1 - V	S al	40-45	6275	725	11,6	810	12,9	2370	37,8	0,1918
FALI 1 - VI	S al	50-55	6545	705	10,8	930	14,2	2405	36,7	0,1498
FALI 1 - VII	D	60-69	5995	720	12,0	1020	17,0	2140	35,7	0,3293
			42865	5175						3,601
FALI 2 - I	A1	5-10	10955	430	3,9	950	8,7	3880	35,4	0,1998
FALI 2 - II	A1	15-20	15460	910	5,9	1980	12,8	6190	40,0	0,4262
FALI 2 - III	S al	20-25	15930	1825	11,5	2640	16,6	5480	34,4	0,3055
FALI 2 - IV	S al	25-30	9100	930	10,2	1580	17,4	4300	47,3	0,1031
FALI 2 - V	S al	30-35	12235	1240	10,1	1835	15,0	5145	42,1	0,041
FALI 2 - VI	S al	35-40	7055	615	8,7	1155	16,4	2810	39,8	0,0344
			70735	5950						1,11
FALI 3-I	A1	6-12	4035	0	0	0	0	365	9,0	0,0281
FALI 3-II	A1 S al	16-21	7145	100	1,4	270	3,8	2140	30,0	1,0094
FALI 3-III	A1 S al	26-31	8610	245	2,8	620	7,2	3100	36,0	2,8635
FALI 3-IV	Sal / Sal	36-41	8730	255	2,9	905	10,4	3495	40,0	2,4111
FALI 3-V	Sal A1	46-51	11320	1125	9,9	1640	14,5	4635	40,9	0,4829
FALI 3-VI	Sal	56-61	11970	710	5,9	2335	19,5	4775	39,9	0,0685
FALI 3-VII	S al C	66-71	9565	1365	14,3	2020	21,1	3185	33,3	0,0079
			61375	3800						6,8714
FALI 4 - I	A(I)	5-10	2675	0	0,0	0	0,0	530	19,8	0,0094
FALI 4 - II	A3	15-20	4510	340	7,5	340	7,5	715	15,9	0,4578
FALI 4 - III	S al 1	25-30	5295	335	6,3	560	10,6	2020	38,1	0,0499
FALI 4 - IV	S al 1	35-40	5985	625	10,4	820	13,7	1730	28,9	0,0585
FALI 4 - V	II A1	45-50	7400	370	5,0	1010	13,6	3155	42,6	0,0784
FALI 4 - VI	II Sal 2	55-60	4810	75	1,6	370	7,7	1895	39,4	0,0221
FALI 4 - VII	II Sal 2	65-70	5930	75	1,3	420	7,1	2190	36,9	0,0128
FALI 4 - VIII	II Sal 2	75-80	4355	10	0,2	160	3,7	595	13,7	0,0012
			40960	1830						0,6901
FALI 5 - I	A1	0-5	4165	100	2,4	240	5,8	1425	34,2	0,0268
FALI 5 - II	A1 - Sal	10-15	4565	100	2,2	275	6,0	1875	41,1	0,05
FALI 5 - III	Sal	15-20	5960	125	2,1	380	6,4	2430	40,8	0,0517
FALI 5 - IV	Sal	20-25	3300	105	3,2	260	7,9	1430	43,3	0,0225
FALI 5 - V	Sal	25-30	3305	300	9,1	350	10,6	1435	43,4	0,0498
FALI 5 - VI	Sal	30-35	5530	1340	24,2	815	14,7	2130	38,5	0,0245
FALI 5 - VII	Sal	35-40	5150	840	16,3	910	17,7	2240	43,5	0,0073
FALI 5 - VIII	II A1	42-47	8040	1045	13,0	1550	19,3	3830	47,6	0,0399
FALI 5 - IX	II C	47-52	5670	520	9,2	860	15,2	2135	37,7	0,0021
			45685	4475						0,2746

Annexe 16 : Calibrations des datations en cal BP d'après Reimer *et al.* (2004)

CALIB RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM*
Copyright 1986-2005 M Stuiver and PJ Reimer

*To be used in conjunction with:

Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215-230.

