AGENCE DE L'EAU RHIN•MEUSE
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE EN CHARGE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Office National des Forêts

Compte rendu d'étude commandée par l'Office national des forêts

Diagnostic fonctionnel du Marais de La Maxe, réserve biologique dirigée (Grandfontaine, Bas-Rhin).

Pierre Goubet

2019

Cabinet Pierre GOUBET - Expertise des écosystèmes

Travail réalisé avec le mécénat de: HSBC

Table des matières

1 - Introduction 1

2 - Méthodes. 3

2.1 - Méthode d'acquisition des données de relief, d'exploitation du MNS et d'épaisseur de sédiments meubles. 3

2.2 - Analyse pédo-paléoécologique 4

2.3 - Suivi des niveaux d'eau 5

3 - Résultats. 7

3.1 - Cadre géologique et géomorphologique 7

3.2 - Relief et épaisseurs de tourbe 8

3.3 - Sols et sédiments meubles 10

3.4 - Niveaux d'eau 16

3.4.A - Chroniques annuelles 17

3.4.B - Chroniques d'octobre et novembre 2018 17

3.4.C - Chroniques de décembre 2018 et janvier 2019 18

3.4.D - Chroniques de février et mars 2019 19

3.4.E - Chroniques d'avril et mai 2019 19

3.4.F - Chroniques de juin 2019 20

3.4.G - Chroniques de juillet à septembre 2019 21

3.5 - Photographies aériennes anciennes 22

3.6 - Unités fonctionnelles 23

4 - Interprétation fonctionnelle 25

4.1 - Origine de la tourbière 25

4.2 - Etat actuel 25

4.2.A - La tourbière haute de la zone ouverte 26

4.2.B - La pessière 27

5 - La conservation des habitats 28

5.1 - Maintenir la tourbière haute 28

5.2 - Favoriser l'extension de la Tourbière haute 28

5.3 - Contenir les ligneux 28

5.4 - Améliorer la naturalité des boisements 29

5.5 - Possibilité de restauration globale par ennoiement 30

5.6 - Question de l'état de conservation des Habitats d'intérêt communautaire 30

5.7 - Question des changements climatiques 31

6 - Résumé-conclusion 32

7 - Bibliographie 33

1 - Introduction

Ce document correspond au compte rendu d'une étude commandée par l'Office national des forêts et concerne la tourbière dite du Marais de la Maxe, située dans la Réserve biologique dirigée des Tourbières du Donon, sur la commune de Grandfontaine, dans le Bas-Rhin.

L'objectif de l'étude, dont le contenu formel de la commande est présenté dans l'encart de la page suivant, se décline en trois questions majeures:

1- Quel est le régime hydrologique des différentes grandes unités du complexe ?

2- Quelle sont les paramètres écologiques qui contrôlent les communautés des différentes unités fonctionnelles présentes ?

3- Comment permettre le maintien ou l'extension d'unités choisies pour leur valeur patrimoniale ?

Ces trois questions se déclinent en questions plus techniques, à savoir:

A. Quelle est la structure du massif de tourbe (tourbe ancienne, tourbe récente, gyttja ancienne, gyttja récente, poche d'eau, etc.) ?

B. Comment l'édifice tourbeux s'intègre-t-il dans son encaissant minéral ?

C. Quel est le rôle de la digue ?

D. Quelle part de déterminisme de l'eau et des nutriments ?

E. Quelle part d'héritage des perturbations passées dans l'état et le fonctionnement des unités actuelles ? Comment cet héritage contraint-il l'état de certaines parties du complexe ?

Pour répondre à l'ensemble de ces questions, nous avons entrepris de réaliser trois actions de caractérisation: une relative au relief, pour aider à caractériser les écoulements de surface et les potentiels de restauration hydraulique; une autre pour décrire les tourbes dans leur composante de surface, en tant que substrat, et dans leur composante paléoécologique, en tant qu'archive de la tourbière passée; une dernière action visait à caractériser les battements de la nappe de surface, à travers un suivi piézométrique. L'ensemble des données collectées, additionné des données déjà existantes, devait ensuite servir de base à une analyse globale. L'objectif étant de comprendre le fonctionnement de chaque partie du complexe dans un environnement plus vaste nommé la zone de dépendance fonctionnelle.

Dans le sondage pédologique et paléoécologique Max_S1 à 340 cm, une pomme de *Pinus sylvestris* parfaitement conservée.

Ce compte rendu se présente en sept parties, avec, à la suite de cette introduction (1), la présentation des méthodes utilisées (2), puis, les résultats générés (3), suivis d'une interprétation fonctionnelle (4), des propositions d'actions pour la conservation des habitats (5), d'un résumé sous forme de conclusion (6) et d'une bibliographie sommaire (7).

Ce document est accompagné d'un DVD de données diverses (système d'information géographique, tableur piézométrique, rapport, figures et photographie).

Contenu de la commande

PARTIE 1 : STRUCTURE DE L'ÉDIFICE ET DE SON ENCAISSANT

Actions 1a : le relief de la surface et du socle minéral

Nous proposons donc de travailler sur la définition de l'altitude (au pire relative, au mieux absolue) de différents éléments clés du complexe : digue, seuil minéral, secteur de plus grande profondeur, unités fonctionnelles clés, etc. Pour ce faire, soit nous mesurerons directement l'altitude relative à l'aide d'un niveau de chantier, adapté pour ce genre d'étude, soit nous utiliserons les données altimétriques du RGE de l'IGN générées par levé lidar et fournies sous convention par l'ONF, si celles-ci sont disponibles (couverture nationale en cours de réalisation).

Le relief du socle minéral sous la tourbe sera déduit des épaisseurs de tourbe et sédiments meubles caractérisées par perche de sondage. L'outil, gradué, est enfoncé verticalement dans la tourbe jusqu'à ce que le socle minéral soit atteint.

Action 1b : caractérisation pédologique et paléoécologique de terrain

Ce volet est destiné à définir les sols et les types de tourbe de la manière la plus simple et la moins coûteuse en ne s'intéressant qu'aux critères observables sur le terrain et à quelques prélèvements de tourbe pour en étudier le contenu en macrorestes.

L'outil utilisé est le carottier russe et des sondes pédologiques. La caractérisation se réalise aux échelles du sol (de 0 à 1,5 m de profondeur) et de la colonne de tourbe (de 0 à 6 m).

Il s'agit de décrire les horizons pédologiques sur une dizaine de sondages ou la colonne de tourbe de la surface au socle rocheux en termes de grandes unités stratigraphiques et d'indicateurs paléoécologiques comme les cendrées et charbons de bois, les branches ou racines, etc., sur deux sondages profonds sur le site (5-6 m).

PARTIE 2 : ANALYSE PIÉZOMÉTRIQUE

Il s'agit ici de caractériser de manière simple les variations des niveaux d'eau sur un pas de temps d'une demi-heure pendant presque une année et en 5 points du complexe. Pour cela, nous utilisons des sondes automatiques posées dans des piézomètres en PVC à résille standardisée. Les données générées sont présentées sous forme de chroniques piézométriques classiques ou d'autres modalités (analyses de corrélation, temps de résidence par niveau de profondeur, etc.).

PARTIE 3 : INTERPRÉTATION FONCTIONNELLE, RECOMMANDATIONS DIVERSES

Le contenu de ce volet correspond aux analyses sectorielles et à l'analyse globale des données en vue de proposer un modèle de fonctionnement de la tourbière aux échelles pertinentes (analyse du complexe et de sa zone de dépendance fonctionnelle, analyse des parties majeures, analyse des unités fonctionnelles élémentaires clés).

Il inclut également un ensemble de recommandations pour ce qui concerne les actions de connaissances complémentaires ou de conservation des espèces et des Habitats.

2 - Méthodes

L'analyse fonctionnelle que nous avons réalisée fait appel à trois grands types de données ayant chacun ses propres méthodologies: la description du relief, la caractérisation pédo-paléoécologique de terrain et le suivi des niveaux d'eau. En plus de ces données acquises lors de l'étude, nous avons bénéficié des données floristiques fournies par l'Office national des forêts (ONF) et du modèle numérique de surface (MNS) de 2015 (Source : BD ORTHO IGN 2015 Paris (Partenariat CIGAL 2015 - www.geograndest.fr)) également fourni par l'ONF. Des données générales ou bibliographiques ont aussi été prises en compte. Enfin, la synthèse fonctionnelle découle aussi d'une approche méthodologique qui a été présentée dans le diagnostic fonctionnel du Champ du Feu (Goubet, 2016).

Figure 2-1-1: niveau de chantier et mire.

2.1 - Méthode d'acquisition des données de relief, d'exploitation du MNS et d'épaisseur de sédiments meubles.

Les données de relief sont indispensables pour définir les écoulements de surface et modéliser les écoulements souterrains. Elles peuvent être acquises directement sur le terrain, ou générées à partir de prises de données aériennes ou satellites. Nous avons bénéficié du MNS du CIGAL qui a été généré à partir de photographies aériennes, qui représente donc le relief des surfaces prises par les photos, par ce fait les forêts sont représentées par leur canopée. Ceci implique, pour le marais de la Maxe, un relief décrit avec précision seulement pour la partie ouverte de la tourbière. La résolution horizontale est de 20 cm.

Pour compléter la description du relief dans le boisement, nous avons procédé à une description simplifiée avec un niveau de chantier (Leica Runner 24) et une mire (figure 2-1-1). Les mesures avaient la triple utilité de vérifier la qualité du MNS fourni, pour la zone ouverte, de caractériser le relief des boisements, là où le MNS est inopérant, et de caler le niveau de la digue et de l'exutoire. Soixante dix points topographiques ont ainsi été générés.

Les données du MNS du CIGAL ont été traitées par divers modules des logiciels libres QGIS (https://www.qgis.org/fr/site/) et SAGA-GIS (http://www.saga-gis.org/en/index.html). Le paramétrage des modules est, sauf mention contraire, celui défini par défaut par les logiciels.

Les épaisseurs de sédiments meubles ont été mesurées à l'aide d'une perche métallique à longueur variable par ajout successif de tiges vissées (figure 2-1-2). Cette méthode ne permet pas de détecter le type de sédiment. Par exemple, à la Maxe, l'épaisseur de tourbe ne peut être déterminée si les sédiments sous-jacents sont des gyttjas (des «boues» lacustres). De même, la tourbe compactée et les argiles meubles ne sont parfois pas différentiables.

Figure 2-1-2: mesure des épaisseurs de sédiments meubles à l'aide d'une perche métallique à longueur variable.

La validation des mesures doit être réalisée sur la base de la vérification de la nature des sédiments avec d'autres moyens de sondages. Les validations réalisées à la Maxe montrent que les épaisseurs de tourbe peuvent être sous-estimée par une nature particulièrement compacte de la tourbe.

Quarante trois sondages à la perche ont été réalisés pour cette étude, principalement dans les boisements, pour apporter du contenu à d'éventuels projets de restauration hydraulique. La zone ouverte n'a pas été caractérisée à la perche car il était impossible de déterminer la limite entre la tourbe, les gyttjas et l'argile de fond. Ces épaisseurs ont néanmoins déjà été décrites par ailleurs (Walter-Simonet *et al.*, 2009-2010) et sur la base d'un carottage (notre sondage Max_S1).

Les données géologiques analysées sont celles disponibles sur le site Infoterre du BRGM (http://infoterre.brgm.fr) et quelques documents complémentaires cités dans la bibliographie de la fin du document.

2.2 - Analyse pédo-paléoécologique

La caractérisation de terrain des sols de tourbières et autres zones humides est basée sur une description de la couleur, de la texture et du contenu en éléments macroscopiques des différents horizons rencontrés dans les colonnes de sol prélevées. L'outil utilisé pour le prélèvement est, dans la tourbe, le carottier russe (figure 2-2-1), dans les autres sols, différents types de tarières manuelles (tarière Edelman, tarière gouge, figure 2-2-2). Une fois extraites, les carottes sont étudiées sur le terrain figure 2-2-3). De ces carottes sont prélevés des échantillons stockés dans des sachets plastiques, numérotés et référencés en fonction du sondage et de sa place dans celui-ci. La localisation des sondages est enregistrée au GPS de précision pluri-métrique, les photographies des carottes dès leur extraction sont enregistrées également.

La caractérisation vise à la meilleure représentativité des sols d'un complexe, le choix des emplacements de sondage dépend donc de multiples paramètres définis sur le terrain. En général, un sondage au moins est réalisé dans la partie la plus épaisse de l'édifice, comme cela fut le cas à la Maxe.

La restitution des résultats se réalise sous forme de colonnes stratigraphiques synthétiques reprenant les éléments caractérisés. La nomenclature pédologique est simplifiée, les termes du langage commun sont préférés aux termes techniques, certaines abréviations consacrées en pédologie (Hs, Hm, Hf) sont expliquées dans l'encart page suivante.

Les échantillons collectés pour une analyse complémentaire en laboratoire sont étudiés en diluant la matière dans une boite plastique mesurant 9,7

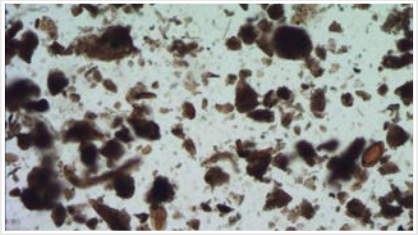
Figure 2-2-1: le carottier russe.

Généralités sur les sols tourbeux

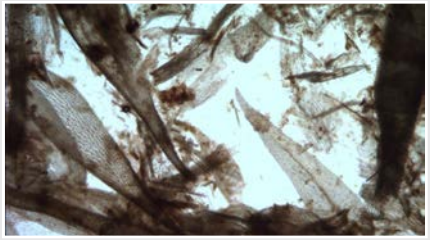
Le terme d'HISTOSOLS est proposé par les pédologues pour désigner les sols tourbeux, les sols constitués de tourbe, la tourbe étant définie comme un matériau contenant une forte part de matière organique d'origine végétale (part variable suivant les classifications).

Les horizons qui constituent les HISTOSOLS sont dits histiques, on les divise en trois types, un type fibrique où les fibres végétales sont dominantes, 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, ces derniers 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'épisolum humifère), soit d'une dégradation de la tourbe au cours du temps (sur toute la colonne de tourbe sous l'épisolum humifère). Notre description simplifiée des tourbes tient compte des deux approches, avec la mention du pourcentage de fibres et le type de tourbe dans la série fibrique (Hf), mésique (Hm) et saprique (Hs).



Microagrégats de matière organique.



Fibres dans la tourbe, ici une mousse.

x 6,5cm (figure 2-2-4). Il s'agit ensuite d'identifier les objets présents dont les macrorestes. L'identification est réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope.

Il est important de prendre en considération 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 sondages.

2.3 - Suivi des niveaux d'eau

Cette partie consiste en une caractérisation piézométrique, autrement dit, une analyse des variations des niveaux d'eau à travers un appareillage électronique déposé dans des piézomètres.

Les piézomètres sont des tubes permettant d'accéder depuis la surface à une nappe phréatique ou à l'eau du sol. Ils sont équipés de capteurs électroniques de pression et de température de type Levelogger Junior Edge de Solinst.

Chaque sonde piézométrique (figure 2-3-1), fixée à une navette en PVC, est placée à une dizaine de centimètres du fond d'un piézomètre de diamètre intérieur 51 mm et extérieur 63 mm ou 25-33 mm en PVC (figure 2-3-2). Les piézomètres sont posés grâce à un carottier russe de diamètre extérieur de 60 mm ou d'autres tarières pédologiques (Edelman, gouge) (figure 2-2-1).

Les profils pédologiques de chaque piézomètre ont été relevés sur le terrain le jour de la pose. Leur composition et leur structure sont présentées avec les autres carottages.

Les sondes sont programmées pour un démarrage simultané et restent en place pour la même durée, généralement une année. La pression de l'ensemble des sondes est mesurée toutes les demi-heures entre les dates de pose et celles de dépose.

Les données brutes sont exprimées en cmH_2O, disponibles en format fabricant, exportées en CSV ou directement sous Excel. Le traitement des données est réalisé sous tableur Excel. La com-

Figure 2-2-4 : échantillon de macrorestes brut, à gauche, et prêt à être analysé, à droite.

Figure 2-3-1: sonde levelogger et navette de pose.

pensation sonde piézométrique-sonde barométrique est réalisée par simple soustraction de la valeur atmosphérique de la valeur sous eau. Des modifications sont éventuellement réalisées pour exprimer les résultats en cm par rapport au niveau du sol ou en altitude NGF. Le rendu final est exprimé suivant différentes modalités, toutes les données sont fournies sur CD en annexe du rapport.

Les résultats sont présentés en grande majorité sur des figures nommées chroniques piézométriques dans des graphiques binaires avec le temps en abscisses et le niveau d'eau en ordonnées, relatif au sol en centimètres ou en altitude en m NGF.

Des analyses de corrélation de Pearson sont également réalisées pour répondre à des questions de similitude dans les variations des niveaux d'eau. Les régimes piézométriques variant en fonction des saisons, ces analyses peuvent être réalisées à différentes échelles temporelles. La lecture des résultats est facilitée par une coloration des valeurs, les hautes corrélations étant rouges, les faibles vertes. Il n'existe pas de taux de corrélation négatifs, sauf exceptions rares, comme ici pour un des piézomètres. Un fort taux de corrélation implique une similarité dans les variations.

L'étude des enregistrements piézométriques permet de caractériser de manière plus fine les régimes piézométriques à partir de périodes choisies pour leur intérêt particulier, annuelles à quelques heures. Généralement seuls les éléments majeurs seront présentés pour chaque piézomètre.

Pour cette étude, 5 sondes ont été posées à 5 endroits comme présentés en figure 3-4-1. Les suivis ont été réalisés du 16 octobre 2018 au 4 octobre 2019. L'exploitation des données sera réalisée pour les jours entre le 16 octobre 2018 et le 30 septembre 2019.

L'interprétation des résultats s'appuie sur un ensemble de concepts qui seront présentés au fur et à mesure des besoins. Parmi eux, celui des logiques d'évapotranspiration est primordial car il permet de mettre en évidence des processus d'écoulements fondamentaux. La figure 2-3-3 présente quatre cas de chroniques quotidiennes sur 2 jours d'affilée. Le détail des logiques d'écoulement est présenté dans la figure. D'autres cas sont possibles et seront présentés s'ils se présentent sur les chroniques du Marais de la Maxe.

Les explications du texte s'appuient sur de nombreuses figures. Pour faciliter la compréhension des phénomènes, des numéros dans le texte et entre crochets renvoient aux mêmes numéros dans la figure. Nous n'utilisons qu'une série de numéros par page, pour éviter les confusions.

