Compte rendu d'étude commandée par le
Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne

Le fonctionnement des tourbières du Cézallier et de l'Artense.

Approche théorique, outils de diagnostic et typologie fonctionnelle.



Pierre Goubet 2020

Cabinet Pierre GOUBET - Expertise des écosystèmes

Action cofinancée par l'Europe FEDER, L'agence de l'Eau Adour –Garonne, la Fondation de France et le parc naturel régional des volcans d'Auvergne

Table des matières

I. Introduction 1

II. Les tourbières - Notions générales 5

II.1 - La tourbière: une définition simple 6

II.2 - Établir de la cohérence dans la complexité 7

II.3 - La tourbe: formation et dégradation 9

II.3.A - La tourbe: composition et structure 9

II.3.B - La turfigenèse 10

II.3.C - La dégradation de la tourbe... 14

II.3.D - ... et la dégradation historique de la fertilité des bassins versants. 15

II.4 - Les nutriments: un effet clé sur les plantes et le sol 17

II.5 - Les logiques d'écoulement: l'eau en tourbière 18

II.5.A - Concepts clés. 18

II.5.B - Principes généraux de la circulation de l'eau 20

II.5.C - Modèle d'écoulement des contextes de socle granitique et métamorphique 23

II.5.D - Modèle d'écoulement des empilements basaltiques 24

II.6 - Les plantes de tourbières: écologie et bio-indication 27

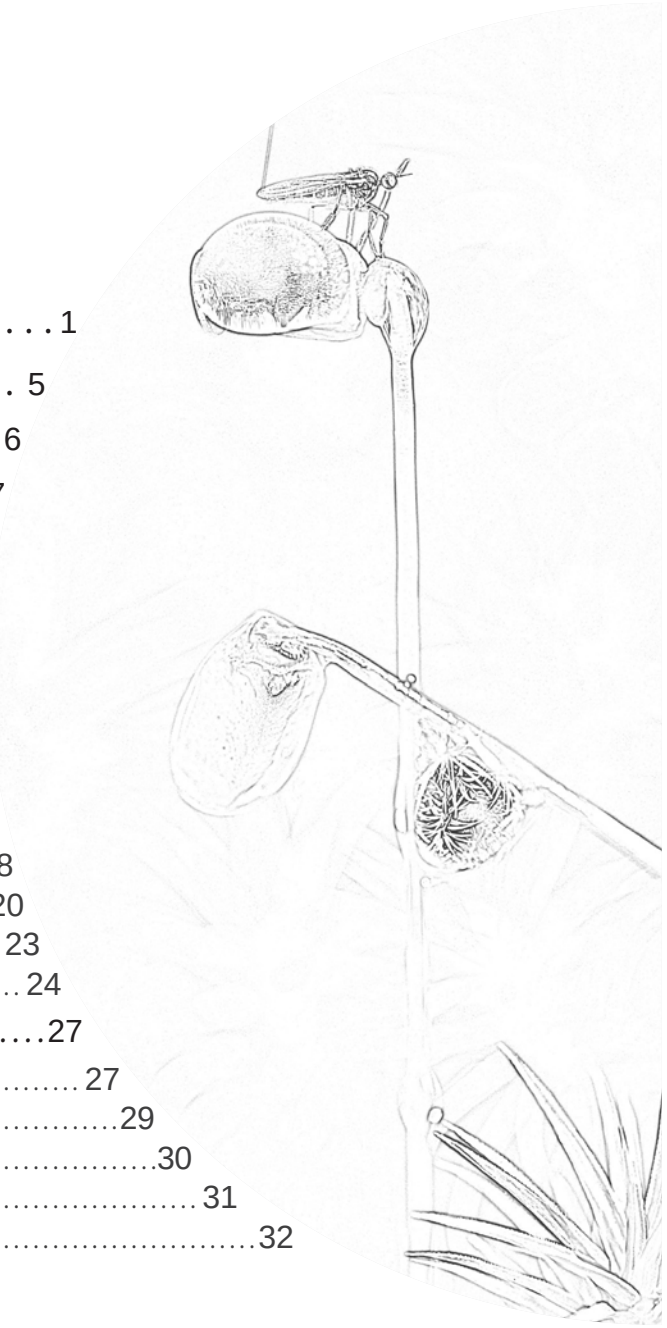
II.6.A - Les plantes turfigènes: la force motrice de la pédogenèse primaire 27

II.6.B - Indicateurs de l'érosion de la tourbe 29

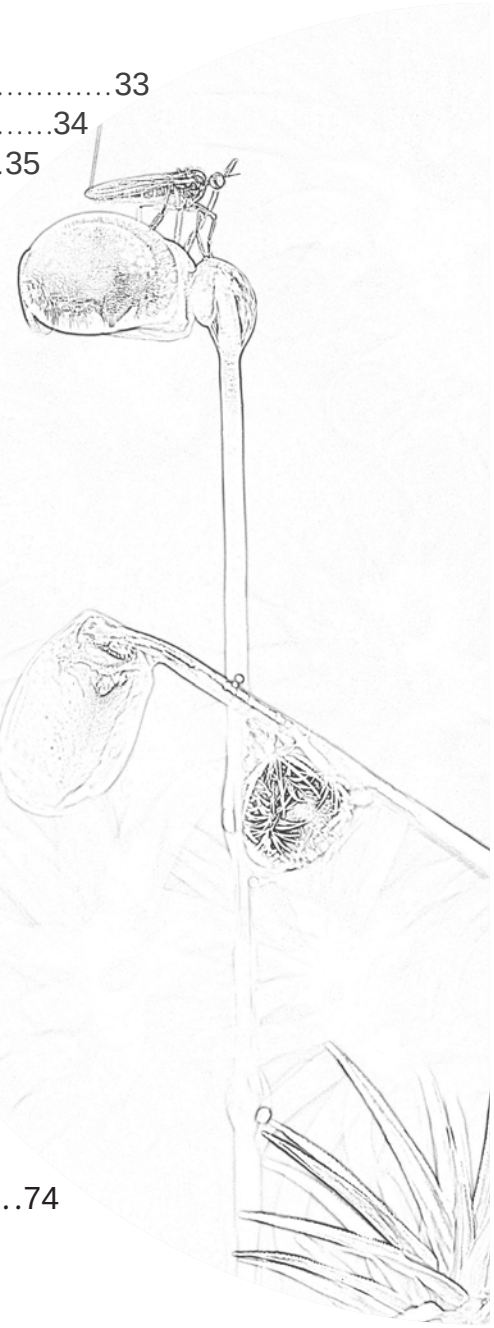
II.6.C - Les émergences et leurs indicateurs 30