Fali 3 IIa
Falimont
Radiocarbon Age 750±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[667 BP:698 BP] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[664 BP:728 BP] 1,

Fali 3 IIb
Falimont
Radiocarbon Age 915±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[789 BP:803 BP] 0,146293
[808 BP:831 BP] 0,253869
[851 BP:906 BP] 0,599838
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[744 BP:751 BP] 0,013364
[764 BP:919 BP] 0,986636

Fali 3 IIc
Falimont
Radiocarbon Age 935±25
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[797 BP:819 BP] 0,253866
[821 BP:870 BP] 0,590142
[898 BP:911 BP] 0,155993
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[792 BP:920 BP] 1,

Fali 3 VIa
Falimont
Radiocarbon Age 1000±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[834 BP:841 BP] 0,070677
[909 BP:958 BP] 0,929323
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[798 BP:815 BP] 0,060138
[822 BP:869 BP] 0,199756
[898 BP:967 BP] 0,740107

FALL 3
Falimont
Radiocarbon Age 2339±37
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2325 BP:2365 BP] 0,852296
[2392 BP:2397 BP] 0,019857
[2413 BP:2434 BP] 0,127848
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2185 BP:2191 BP] 0,004578
[2206 BP:2230 BP] 0,023951
[2307 BP:2473 BP] 0,96689
[2478 BP:2485 BP] 0,004581

FALL 1
Falimont
Radiocarbon Age 2456±47
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2365 BP:2391 BP] 0,10793
[2397 BP:2412 BP] 0,060305
[2434 BP:2517 BP] 0,365335
[2526 BP:2540 BP] 0,057747
[2591 BP:2615 BP] 0,115146
[2636 BP:2698 BP] 0,293536
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2358 BP:2620 BP] 0,752884
[2631 BP:2709 BP] 0,247116

Fali 3 IVa
Falimont
Radiocarbon Age 2445±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2363 BP:2420 BP] 0,292403
[2427 BP:2496 BP] 0,375649
[2597 BP:2611 BP] 0,07303
[2639 BP:2685 BP] 0,258917
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2357 BP:2546 BP] 0,628551
[2560 BP:2617 BP] 0,132268
[2634 BP:2702 BP] 0,239182

FALL 1b
Falimont
Radiocarbon Age 2510±90
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2475 BP:2475 BP] 0,003424
[2487 BP:2737 BP] 0,996576
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2356 BP:2752 BP] 1,

Fali 3 VIb
 Falimont
 Radiocarbon Age 2725±30
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [2785 BP:2846 BP] 1,
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [2760 BP:2872 BP] 1,

Fali 3 IVb
 Falimont
 Radiocarbon Age 3885±35
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [4259 BP:4263 BP] 0,037107
 [4269 BP:4270 BP] 0,007202
 [4288 BP:4407 BP] 0,955692
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [4163 BP:4166 BP] 0,005112
 [4181 BP:4198 BP] 0,024898
 [4231 BP:4419 BP] 0,96999

Poz 12467
 Trois Fours
 Radiocarbon Age 250±30
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [153 BP:168 BP] 0,250438
 [283 BP:311 BP] 0,749562
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [*-1 BP:11 BP] 0,032668
 [150 BP:186 BP] 0,22172
 [270 BP:324 BP] 0,593561
 [363 BP:366 BP] 0,002419
 [376 BP:428 BP] 0,149632

Poz 12459
 Trois Fours
 Radiocarbon Age 3060±35
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [3247 BP:3341 BP] 1,
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [3166 BP:3183 BP] 0,025345
 [3207 BP:3365 BP] 0,974655

Fali 3 VIc
 Falimont
 Radiocarbon Age 3330±35
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [3484 BP:3535 BP] 0,456523
 [3553 BP:3592 BP] 0,403867
 [3597 BP:3613 BP] 0,139611
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [3469 BP:3640 BP] 0,988136
 [3669 BP:3677 BP] 0,011864

Poz 12463
 Trois Fours
 Radiocarbon Age 190±30
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [*-1 BP:13 BP] 0,167633
 [148 BP:188 BP] 0,458826
 [196 BP:212 BP] 0,160654
 [269 BP:286 BP] 0,212887
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [*-2 BP:31 BP] 0,188081
 [85 BP:86 BP] 0,000904
 [94 BP:96 BP] 0,001855
 [110 BP:110 BP] 0,000811
 [138 BP:223 BP] 0,571281
 [257 BP:302 BP] 0,237068

Poz 12464
 Trois Fours
 Radiocarbon Age 765±30
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [673 BP:699 BP] 0,740775
 [703 BP:710 BP] 0,159609
 [718 BP:722 BP] 0,099616
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [668 BP:731 BP] 1,