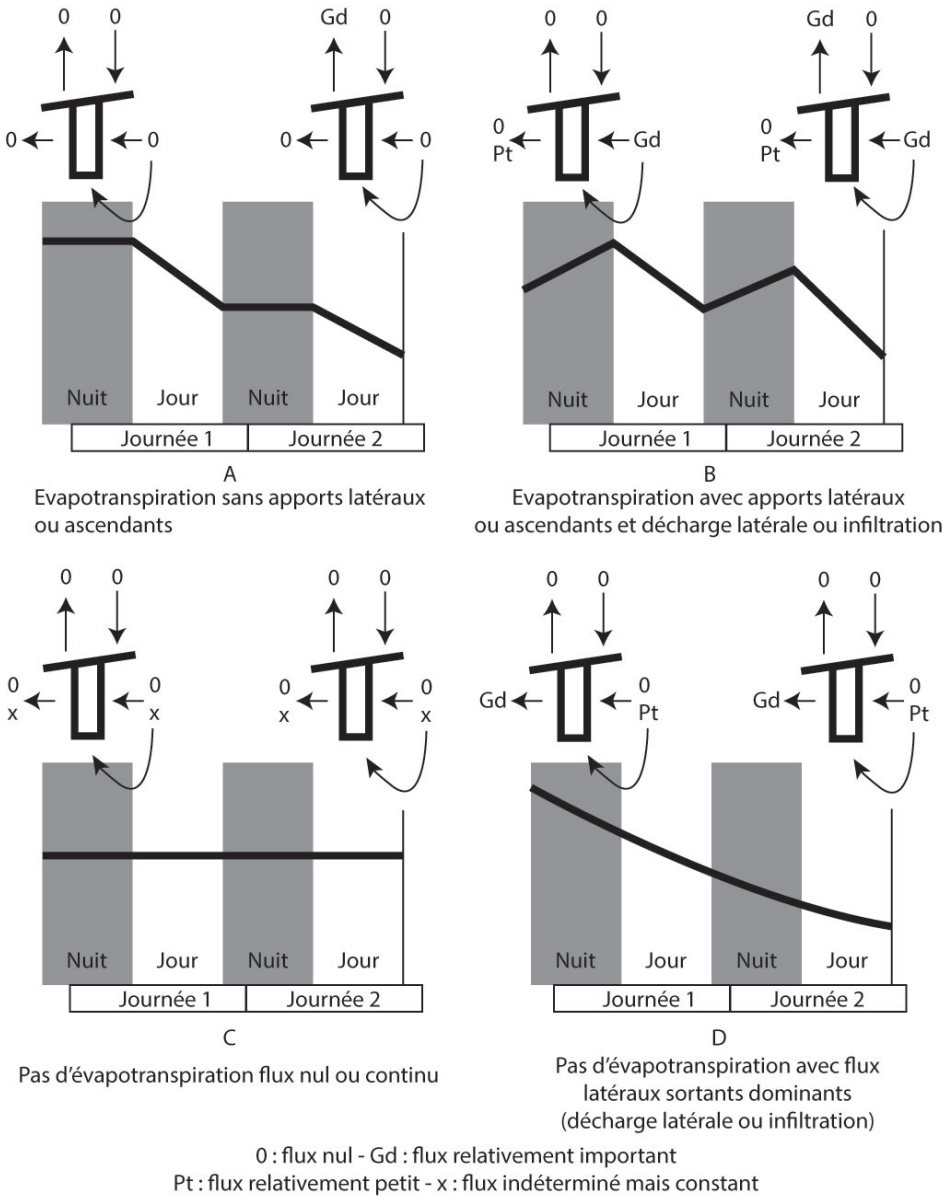


Figure 2-3-3: Exemple d'interprétation de courbes piézométriques à l'échelle de deux journées consécutives

3 - Résultats

La présentation des résultats suivra la logique proposée pour le chapitre sur les méthodes. Nous traiterons ainsi du cadre géologique et de la géomorphologie, du relief, des épaisseurs de tourbe, des sols et des variations de niveaux d'eau.

3.1 - Cadre géologique et géomorphologique

Le Marais de la Maxe se situe en bordure est du massif des Hautes-Chaumes, partie sud-est du principal massif permo-triasique incluant les Grès vosgiens (figure 3-1-1). La tourbière se tient à quelques centaines de mètres des affleurements du socle représentés ici par des roches volcaniques ayant subi un métamorphisme particulier.

Les roches ayant une importance pour le fonctionnement de la tourbière sont les roches sédimentaires du Permo-Trias, correspondant en grande majorité à des dépôts détritiques gravelo-sableux consolidés par divers ciments: silice, argile, dolomie. Pour simplifier, on peut considérer que les ciments argileux peuvent induire une imperméabilisation des couches, alors que les ciments siliceux non.

Le massif tourbeux se tient dans les Couches de Senones (t1a) que les auteurs de la carte géologique rapportent au Trias mais ne rattachent pas aux Grès vosgiens. Elles se distinguent, entre autre, par leur matrice «argilo-ferrugineuse» (Ménillet *et al.*, 1978; page 17).

Cette formation géologique est surmontée par les Grès vosgiens montrant un faciès sableux et un faciès plus riche en argiles, soit diffuses, soit en lits, pouvant parfois donner lieu à des lignes de sources, dans la partie basale de la série. C'est probablement le cas du captage situé au nord du lieu-dit La Maxe [1 et figuré spécifique de la carte géologique indiqué par une flèche]. Ceci-dit, les principales sources captées indiquées sur la carte géologique pour le massif des Hautes-Chaumes se situent dans la moitié inférieure des couches de Senones, comme ici à l'est du château de Salm [2] ou au nord de Bambois [3]. Il s'agit d'une caractéristique bien connue de la série gréseuse (Millot *et al.*, 1963).

Les Grès des Vosges sont poreux, un peu, mais la nappe qu'ils hébergent est surtout contenue dans les fissures, correspondant à de la fracturation, et des joints, issus de processus érosifs au sein de la masse gréseuse, souvent au niveau des inter-bancs. Le toit de la nappe des grès correspond au niveau de base des vallées et prend de l'altitude de l'aval vers l'amont. Millot *et al.* (1963) indiquent des phénomènes de captivité, lorsque que les vallées sont couvertes de formations imperméables. Les mêmes auteurs précisent aussi la faible minéralisation de l'eau des Grès vosgiens, leur forte teneur en CO_2, leur acidité et leur agressivité.

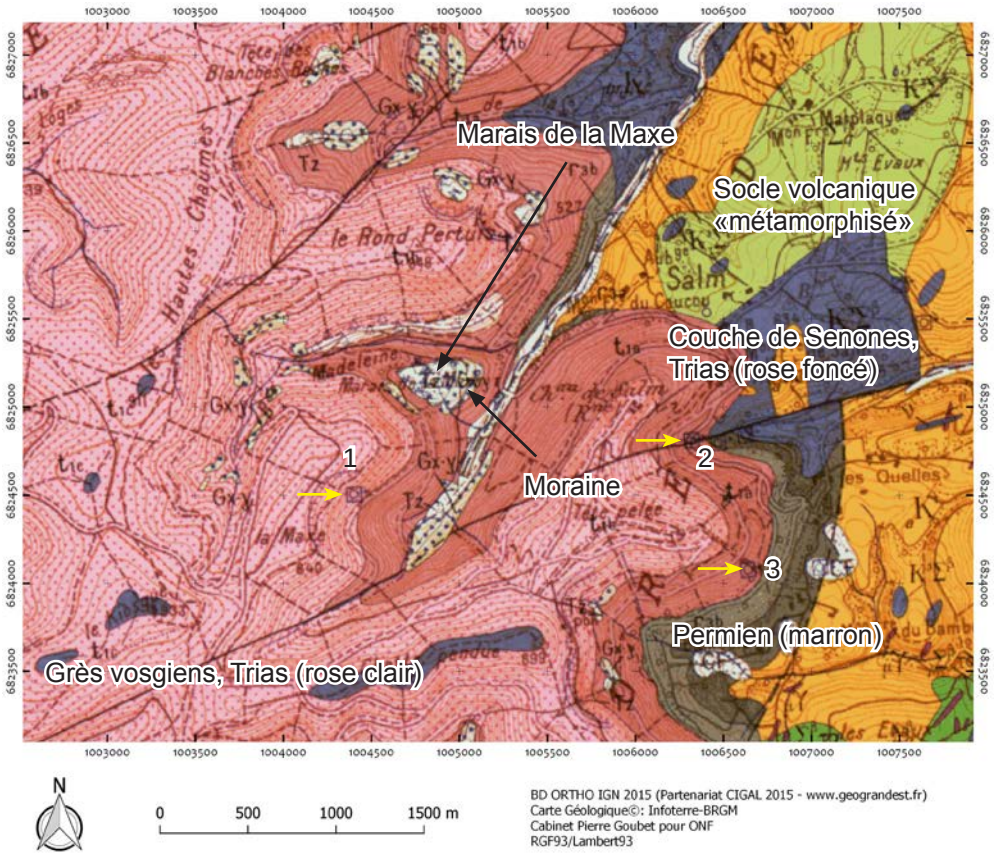
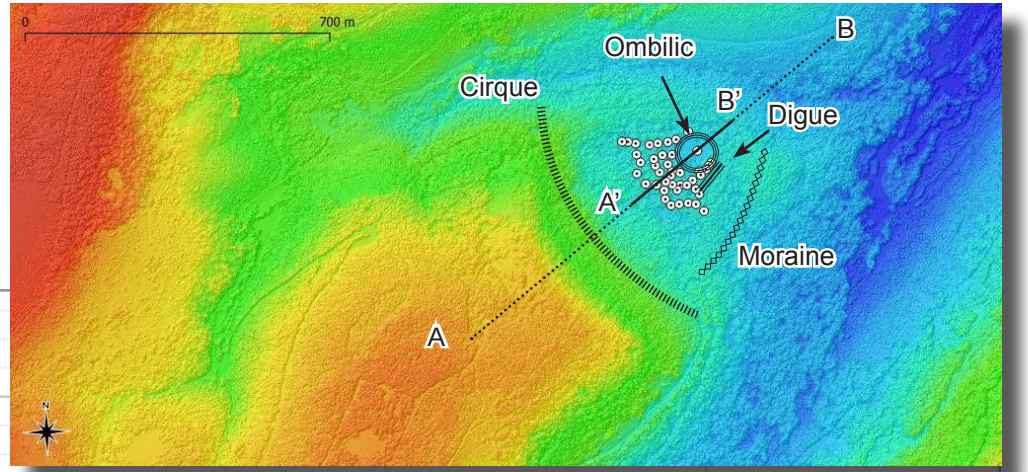


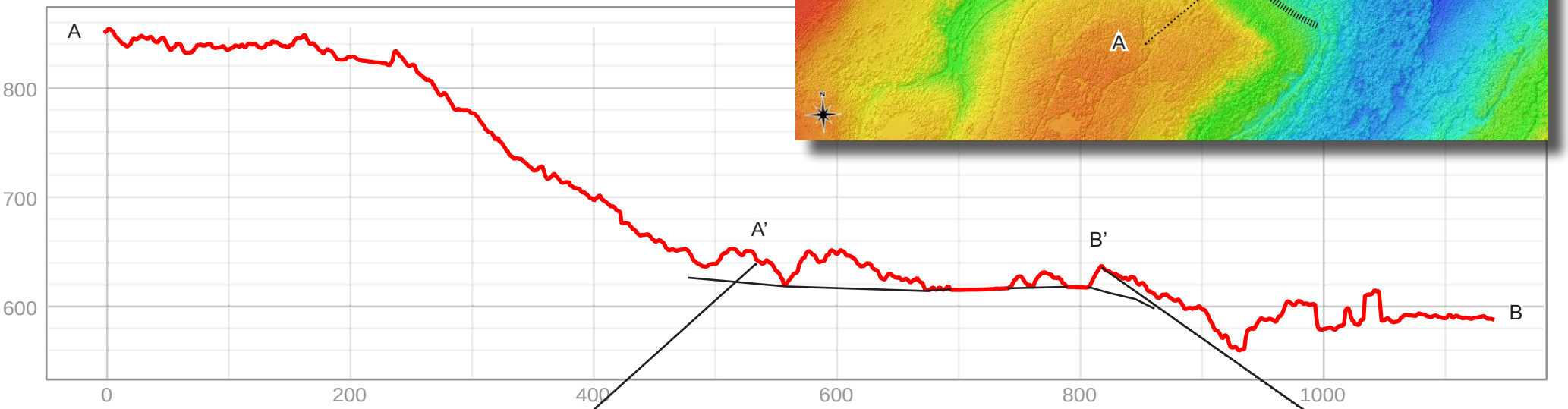
Figure 3-1-1: extrait de la carte géologique (source Infoterre - BRGM). Le Marais de la Maxe est indiqué par une flèche noire; les captages par une flèche jaune.

Le Marais de la Maxe se tient donc dans les Couches de Senones, en contre-bas des Grès vosgiens, et dans un cirque glaciaire (Flageollet, 2002). Une moraine frontale est indiquée à l'est du complexe (figure 3-1-1).

3.2 - Relief et épaisseurs de tourbe

Le complexe tourbeux de la Maxe se situe à 630 m d'altitude, au pied d'un relief culminant à 850 m, pentu à 45°, en forme d'arc (figure 3-2-1). Il s'agit du flanc d'un cirque glaciaire au sens propre d'après Flageollet (2002), dont l'arc morainique se tient à l'est de la tourbière. Par rapport au flanc du cirque, la tourbière se tient sur une contre-pente qu'elle tend à atténuer [1]. La nature des roches à cet endroit n'est pas connue, la carte géologique n'est pas assez pré-





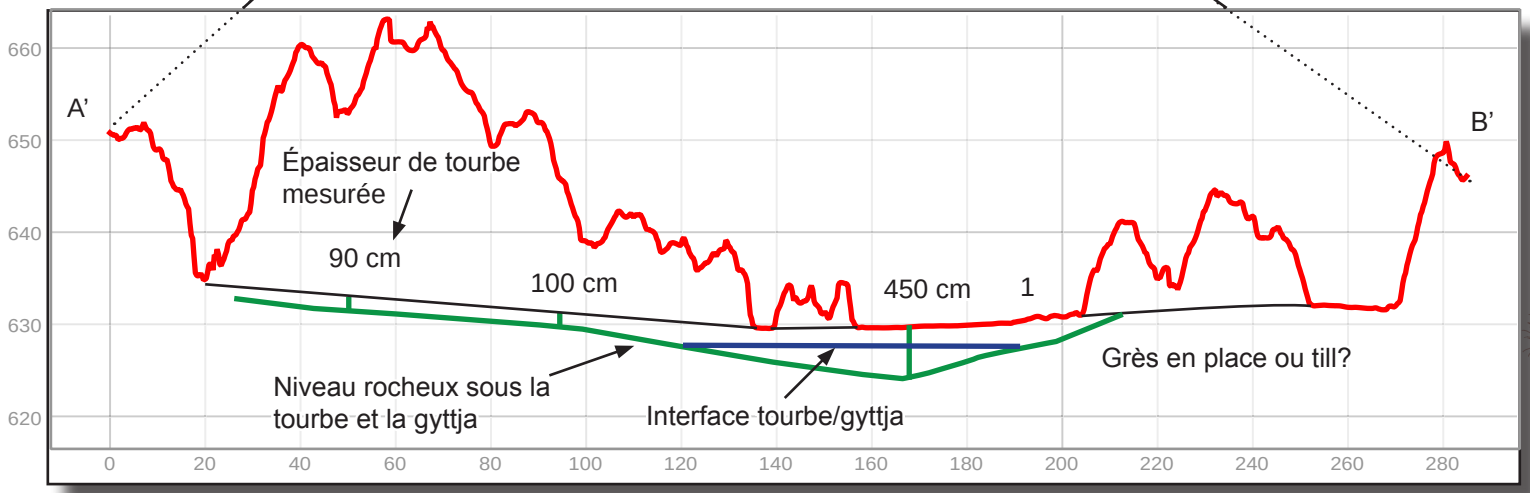


Figure 3-2-1: contexte du site étudié sur fond topographique issu du MNS de 2015 du CIGAL et profils topographique associé (Explications dans le texte).

cise. Ainsi, on ne sait pas si l'arc morainique prend en écharpe la tourbière sur son flanc nord-est, mettant en contact le dépôt morainique (nommé till) avec la tourbe ou le sédiment lacustre. On ne sait donc pas si la dépression lacustre à l'origine de la tourbière résulte d'un surcreusement glaciaire (ombilic sur la figure) dans les grès ou d'un barrage de la moraine. Cette question a peut-être une réponse locale, sur l'analyse des dépôts en place, mais nous n'avons pas procédé à la vérification, ce travail n'ayant pas été anticipé à l'amont de la session de terrain, ni dans le devis.

Les épaisseurs de tourbe et de sédiments meubles varient fortement avec une moyenne autour de 1 m dans les secteurs boisés et 4,5 m au niveau de la zone ouverte (figure 3-2-2). L'estimation des épaisseurs de tourbe ou de gyttja à la perche a été impossible, par incapacité de distinguer tourbes, gyttjas, argiles ou sables fins. Les sondages douteux sont signalés par un point d'interrogation sur la figure. Le carottage au centre de l'ouverture a permis de définir avec précision les épaisseurs des tourbes et de gyttjas.

La figure 3-2-3 présente le relief fin de la zone ouverte et de sa périphérie sur la base des mesures de terrain et du MNS. Les valeurs de terrain ont été rattachées au MNS et l'ensemble est concordant, pour le centre de la zone ouverte au moins. Les faits marquants sont une pente générale orientée vers le sud-ouest, perpendiculaire à l'axe principal de drainage qui est orienté vers le sud-est. Le haut de la tourbière ouverte, du côté du ponton, se situe à 630,00 m alors que le bas est à 628,60 m, soit

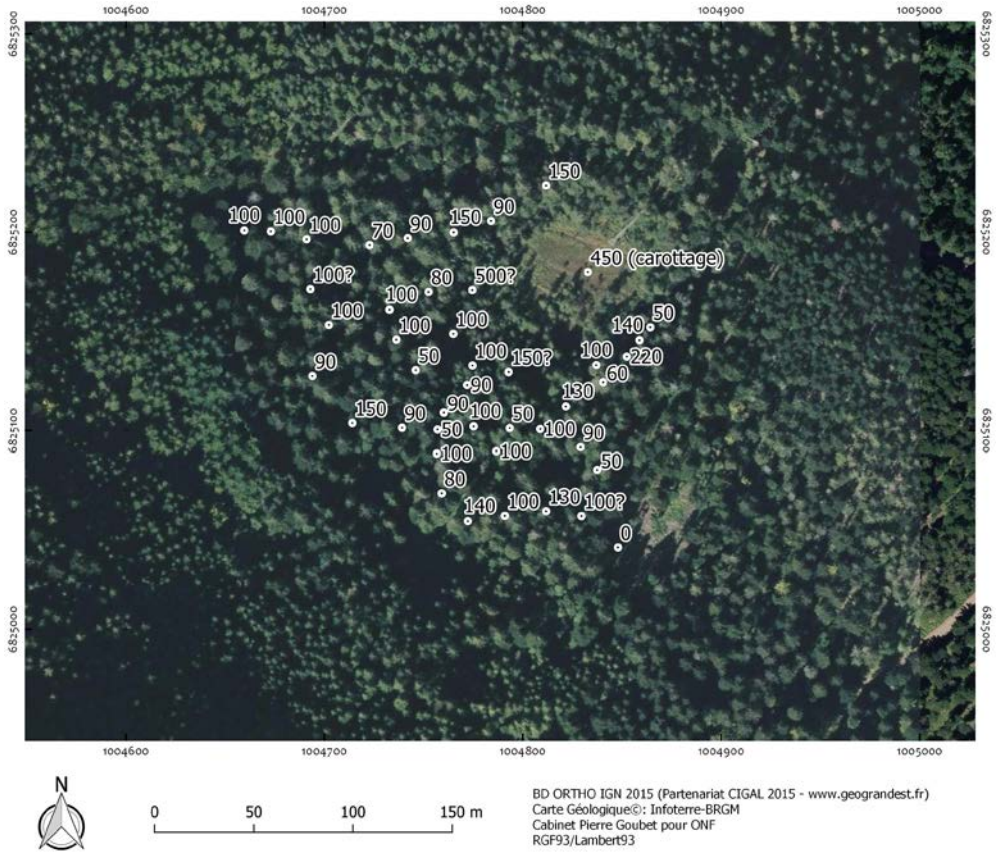


Figure 3-2-2: localisation des épaisseurs de tourbe (en cm) sur le complexe du Marais de la Maxe, (fond IGN).