II.6.D - Indicateurs d'ombrotrophie 31

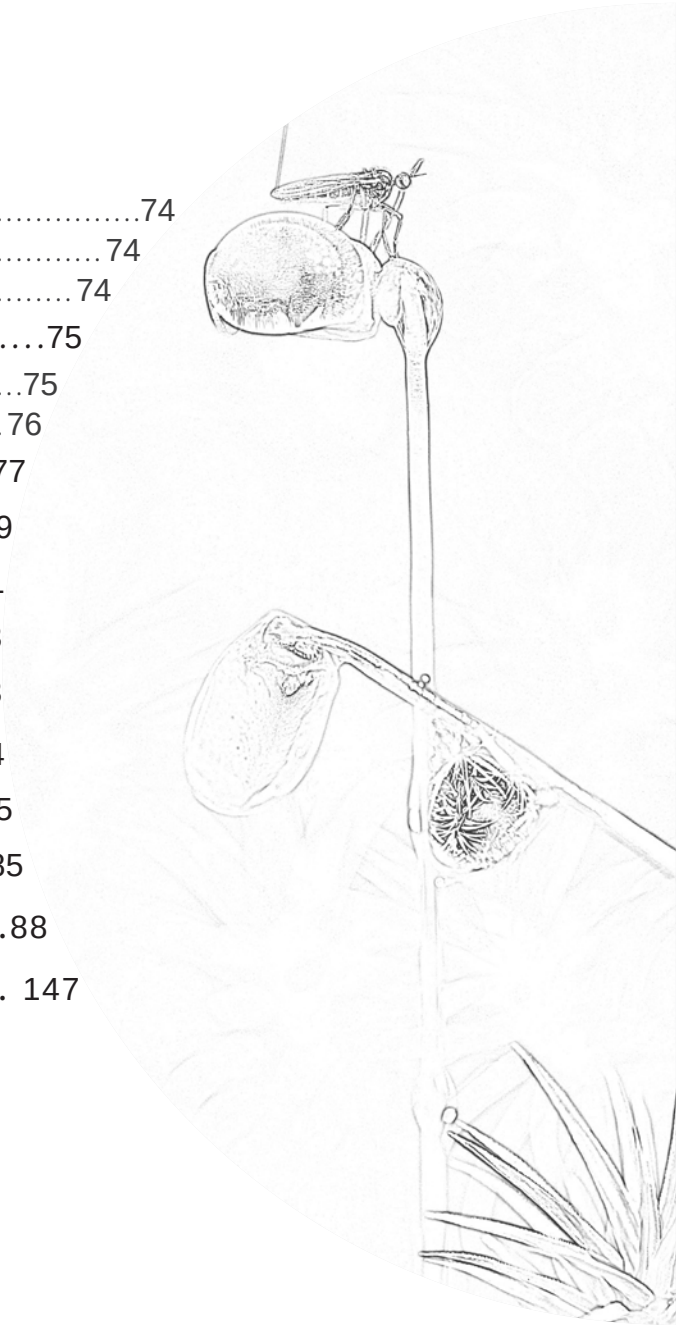
II.6.E - Indicateurs d'alcalinité 32



II.6.F - L'enrichissement en nutriments et les plantes associées 33
II.6.G - Plantes favorisées par le pâturage 34
II.6.H - Indicateurs d'incendie (brûlis) 35
II.7 - Les grands types de tourbières 36
II.7.A - Les tourbières ombrotrophes 37
II.7.B - Les tourbières d'émergence 40
II.7.C - Les tourbières de concentration des eaux de surface 41
II.7.D - Les tourbières ennoyées-décollées 42
II.7.E - Les tourbières ré-humectées 44
II.7.F - Les tourbières pâturées 46
II.7.F.a. Notion de système pastoral et système post-pastoral 46
II.7.F.b. Etats pastoraux et post-pastoraux dans le Cézallier, l'Artense et leurs marges 47
II.7.G - Les tourbières exploitées pour la tourbe 50
II.8 - Quelques grandes questions de fonctionnement et de conservation des tourbières 52
II.8.A - L'eutrophisation 52
II.8.B - Le pâturage 55
II.8.C - Le drainage 56
II.8.D - La colonisation ligneuse 58
II.8.E - Le réchauffement climatique et les tourbières: approche théorique 61
III. Le diagnostic fonctionnel 67
III.1 - Démarche globale de diagnostic 68
III.2 - Relief et dérivées 70
III.3 - Géologie et géomorphologie 71
III.4 - Caractérisation des épaisseurs de tourbe 72
III.5 - Caractérisation pédo-paléocologique de terrain 73
III.6 - Analyse des macrorestes 74



III.6.A - Phase de terrain. 74
III.6.B - Phase de laboratoire 74
III.6.C - Analyse des échantillons 74
III.7 - Datation au carbone 14 (^{14}C) 75
III.7.A - Principes physico-chimiques 75
III.7.B - Méthode de prélèvement et choix des objets à dater. 76
III.8 - Caractérisation des unités fonctionnelles 77
III.9 - Profils de structure et de suivi 79
III.10 - Caractérisation piézométrique 81
III.11 - Photographies aériennes anciennes 83
III.12 - Synthèse fonctionnelle et recommandations 83
IV. Typologie des tourbières du Cézallier et de l'Artense 84
IV.1 - Limites de la typologie existante 85
IV.2 - Typologie fonctionnelle des tourbières du plateau 85
V. Fiches de synthèse fonctionnelle 88
VI. Bibliographie. 147



I. Introduction



Ce document correspond au compte rendu d'une étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne.

L'objectif de l'étude, dont le contenu formel de la commande est présenté dans les encarts ci-après, a vocation à permettre de mieux conserver les tourbières du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne à travers la mise à disposition d'un document de synthèse présentant l'essentiel à connaitre sur ces milieux tourbeux.

Il s'agit d'un document qui présente à la fois les connaissances de base sur les tourbières, les outils du diagnostic fonctionnel et les éléments les plus importants des diagnostics réalisés sur les sites du Cézallier et de l'Artense.

Il s'organise en 6 parties: après cette introduction, (I) des notions générales sur les tourbières seront présentées (II), le diagnostic fonctionnel fera l'objet du chapitre suivant (III). La typologie des tourbières du Cézallier et de l'Artense sera le sujet du chapitre IV, qui s'ouvrira sur des fiches de synthèse fonctionnelle par site (V). Il se clôture par une bibliographie (VI). Un résumé se trouve en dernière de couverture.



Contenu de la commande

Ce projet a vocation à permettre de mieux conserver les tourbières du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne en facilitant à l'ensemble des acteurs de la conservation, au sens large, l'accès à la connaissance du fonctionnement des écosystèmes tourbeux, tel que les données actuelles sur les complexes du territoire du Parc et les recherches scientifiques d'aujourd'hui le permettent.

Les échelles d'analyse seront adaptées avec : (1) le territoire du Parc, (2) les régions naturelles qui le composent (Monts-Dore, Cézallier, Artense, Monts du Cantal et Planèze de Saint-Flour), (3) de possibles sous-secteurs (« district » d'homogénéité fonctionnelle), les complexes eux-mêmes. Les résultats obtenus seront analysés dans une perspective à l'échelle du Massif central et au-delà.

Ce travail sera restitué sous la forme d'un document ou d'une série de documents scindée en plusieurs parties dont : (volet I partie 1) une synthèse sur le fonctionnement des tourbières ciblée sur celles présentes dans le Parc ; (volet I partie 2) une présentation du diagnostic fonctionnel des écosystèmes tourbeux, outil préliminaire à la démarche de conservation ; (volet II) une présentation des tourbières du Parc suivie d'une série de fiches de synthèse concernant les sites les mieux connus ; (volet III) une analyse typologique des écosystèmes tourbeux du Parc.

VOLET I : SYNTHÈSE SUR LE FONCTIONNEMENT DES TOURBIÈRES

Ce volet est dédié à la présentation de l'essentiel à savoir sur le fonctionnement des tourbières (partie 1) et à la présentation du diagnostic fonctionnel (partie 2). Les processus clés dans divers champs disciplinaires seront présentés : l'écologie des taxons ingénieurs (synécologie des plantes) ; pédologie des sols organiques (histosols) et autres sols courants dans les secteurs tourbeux ou humides (Rédoxisols et Réductisols) ; hydrologie et hydrogéologie en lien avec les zones humides du Parc (circulation de l'eau dans les dépôts glaciaires, les roches cristallines, cristallophylliennes et volcaniques). Une synthèse des données paléoécologiques collectées dans les tourbières du Parc sera réalisée, en particulier les données concernant les analyses macrorestes.

Les différents types d'unités fonctionnelles constituant les complexes tourbeux seront décrits : les tourbières hautes et les éléments des mosaïques dont elles sont constituées ; les bas-marais acides, alcalins, oligotrophes ou moins pauvres en nutriments ; les modalités boisées de ces systèmes et les vrais bois tourbeux ; les systèmes issus de la perturbation anthropique des tourbières, etc.

Sur la base de ces éléments et de données bibliographiques, des modèles de fonctionnement généraux seront présentés, ils constitueront une base pour la démarche conservatoire à l'échelle du Parc.