Poz 12465
 Trois Fours
 Radiocarbon Age 3260±35
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [3444 BP:3489 BP] 0,553085
 [3496 BP:3509 BP] 0,10545
 [3520 BP:3556 BP] 0,341465
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [3399 BP:3567 BP] 1,

Poz 12469
Trois Fours
Radiocarbon Age 3300±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3477 BP:3564 BP] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3448 BP:3618 BP] 0,995225
[3624 BP:3627 BP] 0,004775

Poz 12457
Trois Fours
Radiocarbon Age 3460±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3647 BP:3656 BP] 0,059684
[3688 BP:3728 BP] 0,462146
[3748 BP:3766 BP] 0,154464
[3792 BP:3823 BP] 0,323706
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3641 BP:3668 BP] 0,11579
[3679 BP:3830 BP] 0,88421

Poz 12460
Trois Fours
Radiocarbon Age 9260±60
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[10298 BP:10327 BP] 0,128185
[10340 BP:10354 BP] 0,053434
[10372 BP:10519 BP] 0,798817
[10538 BP:10544 BP] 0,019565
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[10257 BP:10577 BP] 1,

Poz 6154
Rossberg
Radiocarbon Age 570±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[539 BP:559 BP] 0,420824
[600 BP:630 BP] 0,579176
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[527 BP:566 BP] 0,397476
[585 BP:646 BP] 0,602524

Poz 12458
Trois Fours
Radiocarbon Age 3400±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3591 BP:3599 BP] 0,071362
[3613 BP:3692 BP] 0,928638
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3560 BP:3724 BP] 0,969965
[3754 BP:3757 BP] 0,002165
[3795 BP:3819 BP] 0,027871

Poz 12468
Trois Fours
Radiocarbon Age 4370±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[4871 BP:4965 BP] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[4855 BP:4984 BP] 0,860029
[4993 BP:5039 BP] 0,139971

Poz 12461
Trois Fours
Radiocarbon Age 9520±50
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[10704 BP:10800 BP] 0,460043
[10850 BP:10864 BP] 0,056593
[10955 BP:11010 BP] 0,237665
[11015 BP:11068 BP] 0,245699
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[10608 BP:10614 BP] 0,003998
[10659 BP:10900 BP] 0,566537
[10916 BP:11088 BP] 0,429466

Poz 6147
Rossberg
Radiocarbon Age 1280±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1180 BP:1209 BP] 0,420484
[1228 BP:1269 BP] 0,579516
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1149 BP:1156 BP] 0,009694
[1171 BP:1288 BP] 0,990306

UtC 11538
Rossberg
Radiocarbon Age 1301±45
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1181 BP:1208 BP] 0,335325
[1231 BP:1286 BP] 0,664675
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1091 BP:1107 BP] 0,015367
[1135 BP:1162 BP] 0,036617
[1167 BP:1303 BP] 0,948016

UtC 11531
Rossberg
Radiocarbon Age 1930±60
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1817 BP:1949 BP] 0,98756
[1963 BP:1967 BP] 0,01244
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1719 BP:1997 BP] 1,

UtC 11539
Rossberg
Radiocarbon Age 2113±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2013 BP:2016 BP] 0,02299
[2041 BP:2142 BP] 0,97701
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1993 BP:2155 BP] 0,95287
[2268 BP:2296 BP] 0,04713

Poz 6145
Rossberg
Radiocarbon Age 2135±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2060 BP:2152 BP] 0,958959
[2279 BP:2286 BP] 0,041041
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2003 BP:2029 BP] 0,053556
[2033 BP:2159 BP] 0,783865
[2172 BP:2176 BP] 0,005085
[2249 BP:2300 BP] 0,157493

Poz 6149
Rossberg
Radiocarbon Age 2930±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3005 BP:3054 BP] 0,311475
[3057 BP:3084 BP] 0,207027
[3088 BP:3145 BP] 0,435842
[3150 BP:3157 BP] 0,045657
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2967 BP:3171 BP] 0,909228
[3175 BP:3209 BP] 0,090772

UtC 11527
Rossberg
Radiocarbon Age 1494±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1348 BP:1402 BP] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1308 BP:1417 BP] 0,966335
[1467 BP:1487 BP] 0,028
[1501 BP:1506 BP] 0,005665

