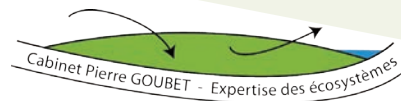


**Compte rendu d'étude commandée par le:**



# Caractérisation fonctionnelle des Tourbières des pentes de la Réserve naturelle de l'étang de Machais (La Bresse, Vosges)

**Pierre Goubet**  
**2015**



# Table des matières

1 - Introduction .....	1		
2 - Méthodes.....	2		
2.1 - Démarche globale .....	2		
2.2 - Unités fonctionnelles .....	3		
2.3 - Sols et tourbes.....	3		
2.4 - Analyse des macrorestes.....	3		
2.4.A - Protocole.....	4		
2.5 - Relief, géologie et géomorphologie .....	5		
2.6 - Synthèse .....	5		
3 - Résultats et premiers éléments d'interprétation .....	6		
3.1 - Les unités fonctionnelles .....	6		
3.1.A - Les moliniaies .....	6		
3.1.B - Les vacciniaies à myrtille des bois .....	8		
3.1.C - Les replats à sphaignes rouges.....	9		
3.1.D - Canchaie à canche cepiteuse .....	9		
3.1.E - Placages à polytric.....	10		
3.1.F - Luzulaie à luzule des bois .....	10		
3.1.G - Cariçaies .....	10		
3.2 - La structure souterraine: sol et couches de tourbe .....	11		
3.3 - Les paléocommunautés.....	12		
3.3.A - Éléments les plus fréquents.....	12		
3.3.B - Paléoécologie du secteur du Bramont.....	14		
3.3.C - Paléoécologie du secteur Machais nord aval.....	15		
3.3.D - Paléoécologie du secteur Machais nord amont.....	16		
3.3.E - Synthèse à l'échelle de la zone d'étude .....	16		
3.4 - Relief, géologie et géomorphologie .....	18		
4 - Interprétation fonctionnelle, actions de connaissance complémentaires et stratégie de conservation .....	22		
4.1 - Acquis 1: des tourbières majoritairement géotrophes lors de leur mise en place et d'origine anthropique .....	22		
4.2 - Acquis 2: des tourbières ombrotrophes issues de l'abandon des pratiques .....	22		
4.3 - Acquis 3: des complexes du Bramont en lien avec des failles.....	23		
4.4 - Bases théoriques du fonctionnement hydrologique des complexes minérotrophes: le rôle des émergences diffuses .....	23		
4.5 - Approche fonctionnelle globale .....	24		
4.6 - La question des ligneux .....	24		
4.7 - Actions de connaissance complémentaires.....	25		
4.8 - Proposition de stratégie de conservation, d'actions de gestion et de suivi .....	25		
5 - Conclusion-résumé .....	26		
6 - Bibliographie .....	26		
7 - Annexe: Représentation schématique des résultats de sondages.....	27		

# 1 - Introduction

Ce document correspond au compte rendu d'une étude commandée par le Parc naturel régional des Ballons des Vosges ayant pour objectif de mieux comprendre l'origine et le fonctionnement des tourbières de pente de la Réserve naturelle nationale de la tourbière de Machais. Le contenu formel de la commande est présenté en encart ci-contre.

L'étude proposée avait vocation à définir des paramètres essentiels du fonctionnement des tourbières de pente du cirque de l'étang de Machais, dans la réserve naturelle. L'objectif de cette caractérisation était (1) d'abord de générer de la donnée brute visant à décrire les sols de tourbières (type de tourbe, épaisseurs des différents types, localisation spatiale de ces types), les principales unités fonctionnelles présentes et leur rattachement aux typologies Corine et Natura 2000 (Eur27), l'histoire de ces tourbières sur la base d'une analyse du contenu des tourbes en macrorestes végétaux. Ensuite (2), sur la base de ces données, il s'agissait de proposer un modèle de fonctionnement

des tourbières étudiées en rapport avec leur états antérieurs (définis par l'analyse des macrorestes et des sols), leur état actuel (sur la base de l'analyse des unités fonctionnelles observées et des sols). Enfin (3), la dernière étape consistait, sur la base du modèle et de la littérature scientifique disponible, à définir les états futurs des tourbières de pente en fonction de diverses contraintes anthropiques dont le laisser-faire, l'exploitation des parcelles forestières et en particulier des dessertes, etc.

L'étude s'est enrichie, en 2015, de l'analyse radiocarbone de certains niveaux de tourbe et une étude piézométriques est également programmée. On peut considérer ce travail comme le premier volet du diagnostic fonctionnel des tourbières de pente de la réserve de Machais.

Les personnels du parc ont participé de manière active à la réalisation des sondages paléoécologiques.

Ce document s'organise en une série de chapitres classique de type intro-

duction, matériel et méthodes, résultats, discussion et conclusion. La discussion est cependant scindée en plusieurs parties dont «interprétation fonctionnelle globale», «propositions d'études com-

plémentaires» et «propositions de stratégie de conservation et d'actions de gestion et de suivi». La conclusion est réalisée sous forme de résumé.

## Contenu de la commande

### VOLET 1 : PÉDOLOGIE ET PALÉOÉCOLOGIE DE TERRAIN ET CARTOGRAPHIE DES UNITÉS FONCTIONNELLES

Ce volet a pour but de décrire d'une part les sols et les tourbes des tourbières de pente à l'aide d'un carottier russe ou d'une tarière pédologique et, d'autre part, de caractériser et cartographier les unités fonctionnelles. Il se décompose en trois journées de terrain à trois personnes (dont une du Parc) pour la collecte des données et de deux journées de bureau pour la mise en forme des données.

### VOLET 2 : ANALYSE DES MACRORESTES

Cette partie du diagnostic a pour but de décrire les communautés ayant construit la tourbe des tourbières de pente et permettre ainsi de mieux les caractériser du point de vue fonctionnel et patrimonial. La technique utilisée est celle de l'analyse de fragments de plantes sous loupe binoculaire et microscope sur des échantillons de quelques cm<sup>3</sup> prélevés tous les 10 cm sur des carottes de tourbe. Autour de 80 échantillons seront analysés, soit 8 m de sédiments, peut-être plus si le temps prévu n'a pas été consommé.

### VOLET 3 : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Ce volet correspond au temps nécessaire à l'analyse des résultats et à l'écriture du rapport.

# 2 - Méthodes

Conserver une tourbière, la gérer, c'est d'abord comprendre son fonctionnement. Depuis une vingtaine d'années, la notion d'évaluation fonctionnelle émerge au sein de la communauté scientifique internationale, elle trouve son équivalent en langue française dans la notion de diagnostic fonctionnel. L'origine de l'évaluation ou du diagnostic fonctionnel tient dans l'exigence des acteurs de la conservation d'appuyer leur démarche sur des bases scientifiques, elle provient donc d'une demande sociétale et non d'une démarche de recherche. Ceci explique en partie l'augmentation des publications sur le sujet depuis le début des années 1990. La conceptualisation du diagnostic fonctionnel des tourbières est récente, nous appuyons notre démarche sur nos propres travaux car le sujet n'a pas encore été traité dans la littérature scientifique pour ce genre de zone humide.

## 2.1 - Démarche globale

Cette démarche de diagnostic fonctionnel s'appuie sur une logique d'intégration de données de différents types qui peuvent être regroupés en trois pôles majeurs (figure 2-1): structure ; transferts ; diachronie. Le pôle «structure» (au sens large) s'attache à décrire la composition et la structure (au sens strict) des complexes et de leur zone

de dépendance fonctionnelle. Il s'agit donc de définir les différents composants du système (la composition) et leur arrangement spatial (la structure au sens strict), ceci à différentes échelles, de l'unité fonctionnelle élémentaire au complexe lui-même. Ce pôle intègre, entre autre, la caractérisation du relief de la zone d'étude, incluant les épaisseurs de tourbe, et le réseau hydrographique, la caractérisation des unités écologiques, celle des sols, etc. En règle générale, les données inhérentes à ce pôle sont relativement simples à acquérir et analyser, la difficulté majeure étant l'exploration de la troisième dimension, le sous-sol. Le pôle «transferts» concerne un ensemble de données propres au processus d'échanges de matières entre les différents compartiments du système et entre le système et l'extérieur. Les matières considérées sont principalement l'eau, les éléments minéraux (Ca et Mg), les éléments trophiques (N, P et K) et les particules minérales et organiques. Les processus en jeu montrent le plus souvent une variabilité spatiale et temporelle qui rend difficile la collecte et l'analyse des données. Toute démarche inhérente aux transferts doit donc s'appuyer sur une caractérisation fine des données de structure. Le dernier pôle correspond à l'analyse diachronique de la structure et des transferts, il correspond donc à la caractérisation des variations dans le temps des deux premiers pôles.

Les données propres à ce volet sont de nature historique (photographies aériennes incluses) ou paléoenvironnementale (palynologie, macrorestes, etc.).

Un jeu de données partiel, par exemple une cartographie de végétation seule, une étude des sols isolée, un suivi des niveaux d'eau non organisé sur une structure précise, ne permet, au mieux, que de rester flou quant au fonc-

tionnement d'une tourbière, au pire, de proposer un modèle erroné et des propositions de gestion allant à l'encontre de la conservation des écosystèmes cibles. La capacité d'interprétation du fonctionnement d'un complexe humide est, de fait, relative à un ensemble de données fonctionnelles diversifiées issues des plantes, des sols, de l'eau et des nutriments, prenant bien-évidemment en compte les usages anthropiques actuels et passés.

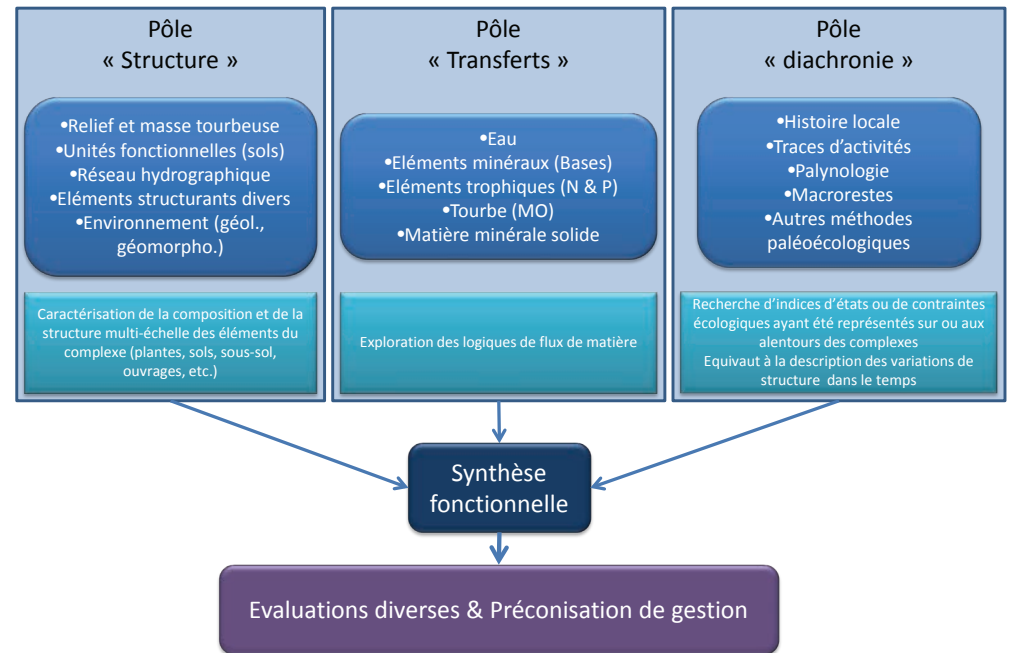


Figure 2-1: les 3 pôles du diagnostic avec les corps de données relatifs à chacun. Chacun des éléments des pôles fait l'objet de protocoles clairement définis. La synthèse fonctionnelle et les évaluations et préconisations sont sensées faire aussi l'objet de protocoles stricts, mais ceux-ci sont encore peu développés des points de vue conceptuel et opérationnel. MO=matière organique; bases=surtout calcium et magnésium.



Mais collecter une série de données, même diversifiée, ne permet pas en soi de déterminer le fonctionnement d'un complexe. Il est nécessaire, pour cela, de comparer le jeu de données à des modèles de fonctionnement, modèles que nous nommons généraux, au regard du modèle local, celui qui émerge du jeu de données issues d'un site en particulier. La «synthèse fonctionnelle» réalisée sur la base des données de structure, de transferts et diachroniques (figure 2-1) est donc un acte qui nécessite une connaissance approfondie des modèles de fonctionnement généraux, sur des bases bibliographiques de la littérature scientifique classique ou sur celle de la littérature dite «grise». Malheureusement, les propositions de modèles de fonctionnement généraux sont rares, peu explicites. Le fonctionnement d'une tourbière est souvent considéré comme acquis, comme une forme de connaissance intrinsèque. Chacun sait comment fonctionne une tourbière, sans même avoir acquis cette connaissance sur une donnée bibliographique clairement identifiée comme un modèle de référence, il s'agit plutôt d'une sorte de synthèse diffuse des lectures qui ont été réalisées sur le sujet et dans la durée. Il n'y a pas de conceptualisation claire du sujet. Or, le fonctionnement des écosystèmes est complexe, la diversité fonctionnelle est grande : on ne parle de tourbière mais de tourbières, et même de complexes tourbeux, des systèmes associant différents types fonctionnels plus ou moins dépendants et plus ou moins imbriqués.

Les tourbières de pente de Machais

posent un problème majeur en termes de modèles de fonctionnement général car leur cas ne semble pas avoir été traité dans la littérature.

## 2.2 - Unités fonctionnelles

Les unités fonctionnelles des tourbières de pente de Machais ont été délimitées sur une base empirique, par observation directe, en comparaison de nombreuses tourbières étudiées plus finement, et cartographiées sur une analyse double: GPS et photographies aériennes. Leur description restera donc succincte et le niveau d'indication fonctionnelle des unités restera bas, en l'absence de détail sur la composition et la structure floristique interne.

## 2.3 - Sols et tourbes

La caractérisation de terrain des tourbes et sédiments intercalés a diverses vocations. Elle permet souvent une première approche fonctionnelle à l'échelle du complexe.

La caractérisation de terrain des tourbes et sédiments intercalés est basée sur une description de la couleur, de la texture et du contenu en éléments macroscopiques des différents horizons rencontrés dans les colonnes prélevées. L'outil utilisé pour le prélèvement est le carottier russe. Il s'agit d'un demi-cylindre métallique muni d'une lame qui permet d'extraire des demi-carottes de 5 cm de diamètre et d'une longueur de 50 cm (figure 2-2).

La restitution des résultats se réalise le plus souvent sous la forme de colonnes stratigraphiques synthétiques reprenant les éléments caractérisés.

Les tourbes, les histosols pour les pédologues, sont constituées d'horizons dits histiques. Ils se divisent en trois types, un type fibrique où les fibres végétales sont dominantes (figure 2-3), un type saprique, où les fibres sont absentes et où la matière organique est formée de fin débris qui tâchent les doigts, et un type mésique, qui contient les deux types à parts égales.

D'autres classifications s'appuient sur des notions de contenu en fibres et en microagégats (figure 2-4), ces der-

niers étant des amas de matière organique suffisamment dégradée pour que la structure originelle ne soit plus visible. Ils résultent soit d'une dégradation initiale, dans les parties superficielles du sol (l'épisolium humifère), soit d'une dégradation de la tourbe au cours du temps (sur toute la colonne de tourbe sous l'épisolium humifère).

## 2.4 - Analyse des macrorestes

Caractériser les communautés ayant édifié une tourbière est une action de connaissance permettant de mieux gérer les milieux en place, notamment



Figure 2-2 : carottier russe.

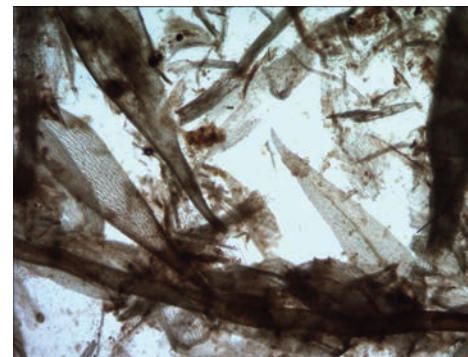


Figure 2-3: exemple de fibres dans une tourbe fibrique, des débris de mousses.

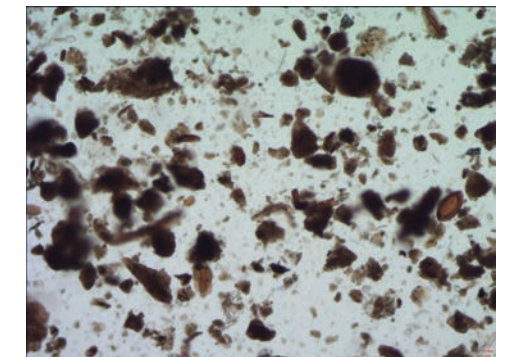


Figure 2-4: exemple de microagégats, représentatif d'une tourbe saprique.

en précisant «l'écart» fonctionnel entre les milieux passés, les milieux présents, et les milieux cibles dans les projets de restauration. La notion d'écart fonctionnel peut être illustré par la notion de niche écologique des organismes vivants. Est-ce que les paramètres écologiques locaux sont compatibles avec les états antérieurs, ceux qui ont formé la tourbe? Les choisir comme cible en termes de gestion nécessite quels types d'action? Est-ce que les milieux présents aujourd'hui sur la tourbière sont pérennes, ou découlent-ils de processus transitoires, induits par des changements dans les transferts hydrologiques, nutritifs, ou les usages? Loin d'être secondaires, ces questions permettent de répondre à des préoccupations majeures de gestion, en s'affranchissant de modèles généraux, peu argumentés du point de vue scientifique, pour définir avec une relative précision l'histoire réelle des sites, et proposer des modèles appliqués au site en question.

## 2.4.A - Protocole

L'analyse des macrorestes a vocation à décrire les différentes communautés végétales s'étant succédé en des points précis du complexe. Elle est un exercice difficile, axée sur un objectif précis, il ne s'agit pas de réaliser une description détaillée, en particulier du point de vue des quantités absolues des macrorestes. Cette analyse est réalisée en trois temps : une phase de terrain; une phase de laboratoire et une phase d'exploitation des résultats.

### 2.4.A.a. Phase de terrain

L'extraction des carottes a été réalisée à l'aide d'un carottier russe (figure 2-1). Il s'agit d'un demi-cylindre métallique muni d'une lame qui permet d'extraire des demi-carottes de 5 cm de diamètre et d'une longueur de 50 cm.

Une fois extraites, les carottes sont conditionnées dans des demi-tubes PVC numérotés et couvertes de film plastique (figures 5-2). La localisation des sondages est enregistrée au GPS de précision métrique, les photographies des carottes dès leur extraction sont enregistrées également.

### 2.4.A.b. Phase de laboratoire

Au laboratoire, les carottes sont d'abord débarrassées de leur film plastique, puis un échantillon est prélevé tous les 10 cm à l'aide d'un tube cylindrique (seringue). L'échantillon représente un volume de 4,7 cm<sup>3</sup> environ (figure 2-5). Les échantillons sont analysés, en diluant la matière dans une boîte plastique mesurant 9,7x6,5cm (figure 2-6) ou congelés en sac plastique.

La carotte est conservée pendant toute l'étude afin d'y avoir recours en cas de besoin.