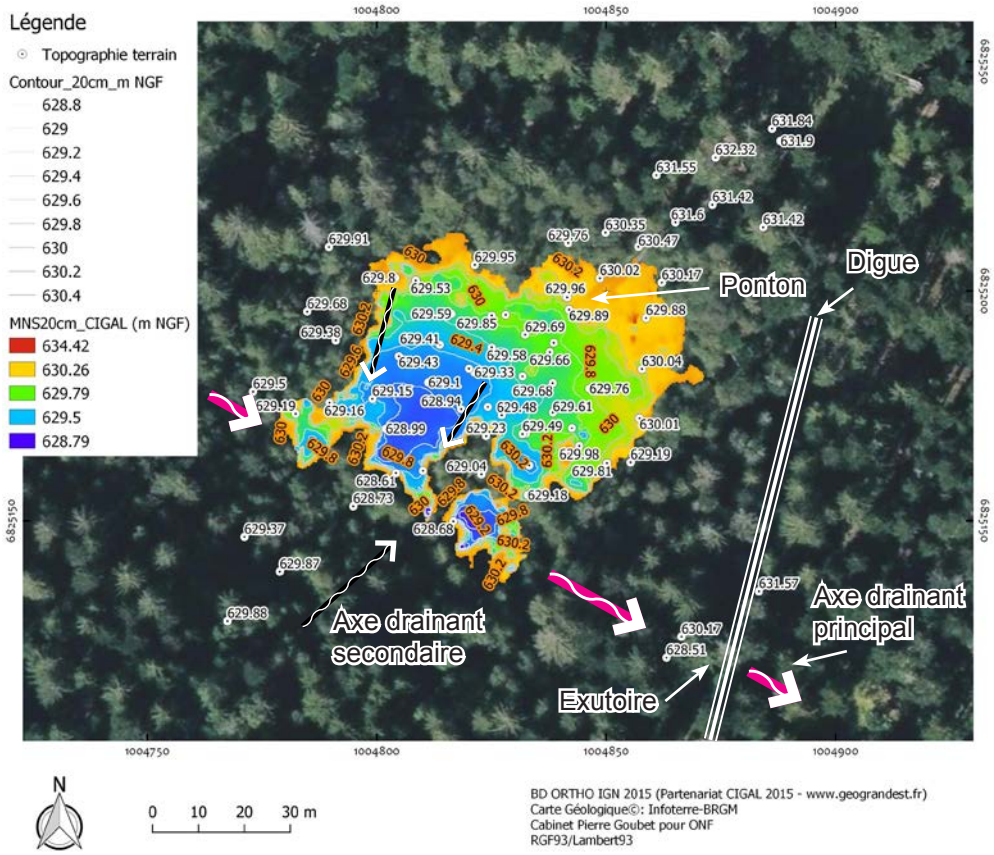


Figure 3-2-3: topographie du Marais de la Maxe sur fond IGN issue à la fois des données de terrain et du MNS pour la partie ouverte.

un dénivelé de 1,4 m. Le niveau de l'exutoire a été mesuré à 628,51 m, soit 3 m sous le niveau du sommet de la digue. L'exutoire est creusé sous forme de sillon, dans le substrat minéral, sur une profondeur approchant 1,70 m. De nombreux secteurs montrent une topographie chaotique, résultant probablement de l'extraction de la tourbe. La prise en compte des épaisseurs de tourbe et de gyttja donne pour le fond de l'ombilic une altitude 625 m, soit encore 3,5 m sous le niveau de l'exutoire creusé dans la roche. L'altitude du passage de la gyttja à la tourbe à sphaignes se situe à 627,4 m. Un autre sondage réalisé plus au sud-ouest (Max_S3) montre le passage d'une tourbe de bas-marais pauvre en fibres vers une tourbe à sphaignes à l'altitude de 627,7 m. Ceci indique une hétérogénéité du dépôt avec un remplissage à la fois aquatique (gyttja) et tourbeux, probablement simultanément, comme c'est le cas pour un bon nombre de tourbières de lac. Ces données indiquent également que le niveau du lac ne pouvait être inférieur à l'altitude de 627,40 m lors du dernier dépôt lacustre.

Les écoulements se réalisent de manière diffuse préférentiellement du nord-est vers le sud-ouest, dans la zone ouverte, avec des logiques de détail induites par des héritages micro-topographiques de l'exploitation (bandes orientées nord-ouest/sud-est visibles sur la figure 3-3-1 [1]). Ailleurs, la microtopographie est particulièrement perturbée par un réseau de drains et des talus sans logique apparente pour ces derniers. L'organisation des drains n'a pas été cartographiée, mais la logique générale s'organise autour d'un axe central orienté nord-ouest/sud-est qui mène à l'exutoire. Au nord-ouest, non directement connecté au drain central, un petit drain collecte les eaux d'une émergence relativement diffuse située au nord-ouest du complexe et sur le bas du versant adjacent.

3.3 - Sols et sédiments meubles

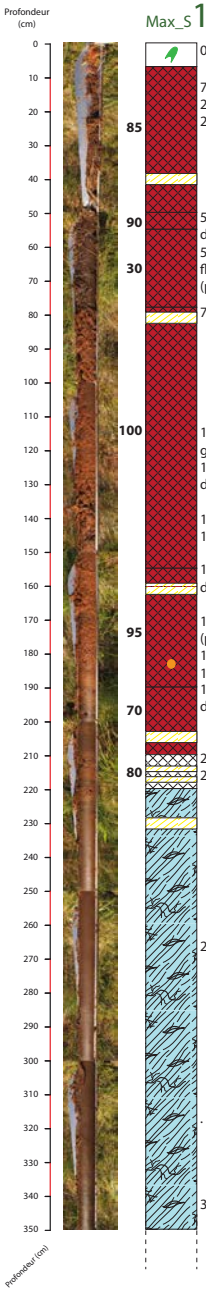
Cinq sondages au carottier russe ont été réalisés sur le complexe tourbeux. Il s'agissait à la fois de caractériser l'origine de la tourbière et de préparer une éventuelle restauration hydraulique; ils se répartissent dans la zone ouverte et dans le secteur boisé, de l'autre coté de l'axe de drainage principal, à l'opposé de la zone ouverte (figure 3-3-1). Deux des sondages ont été réalisés jusqu'au substrat minéral (S1 et S2) (figures 3-3-2 et 3-3-6); un autre probablement presque à cette limite (S3) (figure 3-3-4), un autre seulement en subsurface pour vérifier l'extension de la tourbe à sphaignes (S4) (figure 3-3-6). Le dernier correspond à la description d'un emplacement de piézomètre (S5) (figure 3-3-6).

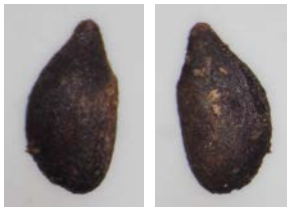
Le trait commun des sondages de secteurs à forte épaisseur de tourbe (S1, S3, S4 et S5) est la présence d'une tourbe à sphaignes rouges, à partir de 7-30 cm. L'analyse du contenu de la tourbe en macrorestes révèle la composition floristique de la communauté à l'origine de la tourbe. Il s'agit d'un assemblage typique de tourbière haute avec: la linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*), la sphaigne de Magellan (*Sphagnum magellanicum*), la sphaigne brune (*S. fuscum*), et des éricacées (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium* gr. *oxycoccos*).

Le sondage S2 présente un autre type de tourbe, à roseau (*Phragmites australis*) et bois. Ce type de tourbe est également commun dans les tourbières de France et constitue des épaisseurs importantes, souvent sous les tourbes à sphaignes.

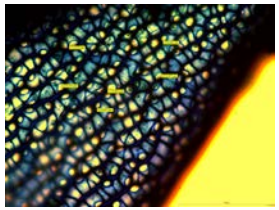
Le sondage S3 a traversé des tourbes difficiles à caractériser même sur la base de l'analyse des macrorestes. Leur mélange de restes de plantes varié témoigne de successions ou d'influences de plusieurs communautés proches.

Figure 3-3-1: 1: localisation des sondages pédologiques et paléoécologiques réalisés au Marais de la Maxe (fond IGN).





Max_S1 à 20 cm, graine de *Pinus* sp.



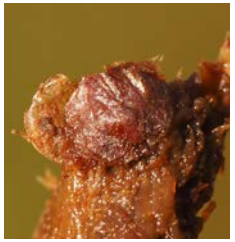
Max_S1 à 40 cm, *Sphagnum rubellum*.

Max_S1 à 118 cm, feuille de *Vaccinium oxycoccos*.

Max_S1 à 128 cm, spindles d'*Eriophorum vaginatum*.

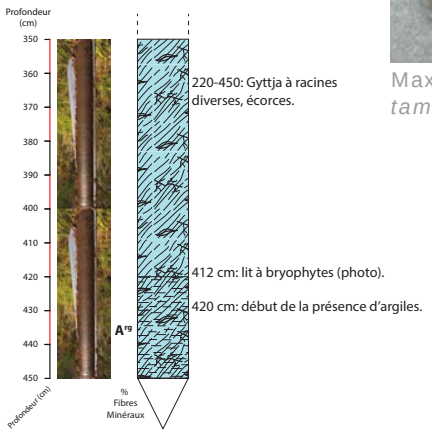
Max_S1 à 163 cm, fruit de *Rumex* sp.

Max_S1 à 164 cm, feuille de *Betula* sp.



Max_S1 à 184 cm, graine de *Betula pubescens*.

Max_S1 à 207 cm, graine de *Betula pubescens*.



Max_S1 à 230 cm, graine de *Potamogeton* sp.

Max_S1 à 230 cm, graines de Nuphar pumilla (actuelle à droite).

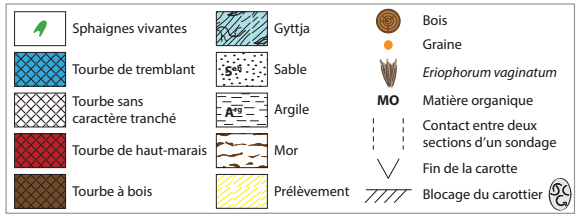
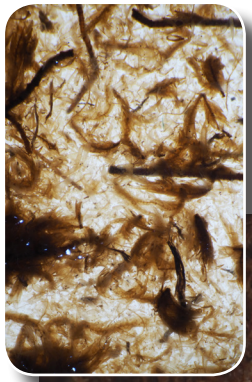


Figure 3-3-2: représentation schématique du sondage pédologique et paléoécologique Max_S1 réalisé sur le marais de la Maxe et illustrations photographiques associées. Le terme de gyttja est un équivalent technique de celui de boue lacustre organique.

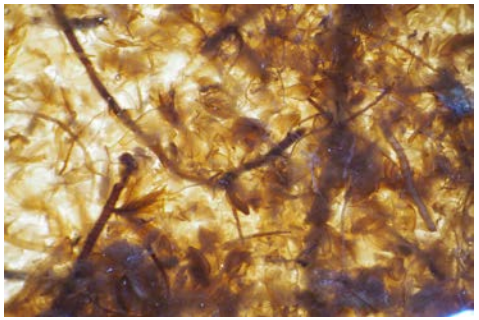


Max_S1 à 80 cm tourbe à *Sphagnum fuscum*.

Max_S1, entre 55 et 100 cm tourbe à sphaignes.

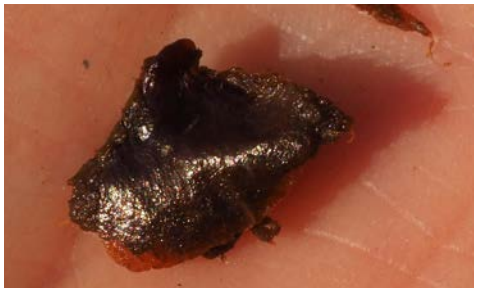
Max_S1, entre 55 et 78 cm feuille de Betula sp.

Max_S1, entre 55 et 78 cm spindles d'*Eriophorum vaginatum*.

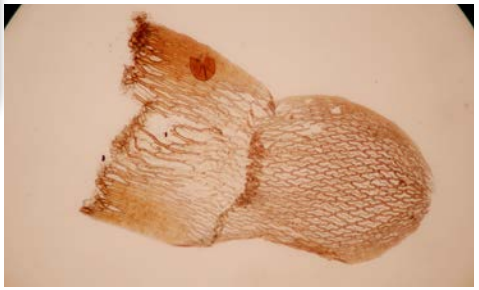


Max_S1 à 160 cm, le fond.

Max_S1 à 164 cm, feuille de *Betula* sp.



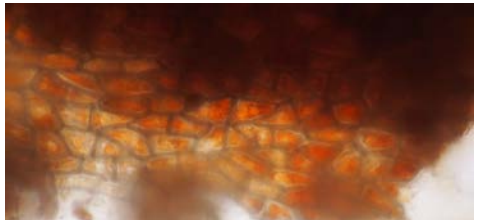
Max_S1 à 200 cm, graine d'Abes alba avortée.



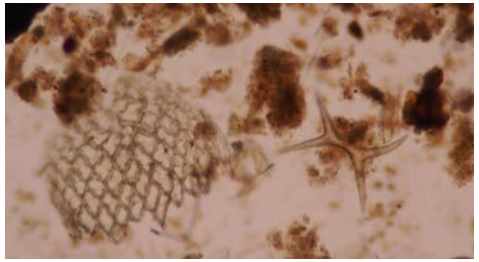
Max_S1 à 207 cm, *Sphagnum fuscum.*

Max_S1 entre 208 et 210cm, passée à *Eriophorum vaginatum.*

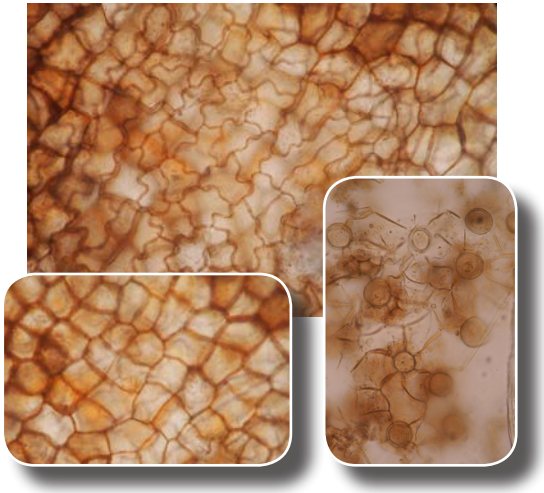
Max_S1 à 215 cm, graine de *Betula pubescens.*



Max_S1 à 230 cm, périderme de *Betula* sp/ *Alnus* sp.



Max_S1 à 230 cm, fragment de sphaigne et sclérite de nymphéacée.

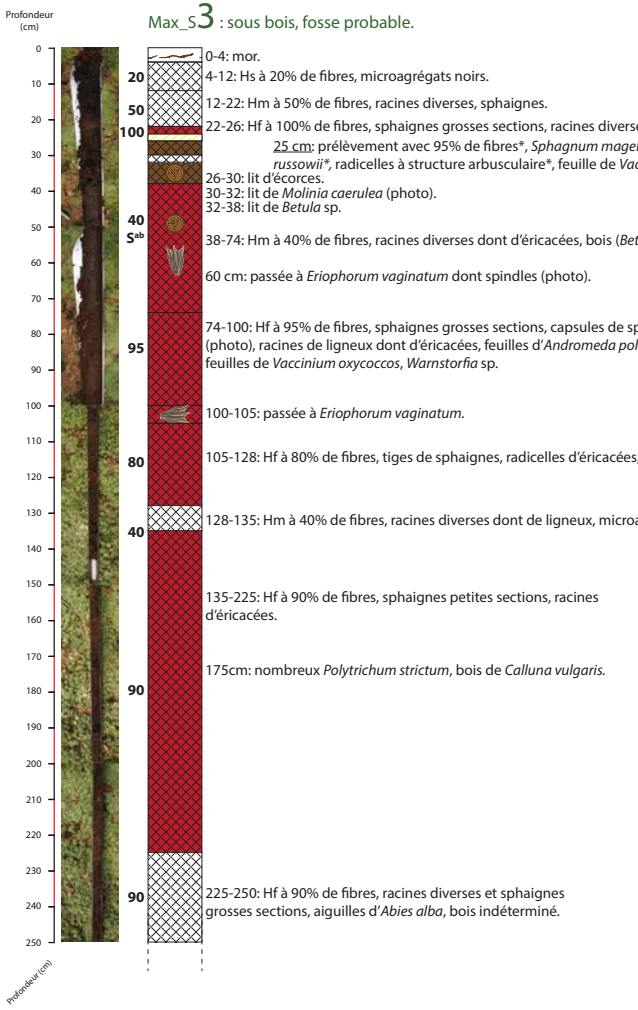


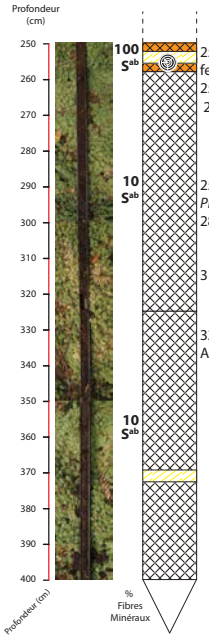
Max_S1 à 230 cm, cuticule de nymphéacée.

Max_S1 à 340 cm, pomme de *Pinus sylvestris.*

Max_S1 à 420 cm, lit de bryophytes.

Figure 3-3-3: suite des illustrations photographiques du sondage Max_S1.





Max_S3 entre 30 à 32 cm, lit de *Molinia caerulea*.

Max_S3 à 60 cm, lit de linaigrette avec spindles.

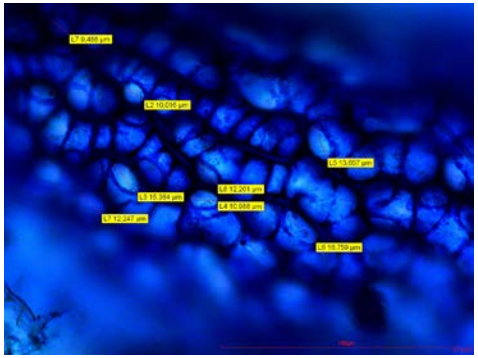
Max_S3, entre 74 et 100cm, capsules de sphaignes.