Cette synthèse s'appuiera sur les recherches scientifiques les plus récentes, bien-entendu, et aussi sur la nature des tourbières du Parc, car les tourbières du Massif central ne sont pas les tourbières du nord de l'Europe, elles ont leur particularité fonctionnelle. A cause de cela, les modèles classiques du XX^{ème} issus des grandes écoles britanniques, scandinaves, allemandes servant encore souvent de référence pour la conservation des tourbières ne s'appliquent aux tourbières du Massif central qu'avec réserve.

Conserver les tourbières implique la prise en compte de données fonctionnelles essentielles du type : quel est le type et l'état de cette tourbière, qu'elle est son origine, quels sont les paramètres écologiques qui contrôlent sa dynamique ? Répondre à ces questions ne se fait plus sur une base aléatoire, empirique, mais s'organise autour d'une démarche conceptualisée nommé diagnostic fonctionnel.

Le but de ce volet sera donc de présenter les concepts et les méthodes du diagnostic fonctionnel des écosystèmes tourbeux pour que les acteurs de la conservation des tourbières puissent élaborer des plans d'action répondant parfaitement aux problématiques locales, les mettre en place ou déléguer leur mise en place en toute maîtrise des tenants et aboutissant des actions réalisées et, surtout, d'exiger de chaque intervenant spécialisé une démarche intégrable à la démarche générale de diagnostic. Ainsi, ne se perpétueront plus les études de spécialistes de champs disciplinaires qui pensent que leurs données sont propres à donner des réponses fonctionnelles globales, alors même qu'elles ne constituent que des éléments d'une analyse de toute façon complexe et nécessitant l'intégration de multiples sources de données de différents champs disciplinaires.

Suite du contenu de la commande

VOLET II : FICHE DE SYNTHÈSE FONCTIONNELLE PAR SITE

Ce volet correspond à une série de fiches dont l'organisation précise découlera d'une analyse globale, à l'échelle du Parc : des données propres aux différentes sous entités géographiques ou paysagères ; à l'organisation spatiale des complexes tourbeux au sein de ces entités ; et aux données disponibles. Les fiches seront évaluées par des utilisateurs potentiels lors de réunions spécifiques (volet IV), puis adaptées.

VOLET III : TYPOLOGIE FONCTIONNELLE DES TOURBIÈRES DU PARC

Ce volet est destiné à définir une typologie des différents complexes rencontrés dans le territoire du Parc. Cette typologie est nécessairement réalisée à diverses échelles, car les unités écologiques (le terme équivalent d'unités fonctionnelles est celui qui convient le mieux) s'organisent en différents niveaux de complexité croissante. Le plus souvent, il est possible de définir sur le terrain des unités fonctionnelles élémentaires qui se rassemblent pour former des unités plus grandes, sous forme de mosaïques, de séries concentriques, de séries linéaires, etc. Des groupes de ces unités plus grandes peuvent s'organiser pour former une des quelques parties majeures d'un complexe tourbeux. Les complexes tourbeux peuvent eux-mêmes s'intégrer dans des éco-complexes de grandes surfaces et former des méta-complexes, comme dans le cas des tourbières de la vallée de la fontaine Salée par exemple. Cette organisation n'est pas le fruit du hasard mais résulte d'une auto-organisation propre aux écosystèmes, en lien avec un ensemble de paramètres écologiques. Outre le fait de délimiter des unités de gestions pertinentes, comprendre l'organisation des unités fonctionnelles permet de définir les grands traits de fonctionnement des tourbières, à diverses échelles spatiales et temporelles.

Cette typologie fonctionnelle à diverses échelles s'appuiera donc, par nature, sur les données du diagnostic ou sur des diagnostics fonctionnels complets réalisés ou en cours de réalisation depuis une dizaine d'années dans le territoire du Parc. Elle sera donc réalisée de manière conjointe au volet précédent (II). Au-delà du territoire du Parc, ce sont les diagnostics fonctionnels et les études réalisées sur le Massif central ou la France qui seront pris en compte.

VOLET IV : ANIMATION ET SUIVI DU PROJET

La réalisation d'un document à l'adresse de publics variés gagne à un accompagnement de représentants de ces publics. Nous proposons donc de participer à deux journées de discussions autour du projet organisées par le Parc avec la préparation d'une présentation de l'état du travail d'une heure. Ces échanges seront l'occasion de présenter les fiches de sites à de potentiels utilisateurs et de travailler sur un contenu adapté. Il s'agira donc de passer une demi-journée de préparation, une journée de présentation et une demi-journée d'analyse des fiches pour chacune des journées d'échange prévue. Le détail de ces journées reste à définir, plusieurs lieux dans une même journée pouvant être concernés.

A cela, nous proposons d'ajouter la participation à 2 ateliers techniques, dans le Massif central, pour informer, former discuter des problématiques de conservation (diagnostic, gestion conservatoire, restauration fonctionnelle, suivi, etc.).



II. Les tourbières - Notions générales



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.

II.1 - La tourbière: une définition simple

La présence de tourbe est la condition d'existence d'une tourbière. Ceci-dit, il existe ou il a dû exister des tourbières sans tourbe épaisse «constituée», que l'on peut qualifier de tourbières «naissantes», où la production de tourbe (le processus de turfigenèse) vient de débuter.

La tourbière peut ainsi être définie comme le **lieu d'une turfigenèse passée ou potentiellement en cours.**

La production de tourbe passée fait référence à la présence de tourbe avérée, la mention d'une production de tourbe potentiellement en cours permet d'inclure les communautés qui n'ont pas encore constitué de tourbe. Il faut ajouter la notion de potentiel car il est impossible de définir si de la tourbe est construite à un instant «t», comme il est impossible de dire si le niveau moyen de l'océan ou les températures moyennes annuelles d'un endroit s'accroissent; il faut bénéficier pour cela d'une série de mesures qui s'échelonnent sur un certain temps.

Pour déterminer si de la tourbe est potentiellement produite, il faut aussi connaitre les plantes qui forment la tourbe, celles que l'on dit «turfigènes». Pour cela, il faut réaliser des études détaillées des constituants de la tourbe, fragments végétaux ou produits chimiques.

En utilisant une formulation plus précise, mais plus longue, il est possible de définir une tourbière comme caractérisée par:

(1) soit la présence d'un sol tourbeux (critère pédologique);

(2) soit l'existence d'une communauté végétale turfigène (critère floristique).

Cette dualité dans la définition de la tourbière, avec la notion de tourbe, d'une part, et de végétation turfigène, d'autre part, mène à la distinction de 3 cas possibles:

(A) La tourbe est présente et la communauté turfigène également, la tourbière est ainsi typique;

(B) Seule la tourbe est présente, dans ce cas la tourbière ne se révèle qu'à travers une étude pédologique, la nature tourbeuse du lieu étant masqué par une végétation parfois très éloignée de celles des milieux tourbeux. Nous proposons le terme de cryptotourbière pour décrire ce cas de figure;

(C) La tourbe est absente mais la végétation est dominée par des plantes turfigènes, nous proposons de nommer ces cas des épitourbières, utilisant la préfixe «épi», d'usage courant en science, signifiant un compartiment «au-dessus», ou superficiel.

Une tourbière est définie par l'existence d'une production de tourbe passée ou potentiellement en cours.

Plus précisément, une tourbière est caractérisée:

(1) soit par la présence d'un sol tourbeux (critère pédologique);
(2) soit par l'existence d'une communauté végétale turfigène (critère floristique).



La tourbe du sondage Peyra_M1 de 100-150cm



Sphagnum fuscum sur un rocher du lac de l'Île, vallon d'Estibère, Néouvielle, Hautes-Pyrénées. Un exemple d'épitourbière, «mini»-tourbière sans tourbe épaisse.