UtC 11529
Rossberg
Radiocarbon Age 1968±32
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1880 BP:1948 BP] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1833 BP:1843 BP] 0,018081
[1864 BP:1992 BP] 0,981919

Poz 6150
Rossberg
Radiocarbon Age 2125±35
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2044 BP:2150 BP] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1996 BP:2158 BP] 0,887629
[2174 BP:2175 BP] 0,002108
[2251 BP:2299 BP] 0,110263

Poz 6144
Rossberg
Radiocarbon Age 2210±30
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2155 BP:2208 BP] 0,482287
[2224 BP:2269 BP] 0,400418
[2295 BP:2308 BP] 0,117296
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2149 BP:2325 BP] 1,

UtC 11528
Rossberg
Radiocarbon Age 3030±60
Calibration data set: intcal04.14c
Reimer et al. 2004
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3161 BP:3193 BP] 0,158685
[3199 BP:3339 BP] 0,841315
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[3040 BP:3046 BP] 0,004178
[3062 BP:3379 BP] 0,995822

Poz 6151
 Rossberg
 Radiocarbon Age 3850±35
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [4159 BP:4171 BP] 0,067874
 [4177 BP:4201 BP] 0,14631
 [4226 BP:4298 BP] 0,549792
 [4327 BP:4353 BP] 0,155881
 [4369 BP:4384 BP] 0,080143
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [4154 BP:4209 BP] 0,211214
 [4216 BP:4408 BP] 0,788786

UtC 11530
 Rossberg
 Radiocarbon Age 6970±60
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [7727 BP:7857 BP] 0,912424
 [7904 BP:7919 BP] 0,087576
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [7684 BP:7881 BP] 0,855523
 [7887 BP:7932 BP] 0,144477

Poz 6208
 Rossberg
 Radiocarbon Age 9570±50
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [10767 BP:10875 BP] 0,442096
 [10943 BP:11077 BP] 0,557904
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [10722 BP:11125 BP] 1,

Poz 6143
 Rossberg
 Radiocarbon Age 5580±40
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [6317 BP:6378 BP] 0,794301
 [6382 BP:6398 BP] 0,205699
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [6296 BP:6414 BP] 0,953285
 [6418 BP:6437 BP] 0,046715

Poz 6153
 Rossberg
 Radiocarbon Age 10170±170
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [11404 BP:11565 BP] 0,196289
 [11591 BP:12100 BP] 0,803711
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [11245 BP:12397 BP] 0,982978
 [12500 BP:12565 BP] 0,017022

Poz 6146
 Rossberg
 Radiocarbon Age 18200±100
 Calibration data set: intcal04.14c
 # Reimer et al. 2004
 One Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [21459 BP:21930 BP] 1,
 Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
 [21181 BP:22052 BP] 1,

Ranges marked with a * are suspect due to impingement on the end of the calibration data set

PJ Reimer, MGL Baillie, E Bard, A Bayliss, JW Beck, C Bertrand, PG Blackwell,
 # CE Buck, G Burr, KB Cutler, PE Damon, RL Edwards, RG Fairbanks, M Friedrich,
 # TP Guilderson, KA Hughen, B Kromer, FG McCormac, S Manning, C Bronk Ramsey,
 # RW Reimer, S Remmele, JR Southon, M Stuiver, S Talamo, FW Taylor,
 # J van der Plicht, and CE Weyhenmeyer (2004), Radiocarbon 46:1029-1058.

Annexe 17 : Feuille de calcul des vitesses (moyennes, minimales et maximales) de migration des charbons dans les sols