Max_S3, entre 74 et 100 cm, feuilles d'*Andromeda polifolia*.

Max_S3, 255 cm, aiguilles de conifère.

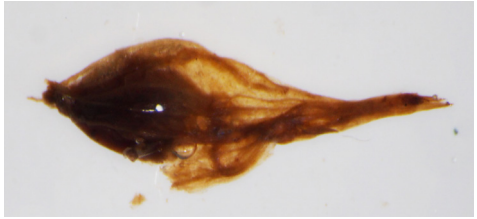
Max_S3 à 257cm, feuille de *Betula* sp.

Figure 3-3-4: représentation schématique du sondage pédologique et paléoécologique Max_S3 réalisé sur le marais de la Maxe et illustrations photographiques associées.

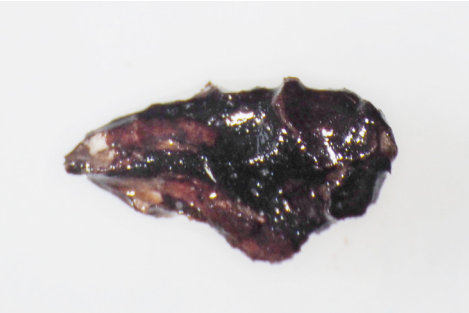


Max_S3 à 25 cm, *Sphagnum capillifolium* ou *russowii.*

Max_S3 à 25 cm, fragment d'aiguille de *Picea abies.*



Max_S3 à 255 cm, utricule de *Carex rostrata;*

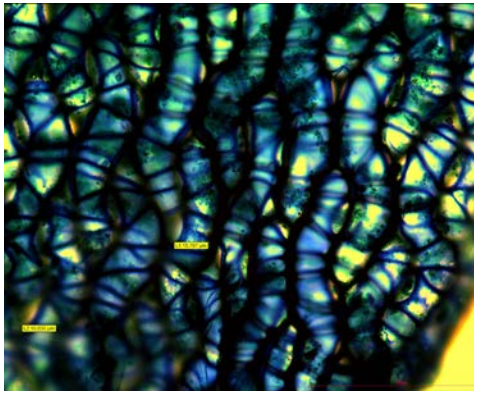


Max_S3 à 280 cm, graine de conifère possiblement *Abies alba.*

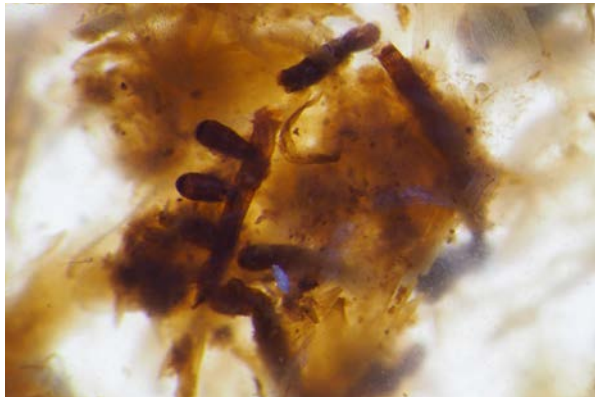
Max_S3 à 25 cm,feuille de *Vaccinium oxycoccos.*

Max_S3 à 255 cm, fragments d'aiguilles de *Pinus* sp.

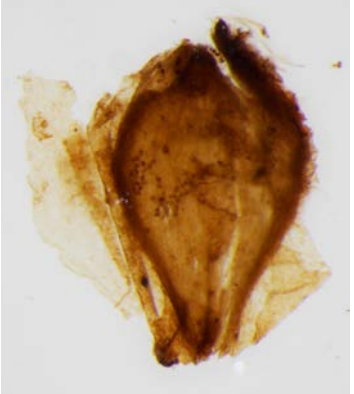
Max_S3 à 255 cm, fragment de feuille de ligneux haut.



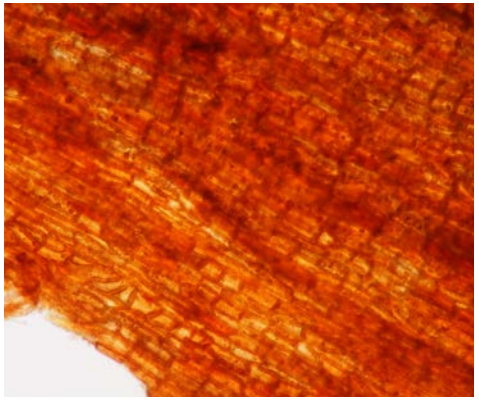
Max_S3 à 370 cm, *Sphagnum capillifolium.*



Max_S3 à 25 cm, radicelles à structures arbusculaires.



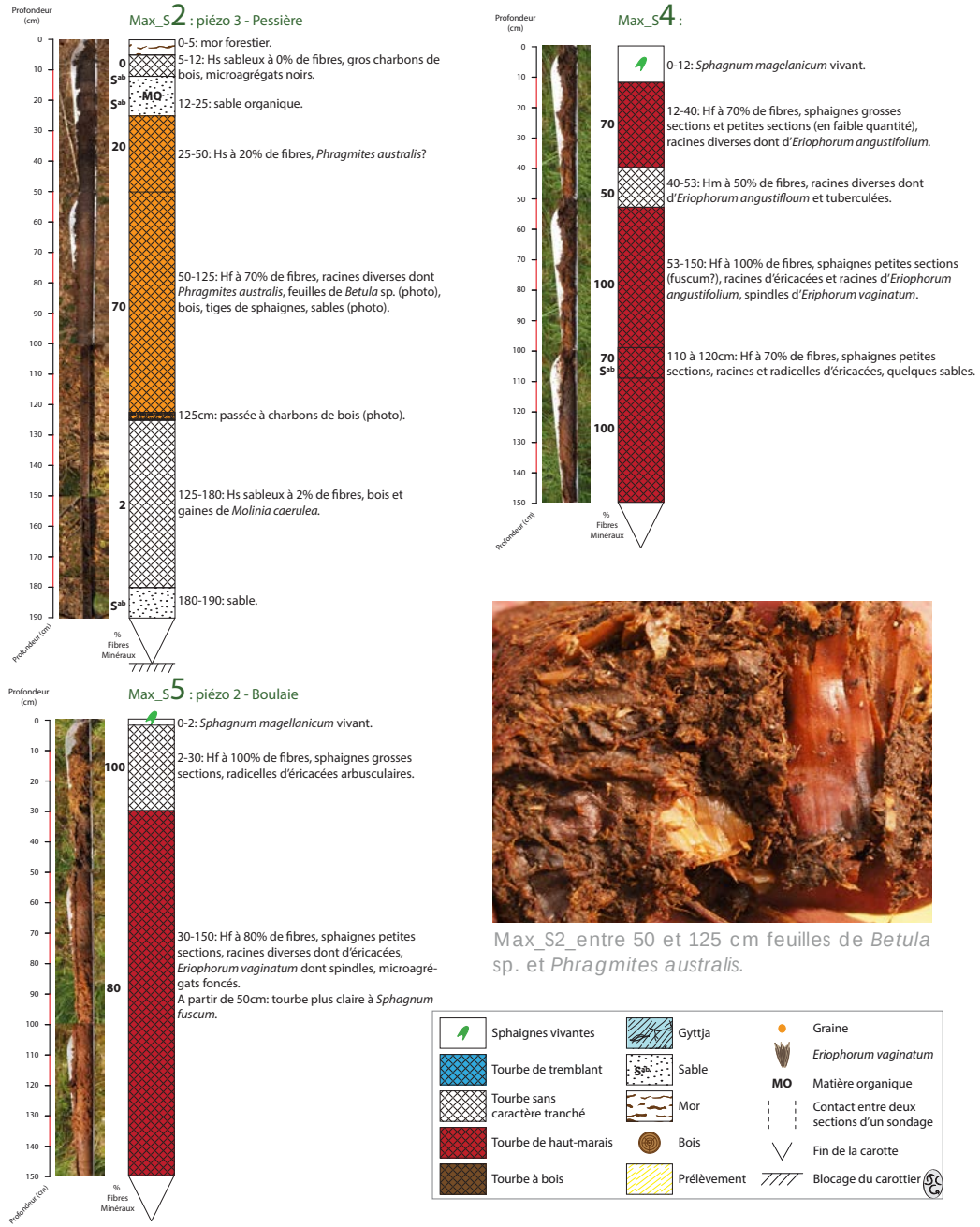
Max_S3 à 255 cm, graine de *Betula pubescens.*



Max_S3 à 370 cm, périderme de ligneux indéterminé.

Max_S3 à 370 cm, le fond.

Figure 3-3-5: suite des illustrations photographiques du sondage Max_S3.



Max_S2, 125 cm, charbons de bois.

Max_S2, entre 50 et 125 cm *Phragmites australis.*

Max_S2_entre 50 et 125 cm feuilles de *Betula* sp. et *Phragmites australis.*

Max_S2, entre 50 et 125 cm bois et *Phragmites australis.*

Figure 3-3-6: représentation schématique de sondages réalisés sur le marais de la Maxe et illustrations photographiques associées.

Sables, carex, sphaignes et restes de ligneux indiquent une situation proche des marges du complexe, sous l'influence des ruissellements. La position altitudinale de cette tourbe, équivalente à celle du dépôt lacustre de la zone ouverte, et la forte profondeur atteinte à l'endroit du sondage par rapport aux épaisseurs de tourbe mesurées à proximité, laisse présumer d'un dépôt d'une nature particulière. La possibilité d'un dépôt remanié n'est pas à exclure, mais la correspondance entre l'altitude d'apparition de la tourbe à sphaignes commune au sondage S1 et S3 n'est pas cohérente avec cette hypothèse. On peut préciser que la tourbe de cet endroit est très tassée, compacte, et il a été impossible d'utiliser le carottier russe. La micro-topographie des alentours concorde avec l'existence d'une ancienne fosse de tourbage, ou du moins une dépression induite par le tourbage sans inondation postérieure par manque de profondeur.

Le sondage S1 a traversé 2 m de gyttja (une boue lacustre organique). Le plan d'eau était occupé par des potamots et des nymphéacées dont *Nuphar pumilla*. Les débris d'arbres (bouleau, pin, sapin), sont nombreux et témoignent de la proximité de la forêt.

La partie supérieure des colonnes, de 0 à 30 cm, se différencie suivant que le sondage a été fait dans la zone ouverte ou dans le boisement. Les horizons supérieurs de la zone ouverte sont des tourbes au sens strict et des coussins de sphaignes vivantes, directement connectées à la masse tourbeuse prin-

cipale. Pour les boisement, la partie supérieure des sondages est un mor forestier sur lit de sable pour le S2 et horizon de tourbe très dégradé sous un humus de type mor pour le S3. On note également pour ce sondage une sorte de tourbe à sphaignes et myrtille des bois, surmontant une tourbe à molinie, assise sur une couche à bouleau, entre 22 et 38 cm de profondeur. Il est certain que cet endroit a connu une succession post exploitation spécifique avec un premier boisement à bouleau, plus ou moins riche en molinie, dans lequel s'est installé une vacciniaie à sphaignes qui a probablement laissé la place au mor forestier nu lors de l'installation des épicéas.

Le travail paléoécologique de Walter-Simonnet et al. (2009-2010) sur le marais de la Maxe concerne le début de la sédimentation post-glaciaire, la base de la gyttja, et non la tourbière.

3.4 - Niveaux d'eau

Le suivi des niveaux d'eau a été mené sur 5 points du complexe (figure 3-4-1). Il s'agissait de comprendre les variations de niveau d'eau dans le sol (nappe de sub-surface) ou dans les drains (écoulements concentrés de surface). Il s'agit donc de deux groupes différents de suivi, l'un de type piézométrique, l'autre de type limnimétrique. Pour ce dernier, la lecture des variations de niveau d'eau ne peut s'assimiler à une mesure des débits, il aurait fallu pour cela des mesures de forme du ruisseau à l'endroit de la sonde et un processus complexe de tarage. Le zéro des ordonnées correspond au niveau du sol; il est parfois assez difficile à définir à quelques centimètres prés, à cause de l'irrégularité naturelle du substrat ou des problèmes de tarage des mesures. Dans le cadre d'un diagnostic de routine, cette référence ne constitue pas un enjeu important. L'analyse des chroniques à l'échelle de la semaine ou du mois permet parfois de réaliser un calage relativement précis, à postériori.

Les données seront présentées et analysées en deux temps, d'abord sur la base de la durée totale du suivi (du 16/10/2018 au 03/10/2019), ensuite sur des durées majoritairement mensuelles ou plus courtes, en fonction des renseignements apportés par divers éléments.

Les colonnes de sols correspondant à l'emplacement des piézomètres sont Max_S1 pour le piézomètre 1, posé au cœur de la zone ouverte; Max_S5 pour le piézomètre 2, dans la boulaie; Max_S2 correspondant au piézomètre 3 dans la pessière.

Figure 3-4-1: localisation des sondes piézométriques au Marais de la Maxe sur fond orthophotographique IGN.

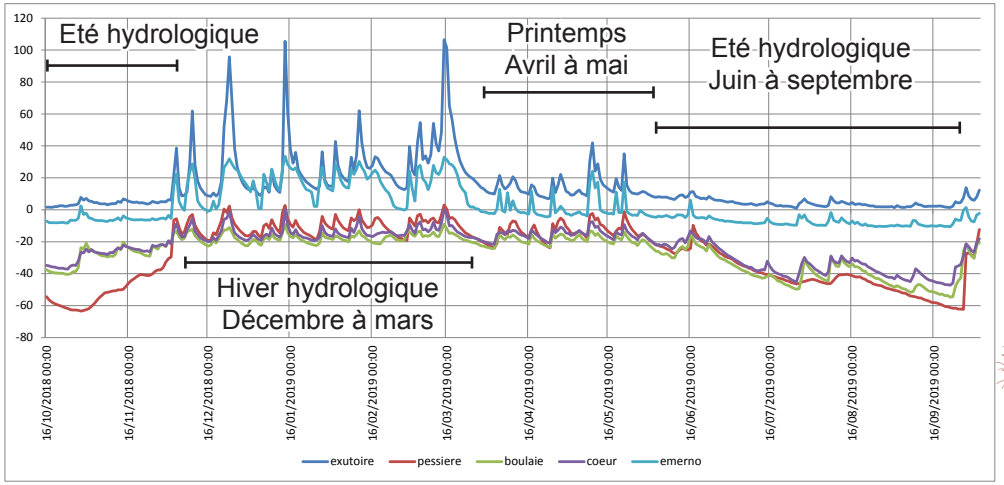


Figure 3-4-2: ensemble des chroniques piézométriques quotidiennes du 16 octobre 2018 au 3 octobre 2019. Échelle à gauche en cm/sol

3.4.A - Chroniques annuelles

Les chroniques annuelles (figure 3-4-2) mettent en évidence les deux saisons hydrologiques classiques, l'été et l'hiver. De plus, une saison intermédiaire d'avril à mai 2019 s'individualise nettement sur la figure.

L'hiver hydrologique s'étend de décembre à mars. Il se caractérise par des niveaux de base de hautes eaux, vers 20 cm de profondeur pour les nappes, le niveau du sol pour le drain nord-ouest et une dizaine de centimètres au-dessus pour l'exutoire (sachant que la sonde n'était pas placée au milieu du drain, cela n'a pas valeur de mesure du niveau d'eau absolu). Le niveau de base pour l'exutoire est moins bien caractérisé que pour les nappes. Les chroniques hivernales font classiquement apparaître des hausses subites induites par les précipitations, rapidement compensées par un retour au niveau de base. La fréquence des hausses est élevée, en contraste avec les hausses d'été.

L'été hydrologique se caractérise par des bas niveaux, atteints de manière progressive lors de descentes régulières, partiellement compensées par des remontées liées aux précipitations.

3.4.B - Chroniques d'octobre et novembre 2018

Pour des raisons pratiques, les chroniques d'octobre et de novembre sont regroupées (figure 3-4-3). Il s'agit de simplifier la mise en évidence de la remontée de nappe typique de l'automne hydrologique en tourbière.

La première observation est celle d'une absence de phénomène lié à la pose du tube, les niveaux se stabilisent instantanément, les courbes s'inscrivent dans une continuité parfaite. Les échanges entre la nappe et le tube sont donc parfaitement réalisés.

Les chroniques se regroupent en trois. (A) Celles des drains apparaissent synchronisées et d'amplitude comparable, avec une réponse aux précipitations plus nette pour l'émergence NO. La valeur moyenne des niveaux évolue peu, 2-3 cm seulement. (B) Celles de la zone ouverte, cœur et bou-

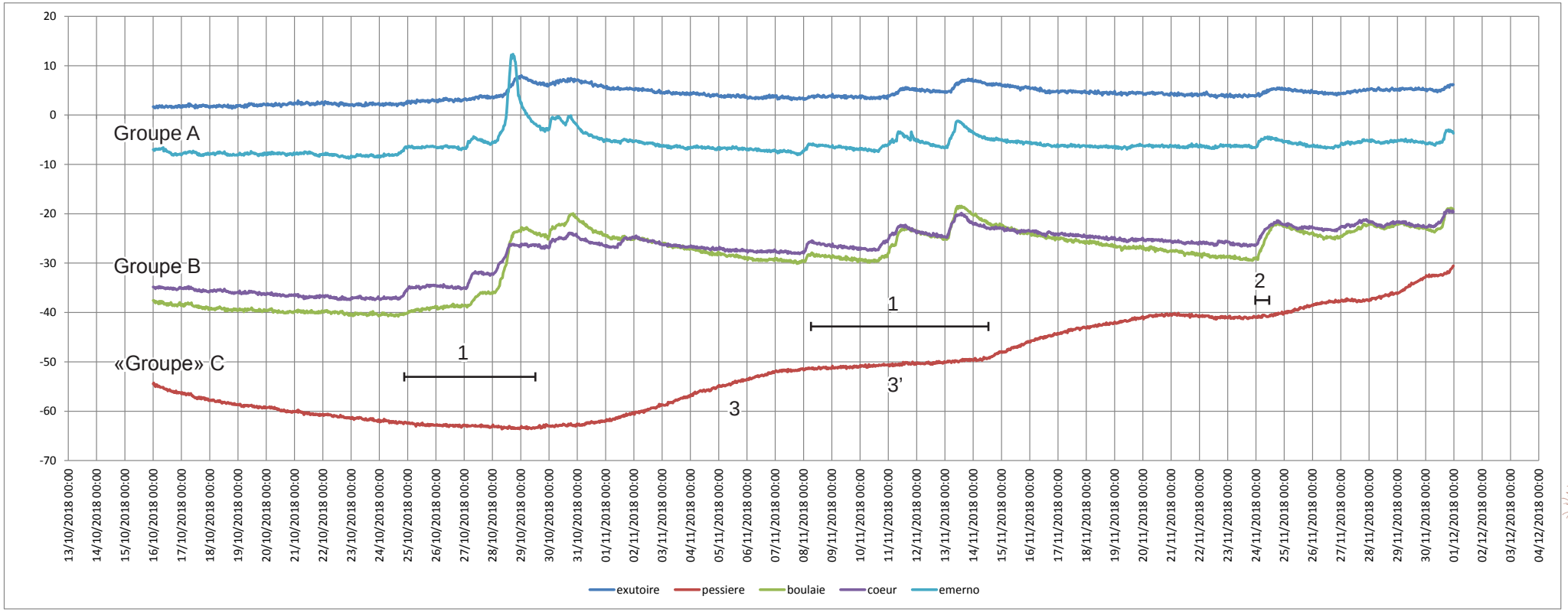


Figure 3-4-3: chroniques piézométriques bi-horaires d'octobre et novembres 2018. Échelle en cm/ sol.