### 2.4.A.c. Analyse des échantillons

La phase d'analyse des échantillons consiste en une identification des

macrorestes présents suivie d'une quantification approximative.

L'identification est réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope. La quantité des éléments présents est estimée sur la base de quatre niveaux allant de dominant (d) à exceptionnel (e), en passant par régulier (r) et ponctuel (p)(figure 2-7).

Les données sont ensuite compilées dans des tableaux avec en ordonnées les profondeurs des échantillons en cm, en général tous les 10 cm



Figure 2-5 : conditionnement des carottes dans des demi-tubes PVC

en commençant à -7 cm, pour ne pas échantillonner dans les parties hautes et basses de la carotte, proches des bords et potentiellement perturbés. En abscisses, sont présentés les contenus des échantillons avec une première série qui décrit les proportions, en pourcentages, des fibres, des microagrégats et des particules minérales. La présence de charbon est indiquée dans une autre colonne. Ensuite, le contenu en macrorestes de type racines et radicelles indéterminées est présenté. La détermination tente d'être la plus précise possible. Les racines et

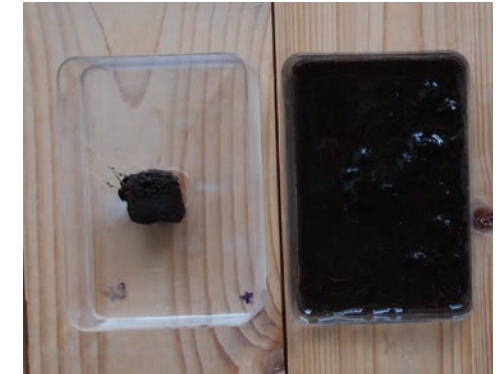


Figure 2-6 : échantillons de macrorestes brut, à gauche, et prêt à être analysé, à droite.,.

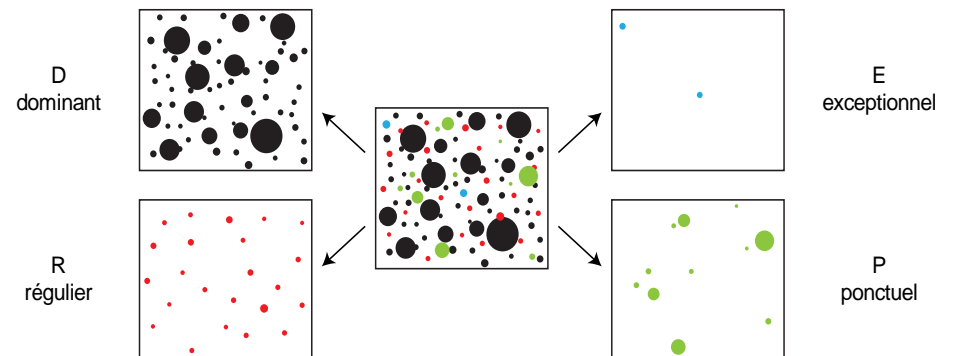


Figure 2-7 : les 4 niveaux du coefficient de recouvrement

radicelles des monocotylédones et dicotylédones autres que ligneuses sont présentées dans une colonne propre. Le plus souvent, les racines de ligneux sont reconnaissables et peuvent être présentées à part. Lorsque possible, une distinction entre ligneux hauts et ligneux bas est réalisée et des colonnes distinctes sont proposées. Le reste des macrorestes, en général de meilleure précision taxonomique, est présenté ensuite, vers la droite du tableau. Il est important d'avoir conscience que la détermination des macrorestes est parfois très difficile, que la marge d'erreur reste grande. Certaines des propositions de détermination s'appuient sur des choix induits par l'écologie perçue sur les autres macrorestes. Ces propositions

de détermination sont justifiées lors de l'interprétation des tableaux.

En complément de l'étude des macrorestes et une fois celle-ci réalisée, 10 horizons ont été datés par une analyse de spectrométrie de masse du carbone 14 (AMS <sup>14</sup>C)(tableau 2-1). Les échantillons ont été préparés sous la binoculaire et envoyés au laboratoire de radiodatation de Poznan (Pologne). Les dates ont été calibrées en utilisant le protocole CalPal à <http://www.calpal-online.de>.

## 2.5 - Relief, géologie et géomorphologie

Les banques de données consultées sont principalement les données altimétriques du RGE Alti© de l'IGN, et des données de la BSS du BRGM (<http://infoterre.brgm.fr/dossiers-sur-le-sous-sol-bss>). Le MNT généré à partir des données altimétriques n'est pas à la même échelle pour l'ensemble du site, la partie nord-ouest est dérivée de la BD Alti© à 25m de l'IGN alors que le reste du site est issu d'un levé lidar restitué à l'échelle du mètre.

En complément, nous travaillerons sur des sources documentaires complémentaires ayant trait à toutes les disciplines nécessaires à l'étude, en particulier la géologie, la géomorphologie et la paléoécologie, par exemple, Messoussi

(2001) et Mercier (2005) qui traitent de la géologie et de la géomorphologie du cirque glaciaire. Les autres sources de données utilisées seront mentionnées lors de leur utilisation.

## 2.6 - Synthèse

D'un point de vue méthodologique, aucun protocole spécifique ne correspond à cette phase de l'étude. La synthèse est basée sur une évaluation empirique des informations déterminantes issues d'une expérience personnelle. Cependant, le filtre d'analyse et l'organisation des résultats s'organisent autour de la notion de diagnostic présentée ci-dessus.

Numéro d'échantillons	Sondage	Profondeur (cm)	Élément daté	Justification stratigraphique	Age brut (Age <sup>14</sup> C)	Date calibrée (Calendric Age cal)
Poz-75965	Machais M4	47	Sphaignes+utricules	Base de l'horizon à linaigrette	130 ± 30 BP	AD: 1811 ± 100
Poz-75966	Machais M4	87	Sphaignes+utricules+aiguilles sapin	Base de la colonne de tourbe	350 ± 30 BP	AD: 1546 ± 61
Poz-75967	Machais M21	87	Aiguilles de sapin	Base de la colonne de tourbe	2455 ± 30 BP	BC: 596 ± 120
Poz-75968	Machais M25	77	Aiguille de sapin+tiges de bryophyte+utricules+bois	Base de la colonne de tourbe	1975 ± 35 BP	AD: 16 ± 38
Poz-75969	Machais M28	217	Bois	Base de la colonne de tourbe	3225 ± 35 BP	BC: 1494 ± 34
Poz-75971	Machais M28	77	Sphaignes+graines	Horizon à racines arbusculaires	305 ± 35 BP	AD: 1570 ± 54
Poz-75972	Machais M33	167	Sphaignes+graines+aiguilles de sapin	Base de la colonne de tourbe	1895 ± 30 BP	AD: 103 ± 29
Poz-75973	Machais M33	127	Racines arbusculaires+aiguille de sapin	Horizon à racines arbusculaires	660 ± 30 BP	AD: 1331 ± 42
Poz-75975	Machais M33	67	Sphaignes+graines	Base de l'horizon à sphaigne de Magellan	145 ± 30 BP	AD: 1811 ± 105
Poz-75103	Machais M33	27	Sphaignes	Toit de l'horizon à sphaigne de Magellan	95 ± 30 BP	AD: 1808 ± 96

Tableau 2-1: détail des éléments datés. Calibration CalPal. Lire: BC=before Christ ou Avant J.C. et AD: anno domini ou après J.C.



# 3 - Résultats et premiers éléments d'interprétation

Les résultats seront présentés sans ordre strictement logique, mais en partant des données internes aux complexes, le plus visible d'abord, les communautés végétales, puis les sols et les tourbes, puis les communautés anciennes. Ce sont ensuite les données relatives au cirque dans son ensemble qui seront traitées. Une première synthèse prenant en compte toutes les données mais non les modèles fonctionnels sera présentée au final.

Vu la surface et les multiples complexes concernés par l'étude, la présentation des résultats doit d'abord proposer une indexation des complexes et une présentation générale du cadre géographique (figure 3-1). Nous proposons d'organiser les différents complexes dits de pente (tous ne le sont pas) en deux méta-complexes, un nommé «Bramont», regroupant les tourbières du petit massif du Bramont au sud-ouest de la réserve et un autre nommé «Machais», regroupant les complexes occupant les pentes du cirque du lac de Machais. Chaque méta-complexe se compose de secteurs, 8 en tout. Il s'agit d'une hiérarchisation pour donner un cadre à la description des unités fonctionnelles,

nous réévaluerons la pertinence d'une telle hiérarchisation lors de la synthèse fonctionnelle.

## 3.1 - Les unités fonctionnelles

Les unités fonctionnelles observées sur le site sont en particulier des moliniaies (pures, à sphaignes vertes, ou à sphaignes et linaigrette à feuilles étroites), des vacciniaies à myrtille des bois, des cariçaies à *Carex rostrata*, des canchaies à canche cespiteuse, de luzulaie à luzules des bois. L'analyse des résultats peut être réalisée à l'échelle de la zone d'étude, ou à l'échelle des complexes et des secteurs.

### 3.1.A - Les moliniaies

Trois types de moliniaies ont été observés sur les différents complexes. Un premier type est représenté par des peuplements quasi purs de molinie (figure 3-2). Le second type, d'aspect proche, se différencie par la présence d'un tapis de sphaignes vertes et de quelques taxons vasculaires comme la

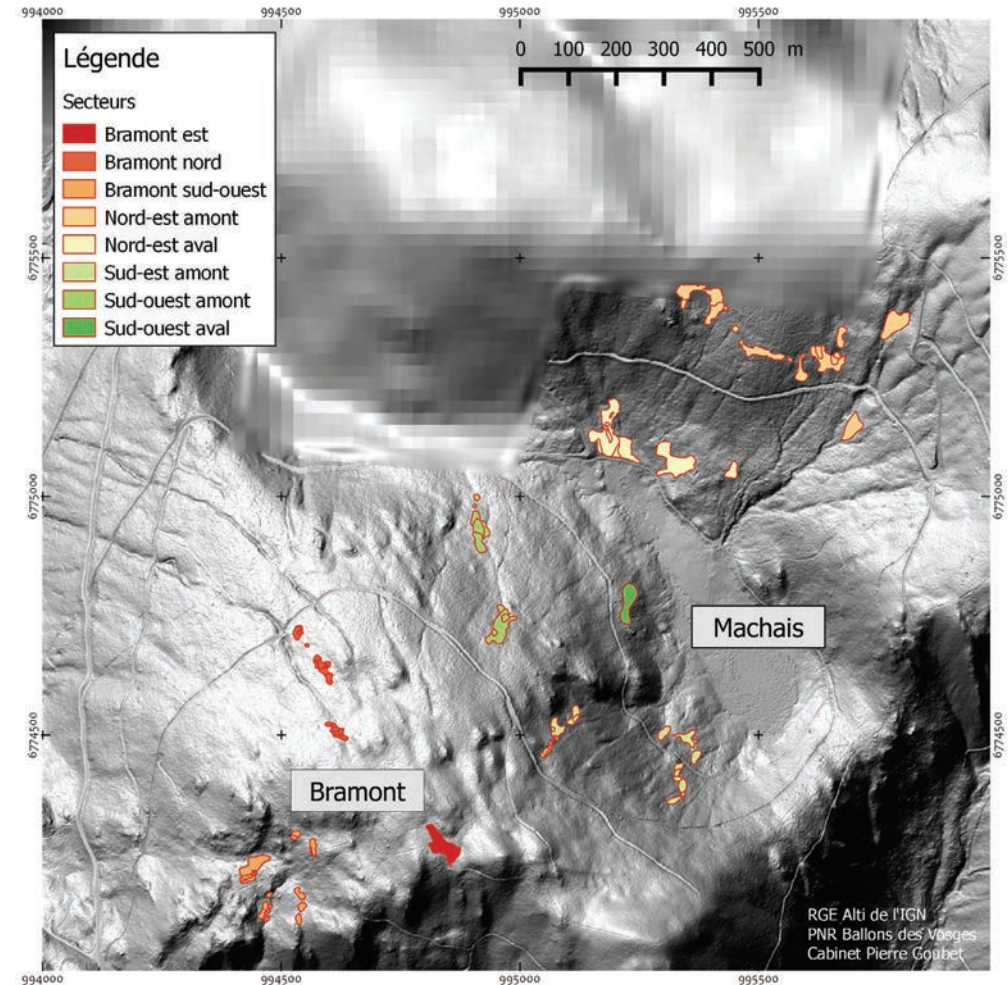


Figure 3-1: hiérarchisation et indexation des secteurs riches en complexes tourbeux.



violette des marais ou des carex. Le dernier type observé, caractérisé par une couleur rouge, est un mélange de molinie et de linaigrette engainante (figure 3-3).

A ces trois types floristiques correspondent trois pôles fonctionnels, dont le déterminisme reste encore incertain par manque de données de recherche. Le

pôle moliniaie pure est probablement en lien avec un sol tassé de type KTH et un taux de phosphore bas. Le pôle moliniaie à sphaignes vertes est probablement en lien avec un approvisionnement en nutriments limité, mais suffisant pour permettre une bascule favorable aux sphaignes, peut-être à la suite d'une dégradation de l'imperméabilité du KTH permettant la réhydratation des niveaux

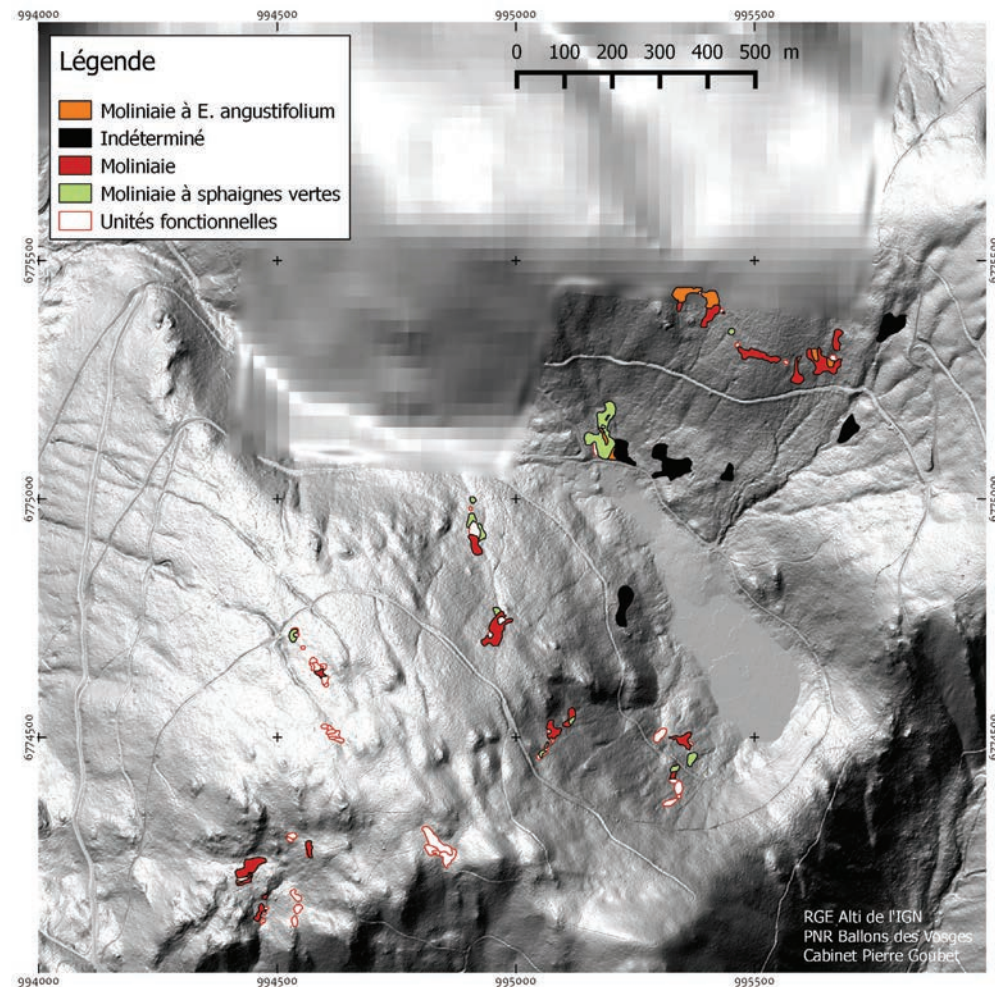


Figure 3-4: répartition des différents types de moliniaies sur fond de MNT ombré.



Figure 3-2: moliniaie pure du complexe sud-ouest amont de Machais.



Figure 3-3: moliniaie à linaigrette du complexe nord-est amont de Machais.

supérieurs du sol. Le dernier pôle est le pôle «érosif», comme indiqué par la linaigrette à feuilles étroites. Il correspond à des lieux où un ou plusieurs facteurs induisent une érosion de la tourbe superficielle (ruissellement?, gel?, etc.).

Les moliniaies les plus répandues sont les moliniaies pures, elles sont aussi le type d'unité fonctionnelle qui couvre la plus grande surface des complexes (figure 3-4; tableau 3-1). Les moliniaies à linaigrettes se concentrent dans la partie nord de Machais, en par-

Types	Surfaces (ha)
Moliniaie	1,2566
Moliniaie à sphaignes vertes	0,5740
Eriophoraie à <i>E. angustifolium</i>	0,3156
Vacciniaie à <i>V. myrtillus</i>	0,1024
Vacciniaie à <i>V. myrtillus/S. russowii</i>	0,2075
Vacciniaie à <i>V. myrtillus/S. girgensohnii</i>	0,0795
Replats à sphaignes rouges	0,0898
Cariçaie à <i>C. nigra</i>	0,0828
Canchaie à <i>D. cespitosa</i>	0,1305
Luzulaie	0,0423
Indéterminé	1,0334
Cariçaie à <i>C. rostrata</i>	0,1418
Placages à <i>Polytrichum commune/formosum</i>	0,0199
<b>Total</b>	<b>4,0762</b>

Tableau 3-1: surface des différentes unités fonctionnelles observées extraites de la cartographie mixte terrain-photographies aériennes.



ticulier dans le secteur nord-est amont. Elles peuvent constituer la plus grande surface de certains complexes (figure 3-4). Les moliniaies à sphaignes vertes représentent une bonne partie des complexes nord-est aval de Machais, ceux proches de la grande tourbière de fond de vallon (figure 3-4).