II.2 - Établir de la cohérence dans la complexité

Le fonctionnement des écosystèmes répond à des logiques naturelles non aléatoires, organisées suivant des règles qui répondent fondamentalement à la physique, à la chimie et, par dérivées, aux autres sciences de la nature. Ces règles imposent de la cohérence fonctionnelle, mais celle-ci nous est rendu imperceptible par la complexité des processus et la diversité des éléments en jeu. Ce n'est qu'à travers une démarche rationnelle, scientifique, que les règles qui régissent le fonctionnement des tourbières peuvent nous apparaître. Cette démarche est pluridisciplinaire, faisant appel à des disciplines comme la botanique, la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie, la pédologie, la biogéochimie, etc., qui font l'objet d'une intégration à travers les outils de l'écologie des écosystèmes. Cet aspect multidisciplinaire est une nécessité scientifique, mais il ne rend pas plus accessible la perception des modalités fonctionnelles, en dehors de quelques écologues spécialistes du sujet. Il peut même rendre plus difficile la compréhension du fonctionnement des tourbières en exigeant une culture scientifique élargie.

L'objectif de cette partie de document est de présenter, de manière simplifiée, les éléments essentiels à la compréhension du fonctionnement des tourbières tel qu'il est perçu aujourd'hui par les spécialistes. Pour cela, nous proposons de présenter les 4 principales logiques fonctionnelles qui agissent sur les espèces ingénieures, des plantes, et qui sous-tendent la formation et le fonctionnement des tourbières.

Sans ordre précis, il s'agit (figure II-2-1): (1) des processus liés aux écoulements; (2) des processus pédologiques; (3) des processus biogéochimiques portant en particulier sur l'azote, le phosphore, le calcium et le magnésium; (4) des processus induits par les usages, surtout le pastoralisme et l'extraction de tourbe, qui, en quelque sorte, se superposent aux trois logiques précédentes. L'ensemble de ces divers processus détermine la possibilité pour des plantes adaptées de s'installer, suivant leur niche écologique, et de former des communautés, suivant des processus tels que la compétition, la facilitation ou la coopération.

Nous présenterons donc ces processus clés suivant la séquence suivante: (1) la formation et la dégradation de la tourbe (les pédogenèses), (2) les écoulements et (3) les logiques nutritionnelles. Il s'agit d'un ordre subjectif, puisque les trois groupes de processus se réalisent de manière concomitante

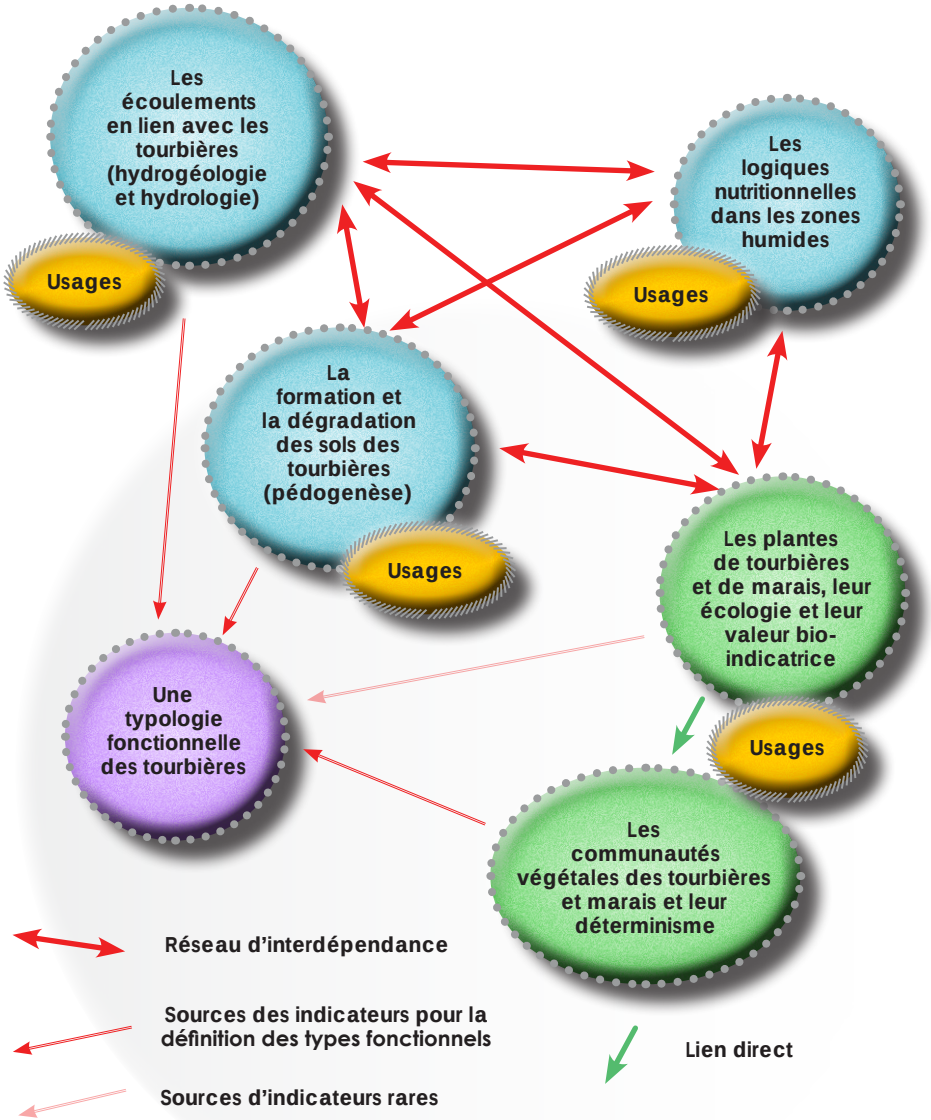


Figure II-2-1: Fondamentaux d'écologie des écosystèmes tourbeux.

De la connaissance indispensable à la bonne gestion conservatoire

et dépendante.

Les conséquences des usages humains sur ces processus peuvent être, dans très grande majorité des cas, considérées comme secondaires, dans un sens historique et fonctionnel, agissant sur des logiques naturelles. Par contre, ces contraintes ne sont pas secondaires dans le sens d'une importance moindre, car dans certains cas ce sont elles qui déterminent aujourd'hui l'état et le fonctionnement d'une tourbière. Ces actions anthropiques entrent dans le champ global des paramètres écologiques et sont parfaitement intégrées dans l'analyse fonctionnelle; elles méritent d'être discutées à part, dans une quatrième partie.

Les contraintes écologiques, qu'elles soient liées aux trois groupes de paramètres fondamentaux ou aux usages, sont en lien avec la niche des plantes et l'organisation des communautés végétales, nous présenterons donc ensuite l'écologie des plantes de tourbière. Nous finirons par une proposition de typologie fonctionnelle qui peut être considérée comme une synthèse de l'ensemble des éléments décrit précédemment.

En résumé: c'est la considération des trois groupes de processus initiaux (pédologiques, trophiques au sens large et hydro(géo)logiques) et des plantes, combinés aux effets des usages anthropiques, intégrée dans une analyse de données du terrain, qui rend possible l'élaboration d'une typologie fonctionnelle des tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges.



Une des prairie du secteur de la Morangie dans la vallée de la Fontaine Salée, avec sa jonçaie, pastorale, à droite de la clôture, et une jonçaie-cariçaie post-pastorale, à gauche, à espèces typiques de la mégaphorbiaie: *Angelica sylvestris*, *Veratrum album*, *Cirsium palustre*, *Filipendula ulmaria*. Les plantes de mégaphorbiaie indiquent à la fois un processus d'abandon du piétinement et de l'abroutissement, mais aussi un enrichissement nutritionnel.

II.3 - La tourbe: formation et dégradation

La tourbière est définie par la production de tourbe, ce processus est donc logiquement fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes tourbeux et en particulier dans ceux qui ne sont pas sujets aux usages anthropiques. Mais pour les autres, les modalités d'altération du sol vont jouer un rôle tout aussi fondamental, souvent négligé, voire «oublié» des ouvrages sur les tourbières.