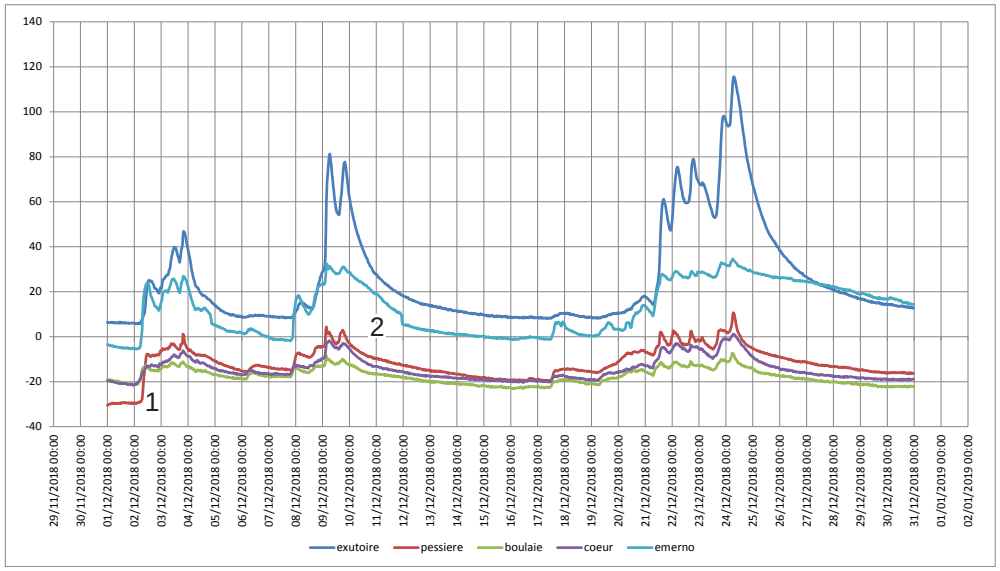


Figure 3-4-4: chroniques piézométriques bi-horaires de décembre 2018. Échelle en cm/ sol.

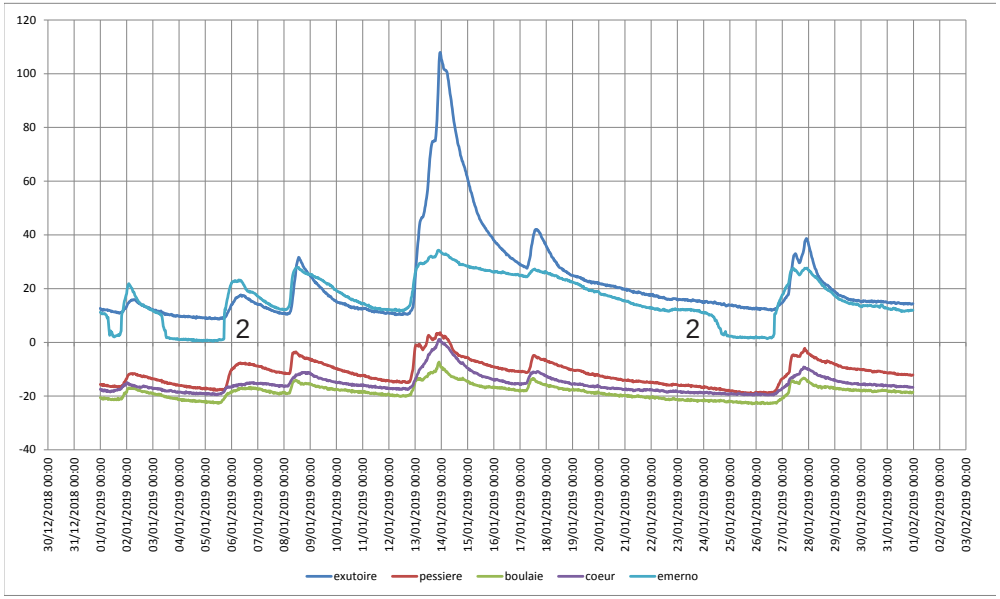


Figure 3-4-5: chroniques piézométriques bi-horaires de janvier 2019. Échelle en cm/ sol.

laie, qui voient leurs niveaux remonter de 10 cm, de manière synchronisée, en lien avec les variations des drains. (C) Celle de la pessière qui remonte de 30 cm de manière déphasée par rapport aux autres chroniques (et aux précipitations). Non seulement la remontée apparait déphasée de 4 à 6 jours [1], mais elle s'effectue progressivement, dans une continuité indépendante des séries de pluie, formant ainsi une forme de lissage. Ce phénomène est dépendant de la profondeur car pour les pluies de fin novembre, la remontée est quasi instantanée [2].

Les modalités de remontée du niveau dans la pessière peuvent s'interpréter de plusieurs manières. Soit les précipitations n'atteignent pas le sol, interceptées par les conifères, la remontée est ainsi liée à une alimentation distante, par exemple à partir de la zone ouverte, le délai correspond alors au temps de transfert d'un lieu à l'autre. Soit la tourbe est peu perméable et le délai est lié au temps d'infiltration dans le sol. Le cumul des deux phénomènes est aussi possible, ce qui pourrait expliquer la forme à deux pentes de la remontée du 1 au 13 novembre [3 et 3'].

Les courbes du cœur et de la boulaie se différencient par leur «réactivité» par rapports aux variations. Celle de la boulaie passe du dessous au dessus de celle du cœur en fonction que la tendance générale est à la hausse ou la baisse. Il s'agit d'une propriété propre au lieu, probablement induit par la porosité de la tourbe. Il se peut que la tourbe de la boulaie soit moins poreuse que celle du cœur, ce qui induit que pour une lame d'eau de pluie donnée, la variation à la hausse et à la baisse soit logiquement plus importante là où les vides sont moins nombreux (porosité plus faible). Les profils pédologiques ne montrent pas de différence majeure de la structure de la tourbe.

Si on excepte le mois d'octobre, où l'évapotranspiration est encore perceptible (baisse diurne), la chronique du cœur montre une baisse gravitaire très modeste (3-4 mm/jour).

3.4.C - Chroniques de décembre 2018 et janvier 2019

Les chroniques de décembre 2018 et de janvier 2019 montrent les mêmes caractéristiques. Il s'agit de la saison hivernale où les sols sont saturés et les précipitations régulières.

Les faits marquants sont la remontée rapide du niveau de la pessière le 2 décembre, probablement à cause de la saturation d'une couche moins poreuse à partir de - 30 cm de profondeur, et jusqu'à quelques centimètres au dessus [1]. Le phénomène n'apparaît pas à la baisse, en été, mais cela est peut-être lié à des processus d'humectation sur tourbe sèche spécifiques à la remontée automnale. L'autre fait intéressant est l'existence d'un artefact possible sur la chronique du drain de l'émergence NO, à la baisse sous le niveau de 10 cm [2]. Le passage probable d'un régime limnimétrique à un régime piézométrique se réalise de manière complexe, possiblement à cause de l'emplacement de la

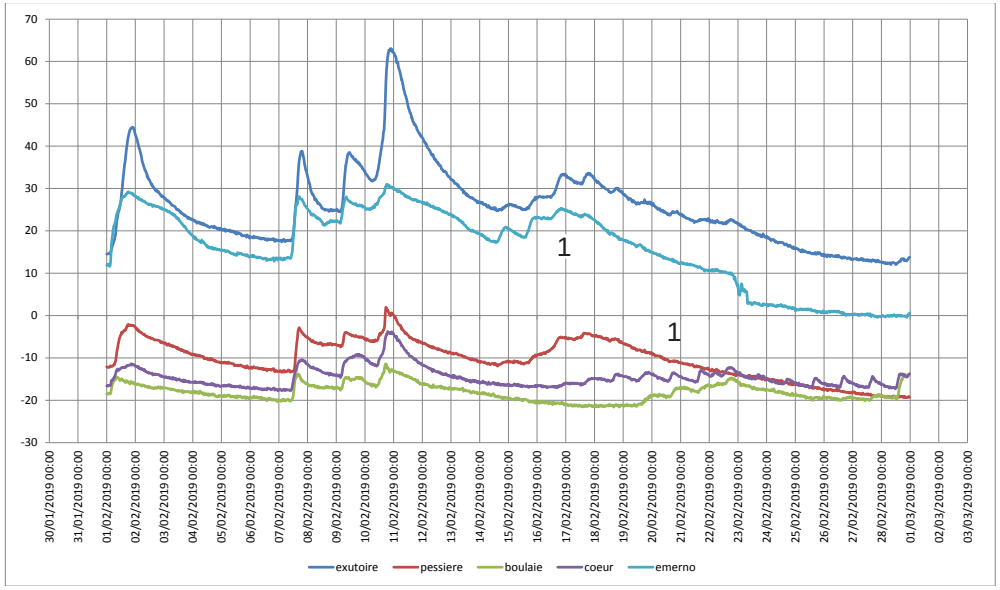


Figure 3-4-6: chroniques piézométriques bi-horaires de février 2019. Échelle en cm/ sol.

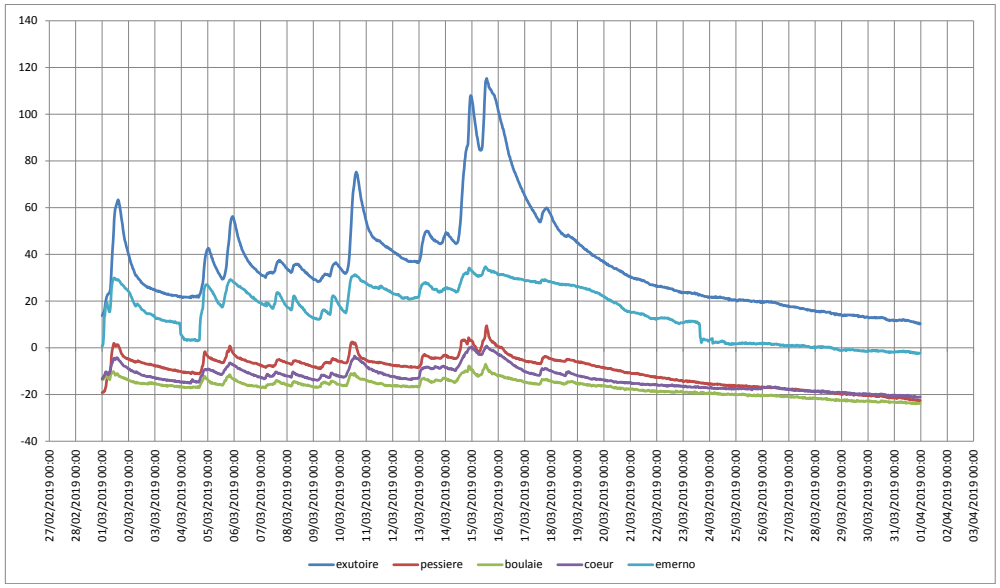


Figure 3-4-7: chroniques piézométriques bi-horaires de mars 2019. Échelle en cm/ sol.

sonde qui a été posée entre des racines dans le fond du drain.

Les chroniques montrent parfaitement le niveau de base des nappes vers 20 cm de profondeur.

3.4.D - Chroniques de février et mars 2019

Les chroniques de février 2019 montrent les mêmes processus que les précédentes, avec en plus le phénomène de hausse lié à la fonte de neige [1]. Les courbes montrent ainsi une hausse diurne récurrente, compensée la nuit par une baisse de même amplitude. La fonte est amplifiée par des précipitations le 16 février sur les courbes des drains et de la pessière. On peut penser que le couvert neigeux de la zone ouverte ne permet pas à l'eau de pluie de s'infiltrer et aucune hausse n'apparaît pour la boulaie, une petite pour le cœur.

Les chroniques de mars ne présentent pas de phénomène nouveau.

3.4.E - Chroniques d'avril et mai 2019

Les chroniques d'avril et mai 2019 correspondent à la période de transition entre un régime hivernal et le régime estival, réalisant ainsi une sorte de printemps hydrologique. Il se caractérise par une régularité plus importante des variations et des amplitudes de variation plus faibles.

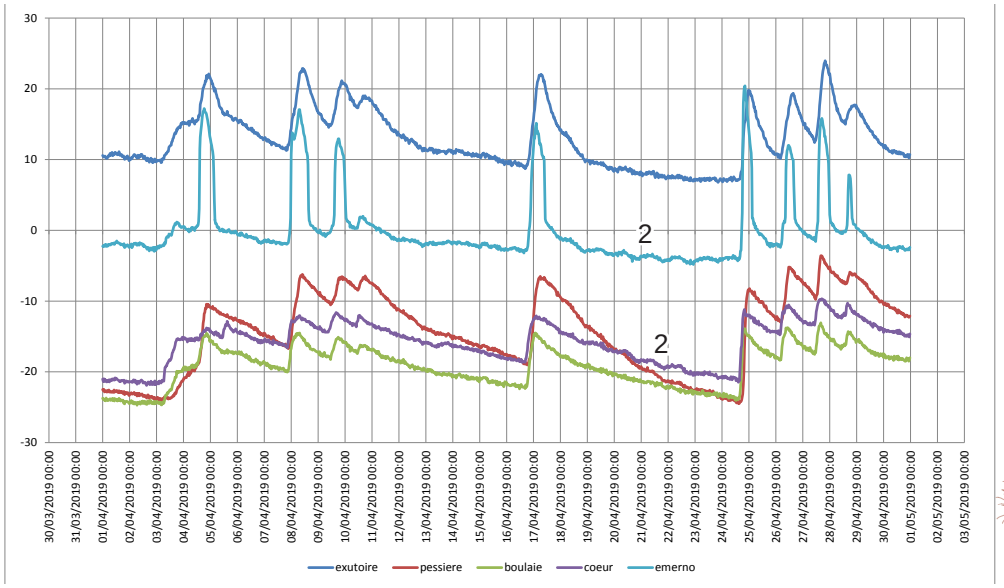


Figure 3-4-8: chroniques piézométriques bi-horaires d'avril 2019. Échelle en cm/ sol.

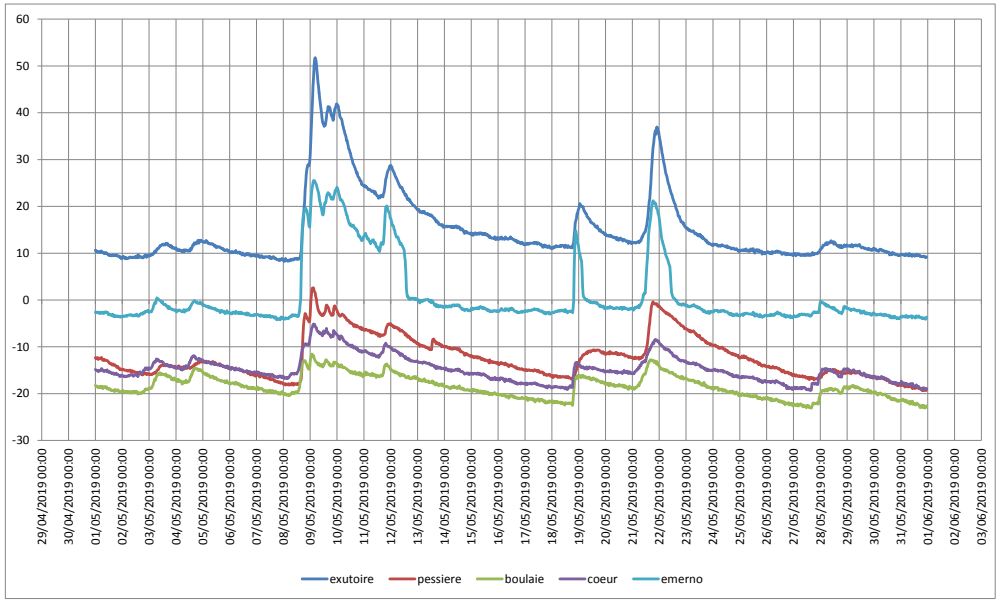


Figure 3-4-9: chroniques piézométriques bi-horaires de mai 2019. Échelle en cm/ sol.

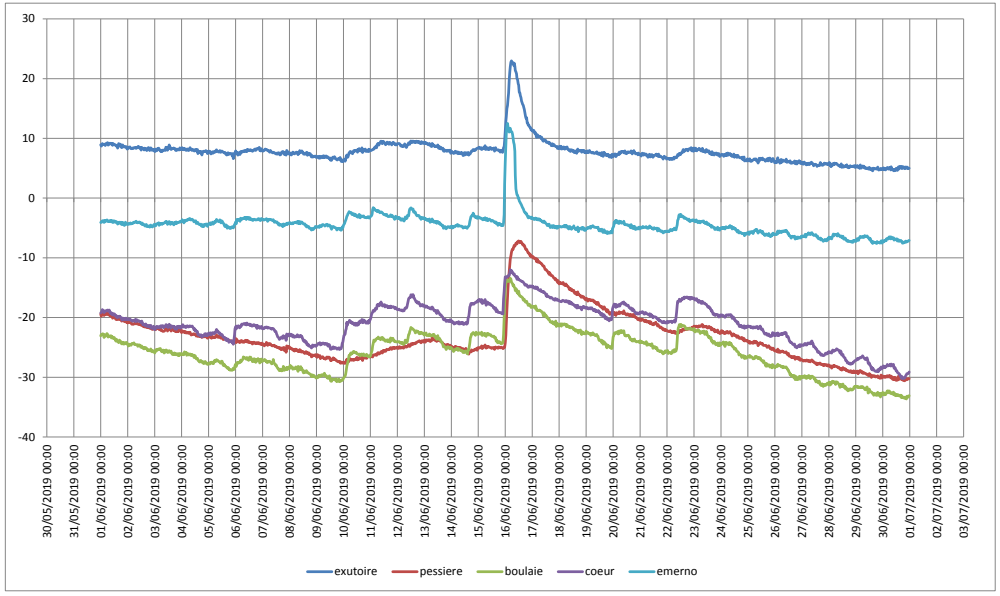


Figure 3-4-10: chroniques piézométriques bi-horaires de juin 2019. Échelle en cm/ sol.

L'écoulement du drain nord-ouest devient alternatif avec des régimes hauts furtifs et le régime de base un peu en dessous du zéro. Le dispositif n'étant possiblement pas fiable, le régime est à prendre avec prudence. S'il ne s'agissait pas d'un artefact, le régime alternatif pourrait être interprété comme résultant d'une influence forte des ruissellements sur le niveau du drain. Ainsi, au printemps, l'écoulement du drain serait en grande partie induite par les ruissellements et peu par la décharge de la nappe à l'émergence du nord-ouest.

Avril est également la période des premiers effets de l'évapotranspiration, visibles ici sur les chroniques du drain NO et du cœur de la zone ouverte [2].

Les chroniques de mai ne montrent pas de nouveau phénomène par rapport à celle d'avril.