### 3.1.B - Les vacciniaies à myrtille des bois

Les vacciniaies à *Vaccinium myrtillus* observées sur les complexes sont de trois types. Le premier type est une vacciniaie pure (figure 3-5), ou seules des bryophytes humicoles ou épiphytes sont présentes. Les deux autres vacci-

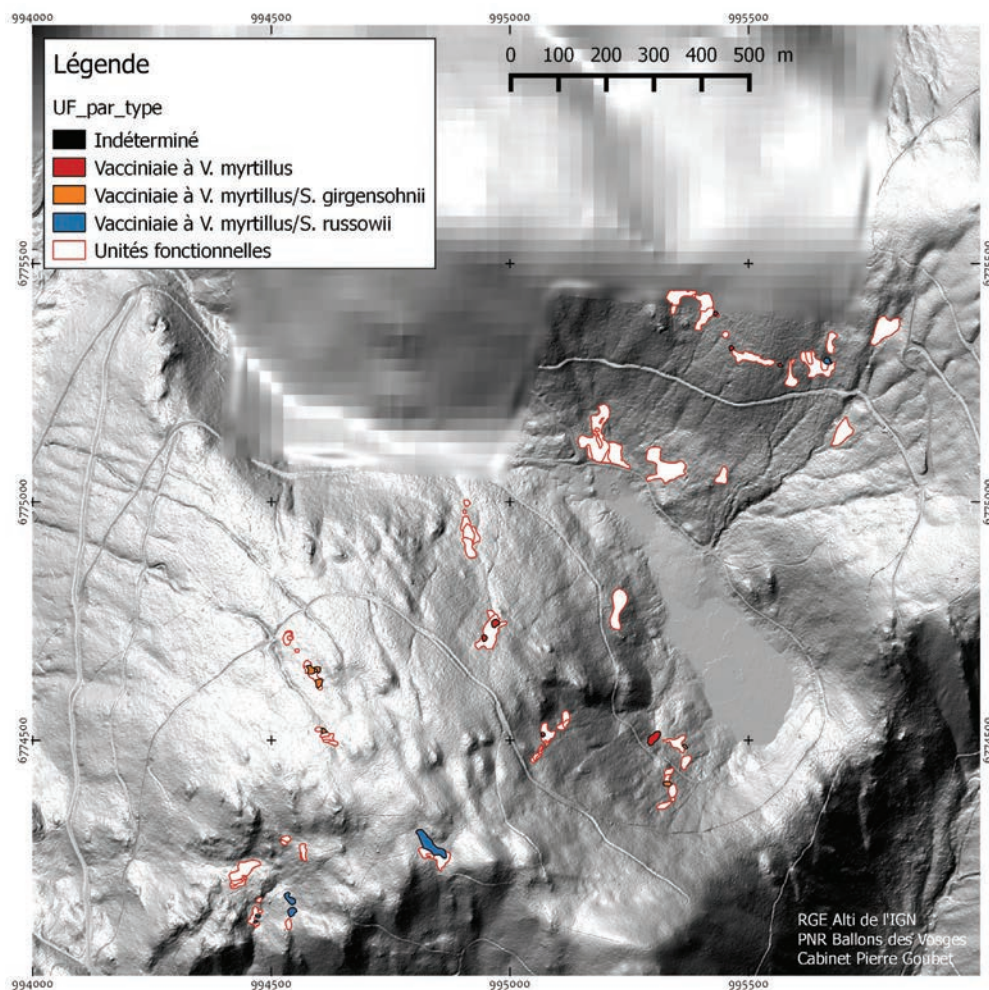


Figure 3-7: répartition des différents types de vacciniaies sur fond de MNT ombré.



Figure 3-5: vacciniaie pure.



Figure 3-6: *Sphagnum russowii* dans son aspect typique.

niaies sont caractérisées par un tapis de sphaignes, soit *Sphagnum russowii* (figure 3-6), soit *S. girgensohnii*. D'autres mousses participent à la phytocénose

de manière plus ou moins importante suivant les secteurs: *S. cf. palustre*, *S. fallax*, *Polytrichum commune* ou *P. formosum* (les deux taxons ne sont pas sé-

		BR1_1	BR1_2	BR1_3	BR1_4	BR1_5	BR1_6	BR1_7	BR1_8	BR1_9	BR1_10
BR1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Vaccinium uliginosum</i>	7		x	x	x	x		x	x	x	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	8		x	x	x	x	x	x	x		x
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	3		x						x		x
<i>Pleurozium schreberi</i>	3		x		x		x				
<i>Sphagnum gr. fallax</i>	2					x	x				
<i>Sphagnum magellanicum</i>	2				x		x				
<i>Molinia caerulea</i>	3		x			x	x				
<i>Carex rostrata</i>	5					x	x		x	x	x
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	1			x							
<i>Dicranum scoparium</i>	2				x					x	
<i>Dicranodontium denudatum</i>	1					x					
<i>Plagiothecium sp.</i>	2				x	x					
<i>Calypogeia sp.</i>	1						x				
<i>Dryopteris sp.</i>	1								x		
<i>Lophozia sp.</i>	1								x		
<i>Kindbergia praelonga</i>	1									x	

Tableau 3-2: profil de structure et de suivi de la vacciniaie du complexe est de Bramont.



parables sur le terrain). La myrtille des marais (*Vaccinium uliginosum*), intègre la communauté de certaine vacciniaies, comme celle représentée sur le profil de structure et de suivi présenté en tableau 3-2.

Le fonctionnement et le déterminisme de ces vacciniaies sont mal connus. Il existe une corrélation entre

ces communautés et le type de sol, souvent caractérisé par un épisolum humifère de type mor (humus peu dégradé, acide). Les contextes dans lesquels se rencontrent les vacciniaies sur tourbe avec ou sans sphaignes sont variés, tourbières hautes ou basses, contexte forestier ou landes. On pourrait penser que la sécheresse édaphique soit une des causes du déterminisme, mais la

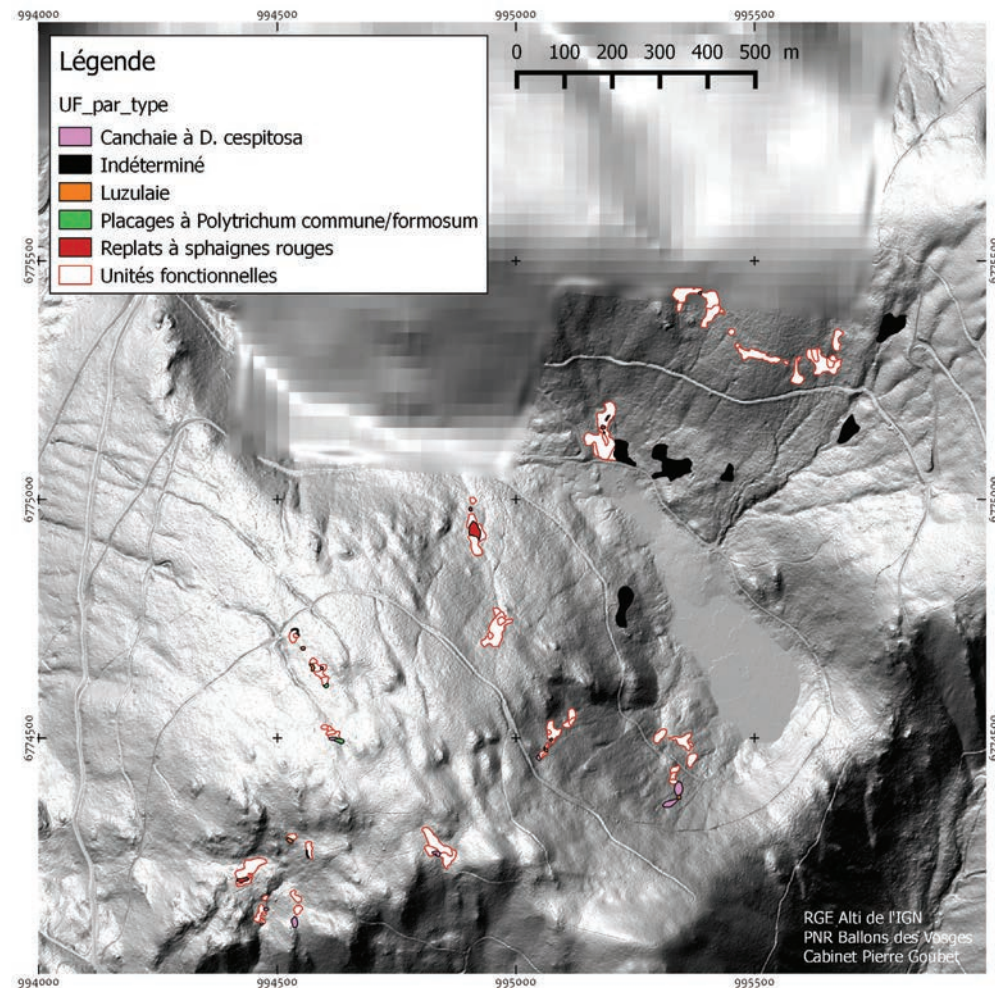


Figure 3-9: répartition des replats à sphaignes rouges, luzulaies, etc. sur fond de MNT ombré.



Figure 3-8: replats à sphaignes rouges du complexe nord-est aval de Machais.

présence des sphaignes relativise cette proposition.

Les vacciniaies se rencontrent principalement dans les secteurs de Bramont et sur le flanc sud de Machais (figure 3-7).

### 3.1.C - Les replats à sphaignes rouges

Des replats dominés par *Sphagnum magellanicum* occupent quelques secteurs de certains des complexes étudiés (figure 3-8). La sphaignes est accompagnées de *Vaccinium oxycoccos*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex pauciflora*, *Drosera rotundifolia* et d'espèces des secteurs environnants comme *Molinia caerulea*, *Potentilla erecta*, *Eriophorum angustifolium*.

Le déterminisme de ces communautés a trait à un démarrage ombrotrophique. Ceci requiert à la fois une absence de piétinement et une impossibilité pour de l'eau de nappe d'hydrater fortement les sols. Il faut également que le lieu se situe dans une fenêtre climatique favorable aux communautés



Figure 3-10: canchaie d'un complexe sud-ouest amont de Machais.

de tourbières hautes, avec l'absence de période sèche prolongée, mais ce facteur est globalement respecté dans les Hautes-Vosges comme en témoignent les nombreux lieux où les sphaignes aérohygrophiles sont présentes (les sphaignes qui ne vivent que des apports aériens en eau et nutriments).

Ces communautés forment de petites surfaces sur l'ensemble de la zone d'étude et un grand replat a été observé sur le complexe le plus à l'ouest de Machais (figure 3-9).

### 3.1.D - Canchaie à canche cespiteuse

Des canchaies à *Deschampsia cespitosa* occupent une partie des complexes, majoritairement en périphérie (contact avec les boisements sur sols minéraux). Ces canchaies sont souvent pauvres en espèces, mais dans certains complexes manifestement riches en émergences concentrées ou diffuses, la canche, majoritaire, est accompagnées d'espèces typiques des mégaphorbiaies comme *Chaerophyllum hirsutum*, *Filipendula ulmaria* ou des sources comme



*Chrysosplenium oppositifolium* ou *Myosotis* gr. *scorpiodes*.

Ces deux types de canchaies correspondent à des modes de fonctionnement différents, sachant que la canche montre un large spectre écologique. On peut y voir deux modes de mégaphorbiaies, un mode à engorgement peu

intense, en périphérie des complexes tourbeux, et un mode à engorgement quasi permanent en secteur d'émergence. La richesse floristique est fonction du paramètre hydrologique et aussi du paramètre nutritif induit par le flux hydrique important. Dans les deux cas, les canchaies annoncent une probable colonisation ligneuse, plus longue dans

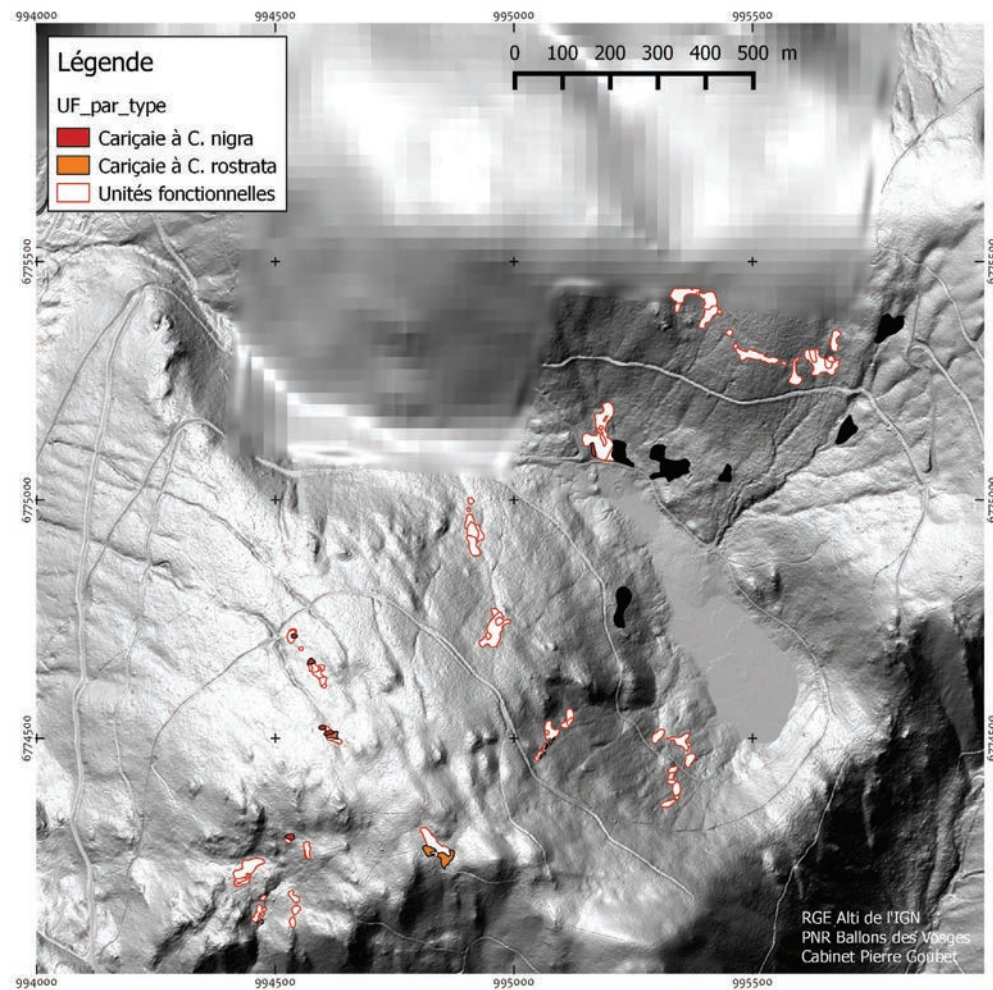


Figure 3-13: répartition des cariçaies sur fond de MNT ombré.



Figure 3-10: placage de polytrich du complexe le plus à l'ouest du secteur nord-est amont de Machais.



Figure 3-11: luzulaie du complexe central du secteur nord-est amont de Machais.

le cas des périphéries à faible valeur en nutriments.

Les surfaces importantes couvertes par la canchaie sont situées dans le secteur sud-est de Machais (figure 3-9).

### 3.1.E - Placages à polytrich

Quelques grands placages de *Polytrichum commune* ou de *P. formosum* ont été observés à divers endroits, sans formation de buttes.

Le déterminisme de ces placages est peut-être lié à des dépôts de cendres, mais les carottages de vérification n'ont pas permis de valider cette hypothèse.

### 3.1.F - Luzulaie à luzule des bois

La luzule des bois (*Luzula sylvatica*) forme de grands replats (figure 3-11) en bordure ou au centre de certains complexes, principalement sur les flancs du Bramont (figure 3-9).

Le déterminisme de ces communautés ne nous est pas connu.

### 3.1.G - Cariçaies

Deux types de cariçaies ont été observés sur le site: des cariçaies à *Carex rostrata* et des cariçaies à *C. nigra* en touradons.

Les cariçaies à *Carex rostrata* sont largement dominées par le carex, le sol entre les pieds étant parfois occupé par des sphaignes vertes, en particulier *Sphagnum fallax* ou apparenté (figure 3-12).



Figure 3-12: cariçaie à *Carex rostrata* du complexe sud-est du Bramont.



Ces cariçaies occupent le plus souvent des secteurs aux marges des complexes (bas-marais périphérique ou lagg) ou des zones d'écoulement linéaire, à l'aval d'une source en contexte tourbeux par exemple.

Les cariçaies à *Carex nigra* cespiteux, une forme commune dans les Hautes-Vosges et très rare ailleurs, sont souvent paucispécifiques et hébergent en particulier la bistorte (*Polygonum bistorta*).

Les cariçaies à *Carex nigra* cespiteux ont été observées principalement dans les complexes du Bramont. Il semble peu probable, vu leurs situations, que la forme cespiteuse soit induite par un battement de nappe important. Leur déterminisme reste inconnu, mais si on se fie à leur occurrence sur la crête des Vosges (gazon du Faing, Tanet, sources de la Vologne, etc.), il semble y avoir une corrélation entre des bordures de secteurs amont de tourbières et le pâturage ou le piétinement.

### 3.2 - La structure souterraine: sol et couches de tourbe

Quarante sondages au carottier russe ont été réalisés sur la plupart des édifices tourbeux de versant avec l'aide des personnels du Parc (figure 3-13b). La restitution schématique des profils est présentée en annexe en fin de document.

Les épaisseurs observées varient de quelques décimètres à plus de 2m, la plus grande épaisseur atteinte au carottier russe étant 2,5m (sondage M28). Il existe un petit secteur dans le complexe sud-ouest de Bramont où les tourbes sont plus épaisses. En général, les épaisseurs d'un complexe sont comprises entre 70 et 200cm, les épaisseurs plus fortes ne sont localisées qu'à quelques points des complexes du secteur nord-est amont de Machais et sud-ouest du Bramont.

La caractérisation de terrain des tourbes observées est rendu difficile par

leur nature (bas-marais) et la rareté d'indicateurs de terrain fiables.