Lorsqu'on s'intéresse à la conservation des tourbières, il faut donc tout aussi bien s'intéresser à la formation de la tourbe qu'à sa dégradation. Nous n'aborderons pas ici dans le détail ces deux notions dites de pédogenèse, de formation du sol, mais exposerons quelques notions essentielles. Cependant, avant de décrire ces phénomènes, une présentation de la composition et de la structure de la tourbe est nécessaire.

II.3.A - La tourbe: composition et structure

La tourbe est définie comme un «matériau formé par l'accumulation en conditions hydromorphes anoxiques, de matière organique plus ou moins décomposée» (Gobat *et al.*, 2003). Cette approche décrivant le processus de formation de la tourbe se complète d'autres définition basées sur la composition et la structure, comme celle de Joostens et Clarke (2002) qui proposent que la tourbe est un matériau de dépôt autochtone qui contient au moins 30% de matière organique morte en poids sec.

La nature tourbeuse d'un dépôt est, dans la plupart des cas, simple à définir, même sur le terrain. Cependant, il existe des situations délicates, lorsque la tourbe est peu épaisse, en bordure de complexe, ou pour des dépôts organiques de surface comme les litières épaisses de bois humide.

La tourbe se compose de trois constituants majeurs: l'eau, la matière organique et la matière minérale, auxquels peuvent s'ajouter des gaz (méthane).

La matière organique se présente sous quatre formes: les fibres; les microagrégats; les restes non végétaux; et les produits dissous.

La notion de fibres végétales se définit simplement comme du matériel botanique reconnaissable à l'œil nu ou au microscope, qui tend vers une limite de taille qui dépend de divers facteurs comme l'agrégation, sur les fibres, de matière organique décomposée. En règle générale, la matière organique décomposée forme des petites sphères qui s'agrègent entre elles, nommées microagrégats (figure II-3-A1). Les

Les principaux constituants de la tourbe.

L'eau

La matière minérale:

- Des alluvions, des colluvions, des aérosols (ex: poussières du Sahara ou des téphras (cendres volcaniques)) de la taille des argiles, des limons, des sables, des graviers, de manière diffuse ou en lits intercalés;
- Des cristaux de carbonates.

La matière organique:

- Des microagrégats et de la matière organique amorphe non agrégée, voire dissoute;
- Des fibres;
- Des charbons;
- Autres restes d'origine organique (par exemple d'arthropodes);
- Des coquilles de gastéropodes, frustules de diatomées (matière minérale d'origine organique).

restes organiques non végétaux sont fréquents mais en proportions réduites. Il s'agit principalement d'arthropodes et de champignons.

La matière minérale contenue dans la tourbe ne peut excéder un certain pourcentage (par définition). Toutes les classes granulométriques sont concernées, des argiles aux blocs, ces derniers se limitant à des secteurs spécifiques. Les particules de la taille des argiles sont communes, ne serait-ce que celles qui dérivent des retombées d'aérosols classiques comme celles issues des tempêtes sahariennes. L'origine des argiles, limons et sables, et même celle des graviers, est colluviale (versant), alluviale (ruisseau), volcanique (téphras, figure II-3-A1) ou pastorale (lessivage des pattes des animaux). Il existe aussi des matières minérales résultant de précipitations chimiques directes comme des tufs (carbonates de calcium). Enfin, on peut rapprocher de cette matière minérale les bioconstructions comme les coquilles de mollusques (carbonatées), les tests de diatomées (siliceux) ou les spicules (siliceux) d'éponges. Les précipitations carbonatées ne se réalisent logiquement que dans les tourbes alcalines.

Cette matière minérale se tient de manière diffuse sur toute ou partie de la couche tourbeuse, ou se concentre en lits plus ou moins épais.

La tourbe peut-être en lien stratigraphique avec des boues lacustres de différentes natures (gyttja, dy, diatomites). Le plus souvent, ces sédiments se tiennent sous la tourbe, mais ils peuvent aussi se rencontrer en couche au sein même de la tourbe. Inversement, des lits tourbeux sont parfois observés dans les dépôts lacustres.

II.3.B - La turfigenèse

La production de tourbe se conçoit comme la conservation, pour le temps long, d'une partie de la biomasse produite par les plantes et, en moindre quantité, de quelques autres types d'organismes comme des arthropodes et des champignons. La capacité de conservation de la matière organique est principalement liée à la saturation en eau du substrat, en lien avec le régime piézométrique, et à la nature biochimique des matières végétales des espèces turfigènes, en particulier les sphaignes.

Les auteurs s'accordent pour différencier un compartiment de production, biologiquement actif, une sorte de sol, et un compartiment de «stockage», peu actif du point de vue biologique, qui est la «vraie» tourbe, que l'on peut considérer comme un support pour le sol «vivant». Par exemple, dans les tourbières ombrotrophes, le compartiment actif est nommé l'acrotelme et l'autre le catotelme.

Ce modèle bi-couche est une simplification pratique de la réalité, mais



Figure II-3-A1: microagrégats, à 7 cm dans un sondage de Bourdouze est (a), racines et radicelles à 27 cm dans un sondage de Bourdouze est (b), tephra de Greil-Rascoupet à 310 cm (c) et de la Taphanel à 260 cm(d), feuille de *Potamogetons* sp. à 610 cm dans un sondage de la Taphanel (e).

il doit être considéré avec prudence. D'abord, la matière organique «fraiche» n'est pas exclusivement produite dans le compartiment «actif», mais aussi directement dans la tourbe à travers les racines des plantes vasculaires et surtout les graminoïdes (graminées, cypéracées). Ensuite, les processus d'altération des sols tourbeux comme le pâturage ne permettent pas l'expression d'une structure acrotelme-catotelme. L'utilisation de ce modèle est donc difficile en France, où de nombreuses tourbières ont fait l'objet de pâturage ou d'extraction.

Les sols tourbeux se forment suivant trois modalités principales: (1) à travers la croissance des sphaignes dans les tourbières ombrotrophes; (2) sur et dans l'eau des lacs et des mares; (3) sous forme de litière dans des secteurs d'émergence de nappes souterraines.

Dans les tourbières ombrotrophes, la tourbe est constituée d'un mélange de sphaignes, de racines d'éricacées, canneberges (*Vaccinium* gr. *oxyccocos*), andromède (*Andromeda polifolia*), callune (*Calluna vulgaris*), et de racines de graminoïdes, principalement la linaigrette engainante (*Eriophorun vaginatum*).

Dans les tourbes de France, la plus commune des sphaignes est la sphaigne «intermédiaire» (*Sphagnum medium et S. divinum*), autrefois regroupée dans une seule espèce dite de Magellan (*S. magellanicum*), nom que nous continuerons à utiliser dans le document.

Sphagnum fuscum forme elle aussi des tourbes en quantité importante, mais de façon localisée, soit en couches, comme à Greil-Rascoupet ou au Paillaret, soit en édifices distincts, comme à la Pave, au sud du Puy de Montchal.

Sphagnum rubellum, *S. capillifolium* ou *S. angustifolium* participent parfois à la turfigenèse, souvent en accompagnant les deux premières.

La construction de la tourbe dans les tourbières ombrotrophes se réalise par la simple croissance verticale des sphaignes et de la linaigrette engainante, les autres espèces accompagnent le processus, mais n'en sont pas à l'origine. Sphaignes et linaigrette sont dites espèces ingénieures. La structure des tourbes montrent que la stabilisation de la matière organique est souvent rapide: les sphaignes sont quasi complètes, sans altération. Ce sont les plantes fraîchement mortes, intègres, et même en partie vivantes qui forment ainsi la tourbe.