3.4.F - Chroniques de juin 2019

Les chroniques de juin 2019 introduisent l'été hydrologique, à partir du milieu du mois. Pour les nappes, les baisses vont être longues et régulières.

Le régime de la pessière retrouve une logique atténuée, dès que la nappe descend en dessous de 20 cm de profondeur. Il n'y a cependant pas le délai observé en automne.

L'évapotranspiration est marquée sur les courbes du drain NO, du cœur de la zone ouverte et de la boulaie. Les baisses diurnes induites par le prélèvement des plantes débutent vers 10h00 et se terminent vers 18h30. Elles sont compensées en partie pour le cœur, presque totalement pour le drain NO. Pour le cœur, la compensation est effective à partir de 25 cm de profondeur. Le processus de compensation résulte de l'existence d'une nappe souterraine qui compense le prélèvement des végétations.

L'absence de recharge nocturne pour la boulaie et la pessière n'indique pas l'absence d'une nappe. Pour que le phénomène soit marqué sur une chronique, il faut certaines dispositions spécifiques. Par exemple, il faut un prélèvement des plantes, ensuite, il faut que ce prélèvement s'effectue à une vitesse supérieure à la capacité de l'eau de percoler dans le sol. Si la vitesse est grande, la nappe compense en continue le processus de prélèvement. Vue l'allure des chroniques, qui restent «groupées» dans leur logique de baisse, il semble que cela soit le cas pour la boulaie et pour la pessière. Si le cœur seul était l'objet d'une décharge de nappe, le niveau resterait beaucoup plus haut que celui de la pessière ou de la boulaie, comme cela est le cas pour le drain NO, où la recharge compense intégralement la baisse diurne.

Ces chroniques nous permettent donc de dire que la tourbière est alimentée par une nappe, de manière plus importante au nord-ouest, ce qui n'est pas surprenant vu les nombreuses sources qui peuvent y être observées. La tourbière est donc influencée par une émergence, ce qui parait contradictoire avec

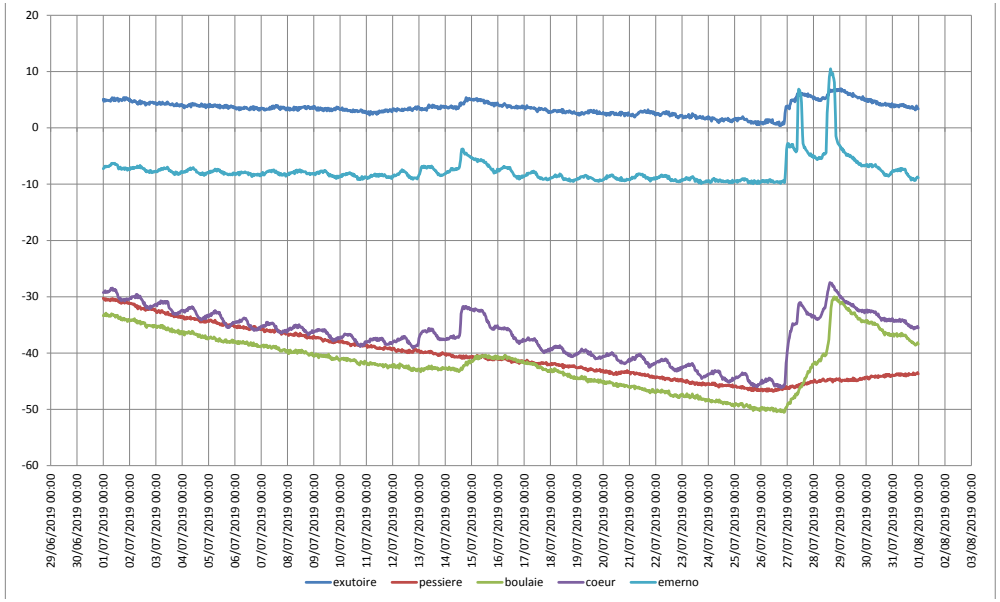


Figure 3-4-11: chroniques piézométriques bi-horaires de juillet 2019. Échelle en cm/ sol.

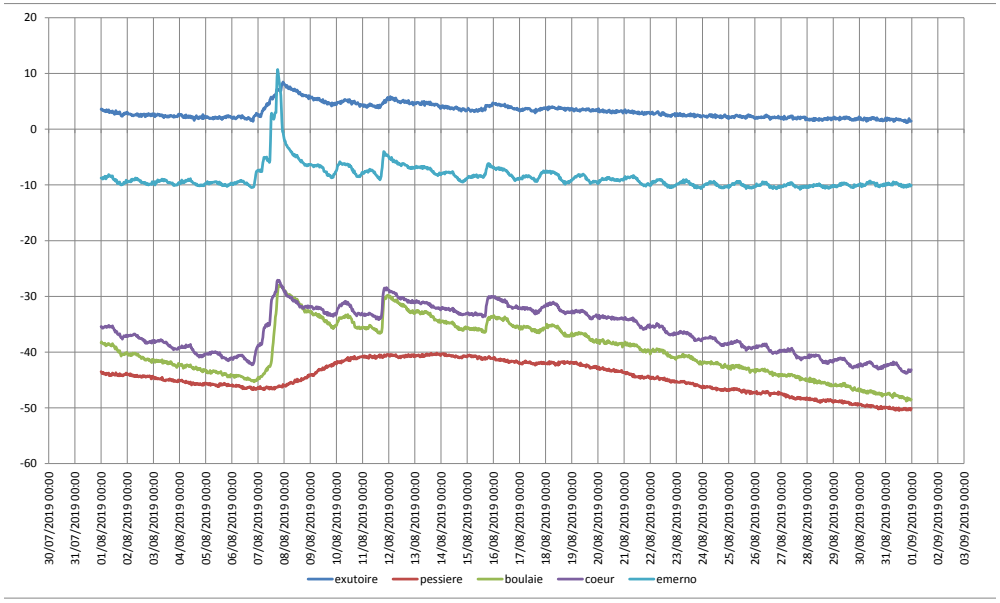


Figure 3-4-12: chroniques piézométriques bi-horaires d'août 2019. Échelle en cm/ sol.

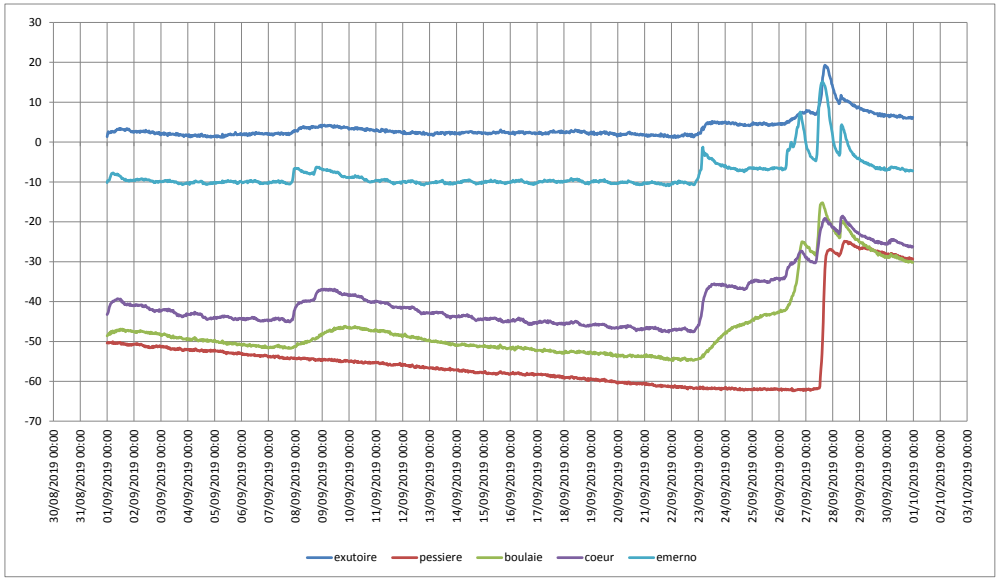


Figure 3-4-13: chroniques piézométriques bi-horaires de septembre 2019. Échelle en cm/ sol.

la nature oligotrophe des communautés végétales passées ou actuelles. Nous expliquerons ce paradoxe dans un chapitre ultérieur.

3.4.G - Chroniques de juillet à septembre 2019

Les chroniques estivales de juillet et d'août montrent l'existence permanente de la décharge de nappe du cœur, et par extrapolation du reste de la tourbière. Elles montrent aussi une atténuation de la recharge nocturne à partir de début août.

La chronique de septembre montre la diminution de la recharge, dès le début du mois. La nappe semble ne plus pouvoir alimenter la tourbière, mais dans le même temps, l'évapotranspiration diminue aussi, sans que l'on sache si cela est causé par la baisse de l'activité des plantes liée à la physiologie ou bien les effets climatiques. Il est aussi possible que le niveau devienne trop bas pour permettre un prélèvement efficace.

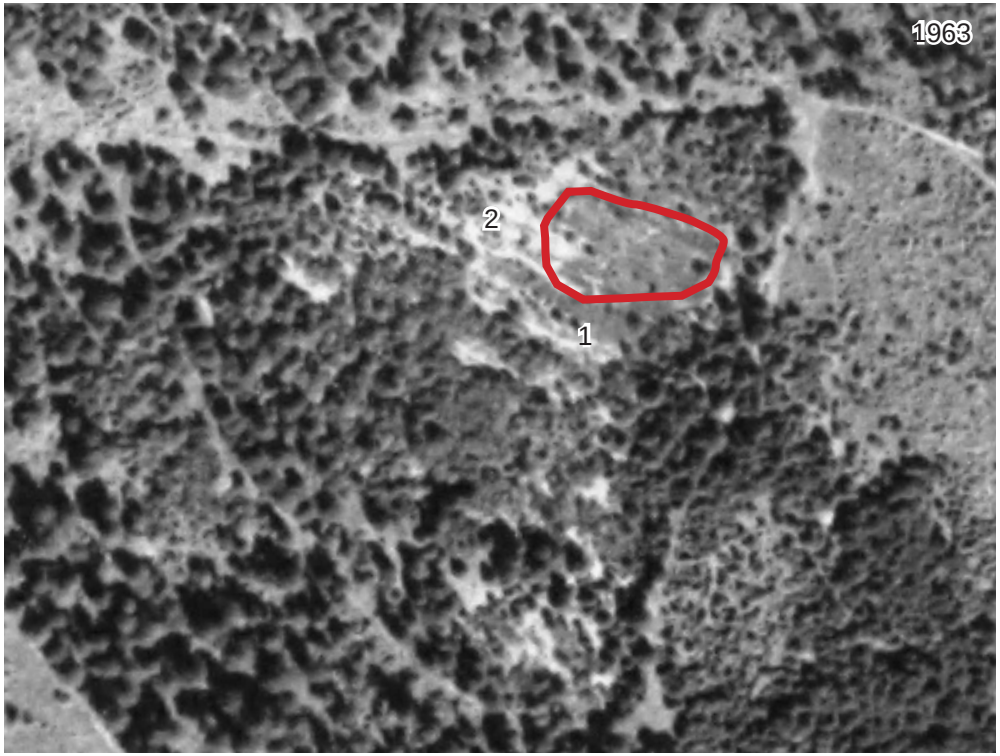


Figure 3-5-1: photographies aériennes de 1963 (noir et blanc) et de 2016 (couleurs) (source IGN).

3.5 - Photographies aériennes anciennes

Sur l'ensemble des photographies aériennes consultées sur le site dédié de l'IGN (https://remonterletemps.ign.fr), seules les plus anciennes montrent des éléments intéressants pour notre démarche, en particulier celles des années 1950-1960.

La comparaison du cliché de 1963 avec la photographie de 2016 (figure 3-5-1) met en évidence l'évolution du boisement Il semble que sur les parties tourbeuses, ce sont principalement les marges de la zone ouverte qui ont été colonisées, par le bouleau, particulièrement au sud [1] et à l'ouest [2]. Ce boisement reste clairsemé et les sphaignes y sont relativement couvrantes (figure 3-5-2).

Figure 3-5-2: boisement clairsemé sur les marges de la zone ouverte.

3.6 - Unités fonctionnelles

Le complexe se décline en deux unités fonctionnelles majeures, la zone ouverte et le boisement. La cartographie de 1993 réalisée par l'ONF (figure 3-6-1) permet de décrire plus en détail la structure interne de ces deux unités majeures, sachant que nos observations de terrain sont en accord avec les données présentées.

La zone ouverte est occupée par une mosaïque organisée suivant la microtopographie héritée de l'exploitation. Elle comprend un fond de moliniaie dans lequel s'individualise une zone plus rase à trichophore (*Trichoporum cespitosum*) et des secteurs plus riches en linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*). Trichophoraie et ériophoraie sont riches en sphaignes rouges (*Sphagnum magellanicum* et *S. rubellum*). Un replat à *Sphagnum fuscum* a également été observé (figure 3-6-2). L'espèce est connu du site proche du champ du Feu, mais l'altitude de la Maxe donne à la station un caractère rare pour cette sphaigne, connue en plaine seulement d'une localité française, dans le val de Saône à La Truchère. Des dépressions à sphaignes vertes et tourbe nue, plus humides, sont également présentes (figure 3-6-3). Nous pouvons inté-

Figure 3-6-2: le *Sphagnum fuscum* de la Maxe accompagné de *S. magellanicum* et *S. rubellum*.

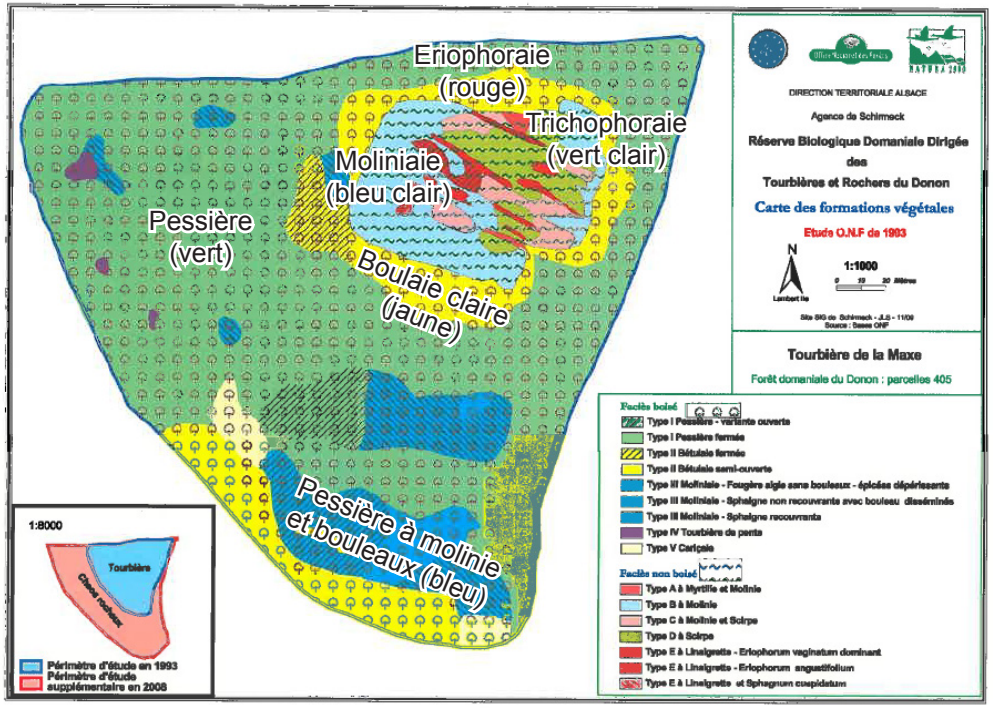


Figure 3-6-1: cartographie des unités fonctionnelles (source ONF).

Figure 3-6-3: dépressions à sphaignes vertes et tourbe nue au sein de la trichophoraie.

grer dans la zone ouverte les boulaies claires qui forment une transition avec les pessières alentours. Il est important de mentionner que la zone ouverte est colonisée par de petits épicéas malingres, certains déjà morts. Leur éradication est un point majeur de la gestion du site.

Dans le secteur tourbeux, les boisements sont donc dominés de manière homogène par l'épicéa, mais avec un couvert arbustif, herbacé et bryophytique variable. De beaux replats de sphaignes vertes sont présents dans les dépressions humides (figure 3-6-4) ou le long des drains (figure 3-6-5).

Figure 3-6-4: replats à sphaignes vertes des dépressions humides de la pessière.

Figure 3-6-5: bords de drains à sphaignes vertes de la pessière du nord-ouest.

4 - Interprétation fonctionnelle

4.1 - Origine de la tourbière

Le complexe tourbeux du marais de la Maxe tire au moins en partie son origine de l'existence d'un lac glaciaire. La taille de ce lac n'a pas été parfaitement définie, mais elle doit approcher les 3000 m² si on se base sur les données d'épaisseur de sédiments meubles et de nature des tourbes observées lors de ce travail. Cela correspond au neuvième de la zone tourbeuse comme elle peut être délimitée aujourd'hui sur les reliquats de l'exploitation de tourbe de la fin du XIXème siècle. La tourbière s'est-elle développée à partir du lac ou plus largement sur l'ensemble de la cuvette du cirque, même non lacustre ? Seules des datations au radiocarbone permettraient de vérifier la chronologie d'installation et d'édification du massif tourbeux. Etant donnée l'hétérogénéité des dépôts tourbeux quant à leur origine botanique, il est probable que le complexe avant l'extraction de la tourbe se soit construit par coalescence de plusieurs petites tourbières initiées sur le lac et ses marges, dont certaines étaient des roselières, d'autres des cariçaies, l'ensemble dans un environnement boisé de bouleaux, de pins et de sapins. Toujours est-il qu'à partir d'un certain moment, le complexe a été le lieu de mise en place d'une tourbière haute, à sphaigne de Magellan, sphaigne brune, linaigrette engainante et éricacées diverses (callune, canneberge), au moins dans le secteur de l'ancien lac (la zone encore aujourd'hui ouverte), puisque ces tourbes y sont encore présentes. La suite de l'histoire de la tourbière, si elle diffère de la tourbière haute, a peut-être été archivée dans les sédiments déposés au-dessus des couches restantes aujourd'hui, mais a été a jamais détruite par l'extraction de la tourbe. Le plus souvent, en France, pour ce type de tourbière, les couches superficielles subissent la pression pastorale, à partir du Moyen-âge ou un peu après, et se modifient fortement, donnant à la tourbière un aspect parfois très différent de celui de la tourbière haute. A la Maxe, les choses sont certainement différentes, avec un ennoiement de la tourbière attesté sur des documents anciens et en rapport avec la digue encore en place (Plan de gestion ONF).