Elles sont pour la plupart des tourbes de bas-marais, à sphaignes de différentes sections (l'analyse des macrorestes montre une grande variété d'espèces présentes) et bois plus ou moins bien représenté. Les critères de terrain les plus marquants sont la richesse en fibre, la présence de graines de joncs, d'utricules de *Carex echinata*, d'aiguilles et de graines de sapin. L'absence d'utricule de *Carex echinata* peut aussi servir de base à l'individualisation d'un type, «à graines de joncs». La dis-

tinction de tourbe de haut-marais est ici proposée sur la base de la présence conjointe de sphaignes, de racines et radicelles de ligneux bas (éricacées ou familles proches), de linaigrette à feuilles étroites et d'une richesse en fibres importantes (supérieure à 80%). Cependant, des analyses complémentaires d'un complexe hors réserve montrent que des tourbes de surface fibriques à sphaignes des «grosses sections» (section Palustre et Subsecunda) peuvent correspondre à des dépôts de tourbe de bas-marais à *Sphagnum palustre*, et non de tourbe de haut-marais à *S. magellanicum*. La caractérisation

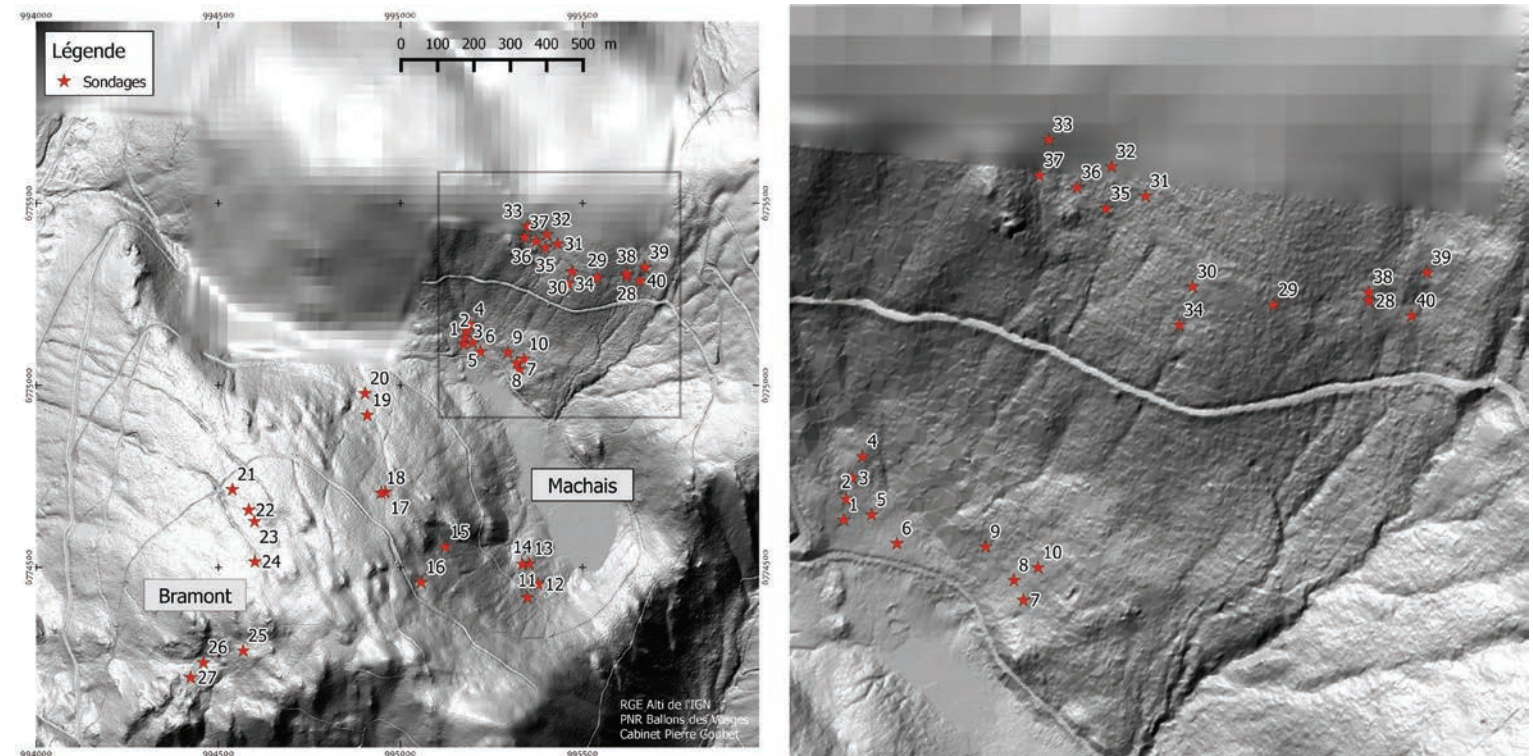


Figure 3-13b: localisation des sondages pédologiques et paléocologiques sur fond de MNT.



précise du type de tourbe en l'absence des graines de joncs et des utricules de carex passe donc par une analyse microscopique des sphaignes présentes, ce qui n'a pas été fait pour cette campagne.

### 3.3 - Les paléocommunautés

Les analyses de macrorestes ont été réalisées sur 6 profils, répartis en conciliant les besoins d'épaisseur supérieures ou égales au mètre et les besoins de représentativité spatiale. Ainsi, deux profils ont été réalisés dans le secteur nord-est amont de Machais, deux dans le secteur nord-est aval de Machais, un dans le secteur nord de Bramont et un dans le secteur sud-ouest de Bramont (figure 3-14).

L'analyse révèle une proximité de dépôt en fonction des secteurs concernés, autrement dit, les profils varient

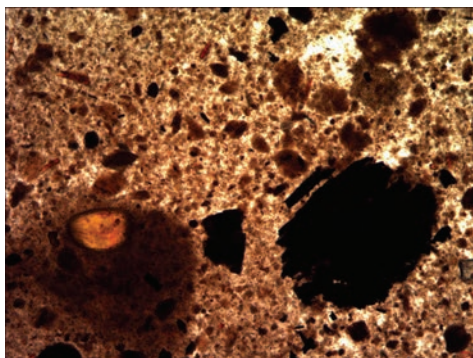


Figure 3-15: argiles (fond beige), charbons de bois (opaques) et graine de jonc (orange, à gauche), M33 à 197cm de profondeur.

plus entre secteurs qu'au sein d'un même secteur. De ce fait, l'analyse sera réalisée par secteur et non par profil isolé. Mais avant d'analyser dans le détail les résultats, les traits communs à l'ensemble des analyses peuvent être présentés.

#### 3.3.A - Éléments les plus fréquents

La tourbe est constituée d'une multitude d'éléments qui peuvent être regroupés en grands types: les particules minérales, les diatomées, les charbons de bois, les microagrégats et les fibres.

La base des profils est constituée d'une part de particules minérales importantes (figure 3-15), mais certains éléments peuvent perturber dans la colonne ou se concentrer dans certains horizons. A Machais, les graviers (taille supérieure à 2mm) sont présents sur toute la colonne des sondages M21 et M25 du secteur de Bramont.

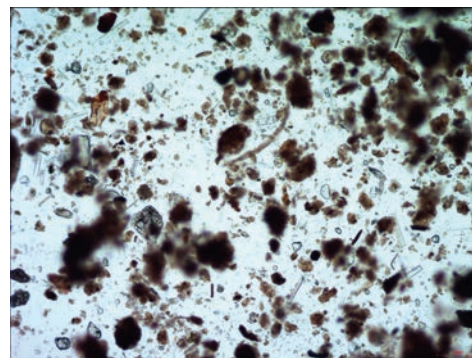


Figure 3-16: aspect des microagrégat (taches sombres floconneuses), diatomées (bâtonnets) et sables, M25 à 47cm de profondeur.

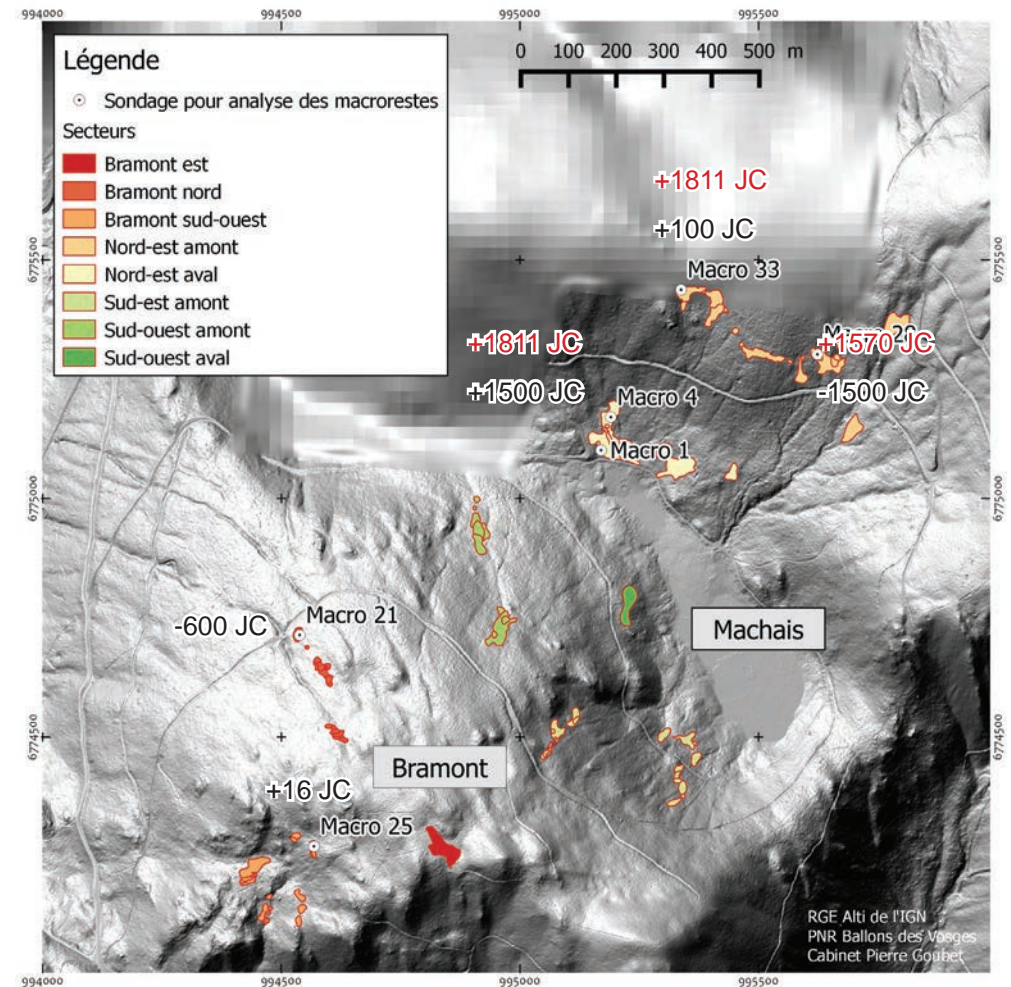


Figure 3-14: localisation des sondages d'analyses des macrorestes sur fond de MNT. Dates <sup>14</sup>C à la base de tourbe, en noir, à la base de la tourbe à sphaignes rouges, en rouge.

La présence de diatomées n'est pas révélatrice car les frustules peuvent être dissoutes dans un milieu acide. Elles sont notées par principe et pour d'éventuelles études ultérieures spécialisées.

Les charbons de bois sont présents à la base de certains profils (M25, M28 et M33) (figure 3-15).

Les microagrégats, particules de matière organique dégradée, en mélange éventuel avec des limons ou des argiles, sont presque toujours présents (figure 3-16), sauf dans le cas de tourbes à bryophytes non dégradées, comme dans le coussin à *Sphagnum papillosum* du sondage M4. La formation des microagrégats est contempo-





Figure 3-17: racines de ligneux à structure arbusculaire induite par une association mycorhizique. M27 à 190cm de profondeur.



Figure 3-18: tourbe fibrique à racines d'*Eriophorum angustifolium* (roses) et d'un type indéterminé, noires soyeuses. M28 à 37cm de profondeur.



Figure 3-19: tourbe équilibrée (mésique), à utricules de *Carex echinata*. M4 à 67cm de profondeur.



Figure 3-20: feuille de *Philonotis cf. caespitosa*. M25 à 27cm.

raine du dépôt, sous forme d'une litière, ou postérieure au dépôt, par dégradation progressive au cours du temps.

Les parties souterraines des plantes constituent le plus souvent la plus forte proportion de fibres (figure 3-17 et 3-18), avec les mousses lorsqu'elles sont présentes. Les rhizomes, racines, radicelles, tubercules peuvent être dé-

terminées à l'espèce, mais cela reste rare. Le cas général reste une détermination à l'échelle d'un groupe botanique plus ou moins vaste. Dans le cas de Machais, les systèmes souterrains sont d'un type général appartenant à des herbacées diverses (racines et radicelles indéterminées), formant en général la majeure partie des fibres. Des racines tuberculées appartenant à un

groupe de carex contenant *Carex rostrata* sont souvent présentes également (c'est leur absence qui prend ainsi un sens). Des racines de ligneux sont également observées, avec quelques fois des formes dites arbusculaires (figure 3-17) lorsque les racines sont connectées à des hyphes mycorhiziques (M28 et M33). Ces associations révèlent une aération importantes du sol permettant à une fonge diversifiée de s'installer.

Les morceaux de bois rencontrés, éventuellement des racines, se divisent en une catégorie nommée «bois fragments» lorsqu'il s'agit de morceaux de bois sans cortex, morceaux visiblement cassés, érodés, allochtones, et des types à périderme, déterminables à la famille (bétulacée, aulne ou bouleaux), au genre (*Salix* spp.), ou à l'espèce (*Pinus sylvestris*). Les racines de ligneux bas comme les éricacées sont aussi d'un type particulier qui peut être disso-

cié.

Un type indéterminé de racines de couleur noire et d'aspect soyeux est aussi fréquemment rencontré dans certains horizons (figure 3-18).

Les racines et radicelles de fougères ont été observées, ainsi que des radicelles, racines et rhizomes de prêles, probablement *Equisetum fluviale*. Celles de joncs, rendues typiques par un tomentum de poils absorbants, ont été rencontrées dans les sondages M25 et M21.

Les parties aériennes de plantes vasculaires observées dans les profils sont des gaines basales de linagrette engainante ou de molinie, des limbes de ces deux taxons, des morceaux de branches de ligneux identifiables à travers l'arrangement cellulaire de leur périderme, des aiguilles de sapin, des

Machais M21												
Profondeur (cm)	Machais_M21											
0												
7	30	70	+	1	+	p	d	r	e			
17	40	60	+	1	+	p	d	e	e	r	p	e
27	30	70	+			r	d	r		p		r
37	20	80	+	1		r	d	d	e		e	
47	20	80	+			d	d	r	p	p		e
57	15	85	+			d	d	r	r		e	
67	10	90	+			p	d	r		r	p	
77	10	85	5	6		d	d	p		d	r	2
87	5	85	5	2		d	d	p		r	p	1
97	+	90	10			p	d	p		p		10

Tableau 3-3: tableau d'analyse des macrorestes du sondage M21. Code proportion: d dominant; r régulier; p ponctuel; e exceptionnel, nombre pour les éléments figurés avec n pour les éléments trop nombreux pour être comptabilisés. Niveau daté marqué en rouge: 596 ± 20 avant J.C.

spores de fougères et des graines ou fructifications diverses. Parmi ces dernières, certaines sont identifiables à l'espèce comme la plupart des utricules de carex (figure 3-19) ou au genre.

L'autre groupe de macrorestes aisément identifiable à l'espèce sous réserve d'une conservation correcte est celui des mousses (figure 3-20).

### 3.3.B - Paléoécologie du secteur du Bramont

Les profils M21 (tableau 3-3) et M25 (tableau 3-4) constituent deux exemples comparables des couches observées dans le secteur du Bramont.

Les graviers sont présents sur les deux profils, ainsi que les fragments de bois. Ceci indique des apports de collu-

Machais M25												
Profondeur (cm)	Machais_M25											
0												
7	50	50	+		2			d	r	d		
17	60	40	+		+			r	d	d		
27	95	5		1		p	p	p				2
37	80	20	+	n	+	p	d	p			n	1
47	50	50	+			r	d	r			n	1
57	40	60	+	n	+	p	d	r	e		2	e
67	30	70	+	n	+	p	d	d	p		2	
77	25	75	+	n	+	p	d	r	e		4	
87	10	80	10	n		e	d	p	e	e	1	1
97	10	60	30	n		+	e	r				e

Tableau 3-4: tableau d'analyse des macrorestes du sondage M25. Code proportion: d dominant; r régulier; p ponctuel; e exceptionnel, nombre pour les éléments figurés avec n pour les éléments trop nombreux pour être comptabilisés. Niveau daté marqué en rouge: 16 ± 38 après J.C.

vions compatibles avec la pente importante des édifices.

Les constantes significatives sont la présence de graines de joncs, celle d'utricules de *Carex echinata* (figure 3-19), de graines de *Viola palustris*, d'aiguilles d'*Abies alba*, de spores de fougères et de radicelles tuberculées de carex, probablement *Carex rostrata*.

Les graines de joncs sont pour la plupart difficiles à déterminer à l'espèce, celles observées dans le profil sont probablement issues de *Juncus effusus*, de *J. acutiflorus*, de *J. bulbosus*.

Le profil M25 se différencie par la présence d'une couche à sphaignes vers 27-37cm, avec une flore bryophytique diversifiée (*Sphagnum teres*, *S. denticulatum*, *Philonotis caespitosa* (fi-





Machais M28			
Profondeur (cm)	Fibres (%)	Microagrégats (%)	Machais_M28
7	95	5	+
17	95	5	r r
27	95	5	p p
37	95	5	+
47	85	15	+
57	90	10	r r
67	90	10	p p
77	40	60	+ AD: 1570 ± 54
87	40	60	+ d r
97	50	50	d d
107	60	40	d r
117	60	40	+ d r p
127	40	60	d d
137	40	60	d d
147	50	50	r r
157	20	80	+ + d d
167	40	60	+ + p r
177	20	80	+ 1 r d
187	20	80	+ 1 r d
197	25	75	+ r r d
207	20	80	+ r r d
217	20	80	+ r r d
227	15	70	5 p d
237	5	20	55 20 + d
247	5	20	35 40 + p d

Tableau 3-8: tableau d'analyse des macrorestes du sondage M28. Même codification de proportions. Niveaux datés marqués en rouge 1494 ± 34 avant J.C. à -217cm, 1570 ± 54 après J.C. à -77cm.

### 3.3.D - Paléocologie du secteur Machais nord amont

Pour les deux sondages, la différenciation est très nette entre une partie sommitale à linaigrette engainante et ligneux bas riche en fibres et une partie sous-jacente à *Carex echinata*, violette,

fougère etc., mésique (équilibrée avec autant de fibres que de microagrégats). Les épaisseurs de chaque type varie.

Il existe une forme de chevauchement entre les deux cortèges qui intègre des restes de racines noires soyeuses et de *Sphagnum palustre*, puis de *S.*

Machais M33			
Profondeur (cm)	Fibres (%)	Microagrégats (%)	Machais_M33
0	7	95	5
17	95	5	
27	95	5	
37	70	30	
47	90	10	
57	85	15	
67	95	5	
77	95	5	
87	95	5	
97	90	10	
107	90	10	
117	90	10	
127	30	70	
137	20	80	
147	20	80	
157	10	90	
167	40	60	
177	10	70	20
187	5	50	45
197	10	90	

Tableau 3-7: tableau d'analyse des macrorestes du sondage M33. Code proportion: d dominant; r régulier; p ponctuel; e exceptionnel, nombre pour les éléments figurés avec n pour les éléments trop nombreux pour être comptabilisés. Niveaux datés marqués en rouge: 103 ± 29 après J.C. à -167cm, 1331 ± 42 après J.C. à -127cm, 1811 ± 105 après J.C. à -67cm, 1808 ± 96 après J.C. à -27cm.

### magellanicum.

Il est intéressant de constater que le passage d'une tourbe mésique à une tourbe fibrique se réalise après un horizon à racines de ligneux à structures arbusculaires, autrement dit, à la suite d'un assèchement du substrat.

### 3.3.E - Synthèse à l'échelle de la zone d'étude

Au final, les tourbes étudiées sont de deux grands types: (1) une tourbe à joncs, fougères, laïche en étoile, laïche rostrée, saules, sapin; et, au-dessus, (2) une tourbe à linaigrette à feuilles étroites,

ligneux bas, molinie et sphaignes.

L'analyse macrorestes de ces tourbes est inédite. Nous n'en connaissons pas d'équivalent en France en dehors des Hautes-Vosges, à part deux exceptions dans le Massif central, caractérisée sur le terrain (études en cours). Dans les Hautes-Vosges, la tourbe à *Carex echinata* a été observée dans les complexes du vallon des Vintergès et dans celui du Gaschney.

La chronologie des dépôts est une donnée essentielle pour comprendre les modalités de mise en place de chaque type de tourbe. Il est souvent intéressant de connaître d'une part si la mise en place des tourbes est synchrone sur l'ensemble des sites, s'il existe un décalage, et, d'autre part, si l'âge des dépôts est proche de l'âge probable de mise en place d'usages agropastoraux dans le secteur ou de tout autre événement historique.