Dans ce mode de formation ombrotrophe, «l'épaississement» de la tourbière ne modifie pas l'engorgement: le niveau d'eau accompagne l'élévation car ce type de tourbe montre une forte capacité de rétention, la vitesse d'écoulement de l'eau est «plus faible» que



Figure II-3-B1: modalités fonctionnelles de la turfigenèse ombrotrophe

la fréquence des pluies. Il suffit donc que les précipitations soient suffisamment régulières pour limiter la baisse de niveau à quelques centimètres en profondeur. De plus, le microrelief peut s'auto-organiser pour générer des dépressions qui stockent l'eau libre, créant ainsi une ambiance humide peu propice à l'évapotranspiration. D'ailleurs, l'analyse des chroniques piézométriques des tourbières ombrotrophes turfigènes à sphaignes met en évidence l'absence d'effet de l'évapotranspiration sur les niveaux d'eau.

Dans les tourbières lacustres et les mares tourbeuses, la production de tourbe est permise par l'existence d'un sol flottant sur l'eau libre nommé tremblant. Elle est réalisée par des espèces colonisatrices d'eau libre et turfigènes comme le comaret (*Comarum palustre*), la prêle des bourbiers (*Equisetum fluviatile*), le trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*), la scheuchzérie (*Scheuchzeria palustris*) et des mousses dites «brunes», appartenant à la famille des amblystégiacées (*Sarmentypnum exannulatum*, *Scorpidium* spp., etc.), ou d'autres mousses (*Sphagnum* spp., *Meesia* spp.). De nombreuses autres espèces profitent du substrat, dont des laîches (*Carex rostrata*, *C. canescens*, *C. limosa*, etc.).

Ici, la tourbe est produite en surface et s'épaissit «en profondeur», en comblant l'espace d'eau libre sous le tremblant. Le niveau d'eau dans le sol varie peu car le tremblant flotte, il accompagne le niveau le temps d'existence d'une lame d'eau libre sous le tremblant, avec un effet d'atténuation de la liberté de mouvement au fur et à mesure de la construction de la couche tourbeuse. Une fois que le sol est stabilisé, les communautés végétales se diversifient en fonction de la disponibilité en nutriments et des écoulements présents. Les tourbes de tremblants sont surmontées par des tourbes ombrotrophes à sphaignes, des tourbes à carex, des tourbes à bois, des tourbes à roseau.

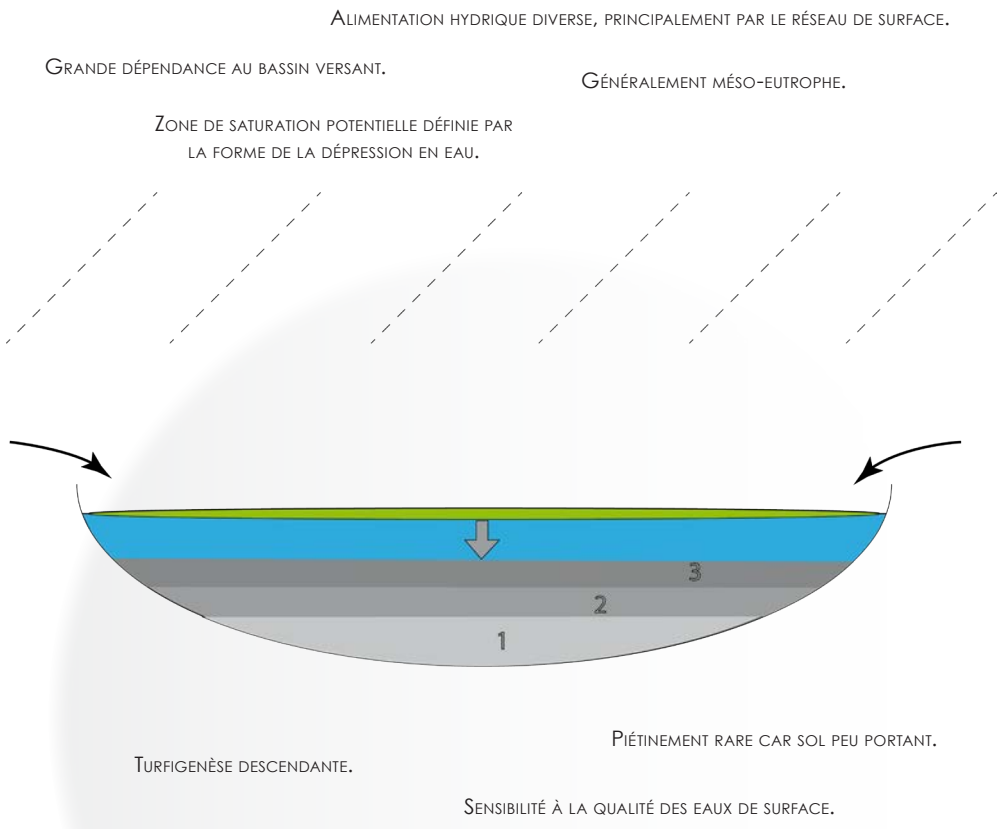


Figure II-3-B2: modalités fonctionnelles de la turfigenèse d'eau libre.

Un dernier mode commun de formation de tourbe est celui qui se réalise sous forme d'une boucle qui commence par le dépôt d'une litière constituant le substrat d'une végétation à fort renouvellement de biomasse annuelle comme le roseau (*Phragmites australis*) ou des carex (*Carex rostrata*, *C. echinata*, *C. canescens*). Cette litière est rapidement envahie par les systèmes racinaires des plantes citées, qui en retour renouvellent la litière les années suivantes, et ainsi de suite. L'accumulation de tourbe est permise là où de l'eau peut s'élever à travers le sol, là où des processus artésiens sont possibles, pour caricaturer le processus. Dans le détail, il s'agit d'un phénomène de transfert de charge hydraulique qui se réalise au niveau d'émergences de nappes hydrogéologiques (ceci sera développé plus en détail dans une partie suivante).

La notion de «décomposition» de la tourbe est donc à manipuler avec prudence. Il est toujours difficile de déterminer la part de la décomposition de la matière organique avant qu'elle ne devienne tourbe, de la décomposition de la tourbe constituée. Dans le cas de ces tourbières d'émergence, cela est particulièrement flagrant, la tourbe semble décomposée, certains diraient «évoluée», mais en fait, l'évolution de la tourbe est nulle, la matière est parfaitement bien conservée dès qu'elle intègre la tourbe. Il s'agit d'une litière «fossilisée». De ce fait, les parties racinaires qui perforent cette tourbe sont le plus souvent parfaitement bien conservées, et à peine plus jeunes que la litière qui en forme la matrice.

En résumé, la production de tourbe dans les tourbières ombrotrophes se réalise de manière ascendante (du bas vers le haut), alors que le flux hydrique est descendant. Dans les tourbières lacustres, l'accumulation se réalise de manière descendante, avec un écoulement nul. Dans les tourbières d'émergence, l'accumulation est ascendante, comme l'est l'écoulement principal.