Nom	Ref. Labo	Prof. Min. (cm)	Prof. Moy. (cm)	Prof. Max. (cm)	Age 14C min. BP	Age 14C Moyen BP	Age 14C max. BP	Vitesses Min. (cm / 100 ans)	Vitesse s Moy. (cm / 100)	Vitesses Max. (cm / 100 ans)
FALI 3 - II	Poz-12449	16	18,5	21	720	750 ± 30 BP	780	2,05	2,47	2,92
FALI 3 - II	Poz-12447	16	18,5	21	910	935 ± 25 BP	960	1,67	1,98	2,31
FALI 3 - II	Poz-12450	16	18,5	21	885	915 ± 30 BP	945	1,69	2,02	2,37
FALI 3 - IV	Poz-12451	36	38,5	41	2410	2445 ± 35 BP	2480	1,45	1,57	1,70
FALI 3 - IV	Poz-12452	36	38,5	41	3850	3885 ± 35 BP	3920	0,92	0,99	1,06
FALI 3 - VI	Poz-12453	56	58,5	61	970	1000 ± 30 BP	1030	5,44	5,85	6,29
FALI 3 - VI	Poz-12455	56	58,5	61	2695	2725 ± 30 BP	2755	2,03	2,15	2,26
FALI 3 - VI	Poz-12454	56	58,5	61	3295	3330 ± 35 BP	3365	1,66	1,76	1,85
3 FO 2 - VI	Poz-12459	30	32,5	35	3025	3060 ± 35 BP	3095	0,97	1,06	1,16
3 FO 2 - VI	Poz-12458	30	32,5	35	3365	3400 ± 35 BP	3435	0,87	0,96	1,04
3 FO 2 - VI	Poz-12457	30	32,5	35	3430	3460 ± 30 BP	3490	0,86	0,94	1,02
3 FO 2 - VIII	Poz-12460	40	42,5	45	9200	9260 ± 60 BP	9320	0,43	0,46	0,49
3 FO 2 - VIII	Poz-12461	40	42,5	45	9470	9520 ± 50 BP	9570	0,42	0,45	0,48
3 FO 3 - I	Poz-12463	0	2,5	5	160	190 ± 30 BP	220	0,00	1,32	3,13
3 FO 3 - III	Poz-12467	20	25	30	220	250 ± 30 BP	280	7,14	10,00	13,64
3 FO 3 - III	Poz-12464	20	25	30	735	765 ± 30 BP	795	2,52	3,27	4,08
3 FO 3 - III	Poz-12465	20	25	30	3225	3260 ± 35 BP	3295	0,61	0,77	0,93
3 FO 3 - VIII	Poz-12469	70	75	80	3265	3300 ± 35 BP	3335	2,10	2,27	2,45
3 FO 3 - VIII	Poz-12468	70	75	80	4335	4370 ± 35 BP	4405	1,59	1,72	1,85
ROSS 2-1	UtC 11527	20	22,5	25	1464	1494 ± 30 BP	1524	1,31	1,51	1,71
ROSS 2-7	UtC 11539	20	22,5	25	2078	2113 ± 35 BP	2148	0,93	1,06	1,20
ROSS 2-11	Poz 6145	50	52,5	55	2105	2135 ± 30 BP	2165	2,31	2,46	2,61
ROSS 2-2	UtC 11528	50	52,5	55	2970	3030 ± 60 BP	3090	1,62	1,73	1,85
ROSS 2-3	UtC 11529	70	72,5	75	1936	1968 ± 32 BP	2000	3,50	3,68	3,87
ROSS 2-10	Poz 6144	70	72,5	75	2180	2210 ± 30 BP	2240	3,13	3,28	3,44
ROSS 2-4	UtC 11530	70	72,5	75	6910	6970 ± 60 BP	7030	1,00	1,04	1,09
ROSS 2-6	UtC 11538	100	110	120	1256	1301 ± 45 BP	1346	7,43	8,46	9,55
ROSS 2-5	UtC 11531	100	110	120	1870	1930 ± 60 BP	1990	5,03	5,70	6,42
ROSS 2-9	Poz 6143	100	110	120	5540	5580 ± 40 BP	5620	1,78	1,97	2,17
ROSS 4-8	Poz 6154	20	22,5	25	540	570 ± 30 BP	600	3,33	3,95	4,63
ROSS 4-6	Poz 6151	20	22,5	25	3815	3850 ± 35 BP	3885	0,51	0,58	0,66
ROSS 4-7	Poz 6153	20	22,5	25	10000	10170 ± 170 BP	10340	0,19	0,22	0,25
ROSS 4-4	Poz 6150	50	52,5	55	2090	2125 ± 35 BP	2160	2,31	2,47	2,63
ROSS 4-5	Poz 6208	50	52,5	55	9520	9570 ± 50 BP	9620	0,52	0,55	0,58
ROSS 4-2	Poz 6147	70	72,5	75	1250	1280 ± 30 BP	1310	5,34	5,66	6,00
ROSS 4-3	Poz 6149	70	72,5	75	2895	2930 ± 35 BP	2965	2,36	2,47	2,59
ROSS 4-1	Poz 6146	90	95	100	18100	18200 ± 100 BP	18300	0,49	0,52	0,55