Dans le cadre de ce travail, 10 datations AMS C<sup>14</sup> ont été réalisées. Les niveaux choisis sont logiquement des niveaux charnières: niveaux de base de l'édifice tourbeux, niveaux de transition entre la tourbe à *Carex echinata* et celle à *Eriophorum angustifolium*, niveaux d'apparition et de disparition de la tourbe à sphaignes de Magellan du profil M33. Le tableau 2-1 du chapitre dédié à la méthodologie présente les ni-

veaux et le type d'éléments datés pour chaque sondage et les raisons qui justifient ces mesures.

La prise en compte des datations met en lumière l'origine «récente» de la plupart des édifices, avec des démarrages tourbeux datés à 1494 ± 34 avant J.C (M28), 596 ± 20 avant J.C (M21), 16 ± 38 après J.C. (M25), 103 ± 29 après J.C., et même 1546 ± 61 après J.C (M4). Cette hétérogénéité des âges de mise en place exclut tout phénomène climatique. Sachant que toutes les dates sont compatibles avec la présence humaine, même la plus ancienne (Goepp, 2007). On constate d'ailleurs la forte proximité de cette date avec celle de Janssen et Kettlitz (1972 in Goepp, 2007) 3205±35 BP, soit 1477 ± 30 avant J.C. si calibrée PalCal (cf. chapitre Méthodes). On pourrait proposer une origine climatique à ce démarrage tourbeux, car l'époque correspond à des changements connus (avancée glaciaire de Lössen). Cependant, les modalités de démarrage, autrement dit les communautés qui se mettent en place, ne diffèrent en rien de celles des tourbières à démarrage plus tardif. Il est donc difficile d'y voir une origine climatique.

La seconde série de dates avait pour vocation de nous renseigner sur le démarrage des tourbières à sphaignes rouges, ligneux bas et linaigrette à feuille étroite. Il semble que cette mise

en place se réalise entre 1700 et 1900, avec des dates peu précises induites par des variations importantes du taux de <sup>14</sup>C depuis le 18ème siècle. On peut le regretter; car si on se réfère à Goepp (2007), citant Garnier (2004), une politique de préservation de la forêt prend ces effets en 1761. Stéphanie Goepp indique ainsi, page 83 de sa thèse: «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)». La mise en place de la tourbière haute, sur un probable KTH en voie de formation (augmentation du taux de microagrégats), à la suite d'un arrêt de la pression agropastorale correspond tout à fait aux modèles proposés. Ces tourbières hautes d'origine anthropique seraient

par contre plus anciennes que celles habituellement rencontrées, issues d'un abandon au milieu du XXème siècle. De notre propre expérience, mais sans mesures précises, il semble que la reprise turfigène après abandon agropastoral, s'effectue sur des moliniaies et est décalée de plusieurs décennies (une cinquantaine d'années). La chronologie mentionnée à Machais est tout à fait compatible avec celle d'une colonisation post-KTH. Le fait majeur qui entraînerait l'arrêt de la pression agropastorale serait le règlement de 1761, encore faut-il vérifier que celui soit effectif en Lorraine. Il devient nécessaire, pour argumenter le modèle proposé, de définir les changements d'usage des forêts et milieux intraforestiers depuis le XVIIIème siècle. Le changement d'usage supposé semble suffisamment ancien pour expliquer la faible expression du KTH. Il est possible, d'une part, que le KTH ait eu le temps de s'altérer par bioturbation, et surtout, d'autre part, que l'apogée agropastoral de la plupart des tourbières de France soit plus tardif. De ce fait, les tourbières de Machais ont simplement échappé à la mise en place d'un KTH typique.

L'histoire des tourbières des pentes de Machais et ses conséquences en termes de fonctionnement et de conservation sera présenté dans le chapitre de la synthèse fonctionnelle.



### 3.4 - Relief, géologie et géomorphologie

Pour travailler sur le relief, la géologie et la géomorphologie, nous disposons des données du MNT RGE Alti de l'IGN, des études de Messoussi (2001)

et de Mercier (2005). Aucune donnée propre n'a été générée pour ce travail, nous avons juste observé, au nord-est du secteur d'étude, un bloc de brèche à ciment d'oxyde de fer, indicateur de secteurs fracturés.

Le MNT issu des données du RGE

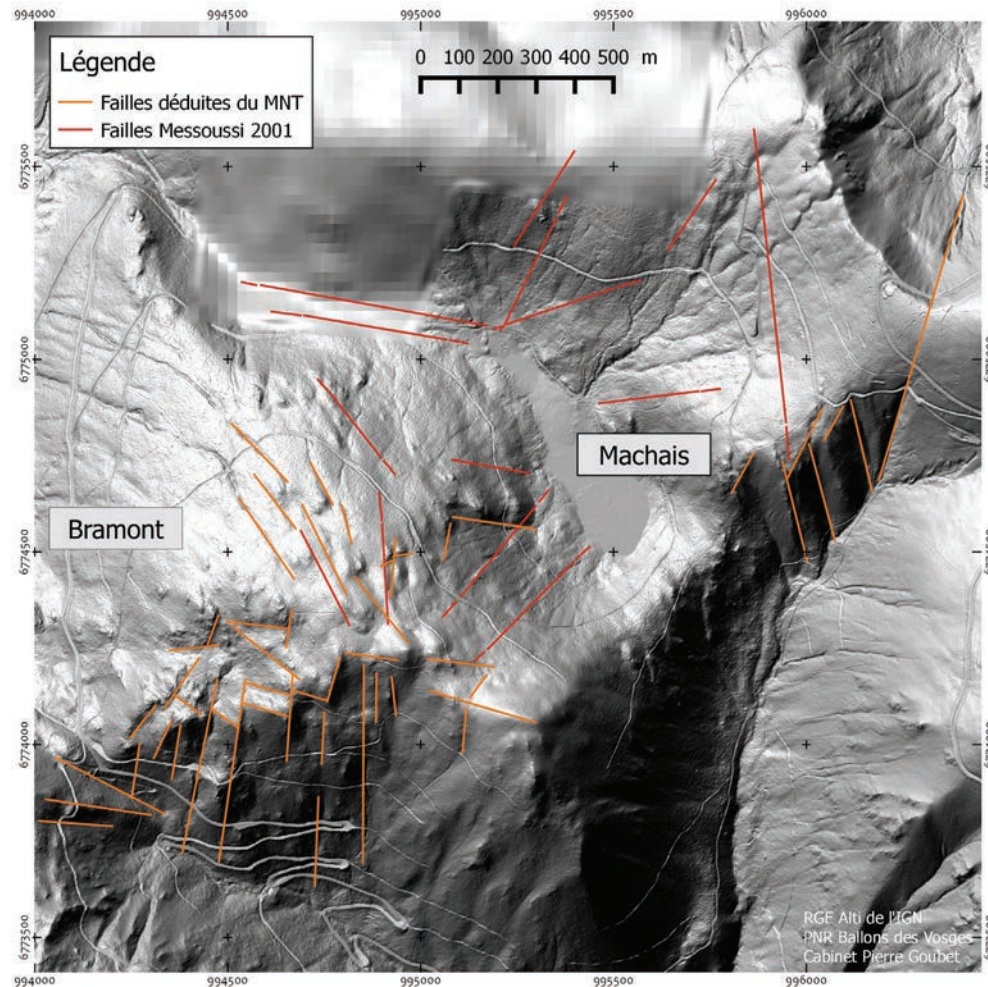


Figure 3.21: répartition des failles proposées par Messoussi (2001) et celles pouvant être déduites du MNT du RGE.

permet une nouvelle interprétation des observations de Messoussi et de Mercier, en particulier l'importance de la fracturation dans la structure du Bramont et des formes glaciaires dans le secteur de Machais (figures 3-21).

Le MNT met en évidence un relief

fin du versant sud du Bramont indéniablement contrôlé par la tectonique suivant une série de blocs quadrangulaires d'allongement est-ouest (figure 3-22). Les complexes tourbeux sont situés soit sur les failles, soit sur des blocs affaissés (Bramont est). Leur allongement correspond le plus souvent à l'axe de la

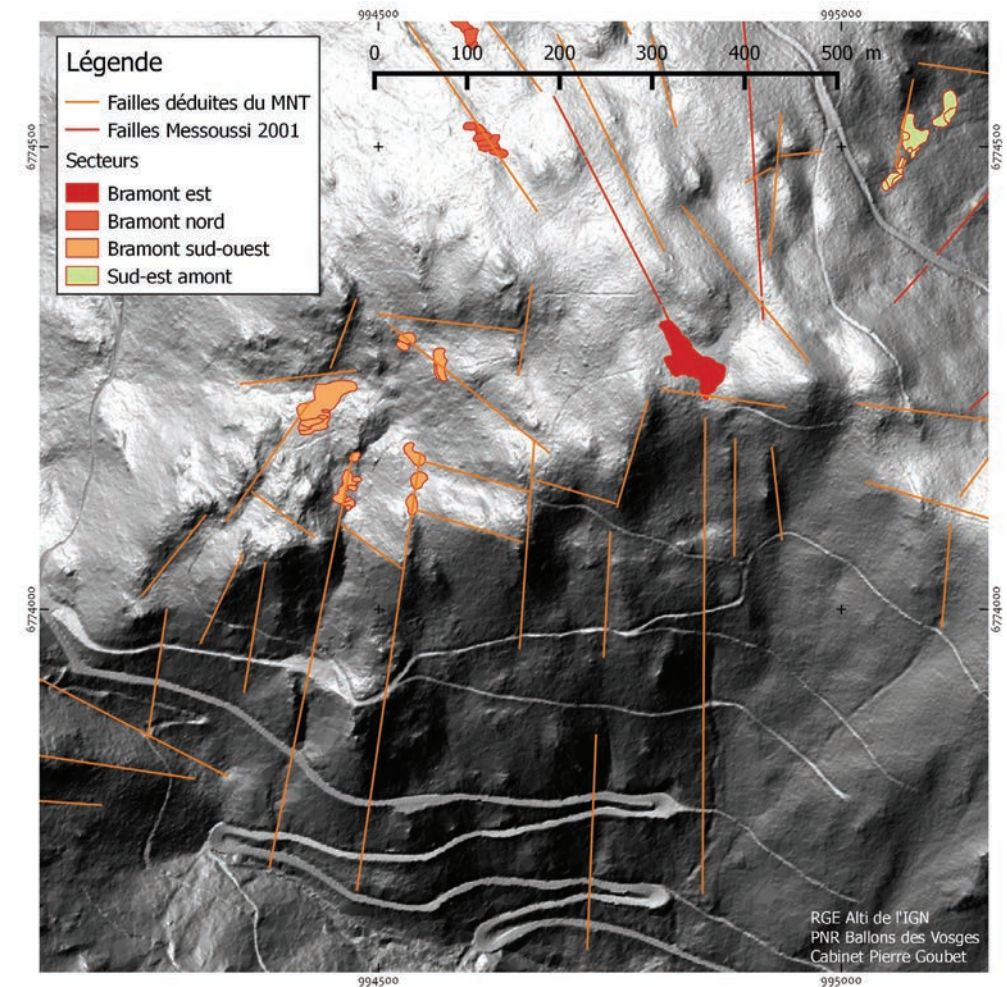


Figure 3.22: répartition des fractures sur le secteur du Bramont.



fracture sur laquelle ils se tiennent.

La structure générale entre roches, fractures et tourbière est une des clé de fonctionnement, en particulier du point de vue hydrologique. Ce thème sera

développé dans l'approche synthétique.

Pentes et bassins versants sont d'autres éléments fonctionnels majeurs pour les tourbières. La localisation des complexes et des pentes du Bramont

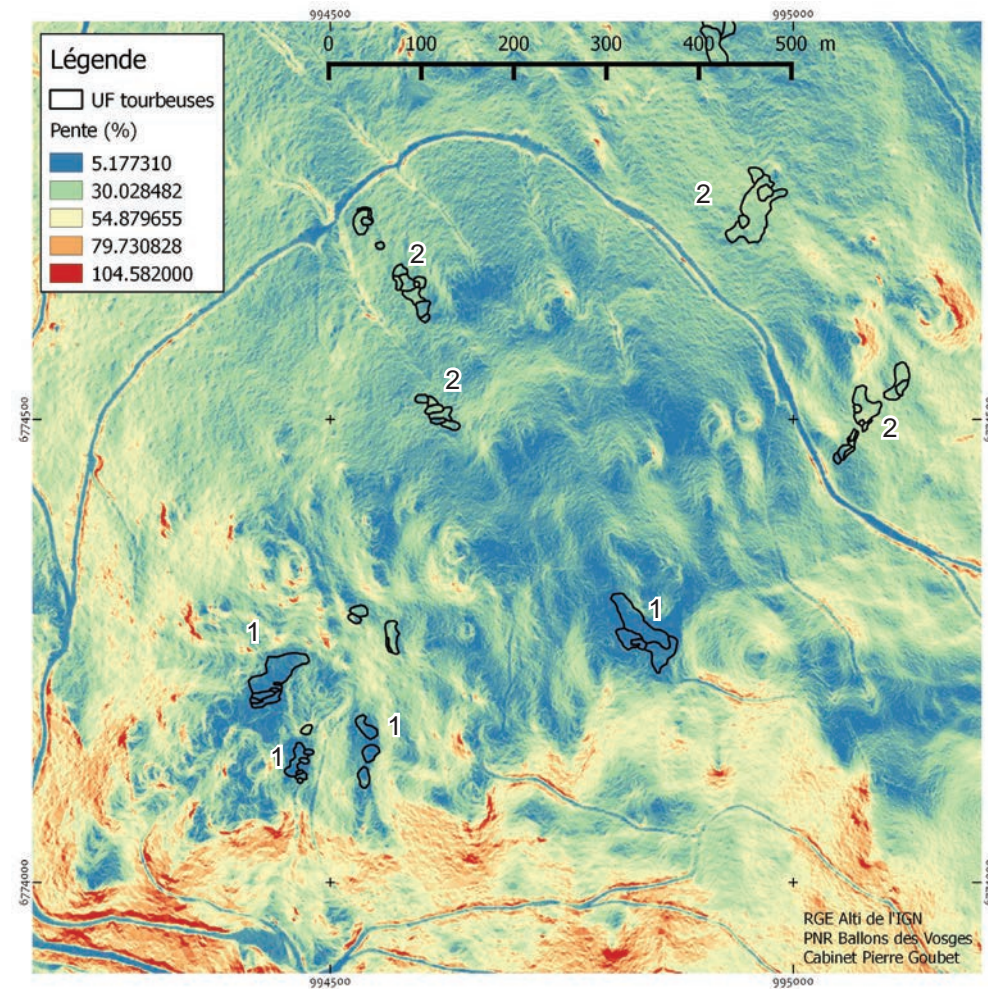


Figure 3-23: répartition des complexes et des pentes dérivées du MNT du RGE© de l'IGN.

dérivées du MNT du RGE© de l'IGN est présentée en figure 3-22. On peut y voir des complexes «d'alvéoles» ou de replats [1], sur la bordure sud du Bramont, et des complexes de pente [2], sur le versant sud de Machais (nord du Bramont). Malgré les apparences, la représentation des lignes de ruissellement organisées suivant les ordres de Strahler montre que la taille des bassins versants des complexes de replats ou de ceux des versants peuvent être comparables, même si les plus grandes valeurs correspondent aux complexes de pente. Ceci dit, des microreliefs non détectables sur le MNT affectent les ruissellements et orientent la plupart du flux amont vers la bordure des complexes comme on l'observe sur de nombreux

de secteurs. La notion de bassin versant est donc à considérer avec prudence et elle ne sera pas considérée ici avec précision. Les figures 3-24 à 3-26 présentent la situation des complexes dans leur contexte topographique et les lignes de ruissellement, elles permettent aussi de comprendre l'organisation en replats et en pentes des différents complexes.

On constate en particulier que les complexes des versants du vallon de Machais sont occupés par des complexes sur pente (figure 3-27). Les complexes occupent des pentes de 15 à 30% et l'épaisseur de tourbe n'a pas l'importance suffisante pour modifier la forme générale du profil topographique



Figure 3-24: représentation des complexes du bord sud du Bramont sur un fond présentant les lignes de ruissellement issues de la classification de Strahler.



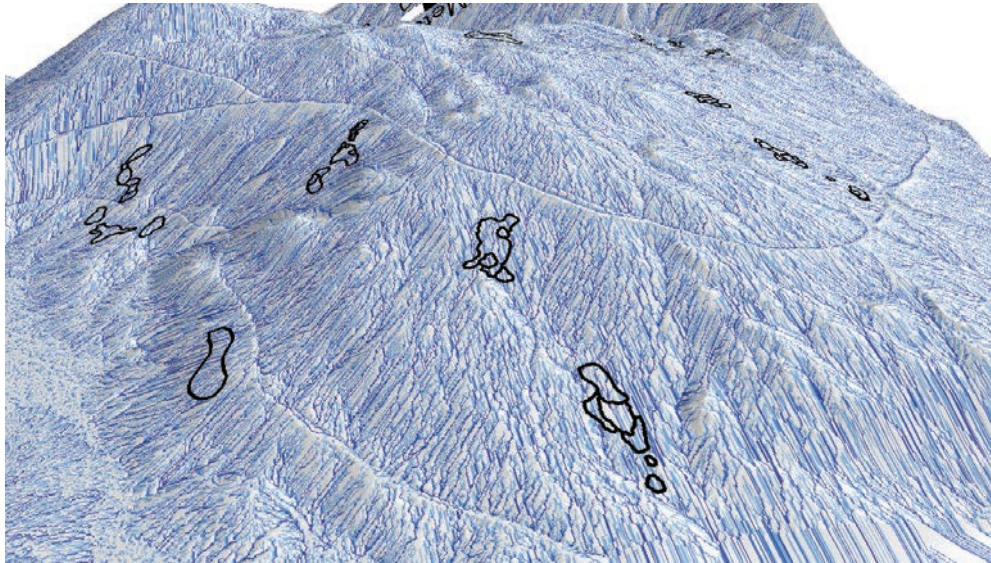


Figure 3-25: représentation des complexes du flanc nord du Bramont (versant sud de Machais) sur un fond présentant les lignes de ruissellement issues de la classification de Strahler.



Figure 3-26: représentation des complexes du versant nord de Machais sur un fond présentant les lignes de ruissellement issues de la classification de Strahler.

ou minéral (figure 3-28), autrement dit les profils ne montrent pas de bombement, et le socle minéral n'est pas surcreusé à l'endroit des complexes: la tourbe nappe la roche de manière pelliculaire. Les complexes de replats du Bramont montrent, au contraire, une topographie convexe (profils 14 et 15 et dans une moindre mesure le profil 13). L'ensemble de ces observations rend caduque les propositions d'état et de fonctionnement des tourbières de pente proposées par Mercier (2005). La topographie induite par l'érosion glaciaire, les lignes d'équilibres, n'est pas corrélée à la présence des complexes tourbeux.

Pour conclure, pour les tourbières de pente, on doit admettre qu'il est impossible de définir une relation entre le relief, la géomorphologie, et la présence de tourbe. La diversité des situations est grande, il faut travailler à l'échelle des complexes pour espérer avancer sur le déterminisme des tourbières, avec probablement une multitude de situations favorables, et non une logique unique. Pour les tourbières de replats, exclusives à la partie sud du Bramont, la corrélation des complexes et de systèmes de fractures est clairement exprimée sur le MNT.



Figure 3-27: complexe sur forte pente du versant sud de Machais.