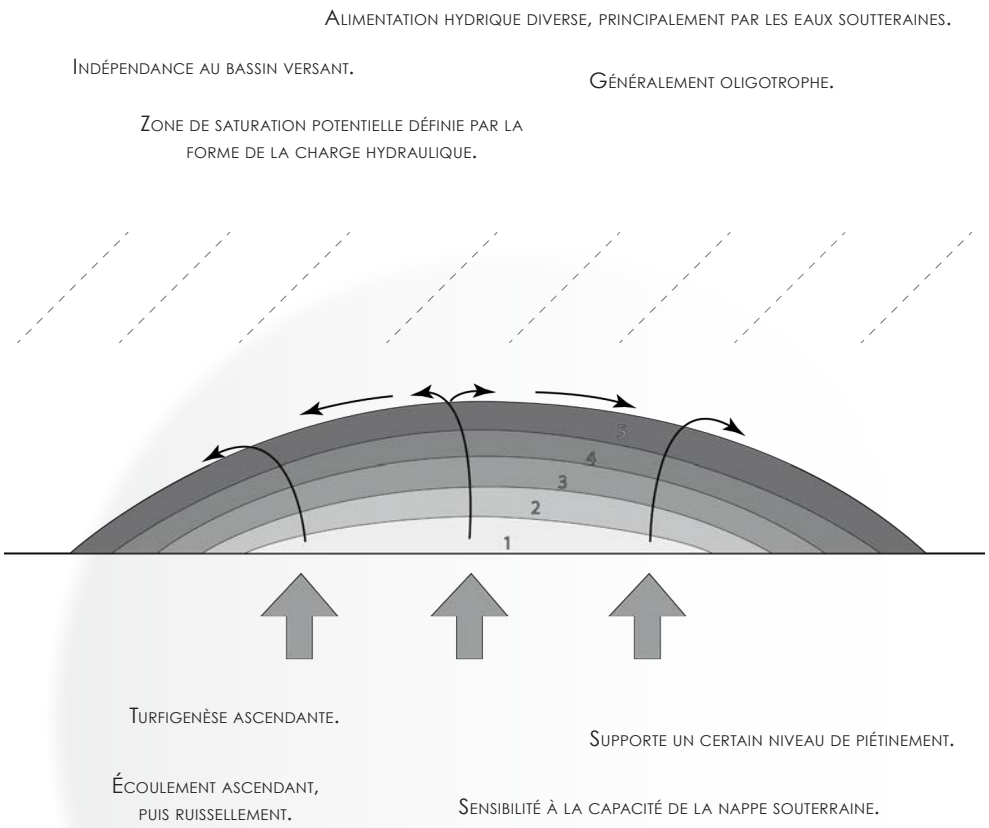


Figure II-3-B3: modalités fonctionnelles de la turfigenèse d'émergence.

II.3.C - La dégradation de la tourbe...

La turfigenèse est un processus pédologique fondateur en tourbière, mais il est loin d'être le seul à jouer un rôle majeur: la dégradation «pédologique» de la tourbe constituée en est un autre.

Il faut imaginer que dans certaines conditions, la turfigenèse n'est plus réalisée et la tourbe devient un matériau originel qui subit une pédogenèse classique, comme toute roche mise à l'air. Ici, les modifications structurales sont rapides en rapport avec la fragilité du matériau. Par exemple, en tourbière ombrotrophe, un piétinement même peu intense suffit à éliminer les plantes turfigènes et à compacter la tourbe en surface. Ceci provoque des modifications des propriétés hydro-physiques irréversibles (par exemple l'effondrement des macropores).

La fragilité de la tourbe par rapport au piétinement, combinée aux décennies, voire aux siècles de pâturage réalisé en tourbière, ont mené à la création d'un horizon de surface spécifique nommé kultureller Trockenhorizont (KTH) (traduction littérale: horizon sec d'origine «culturale») .

La notion de KTH est récente (Sjögren *et al.*, 2007), mais elle s'avère d'une grande pertinence, car les KTH sont fréquents en France et d'importance majeure pour l'étude et la conservation des tourbières de tous types. Le KTH est un horizon de surface ou de subsurface généralement sombre, dense (par compaction de la matière organique et enrichissement en argile), riche en particules minérales, souvent aussi en charbons. Lors des sondages au carottier russe, la présence d'un KTH est la plupart du temps mise en évidence par la difficulté de pénétration d'un des horizons présents, difficulté qui disparaît dès le KTH dépassé.

L'épaisseur du KTH varie entre 5-10 cm et 40-50 cm. Le passage entre le KTH et les termes inférieurs des sondages est progressif, impossible à matérialiser de manière précise. C'est une des caractéristiques diagnostiques de cet horizon.

Les KTH sont présents sur de nombreuses tourbières de France, il s'agit d'une règle générale et non d'une exception, même si certains secteurs sont relativement épargnés (Haut-Forez, Bois-Noirs).

La dégradation de la tourbe dans les tourbières: un sujet largement ignoré de la sphère scientifique, et pourtant si banal dans les tourbières de France.

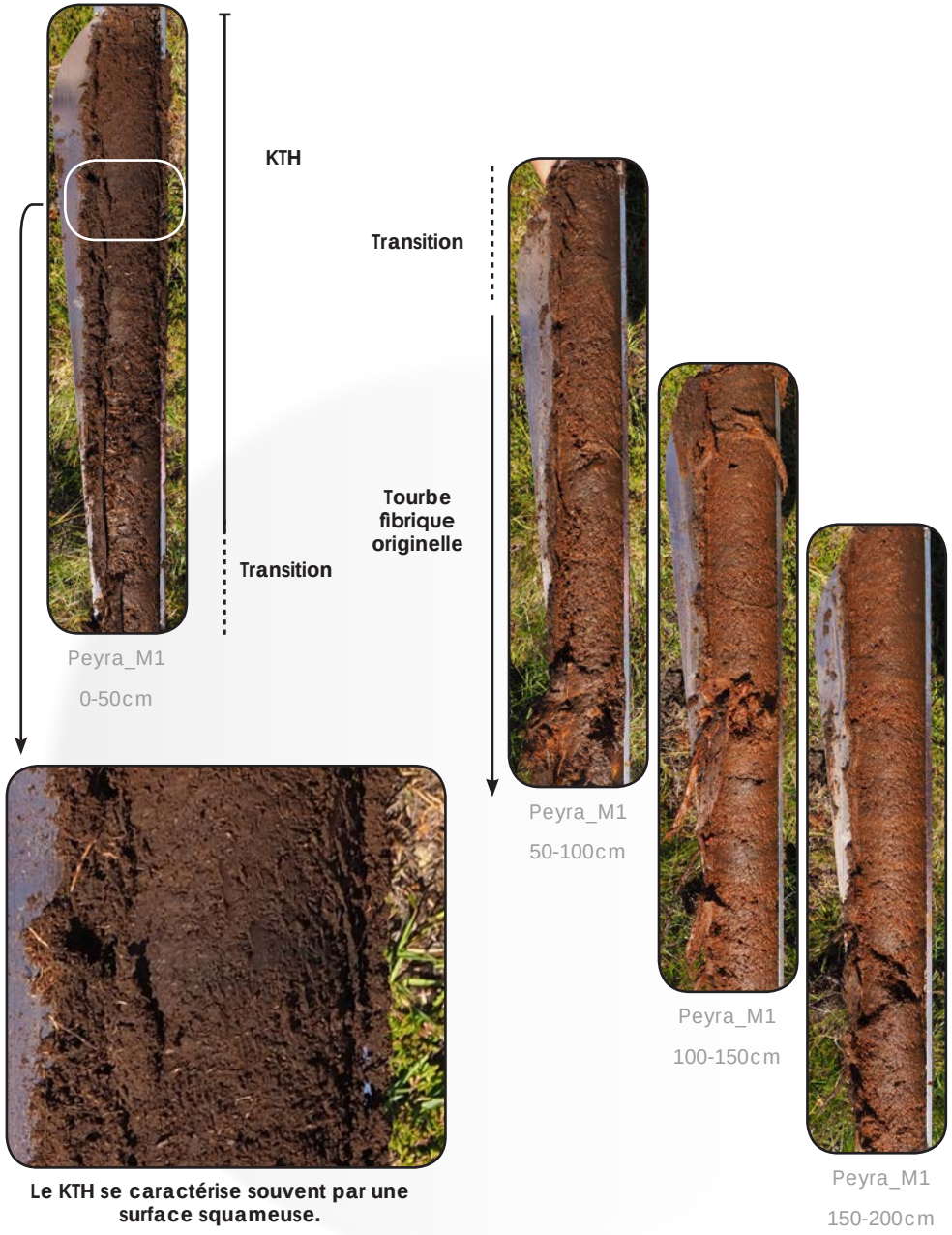


Figure II-3-C1: aspect typique d'un KTH épais. Tourbière de Peyra à Chastel-sur-Murat.