4.2 - Etat actuel

L'état actuel est principalement déterminé par l'exploitation de la tourbe, en particulier le type de tourbe relictuelle et son épaisseur. La zone ouverte correspond à la tourbe de tourbière haute, épaisse d'au moins 1,5 m et déposée sur une gyttja qui l'isole du substrat minéral sous-jacent. Les boisements se tiennent sur une tourbe moins épaisse, souvent construite par des bas-marais, parfois de tourbière haute mais dans ce cas recouverte par une série de tourbe

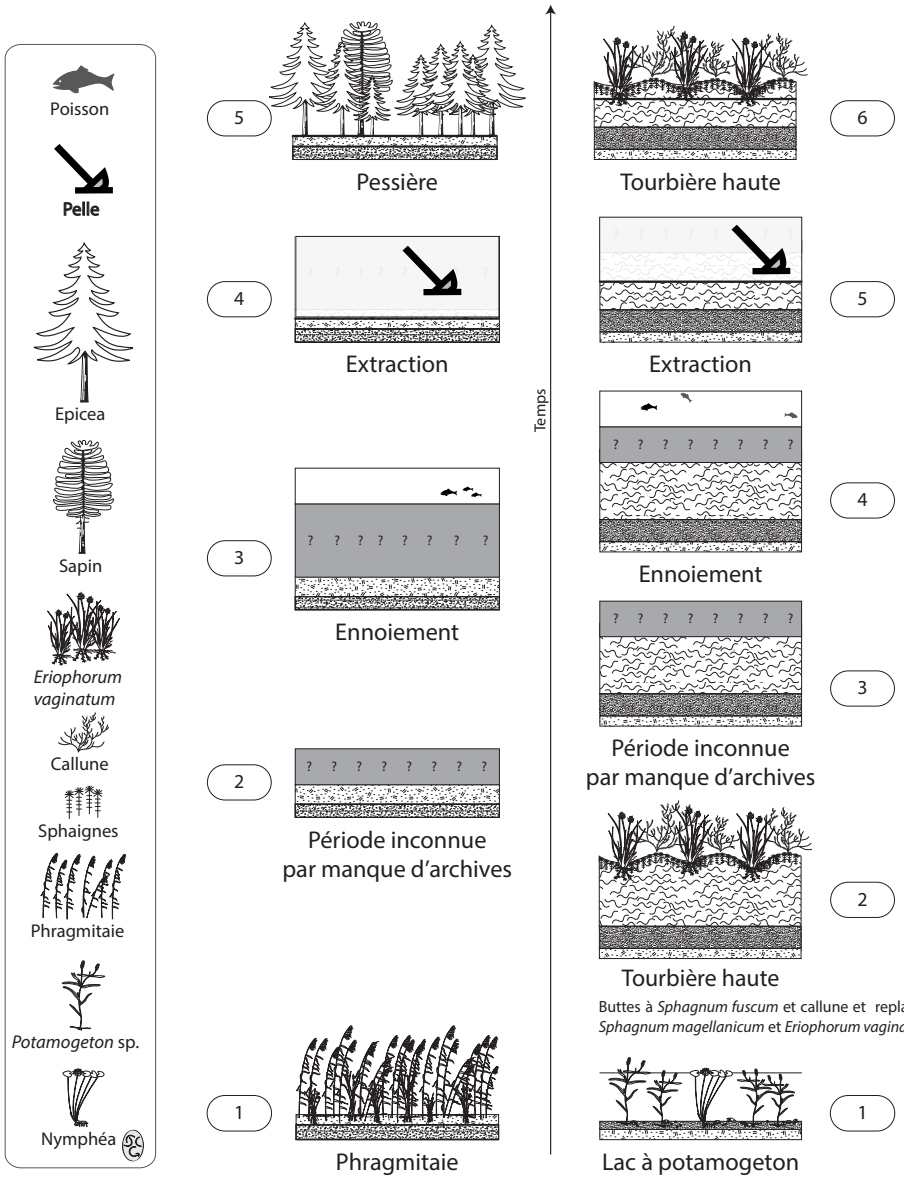


Figure 4-1-1: représentation schématique de l'historique du Marais de la Maxe en 2 lieux distincts

postérieure, différente. Alors que la tourbe à sphaigne originelle y est recouverte par des sphaignes vivantes ou des touradons de trichophore, linaigrette et molinie, c'est un mor forestier qui couvre le sol de la pessière. On peut ainsi dire que les deux types d'unité fonctionnelle majeure sont déterminés par le substrat, ou qu'il existe une sorte de cohérence entre la nature du substrat et les communautés qui vivent dessus pour être plus rigoureux.

4.2.A - La tourbière haute de la zone ouverte

Les communautés de tourbière haute telles que celles de la zone ouverte sont dites ombrotrophes, alimentées par les précipitations. C'est leur capacité à survivre dans un environnement pauvre en éléments nutritifs (oligotrophe) qui leur permet de construire des édifices tourbeux parfois topographiquement bombé ou du moins surélevés par rapport à l'environnement immédiat. La composition et la structure chimique des composés de sphaignes augmentent fortement la résistance de la matière organique à la décomposition par les microorganismes, ce qui permet l'accumulation de la tourbe en tertres élevés. C'est en construisant ces édifices tourbeux que la sphaigne se crée son propre milieu de vie, qui lui est évidemment favorable, mais qui est surtout défavorable à la plupart des organismes vivants. Les sphaignes rouges ou brunes, aidées par la linaigrette engainante et quelques auxiliaires comme la canneberge, l'andromède et parfois la callune constituent ainsi des espèces ingénieures de l'écosystème. Par cette capacité à s'exhausser et éviter d'être sous l'influence des eaux de nappe ou de ruissellement, les espèces de tourbières hautes peuvent même édifier des tourbières hautes dans des contextes alcalins comme le Jura.

Dans des environnements géologiques oligotrophes et acides, comme ceux des grès non carbonatés, l'eau de nappe peut elle aussi permettre à des tourbières hautes de s'installer, sans pour autant qu'elles aient besoin de construire un édifice de tourbe pour échapper aux eaux trop riches de la plupart des autres contextes géologiques. La tourbière haute n'y est donc pas ombrotrophe. C'est possiblement le cas au Marais de la Maxe, où les eaux des Grès vosgiens sont particulièrement pauvres en éléments dissous, acides et riches en dioxyde de carbone.

L'étude piézométrique met en évidence l'existence d'une émergence de nappe sous la tourbière haute, émergence qui reste possible aussi dans la pessière, mais pour laquelle nous n'avons pas d'élément factuel. Cette émergence correspond probablement à la continuité de l'émergence du nord-ouest du complexe.

La situation d'une source sous la tourbière ouverte peut apparaître étrange. Elle est ainsi éloignée du versant amont principal, de l'autre côté de la tourbière, de ce fait rapprochée du versant aval au nord. Pourtant, les faits sont nets, l'émergence est correctement mise en évidence sur les chroniques.

La présence d'une source sous la tourbière haute n'indique pas que tous les végétaux bénéficient d'une eau de nappe souterraine. Il peut y avoir une stratification des eaux avec: une eau de pluie qui reste en surface, qui bénéficie aux mousses et aux éricacées; et une eau de nappe souterraine, exploitée par les graminoïdes (la molinie, les linaigrettes et le trichophore) qui s'enracinent en profondeur. L'eau de nappe souterraine est disponible d'octobre à août. En puisant cette eau l'été, les graminoïdes induisent une ambiance humide bénéfique aux sphaignes, limitant leur dessèchement.

Les conditions d'émergence d'une nappe oligotrophe acide permettent donc de soutenir l'activité de la tourbière haute, même les années sèches comme en 2019. Nous n'avons d'ailleurs constaté aucune sphaigne rouge desséchée lors de nos visites, en particulier en octobre 2019.

Le fait est que le tourbière haute forme une pente légère vers le sud-ouest, mais que cela ne semble pas avoir d'incidence sur son fonctionnement. La microtopographie qui semble avoir le plus d'importance est celle de bandes déprimées d'orientation ouest-nord-ouest/est-sud-est. Cette configuration est propice à la capture des eaux de pluie.

Les marges de la zone ouverte correspondent à des boulaies claires à molinie, éricacées et sphaignes rouges. Elles bénéficient probablement elles aussi du soutien de l'émergence, même si les données n'ont pas strictement montré ce fait. La raison générale pour laquelle les bouleaux colonisent l'espace n'est pas scientifiquement validée par des mesures, mais il ne s'agit pas d'une conséquence de l'assèchement comme le démontre clairement les chroniques piézométriques. En effet, la moyenne annuelle sur les niveaux à minuit de la différence entre la profondeur de la nappe du cœur et celle de la boulaie est de -3, 63 cm, ce qui peut s'interpréter comme une résultante des prélèvements des bouleaux eux-mêmes. Les bouleaux supportent parfaitement l'engorgement, pourvu qu'il n'y ait pas d'inondation subite et durable. L'hypothèse la plus probable pour expliquer la mise en place des bouleaux est celle du « front trophique », analogue au processus bien connu pour les landes sèches, et plus généralement en foresterie, d'amélioration de litière. Ainsi, la colonisation du bouleau résulte des transformations du sol, faites par les bouleaux alentour, menant à une meilleure disponibilité en nutriments et en particulier en phosphore (figure 4-4-2). Elle se réalise souvent en front, rarement en nucléation diffuse dans le cas où c'est une nappe souterraine qui apporte des éléments dissous ou qu'un autre facteur lève le seuil trophique de manière aléatoire. Parmi les facteurs connus de bascule trophique liée au phosphore, la température est importante. Il est donc aussi possible que les bouleaux de la Maxe aient profité d'une évolution climatique ayant libéré du phosphore pour coloniser les marges, déjà améliorées légèrement par la proximité des boisements des zones périphériques à l'ouverture.

4.2.B - La pessière

Le terme de pessière est ici considéré au sens large, car le boisement peut être localement enrichi en sapins, en bouleaux ou même en saules.

Du point de vue fonctionnel, il n'y a pas grand-chose à en dire car il s'agit d'une unité peu étudiée, considérée le plus souvent comme résultant d'une altération des tourbières par plantation avec ou sans drainage ou colonisation de carrières de tourbe comme ici à la Maxe. Elles ne sont considérées comme d'intérêt patrimonial que sous certaines conditions et en particulier dans l'aire d'indigénat de l'épicéa, massif du Jura et Alpes. Le cas vosgien est particulier en raison de la problématique de l'extension naturelle de l'espèce. Si des populations vosgiennes localisées ont été mises en évidence (Kalis, 1984 ; Kalis et al., 2006), les analyses palynologiques réalisées à la Maxe laissent supposer que l'épicéa n'y a jamais été présent, même si quelques grains de pollen de l'espèce y ont été observés. En effet, ce pollen est connu pour voyager sur plusieurs centaines de kilomètres.

On peut donc dire que ces pessières, de composition et de structure proches de celles patrimoniales du Jura, sont ici d'origine anthropique. Du point de vue dynamique, elles pourraient devenir des sapinières à sphaignes, systèmes connus du Massif central comme naturels et anciens.

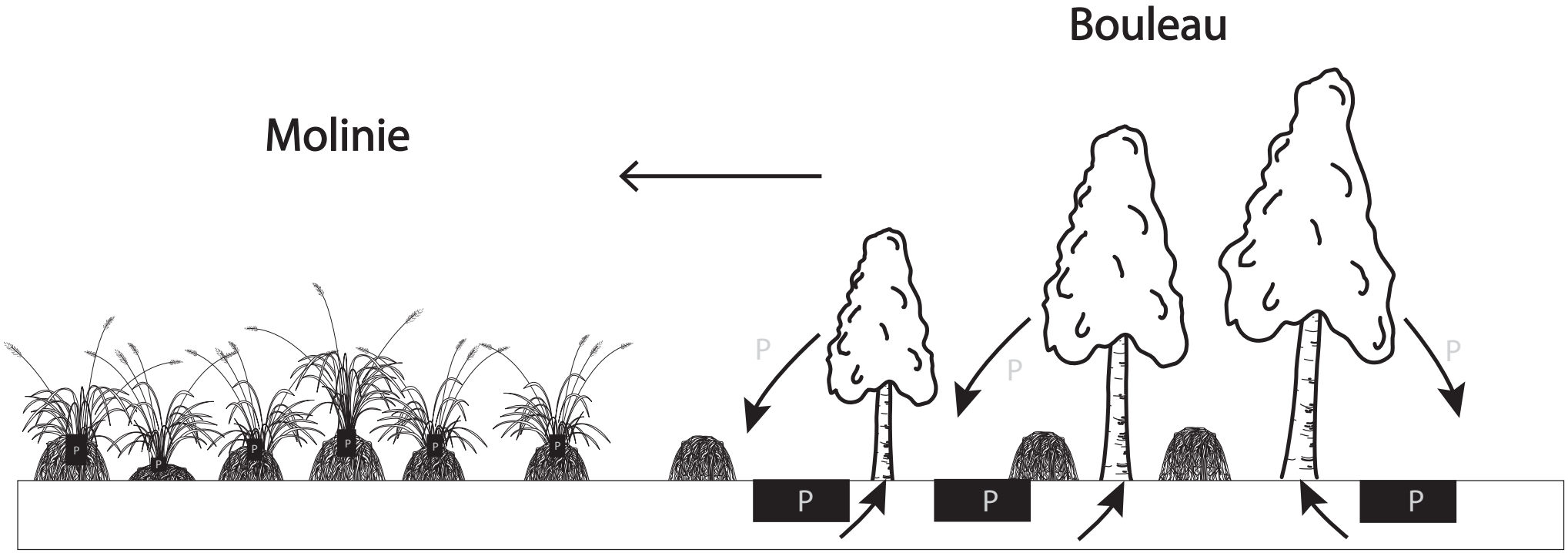


Figure 4-4-2: le processus d'enrichissement trophique d'une moliniaie par progression des bouleaux. L'amélioration de litière correspond à une bascule du cycle du phosphore d'une stratégie de conservation typique d'une graminoïde de tourbière vers celle d'un ligneux hauts.

5 - La conservation des habitats

La problématique de conservation de la tourbière de la Maxe au sens large (zone ouverte et pessière) tient, d'une part, dans le maintien des Habitats* de la zone ouverte et, d'autre part, dans la mise en place d'actions de gestion permettant leur extension au détriment d'habitats non patrimoniaux et sans espèces rares ou protégées. Une amélioration de l'état des boisements est également envisageable, pour tendre vers une naturalité plus grande et favoriser certaines espèces rares.

Un tableau récapitulatif des actions préconisées est proposé en page 31 (Figure 5-1).

5.1 - Maintenir la tourbière haute

La zone ouverte est occupée par des Habitats d'intérêt communautaires de type « Tourbières hautes active » (code 7110*) pour le cœur à sphaignes rouges, et « Tourbières hautes dégradées susceptibles de régénération naturelle » (code 7120) pour la moliniaie périphérique au cœur.

Maintenir la Tourbière haute ne requière aucune action directe, en dehors de la neutralisation des épicéas discutée plus loin et sachant que ces milieux sont particulièrement fragiles, en particulier vis-à-vis du piétinement quel qu'il soit, ou les fouilles de grands mammifères (en particulier les sangliers).

De plus, la tourbière haute étant probablement « assistée » par une nappe émergente, il est important de préserver cette ressource en eau en commençant par n'effectuer aucun travaux pouvant altérer les processus émergents tels que ceux du nord-ouest de la tourbière, et qui s'étendent peut-être un peu au-delà de la Réserve biologique domaniale dirigée vers l'ouest (secteur que nous n'avons pas cartographié). Il est aussi déterminant qu'aucun pompage ne soit réalisé sur l'éperon de La Maxe et ses environs. Enfin, il faut considérer l'éperon de La Maxe comme une zone ne pouvant pas recevoir d'amendement calco-magnésiens pour l'amélioration des peuplements forestiers, si jamais cela était envisagé dans le futur.

5.2 - Favoriser l'extension de la Tourbière haute

L'extension de la Tourbière haute est envisageable d'abord sur ses marges, c'est-à-dire sur les Tourbières hautes susceptibles de régénération naturelle qui correspondent aux secteurs en bleu clair et jaune de la carte des unités écologiques de 1994 (figure 3-6-1). Nous ne proposons aucune action pour cela, en dehors de la coupe des épicéas et des jeunes bouleaux dont nous décrirons plus loin les modalités. Il faut aussi, pour donner toutes ses chances à la Tourbière haute de s'étendre sur la moliniaie, préserver ses marges à molinie de toutes dégradations et en particulier le piétinement. C'est ainsi toute la zone ouverte qui doit être préservée du piétinement.

D'un point de vue théorique, sur la base de l'observation de dizaines de Tourbières hautes dégradées sous forme de moliniaie, la molinie laisse la place aux sphaignes rouges après 50-70 ans, d'abord par la mise en place de buttes à *Sphagnum acutifolium* est callune, puis par l'installation de *S. magellanicum*. Il s'agit le plus souvent de tourbières en phase post-pastorale, mais ce schéma semble également convenir pour le marais de la Maxe car la moliniaie périphérique héberge déjà des sphaignes rouges et la callune. Le risque d'échec de cette colonisation de la Tourbière haute dégradée (une moliniaie) par la Tourbière haute active est la colonisation ligneuse, ou plutôt la densification des ligneux.

5.3 - Contenir les ligneux

Maintenir la Tourbière haute et permettre son extension sur les Tourbières hautes dégradées est conditionné au contrôle des ligneux hauts comme les bouleaux, les pins et les épicéas, les trois espèces majeures présentes sur les marges de la zone ouverte. Prédire la capacité des arbres à coloniser les tourbières hautes est difficile, car les facteurs sont multiples, en lien avec la disponibilité des nutriments comme discuté antérieurement. Il est tout aussi difficile de prédire le fait que la tourbière haute colonise les systèmes boisés, phénomène connu également.

L'effet des ligneux sur les communautés de tourbière n'est pas le même suivant l'espèce considérée. Par exemple, les pins, lorsqu'ils grandissent, ne modifient pas fortement les couverts herbacés et bryophytiques, au contraire de l'épicéa qui montre souvent, sous ses branches, l'absence des espèces typiques de tourbières à l'exception de quelques espèces non turfigènes. Nous recommandons donc de neutraliser tous les épicéas et de contenir les bouleaux

* : la majuscule à «Habitat» précise que le terme désigne l'objet réglementaire tel que défini dans les Cahiers d'Habitats. De la même manière, la majuscule à Tourbières dans «Tourbières hautes» désigne l'objet réglementaire de la Directive européenne et non le système écologique dénommé tourbière haute (synonyme de haut-marais), du langage courant.

Techniques de neutralisation des ligneux

De manière générale

Les passages au centre du complexe doivent être évités (un balisage préliminaire est envisageable). Les feux sont bien-sûr prohibés sur tourbe. Les cheminements d'extraction des produits de coupe doivent se réaliser à partir de la ceinture extérieure des édifices, de manière rayonnante. L'emploi de bâches épaisses et résistantes tirées par des cordes peut faciliter l'extraction de produits volumineux et peu denses tout en limitant la pression au sol. Le travail doit être réalisé en période de hautes eaux (de novembre à avril), pour limiter les impacts sur les sphaignes.

Pour les épicéas et les sapins

Les plus jeunes individus peuvent être coupés au collet et évacués.

Les individus de taille moyenne peuvent être coupés, débités et évacués.

Les individus les plus grands devraient être soit cerclés et laissés en place pour ceux les plus au centre de l'édifice, soit coupés avec chute vers l'extérieur pour les individus périphériques.

Pour les bouleaux, seuls les jeunes individus sont à neutraliser

L'arrachage et l'exportation des petits individus sont recommandés (taille inf. à 30 cm).

Les individus moyens peuvent être coupés (taille entre 30 et 200 cm).