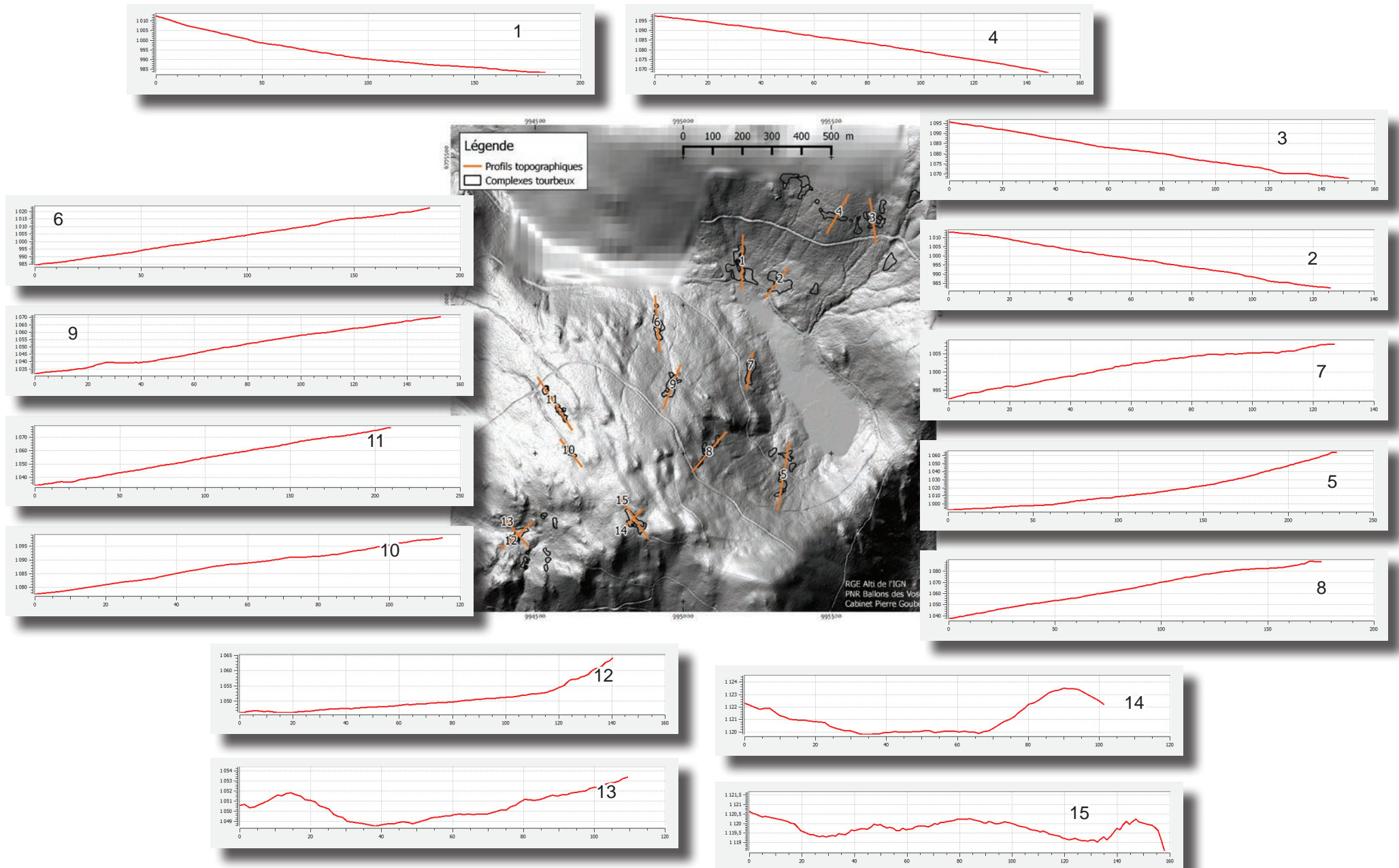


Figure 3-28: relief des complexes.

# 4 - Interprétation fonctionnelle, actions de connaissance complémentaires et stratégie de conservation

L'analyse des communautés végétales, celle des types de tourbe déposées à diverses époques aujourd'hui datées de manière absolue ou des communautés végétales ayant construit ces tourbes, celle du relief, de la géomorphologie et de la géologie permettent de proposer un premier modèle général de fonctionnement des tourbières dites de pentes de Machais. Ce modèle pourra faire l'objet d'un enrichissement par analyse des variations piézométriques

Les avancées dans la compréhension du fonctionnement des tourbières peuvent être présentées sous forme de grands acquis qui reposent sur les données collectées et divers modèles du fonctionnement des écosystèmes ou des nappes. Trois acquis majeurs peuvent être présentés: le premier concerne l'origine des tourbières originelles; le second est celui du déterminisme des tourbières actuelles et leur devenir; le troisième est en lien avec les apports hydrologiques.

## *4.1 - Acquis 1: des tourbières majoritairement géotropes lors de leur mise en place et d'origine anthropique*

Les analyses des macrorestes, et dans une moindre mesure, l'analyse pédologique et paléoécologique de terrain, montrent que la grande majorité des tourbes a été édiflée par des communautés de bas-marais acides plus ou moins boisés.

La nature géotrope (ou minérotrophe) des communautés à l'origine des tourbes implique une dépendance à l'eau de nappe ou de ruissellement importante. Hors, on constate, pour certains des complexes au moins, une déconnexion avec les ruissellements. L'approvisionnement en eau et surtout en nutriments se réalise donc proba-

blement à travers une décharge hydrogéologique locale, sous la tourbe, ou en amont, de manière diffuse, mais avec une géométrie propre au complexe. Nous traiterons de cet aspect dans les paragraphes qui suivent.

La nature géotrope des communautés anciennes, et en partie des communautés actuelles, implique des modes de fonctionnement spécifiques et des sensibilités aux activités humaines spécifiques, sujet développé dans un chapitre spécifique.

L'origine anthropique des tourbières est indiquée, d'une part, par les âges de mise en place, à partir de 3500 ans avant J.C., jusqu'à des temps récents (XVI<sup>ème</sup> siècle) et, d'autre part, par la nature des communautés, où les joncs, espèces typiques des prairies fauchées ou pâturées, sont présents en quantité. Un paragraphe spécifique traite de l'histoire des complexes et des conséquences en termes de fonctionnement actuel.

## *4.2 - Acquis 2: des tourbières ombrotrophes issues de l'abandon des pratiques*

Les tourbières hautes ne sont pas compatibles avec le pâturage. Les tourbières basses originelles étant remplacées au XVIII ou XIX<sup>ème</sup> siècles par des communautés de tourbières hautes, on peut en déduire que c'est l'abandon des pratiques agropastorales à l'origine des tourbières basses qui permet la mise en place des tourbières hautes. Autrement dit, les communautés de tourbières hautes des complexes de pentes de Machais sont issues d'un processus naturel autogène dans des milieux d'origine anthropique.

La stabilité de ces communautés reste inconnue, mais elle est probablement grande, les milieux sont restés ouverts un ou deux siècles et la turfignèse a permis la création de quelques décimètres de tourbe de haut-marais.

### 4.3 - Acquis 3: des complexes du Bramont en lien avec des failles

Les complexes du Bramont sont en lien avec la fracturation rocheuse et les logiques de transferts hydriques. Les logiques de fonctionnement global qui prévalent pour ce genre de contexte ne s'éloignent pas de logiques courantes, mais elles paraissent, pour le Bramont, exceptionnellement bien exprimées, et surtout clairement mises en évidence par le MNT.

### 4.4 - Bases théoriques du fonctionnement hydrologique des complexes minérotrophes: le rôle des émergences diffuses

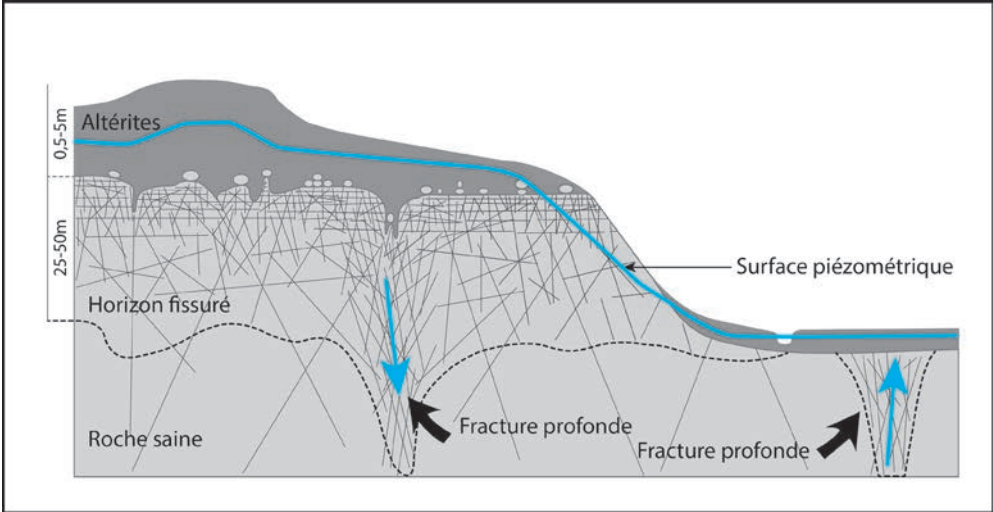
Les tourbières minérotrophes sont intimement liées à une alimentation hydrique issue du socle, ruissellement, mais surtout émergences de nappes plus ou moins «profondes». Comprendre les logiques d'écoulement dans les contextes granitiques tel que celui de Machais et du Bramont est donc un préalable à la compréhension du fonctionnement des complexes.

Le modèle de référence est celui proposé par P. Lachassagne, R. Wyns et leurs collaborateurs (Lachassagne *et al.*, 2001). Ce modèle s'appuie sur une

structure composée de trois compartiments (figure 4-1):

- un compartiment de fond, constitué de roche saine traversée de zones de fractures majeures (roche saine);
- un compartiment de surface constitué des matériaux d'altération de la roche sous-jacente, des arènes dans la majorité des cas de moyenne montagne en France (altérites);
- un compartiment intermédiaire fracturé et en partie altéré (zone fissurée-altérée).

Les propriétés de stockage et de circulation de l'eau au sein de chacun des compartiments sont différentes. La roche saine ne constitue pas un réservoir d'eau notable mais les zones de fracture permettent une circulation rapide de l'eau. A cause de ces fractures, ce compartiment est dit transmissif, il «transfère» l'eau d'un compartiment à un autre. Les altérites constituent un compartiment de stockage important, en particulier lorsqu'il s'agit d'arènes riches en sables (c'est le cas lorsque les argiles ont migré vers le fond de valon). Les altérites forment ainsi un compartiment dit «capacitif», une réserve hydrogéologique. Le volume de cette réserve hydrogéologique va dépendre de sa porosité et de son épaisseur. Le compartiment intermédiaire se caractérise par la présence d'un système de fissures horizontales provoquées par une altération des micas. Ce compartiment est donc fortement lié aux processus de formation des arènes et suit la géomé-



Modifié de Maréchal *et al.*, 2003  
 Figure 4-1: représentation schématique des différents compartiments d'un système hydrogéologique en contexte cristallin (granites et roches associées).

trie du front d'altération. Il possède à la fois les propriétés de stockage des altérites (porosité) et les propriétés de transfert de la roche saine à travers son réseau de fissures majoritairement horizontales, mais avec suffisamment de fractures verticales pour transférer l'eau des altérites aux fractures de la roche saine.

Le socle cristallin et son altérite constituent donc un aquifère composite au sein duquel la géométrie des circulations d'eau va dépendre en premier lieu de la structure tridimensionnelle du manteau d'altération et du réseau de fractures du socle sain. Cette géométrie sera à mettre en relation avec les zones d'émergences, objets déterminants pour les zones humides.

Dans de nombreux contextes géo-

morphologiques, ce modèle de transferts hydrogéologiques doit être enrichi des effets de dépôts superficiels d'origine glaciaire, alluvionnaire ou colluvionnaire (non représentés sur la figure). Dans ces cas, au moins un nouveau compartiment doit être pris en compte, avec des propriétés propres dites diffusives. Ce compartiment, constitué le plus souvent d'un dépôt en nappe, joue un rôle de transfert diffus entre un écoulement concentré au sein de la zone de fracture, et l'atmosphère. Ce compartiment peut jouer un rôle de régulateur de l'écoulement, de contrôle de la décharge. La zone de suintement est une surface relativement plane sur laquelle les plantes de zones humides ont capacité à s'installer. Si les plantes sont turfigènes, la mise en place d'un tertre tourbeux à tourbe de bas-marais est possible. Ce tertre devient un nou-

vel élément diffusif, une nouvelle formation superficielle jouant un rôle hydrologique.

Bien sûr, le rôle des humains dans la mise en place des complexes est déterminant. Le détail des causes qui permettent la mise en place d'une communauté turfigène n'est pas connue. Il est probable que les bois humides installés à l'endroit des émergences ne permet pas l'installation de bas-marais turfigènes. L'eau de nappe, riche en nutriments, est favorable aux ligneux. Est-ce que la pratique agropastorale change la donne en provoquant une baisse du stock (c'est fort probable), et des flux de nutriments? Ce régime «maigre», est-il favorable à des plantes peu exigeantes en nutriments (carex, fougères, joncs, etc.), à croissance basale et défavorable aux ligneux? On pourrait, ainsi, considérer que les bas-marais/jonçaias sont aux secteurs d'émergence ce que sont les landes et, surtout, les pelouses aux secteurs plus secs.

## 4.5 - Approche fonctionnelle globale

Les observations et données collectées convergent vers une origine minérotrophe de la tourbe des complexes, en lien avec une décharge hydrogéologique diffuse, en surface, dans des secteurs privilégiés de concentration d'écoulements souterrains, en particulier des failles, mais aussi, dans certains cas, des formations superficielles (complexes du secteur nord-est amont de

Machais). La décharge, rendue diffuse à travers des formations superficielles clairement mises en évidence par Mercier (2005), est probablement «contrôlée» par le compartiment diffusif, ce qui la rend constante dans le temps, facteur essentiel à la mise en place d'une tourbière sur des pentes fortes.

Il y a une bonne adéquation entre le système hydrologique, type de roches compris, et le type de communautés turfigènes. Carex, joncs et fougères sont fréquemment observés dans ces contextes.

La mise en place des tourbières est cependant induit par la mise en place de pratiques agropastorales. Ainsi un défrichement, ou du moins l'émergence d'usages spécifiques, ont favorisé la mise en place de bas-marais tourbeux en lieu et place de systèmes forestiers, probablement humides, mais non turfigènes. Ces milieux devaient correspondre à des sapinières claires riches en saules et bouleaux, au sol engorgé mais non tourbeux, telles qu'on en rencontre souvent dans les montagnes granitiques du Massif central. Les usages, probablement agropastoraux, sont d'un type à permettre la turfigenèse, avec des épaisseurs de quelques décimètres à 1 voir 1,5m. Cela semble à priori inattendu, car les modèles actuellement proposés indiquent qu'il est difficile de produire de la tourbe en contexte agropastoral. Si ce point de vue est incontestable pour les tourbières hautes, il semble que de nombreuses tourbières basses soient turfigènes sous un régime de pâturage ou de fauche spécifique,

et surtout, qu'elles soient directement déterminées par ce régime. C'est probablement le cas pour les tourbières du Morvan (Goubet, 2014a), les tourbières des Vosges du Nord (Goubet, 2014b) et des tourbières d'Artense (Goubet, 2015).

Les modalités fonctionnelles changent à partir du début du XIX<sup>ème</sup> siècle, si on ne tient pas compte des incertitudes du <sup>14</sup>C. Les communautés oligotrophes, ombrotrophes, à sphaignes rouges et la linaigrette colonisent en particulier le centre des complexes, là où les apports par ruissellement sont improbables. Deux conditions sont nécessaires: d'une part le piétinement doit cesser, d'autre part, la surface ne doit plus être alimentée par l'eau de nappe. La première condition est réalisée si les usages agropastoraux cessent. La seconde condition résulte du croisement de l'imperméabilisation de la surface rendue possible par un KTH et de la baisse de la charge hydraulique à l'émergence (baisse du niveau potentiel de l'eau transmis par la nappe mère). Le second processus peut être induit, par exemple, par des modifications d'infiltration des précipitations dans le bassin versant, modifications elles-même induites par des modifications de la structure des peuplements forestiers et des usages. Nous ne développerons pas plus cet aspect, autant attendre les données du suivi piézométrique actuellement en cours pour en discuter.

La tenue fréquente de moliniaie en surface n'est pas en lien avec un processus autogène (intrinsèque), d'évo-

lution naturelle de bas-marais du type de ceux qui forment la tourbe de base. La molinie résulte probablement d'un processus d'abandon agropastoral sur tourbe, comme c'est souvent le cas.

La présence fréquente de la linaigrette à feuilles étroites, en surface et en subsurface est diagnostique d'un processus érosif actuel et passé. Ce processus est cohérent, vu les pentes et le substrat. Il pourrait être une forme de paramètre d'équilibre de la croissance de l'édifice tourbeux (boucle de rétroaction négative), entre turfigenèse et érosion, érosion induite par les fortes pentes.

## 4.6 - La question des ligneux

Les données historiques de colonisation ligneuse sur les complexes indiquent des taux de colonisation relativement faibles, principalement dans des secteurs de bordures proches d'écoulements de surface.

De manière générale, au-delà de ces cas localisés, sur les complexes dénués de tourbe à linaigrette, sphaignes rouges et ligneux bas, la présence des ligneux peut être conçue comme un processus de rééquilibrage naturel. En effet, les données paléoécologiques montrent que les tourbes à carex, joncs et fougères ont été construites par des communautés en partie arbustives, voire arborées, il n'est donc pas surprenant de voir les mêmes tourbes coloni-



sées par des saules, des bouleaux ou le sapin. Par contre, l'épicéa, espèce autochtone mais probablement localisée loin des tourbières (Kalis *et al.* 2006) devrait être neutralisée par des coupes (pas d'arrachage), si elle est sur de la tourbe.

#### 4.7 - Actions de connaissance complémentaires

Pour valider le modèle de mise en place et de fonctionnement des tourbières de pente de Machais, une étude piézométrique était indispensable, elle est en cours. Il s'agit de définir les logiques de décharges hydrogéologiques.

#### 4.8 - Proposition de stratégie de conservation, d'actions de gestion et de suivi

Le diagnostic fonctionnel des tourbières de Machais est en cours d'amélioration à travers une analyse piézométrique à venir. Proposer une stratégie de conservation et des actions de gestion est donc prématuré.

De la même façon, les logiques d'écoulement pressenties seront validées par une analyse piézométrique, ce qui permettra de définir avec une bonne confiance la sensibilité des complexes aux perturbations hydrologiques éventuellement induites par l'exploitation forestière.

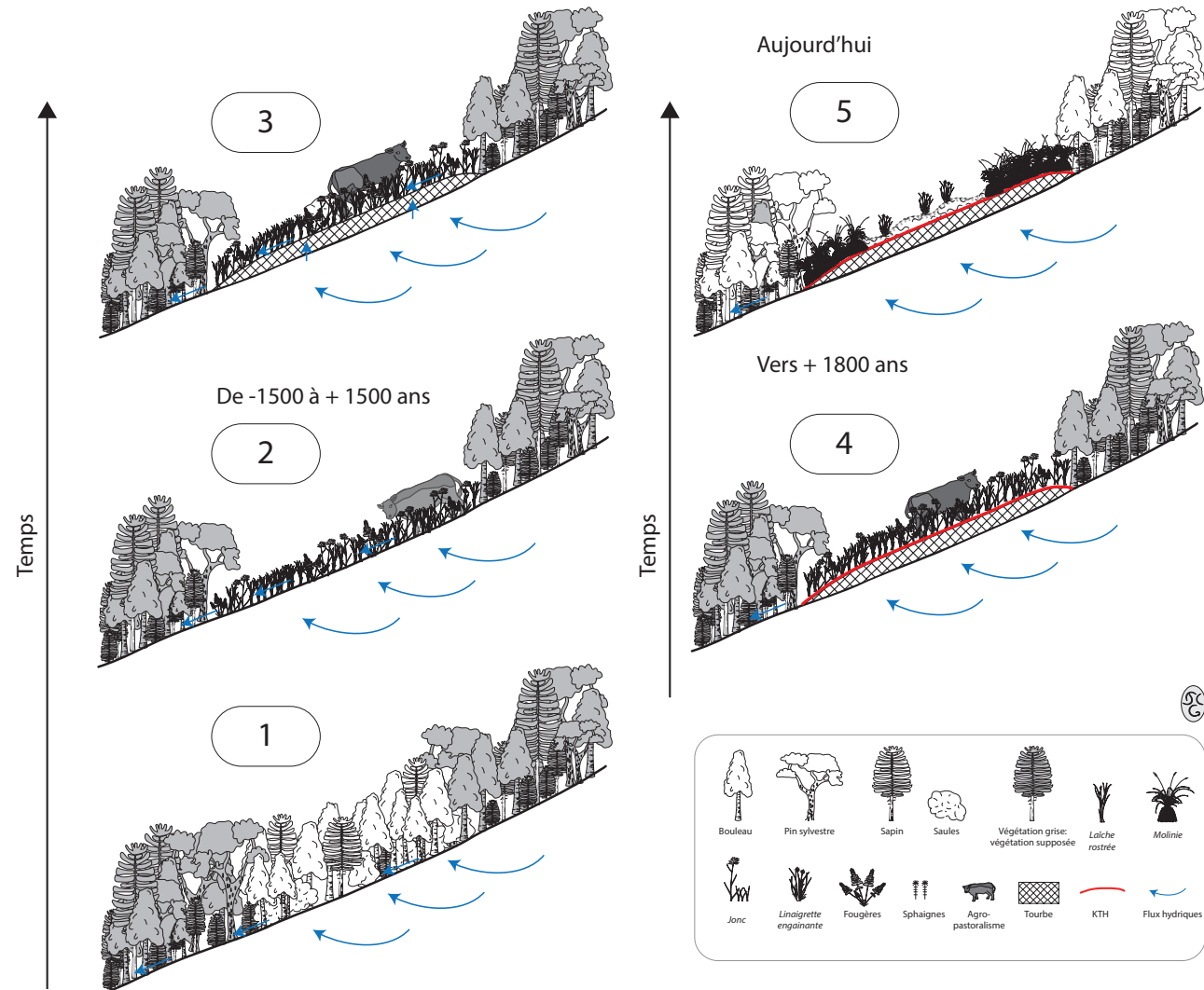


Figure 4-2: représentation schématique de l'histoire des complexes des pentes de Machais.

1: structure probable des secteurs d'émergence avant les modifications anthropiques.

2: coupe et mise en place d'une activité agropastorale permettant l'installation de communautés de bas-marais et prairies humides, entre 1500 avant J.-C. et 1500 après J.-C.

3: les pratiques agropastorales ne sont pas incompatibles avec la turfigenèse, un terre de tourbe de 1 à 1,5m est ainsi créé. L'eau des nappes percole à travers ce terre, puis ruisselle en surface.

4: un changement dans les pratiques induit l'initiation d'un kultureller Trockenhorizont. L'eau ne percole plus le terre.

5: vers 1800, les pratiques agropastorales n'impriment plus leur marque, les communautés de tourbières hautes se mettent en place et produisent quelques décimètres de tourbe.

# 5 - Conclusion-résumé

Les tourbières dites de pente de la RNN de la tourbière de Machais constituent une part importante de la couverture tourbeuse du secteur. Elles n'avaient cependant pas encore été étudiées en dehors des classiques cartographies de végétation. Cette étude avait pour but de remédier à cette absence de données et de caractériser des compartiments essentiels au fonctionnement des tourbières: le relief, à travers le MNT lidar du RGE© de l'IGN, nouvellement mis à disposition, les sols et les tourbes, à travers une étude de terrain au carottier russe, les communautés anciennes ayant construit

la tourbe, à travers une étude des macrorestes, des radiodatations <sup>14</sup>C, et une définition des unités fonctionnelles légère suivi d'une cartographie.

Les principaux résultats ont traités aux logiques d'écoulements, à la dépendance de certains des complexes vis-à-vis des zones faillées du socle granitique, et à la dépendance d'autres vis-à-vis d'une alimentation hydrique issue des formations superficielles de plateau. Les résultats sont aussi d'ordre paléocéologique. L'origine anthropique des tourbières est probable, leur mise en place date de 3500 à 1500 ans. Les

communautés de bas-marais à saules et bouleaux, carex, joncs et fougères sont alors identiques pour tous les complexes. Elles ont formé des tourbes minérotrophes qui contrastent avec les tourbes subjacentes, construites par une communauté, à tendance ombrotrophe, à sphaignes rouges, ligneux bas (éricacées) et linaigrette à feuilles étroites.

La tourbe à tendance ombrotrophe est restreinte à quelques complexes. Son origine tient probablement dans un phénomène de diminution de la décharge hydrogéologique, d'origine

climatique ou anthropique, et surtout à l'arrêt des pratiques agropastorales. Leur dépôt débute vers 1800 +/-100 ans. Une époque qui semble correspondre à des changements dans les politiques d'exploitations des versants forestiers.

Vu les démarches en cours d'analyses des variations des niveaux d'eau, une proposition de stratégie de conservation et d'actions de gestion est prématurée. Ceci dit, vu l'âge des communautés, elles semblent stables et turfigènes, dans un état de conservation favorable, bien que d'origine anthropique.

# 6 - Bibliographie

Lachassagne P., Wyns R., Bérard P., Bruel T., Chéry L., Coutand T., Desprats J.-F. & Le Strat P. (2001). Exploitation of high-yields in hard-rock aquifers: downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. *Groundwater*, 39(4), 568-581.

Garnier E., 2004. Terre de conquêtes. La forêt vosgienne sous l'Ancien Régime. Paris, Ed. Fayard, 620 p.

Goepf, S. (2007). Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien. Déterminismes environnementaux et actions de l'homme (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur-Strasbourg I). 286 p.

Goubet P. (2014a) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional du Morvan. Les macrorestes des tourbes: contribution à la connaissance de l'histoire et du fonctionnement des tourbières du Morvan. Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 32 p.

Goubet P. (2014b) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Vosges du Nord. Analyse des macrorestes des tourbières du Parc naturel régional des Vosges du Nord et radiodatations carbone associées. Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 23 p.

Goubet P. (2015). Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels Auvergne. Diagnostic fonctionnel partiel de

la tourbière de Crespy-Greloux, Bagnols, Puy-de-Dôme. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 25p.

Janssen C.R. & Janssen-Kettlitz E.L., 1972. A post-atlantic sequence from the tourbière du Tarnet (Vosges, France). *Pollen et spores* 14, 65-77.

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. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15(4), 377-390.

Maréchal J. C., Wyns R., Lachassagne P.,

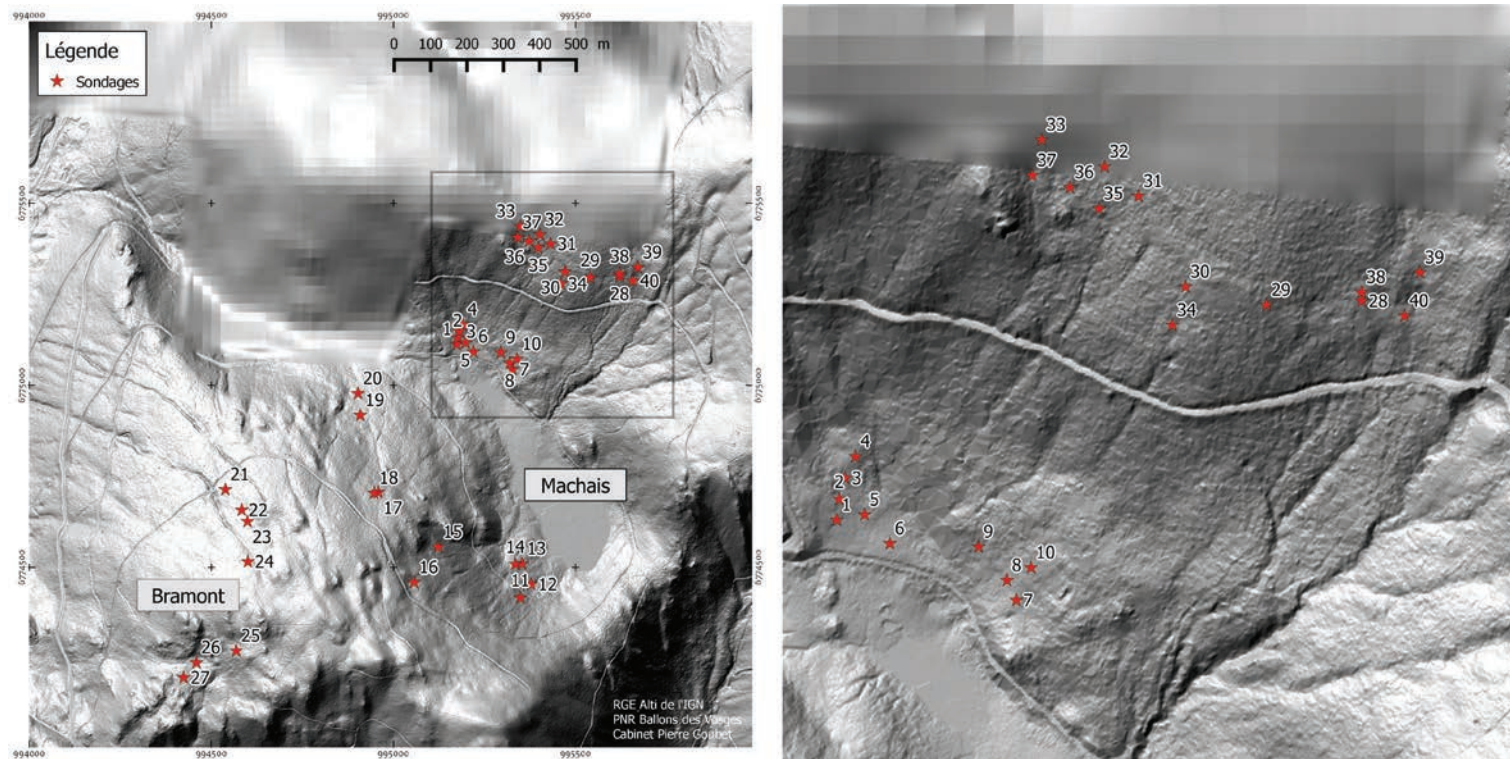
Subrahmanyam K., & Touchard F. (2003). Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socle: concordance avec la structure géologique des profils d'altération. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(5), 451-460.

Messoussi L. (2001). Étude géomorphologique, géologique, géomorphologique et hydrogéologique. Centre d'Études et de Recherches Eco-géographiques de Strasbourg. Strasbourg. 26 p.

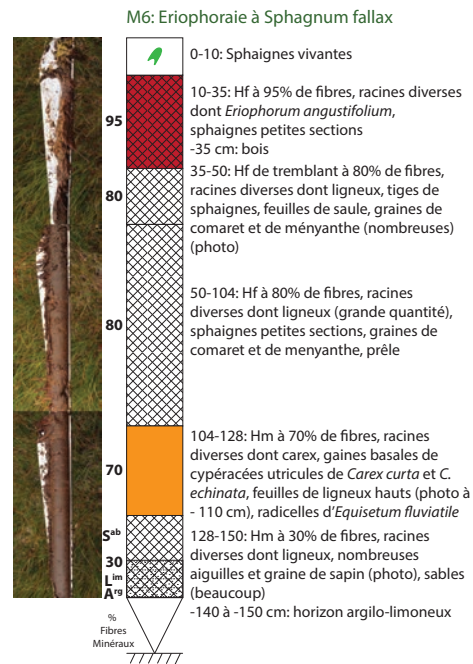
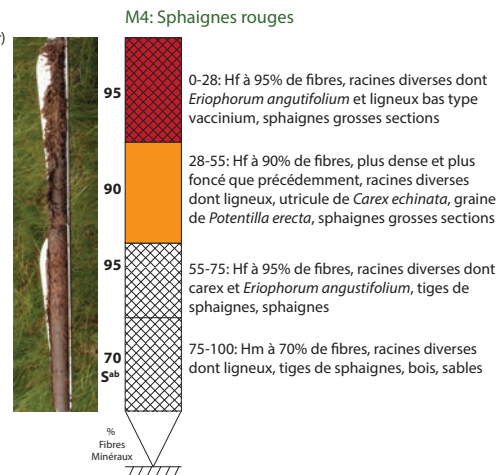
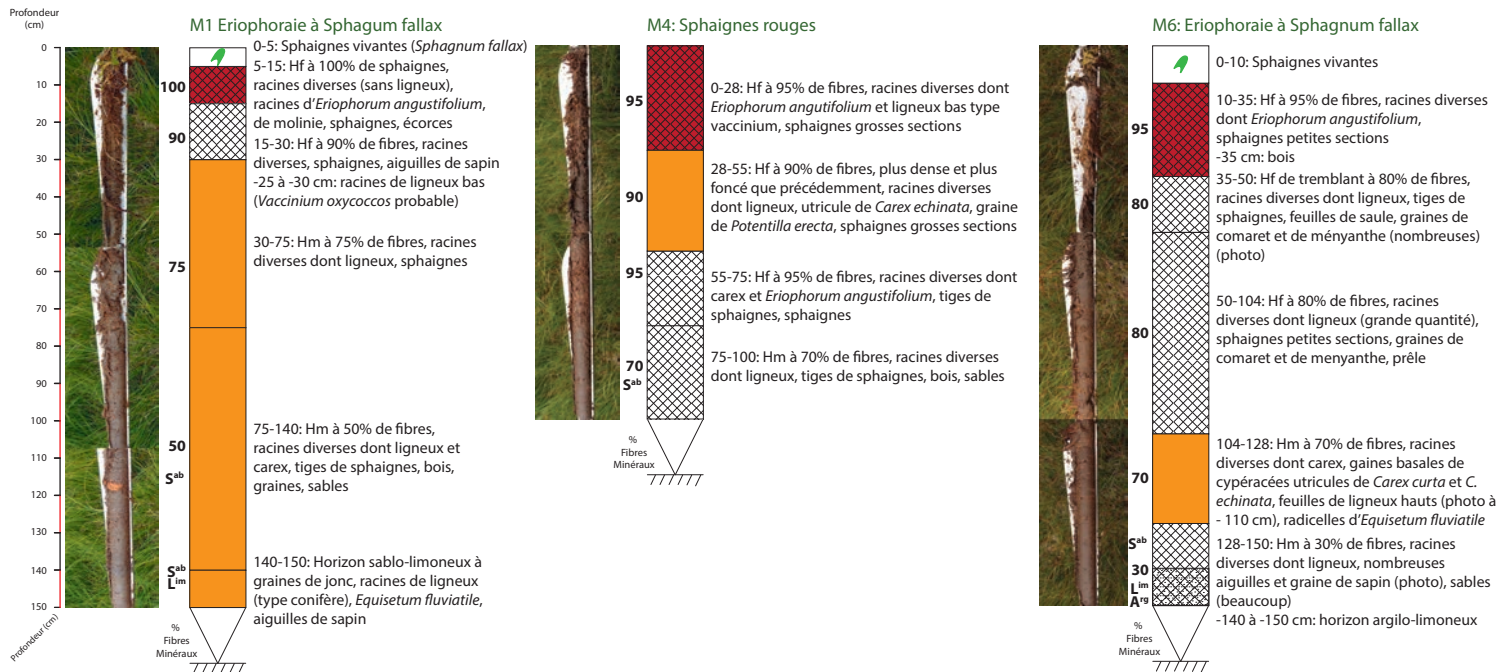
Mercier J.-L. (2005). Étude hydrogéologique, géologique et géomorphologique du bassin versant de la tourbière de Machais (Lorraine). Université Louis Pasteur de Strasbourg. 29 p.