Les grands individus seront laissés en place.

Les pins sylvestres sont laissés en place quelle que soit leur taille.

suivant les modalités proposées dans l'encart ci-après.

Il s'agit d'une mesure de précaution, sur le long terme, réalisée tous les 4 ou 5 ans. Les épicéas sont chétifs, ils paraissent carencés et non viables à long terme et ils ne devraient pas à priori grandir au point de transformer les couverts herbacés et bryophytiques. Cependant, une fois le sol modifié par l'arbre, il sera beaucoup plus difficile de contenir la colonisation ligneuse. Nous pensons donc que la meilleure chose à faire est la neutralisation de l'épicéa. Une fois la Tourbière haute active parfaitement fonctionnelle, avec un couvert de sphaignes rouges important, les ligneux n'auront plus capacité à s'installer.

5.4 - Améliorer la naturalité des boisements

Nous proposons d'améliorer la naturalité des boisements périphériques à sphaignes en favorisant le sapin au détriment de l'épicéa. Il s'agirait d'effectuer des coupes récurrentes des épicéas quelle que soit leur taille, sans altérer l'extension du sapin.

Figure 5-4-1: *Neottia cordata de la Maxe.*

Figure 5-4-2: *Lycopodium annotinum de la Maxe.*

Ces travaux ne devraient être réalisés qu'à la suite d'une délimitation des zones à espèces patrimoniales telles que la listère cordée (*Neottia cordata*) (figure 5-4-1) ou le lycopode à rameaux d'un an (*Lycopodium annotinum*) (figure 5-4-2) et en prenant en compte la sensibilité des sphaignes au piétinement.

L'objectif à long terme de cette action est de mettre en place des sapinières de contact des tourbières bombées, sorte d'équivalent naturel pour les Vosges et le Massif central des Pessières de contact des tourbières bombées, d'intérêt communautaire prioritaire sous le code 91DO*-4 et autochtones seulement dans le massif du Jura et les Alpes. Ces sapinières ont probablement été «oubliées» lors de la rédaction des Cahiers d'Habitats car encore peu étudiées à cette époque (Thébaud et Lemée, 1995).

5.5 - Possibilité de restauration globale par ennoiement

Pour les anciennes carrières de tourbe comme la Maxe, l'ennoiement du fond d'exploitation est une solution qui donne de bon de résultats, mais il faut pour cela que la topographie permette la mise en place d'une pièce d'eau de faible profondeur et que le contexte général soit oligotrophe, comme cela a été le cas à la tourbière de la Charme dans le département des Vosges. Si l'oligotrophie est présente à la Maxe, la topographie n'est pas favorable à la mise en place d'une grande zone en eau, à moins de procéder à un ennoiement important qui influerait sur la Tourbière haute et risquerait d'altérer son fonctionnement. Si une rehausse du niveau d'eau sur le drain exutoire est envisageable, elle ne doit donc pas dépasser 50 cm par rapport au niveau de l'exutoire, pour ne pas influer sur le fonctionnement de la tourbière haute. Cette rehausse est techniquement aisée, la topographie avant la digue le permettrait sans travaux importants. On peut ainsi tabler sur une sorte de petite gorge dans laquelle passe le drain exutoire (figure 5-4-3).

Cependant, la première conséquence de cette rehausse serait d'ennoyer une faible surface, autour de 1800 m² de sapinière-pessière à sphaignes, dans un état relativement satisfaisant et d'intérêt communautaire (Pessières de contact des tourbières bombées, 91DO4). De plus, cette rehausse pourrait entrainer une eutrophisation locale favorisant les saules, déjà présents à cet endroit, modifiant ainsi fortement les communautés végétales et la logique fonctionnelle, avec une extension possible des saules par le processus d'amélioration de litière discuté antérieurement.

Ainsi, si on considère le ratio bénéfice/risque, nous ne préconisons pas d'action de rehausse par pose d'un barrage.

5.6 - Question de l'état de conservation des Habitats d'intérêt communautaire

A titre d'expert, nous considérons que l'état de conservation des Habitats «Tourbières hautes actives, 7110*» et «Tourbières hautes dégradées suscep-

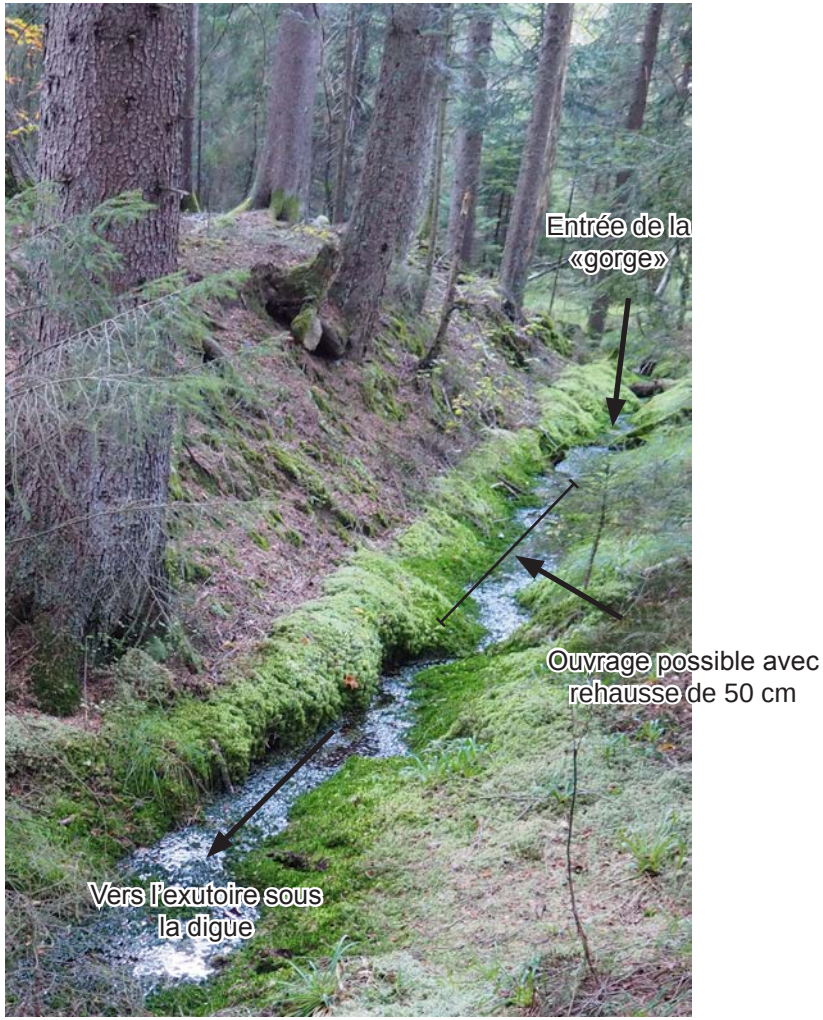


Figure 5-4-3: localisation d'un possible ouvrage à l'entrée de la «gorge» du drain exutoire.

tibles de régénération naturelle, 7120» est favorable, en particulier si on considère le passé « industriel » de la tourbière. L'évaluation de l'état de conservation des Habitats boisés des «Pessières de contact des tourbières bombées, 91DO-4*» est plus difficile pour des raisons d'autochtonie de l'épicéa, d'une forte hétérogénéité de la structure floristique probablement induite par la microtopographie liée à l'extraction de la tourbe. A ces deux éléments majeurs s'ajoute le fait que l'Habitat soit d'origine anthropique, établi sur un ancien site industriel. Nous sommes ainsi menés à penser que l'état est favorable, par rapport à ce que le site a pu être.

5.7 - Question des changements climatiques

Aujourd'hui, à la Maxe comme ailleurs, la question du maintien des tourbières dans le cadre d'un réchauffement climatique global se pose. Le sujet est complexe car la connaissance des conséquences locales sur le climat et sur l'état des nappes qui alimente les tourbières reste très flou.

On peut seulement indiquer que la tourbière haute du Marais de la Maxe a l'avantage d'être à la fois assistée par une nappe et dans un cadre d'humidité atmosphérique importante comme en témoigne les nombreux coussins de sphaignes sur sol forestier ou rochers (même en dehors des éboulis). Les conditions apparaissent donc moins défavorables que dans d'autres cas. Le principal facteur qui constitue la limite à la survie des espèces de tourbière haute et en particulier les sphaignes est la longueur et la nature des sécheresses. Le facteur limitant est lié aux évènements de sécheresse menant les coussins de sphaignes rouges à sécher de manière répétitive, plusieurs années de suite. Les paramètres climatiques sont complexes, car il ne faut pas considérer que les précipitations, mais également la nébulosité, l'humidité atmosphérique, la température etc.

Nous n'avons donc pas de modèle d'évolution à proposer qui puisse aider la gestion conservatoire. Cependant, on peut préciser que l'ambiance forestière est probablement un facteur de conservation de l'humidité atmosphérique et il est recommandé de considérer ce paramètre dans la gestion forestière, par exemple en ne coupant à blanc que de petite surface à la fois, dans le périmètre immédiat de la Réserve.

Actions de connaissance	Lieu	Priorité	Conséquences de conservation
Aucune action de connaissance complémentaire est requise en dehors de la zonation des espèces à enjeu de la sapinière-pessière.	«sapinière-pessière».	2	Mise en place de la gestion visant à favoriser le sapin au détriment de l'épicéa sans altération des populations de plantes à enjeu.
Actions de gestion	**Lieu**	**Priorité**	**Conséquences de conservation**
Limitation du piétinement	Principalement dans la zone ouverte.	1	Maintien des tourbières hautes.
Interdiction des pratiques portant atteinte à la quantité ou la qualité de l'eau émergeant dans le secteur de la tourbière (pompage, chaulage, etc.).	Impluvium, éperon de la Maxe.	1	Maintien des tourbières au sens large.
Neutralisation des ligneux dans la zone ouverte.	Tourbières hautes et boulaie périphérique.	1	Limitation du risque «épicéa» et de la progression des bouleaux.
Neutralisation de l'épicéa dans la sapinière pessière pour favoriser le sapin.	Tourbière boisée, principalement au sud et à l'ouest.	2	Augmentation de la naturalité des tourbières boisées périphériques.
Interdiction de toute action contradictoire avec les objectifs de conservation (contrôle général de l'intégrité structurale du complexe: pas de perturbation topographique, pas d'aménagement hydraulique, etc.).	Tout le complexe	1	Pas de perturbation supplémentaire.
Actions de suivi	**Lieu**	**Priorité**	**Conséquences de conservation**
Cartographie des micro-habitats de la zone ouverte (cf. carte de 1993 du plan de gestion)	Tourbières hautes	1	Capacité de suivi des éléments les plus patrimoniaux.

Figure 5-1: principaux résultats et recommandations concernant la conservation du Marais de la Maxe

6 - Résumé-conclusion

Le marais de la Maxe est un complexe tourbeux niché au cœur d'un cirque glaciaire creusé dans les Grès vosgiens, à l'altitude relativement basse de 630-635 m.

Ce «marais», qui devrait rigoureusement être nommé tourbière, a été fortement altéré par différents usages, le plus important et le plus récent étant l'exploitation de la tourbe qui a eu lieu à la charnière des XIX et XXèmes siècles. Cette exploitation succède probablement à un étang qui a pu ennoyer la tourbière et dont la digue construite à l'est est encore aujourd'hui parfaitement visible. On peut donc considérer cette tourbière comme une ancienne carrière de tourbe en voie de renaturation libre depuis maintenant plus d'un siècle, pour sa partie ouverte au moins.

Le complexe se compose de deux unités majeures: l'une ouverte, occupée par des communautés de tourbière haute; l'autre boisée, occupée majoritairement par des épicéas, formant un croissant autour de l'ouverture. La topographie du site se caractérise par un environnement minéral formant une cuvette creusée dans un épaulement, adossée à un relief à éboulis, au sud-ouest. L'écoulement se réalise suivant les pentes, du nord-ouest vers le sud-est (axe drainant majeur), d'abord à travers des drains, puis dans une ouverture aménagée dans la digue. Un axe secondaire d'écoulement, dans la partie ouverte, se réalise du nord au sud. Un système de sources est parfaitement visible au nord-ouest. Le relief de la tourbière semble intégralement modifié par les activités humaines.

Les deux unités ont un déterminisme très différent. La zone ouverte se tient sur l'ombilic du cirque, où les épaisseurs de sédiments meubles, lacustres et tourbeux, sont les plus importantes, dépassant 5 m. Cet endroit est le siège d'une émergence qui soutient la nappe de la tourbière par un effet de transfert de charge hydraulique. Même lors de longues sécheresses comme celle de l'été 2019, la flore vasculaire y est alimentée par l'eau de source, avec un probable effet sur les mousses. Dans un contexte de grès, pauvres en nutriments solubles, les apports souterrains ne permettent pas l'expression d'une flore très différente de celle des tourbières ombrotrophes, alimentées seulement par les précipitations. La flore est ainsi celle typique des tourbières hautes, tout en étant alimentée en partie par des eaux de sources. Ce soutien de nappe par un apport émergent est original pour ce genre de contexte et induit un type de tourbière original: une tourbière haute «assistée». Ainsi, ce ne sont pas les conditions climatiques seules qui permettent la tenue d'une telle tourbière, comme c'est la cas pour la majorité des tourbières hautes, mais les conditions climatiques «assistées» en certaines périodes critiques par une émergence de nappe souterraine et l'évapotranspiration qu'elle permet, conservant une ambiance humide au secteur. Ce type de tourbière haute a déjà été caractérisé dans les Ardennes, où les tourbières hautes sont systématiquement associées à des zones d'émergence de nappe.

Les parties actuellement boisées sont situées sur des sédiments meubles, épais d'un mètre en moyenne, principalement des tourbes souvent riches en lits minéraux. Les suivis piézométriques ne montrent pas de décharge de nappe, mais cela ne signifie pas que cette nappe ne soit présente. Ils montrent aussi une faculté moindre de l'eau à circuler dans le sol, probablement à cause d'une porosité faible. La partie nord-ouest fait exception, avec localement une émergence qui alimente de petits drains, induisant un régime mixte d'émergence et de ru.

La question de la conservation des tourbières du marais de la Maxe se décline en deux axes majeurs: la conservation de l'existant, la tourbière haute, et sa possible extension sur les parties boisées périphériques; le tout dans un cadre de renaturation d'une ancienne carrière de tourbe.

Le maintien de la tourbière haute actuelle ne nécessite aucune action spécifique. L'état apparait bon. Les perturbations majeures pour ce type de tourbière sont le piétinement et les modifications climatiques, auxquelles il faut ajouter les modifications du système émergent pour ce site particulier. Cette sensibilité implique une attention particulière des travaux de pompage pouvant être réalisés dans un périmètre allant au-delà du bassin versant topographique.

L'extension de la tourbière haute, telle qu'elle fonctionne actuellement, est théoriquement limitée par la «surface» de l'émergence. Il faut donc concevoir une extension dans un cadre fonctionnel différent, non «assisté» par une décharge de nappe. Dans le cadre topographique du marais de la Maxe, cela se conçoit par une technique d'inondation du fond du marais et/ou d'effacement du réseau de drains de la partie aval. Les avantages et inconvénients de cette action sont discutées dans le rapport.

Nous recommandons que la tourbière boisée soit gérée dans l'objectif de favoriser le sapin au détriment de l'épicée, dans le but de restaurer une naturalité plus grande et sans compromettre le maintien des espèces végétales rares.

7 - Bibliographie

Flageollet, J.-C. (2002). Sur les traces des glaciers vosgiens, 212 p. Paris: CNRS éditions.

Goubet P. (2016). Compte rendu d'étude commandée par l'Office National des Forêts. Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux du champ du Feu, Réserve Biologique Dirigée (Belmont, Bas-Rhin): application à la conservation du fonctionnement hydrologique. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 40 p.

Kalis, A. J. (1984). L'indigénat de l'épicéa dans les Hautes-Vosges. Revue de paléobiologie, volume 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. Vegetation History and Archaeobotany, 15(4), 377-390.

Ménillet F., Durand M., Maïaux C. & Lougnon J. (1978). Carte et notice géologiques « Cirey-sur-Vezouze ». Editions du BRGM.

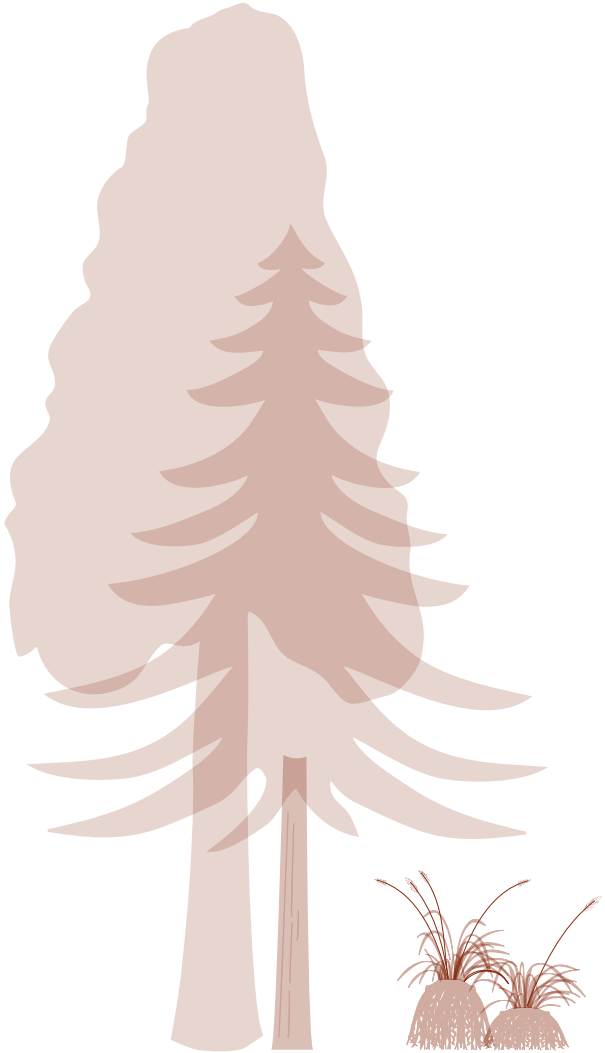
Millot, G., Sittler, J., von Eller, J. P., & Simler, L. (1963). Notice géologique et hydrogéologique du département du Bas-Rhin. Sciences Géologiques, bulletins et mémoires, 16(2), 71-113.

Thébaud, G., & Lemée, G. (1995). Groupements forestiers mûrs à Abies alba dans les Monts du Forez. Acta botanica gallica, 142(3), 253-266.

Walter-Simonnet, A. V., Bossuet, G., Simonnet, J. P., Develle, A. L., Bégeot, C., Ruffaldi, P., Régent B. & Wackenheim, C. (2009-2010). Sédimentation tardiglaciaire dans le Marais de la Maxe et le lac de Sewen (massif des Vosges, France) - premiers résultats. Coll. Tourbières, Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald — 15 : 251 - 266

GOUBET P. (2019). Diagnostic fonctionnel du Marais de La Maxe, réserve biologique dirigée (Grandfontaine, Bas-Rhin). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 33 p.

Résumé en page 32.



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

Siret : 49539019700020

N° TVA intracommunautaire : FR41495390197