# 7 - Annexe: Représentation schématique des résultats de sondages



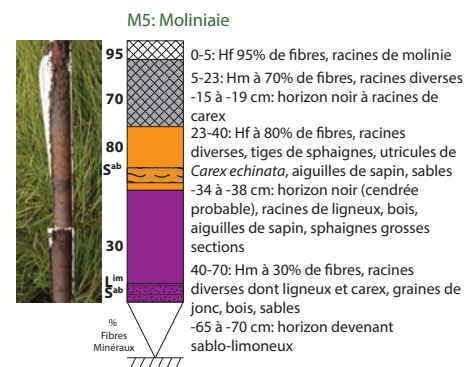
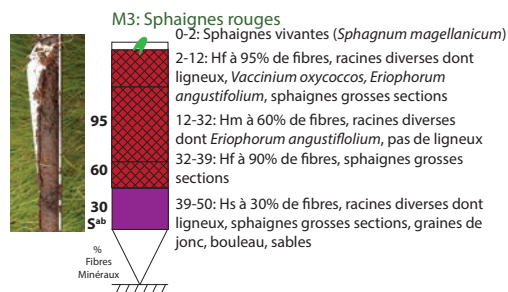
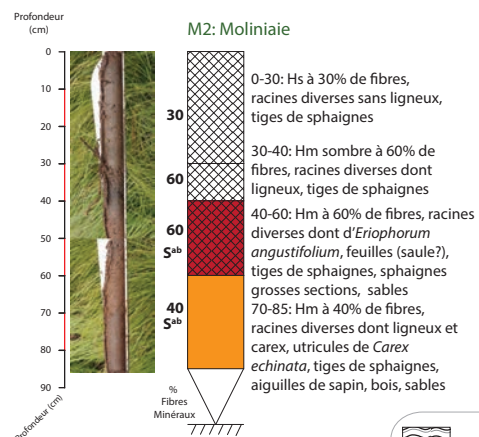
Localisation des sondages présentés dans les pages suivantes



M6-graine de ményanthe de -35 à -50cm

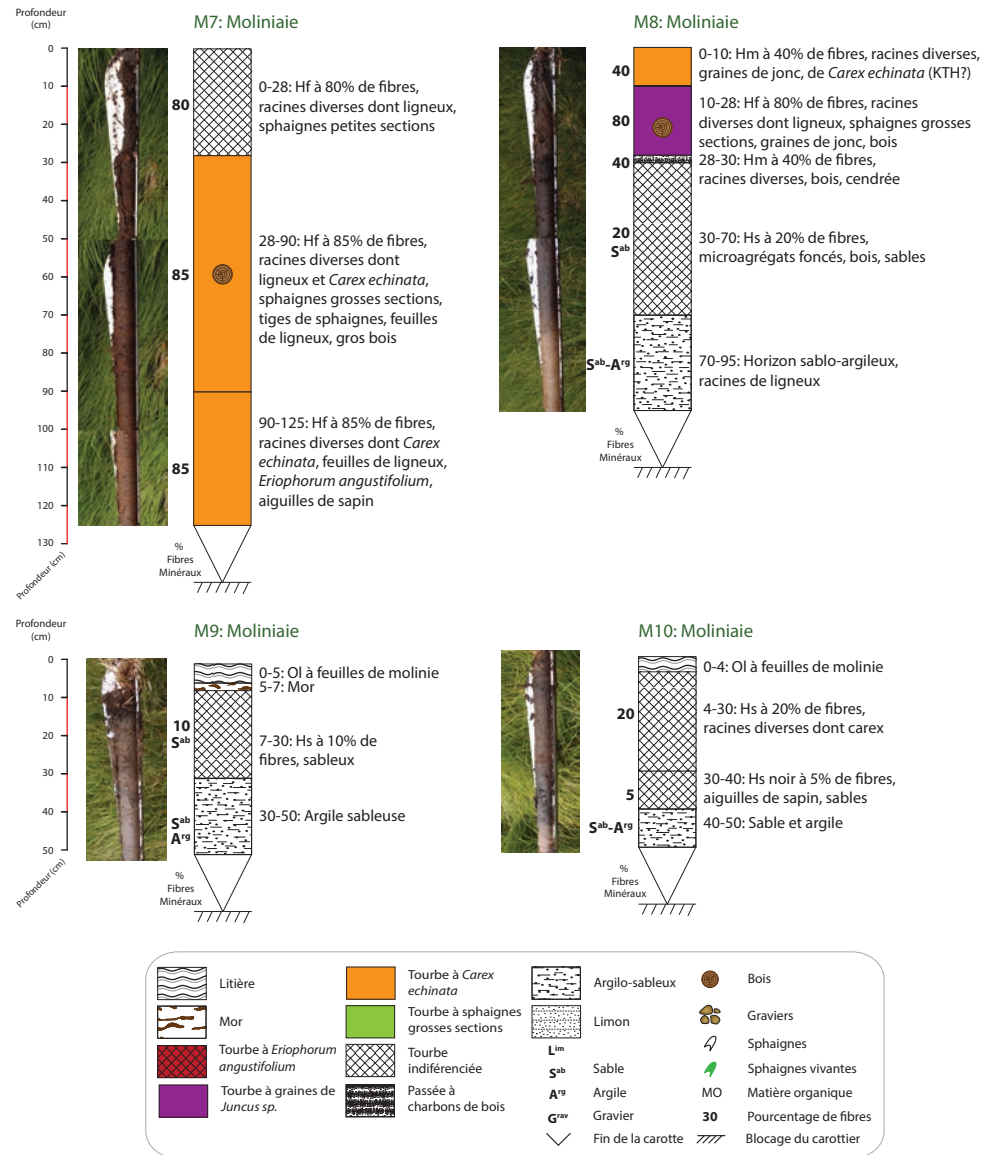


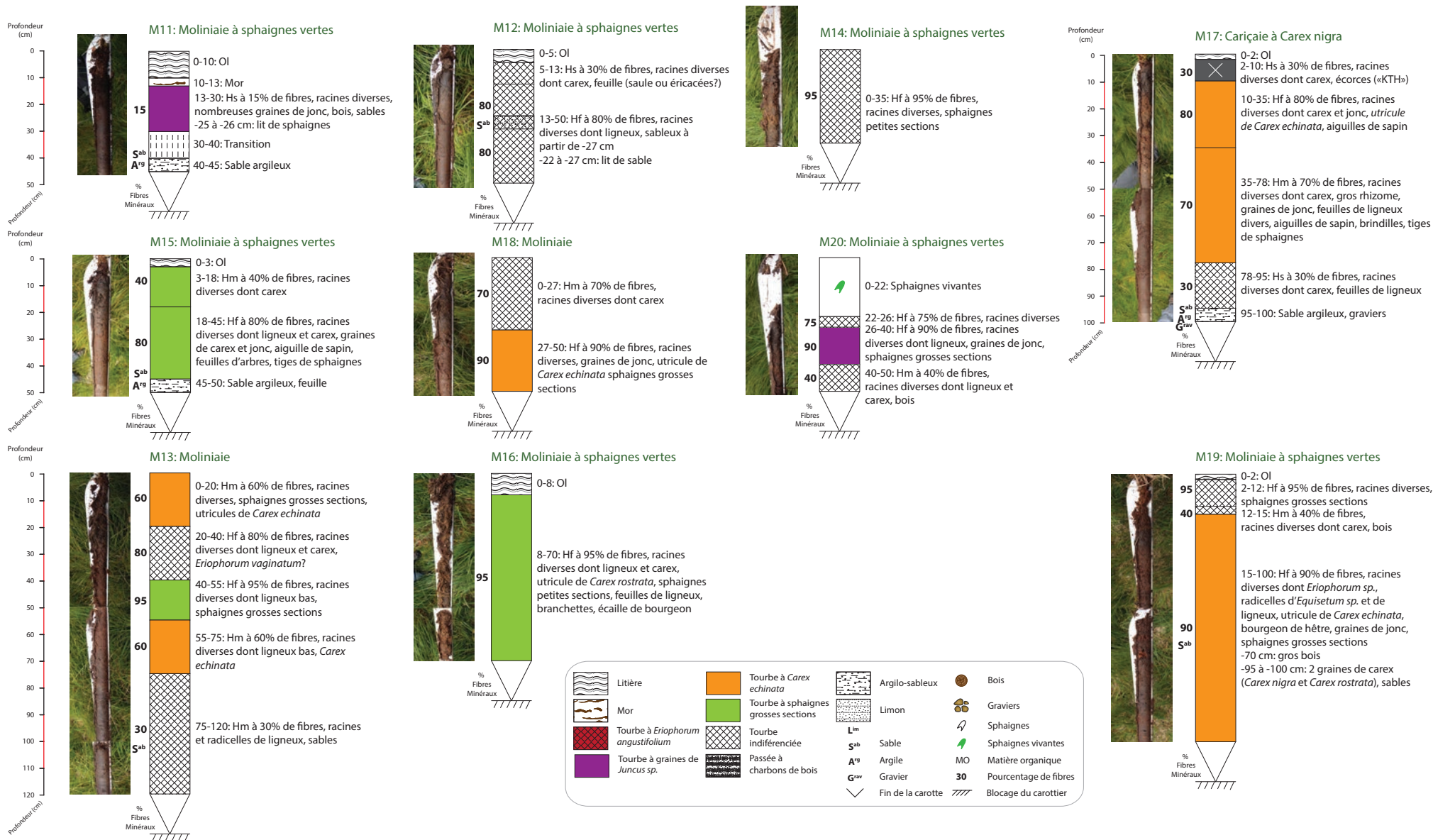
M6-feuilles, aiguilles de sapin -70cm



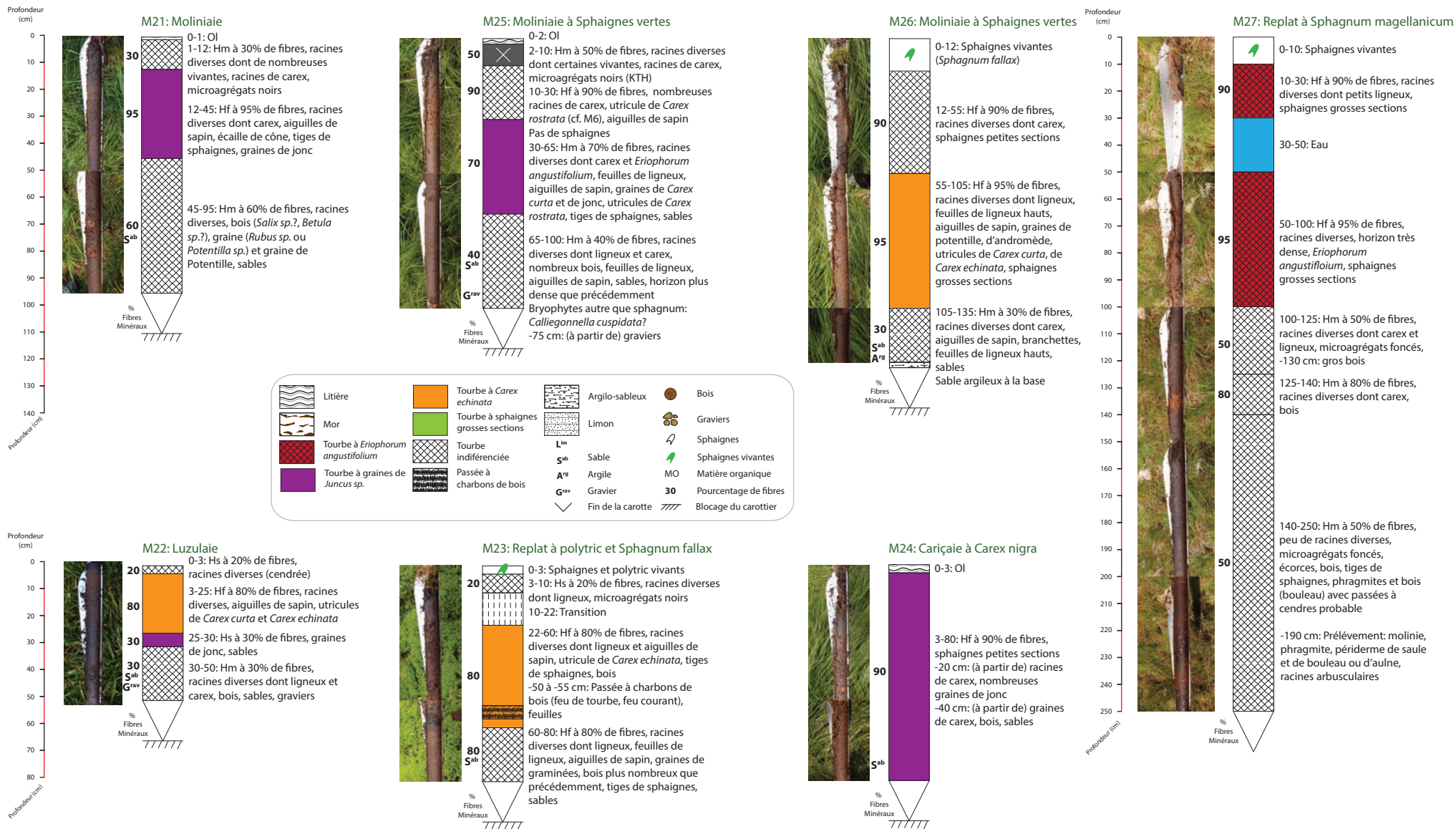
	Litière		Tourbe à <i>Carex echinata</i>		Argilo-sableux		Bois
	Mor		Tourbe à sphaignes grosses sections		Limon		Graviers
	Tourbe à <i>Eriophorum angustifolium</i>		Tourbe indifférenciée		Sable		Sphaignes
	Tourbe à graines de <i>Juncus sp.</i>		Passée à charbons de bois		Argile		MO Matière organique
					Gravier		30 Pourcentage de fibres
					Fin de la carotte		/// Blocage du carottier

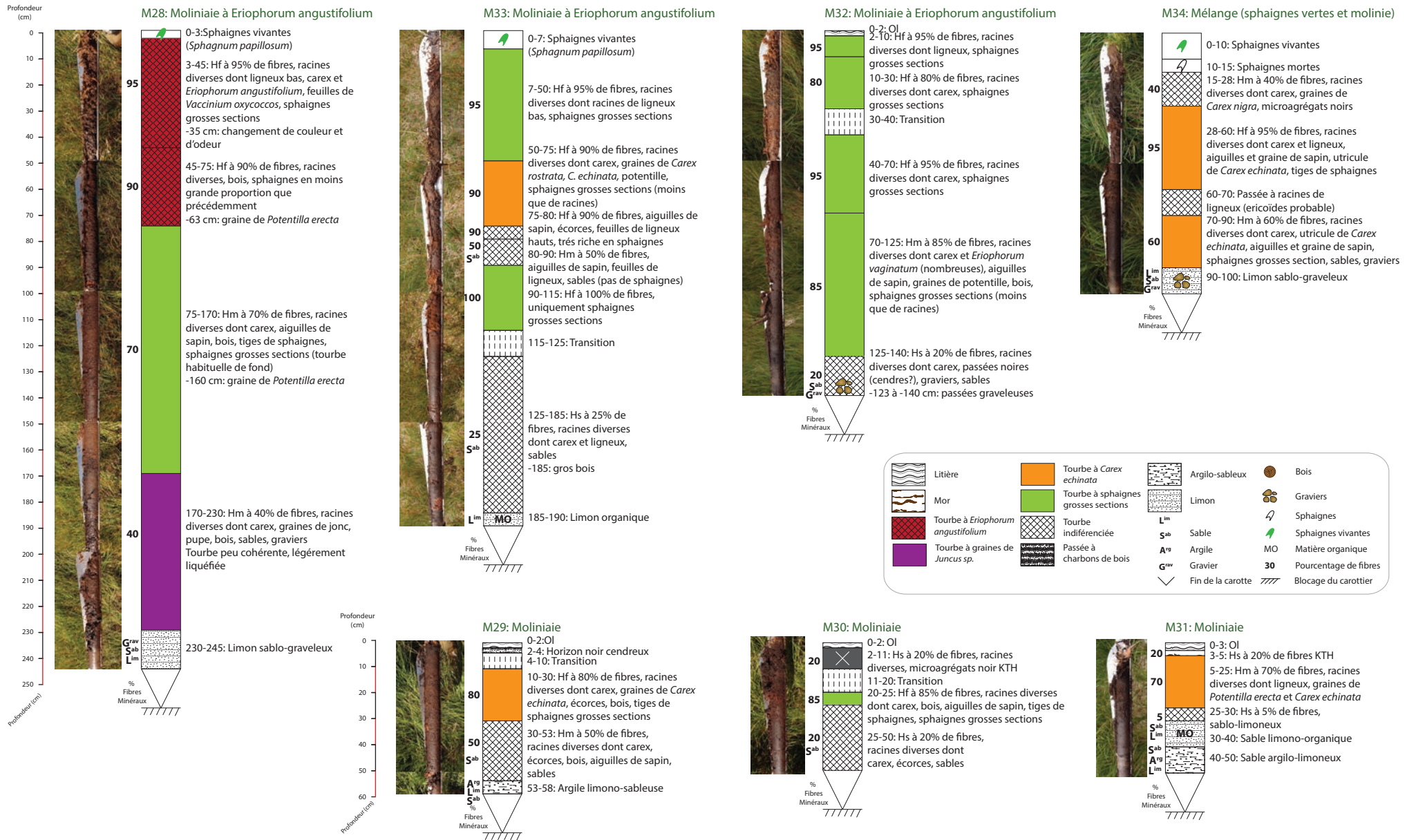




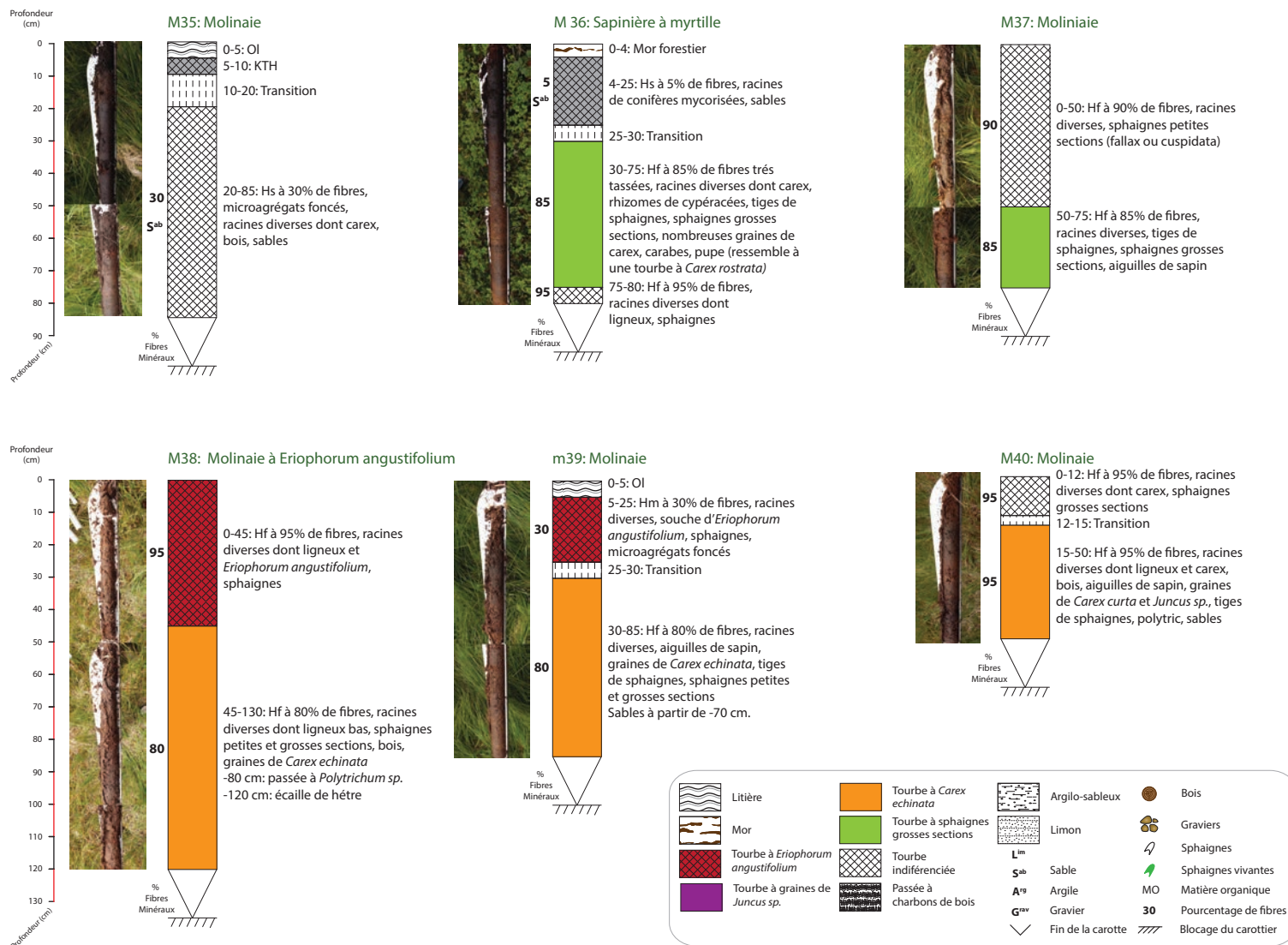












GOUBET P. (2015). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Ballons des Vosges. Caractérisation fonctionnelle des tourbières des pentes de la réserve naturelle de l'étang de Machais (La Bresse, Vosges). Cabinet Pierre GOUBET, Ardes-sur-Couze, 33 p.

**Expertise des Écosystèmes – Cabinet Pierre GOUBET**  
**9 rue de la petite côte - 63 420 Ardes-sur-Couze**  
**Téléphone : 09 67 45 69 53 – Mobile : 06 09 84 96 11**  
**pierre.goubet@sphagnum.fr - <http://www.sphagnum.fr>**  
**Siret : 49539019700020**  
**N° TVA intracommunautaire : FR41495390197**