Souvent, il se rencontre en surface, entre les buttes à sphaignes ou à pleurocarpes, il se poursuit latéralement sous ces buttes. Dans certaines tourbières, exceptionnelles, le KTH se rencontre à des profondeurs plus importantes. Localement, on trouve aussi des zones à KTH double, où deux horizons densifiés, sombres, à passage inférieur progressif se superposent, séparés par une tourbe fibrique, peu dense et plus claire.

L'origine du KTH est une perturbation des couches superficielles de tourbe par un piétinement suffisamment long et intense pour compacter la tourbe, la dégrader en partie. La perturbation est supposée induite le plus souvent par un usage agropastoral.

Le KTH isole la partie inférieure de la tourbe de la surface au point de parfois permettre à des communautés acides oligotrophes de croître sur des tourbes alcalines (Goubet, 2011a; 2011b).

Bien-évidemment, le modèle pédologique à KTH n'est pas compatible avec celui d'acrotelme-catotelme souvent évoqué et issu d'études dans des contextes non pastoraux ou du moins très favorables à la turfigenèse avec un impact limité du pastoralisme quand il a eu lieu. On parle d'un modèle «nordique» qui ne s'applique que rarement aux tourbières de France.

Il existe d'autres processus d'altération de la tourbe, par fragmentation, désagrégation, mais il ne s'agit pas d'une pédogenèse et ce sujet sera traité dans la partie dédiée à la bioindication.

II.3.D - ... et la dégradation historique de la fertilité des bassins versants

Si l'héritage pastoral est nettement marqué dans les sols des tourbières, il doit également être pris en compte à l'échelle du bassin versant et en particulier dans le cadre de la disponibilité en nutriments.

Les usages agropastoraux ont probablement contribué à un appauvrissement en nutriments des tourbières basses et de leur bassin versant. Les causes de cet appauvrissement est le prélèvement direct de biomasse par le bétail, souvent parqué la nuit dans des reposoirs pour faciliter la récupération de fumure concentrée en nutriments, auxquelles s'ajoutent des pratiques comme le brûlis, qui peut épuiser les sols.

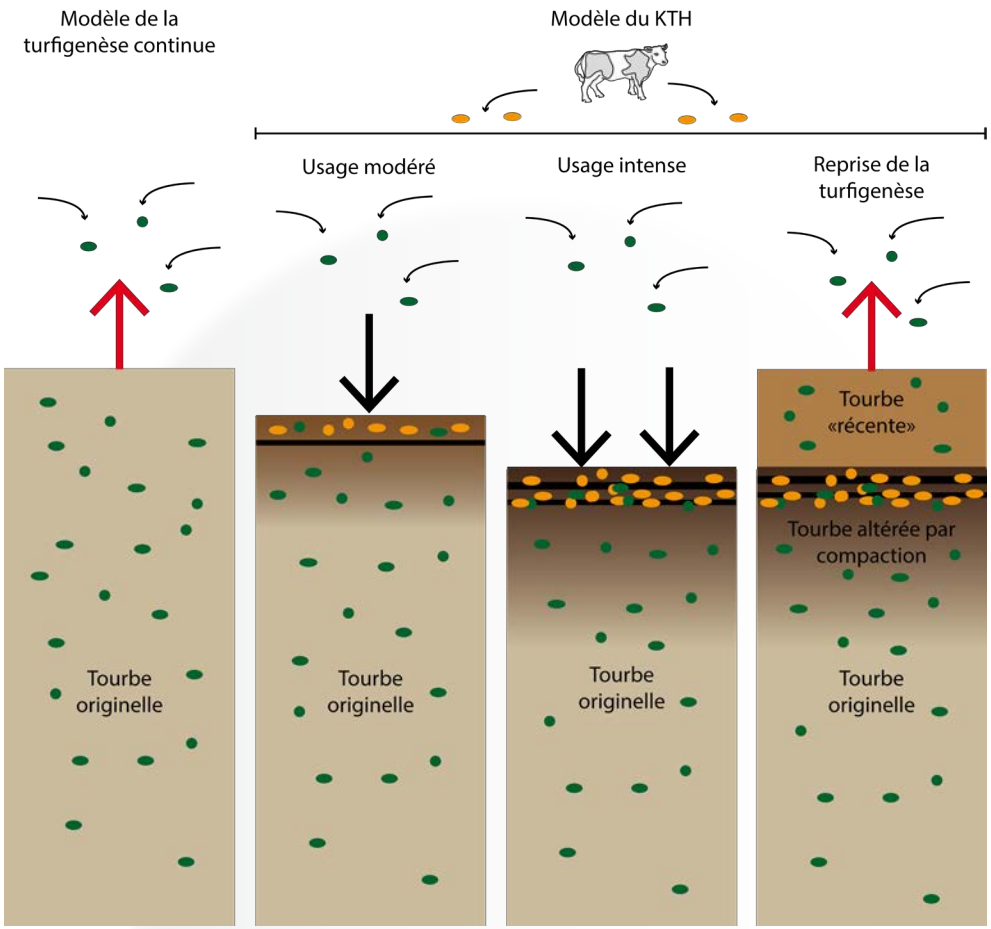


Figure II-3-C2: les différentes modalités de formation et de dégradation d'un sol tourbeux. Les particules vertes correspondent aux aérosols (pluie continue). Les particules oranges sont celles apportées par les troupeaux. Les barres noires sont des lits de charbons.

L'épuisement des sols est achevé au XVIII^{ème} siècle, il sera compensé dans certains secteurs par des apports minéraux rendus disponibles par les progrès techniques du XIX^{ème} siècle (Boulaine, 1995; Boulaine, 2006). Dans les secteurs épargnés par les enrichissements artificiels en nutriments, c'est un processus de rééquilibrage trophique qui se réalise, sur des temps longs. Les dynamiques post-pastorales des landes et les pelouses sèches ont particulièrement été étudiées, mais pas celles des tourbières.

En zone humide, la disponibilité en azote est souvent accrue à travers des apports atmosphériques sous forme de composés azotés d'origine anthropique (pollutions diverses) ou sous forme d'azote moléculaire assimilé pour la synthèse de composés organiques par des bactéries libres (cyanobactéries) ou associées à diverses groupes de plantes (rhizobium des fabacées, ou frankia des aulnes et du piment royal, etc.). La conséquence de ces apports est qu'en zone humide, l'azote n'est pas l'élément clé du maintien de l'oligotrophie à la suite d'un épuisement agropastoral: le phosphore est l'élément clé.

Le phosphore n'est apporté par l'atmosphère que sous forme particulaire, associé aux aérosols qui se déposent de manière continue et en toute petite quantité dans les tourbières. Il est surtout soit extrait des roches par les organismes vivants, soit rendu disponible par des transformations au sein du sol. Dans tous les cas de figure, le processus est long, mais il existe, à l'exception de secteurs particulièrement riches en carbonates de calcium ou très acides comme les tourbières hautes. Bien-sûr, ce processus de rééquilibrage est matérialisé dans le paysage par des changements de végétations importants au profit de grandes herbacées comme celles des roselières ou des mégaphorbiaies, d'abord, puis des ligneux hauts, ensuite. La dynamique est aussi souvent «bloquée» un temps par des espèces monopolistes comme la molinie ou la canche cespiteuse.

La dynamique post-pastorale des tourbières mène souvent, pour les tourbes non ombrotrophes, à la colonisation ligneuse. Ceci est la plupart du temps interprété comme une conséquence d'un «assèchement», mais la cause réelle est celle d'un enrichissement trophique. Ainsi, pour certains sites, on peut observer une même dynamique ligneuse quel que soit le milieu, humide ou non: tourbières, landes ou pelouses sèches se boisent en parallèle, et il ne viendrait à l'esprit de personne de proposer que les landes et les pelouses se boisent à cause d'un effet «d'assèchement», même si, en zone humide, un drainage peut en effet mener à un enrichissement trophique, permettant le boisement.

Les pratiques agropastorales qui ont eu lieu sur les tourbières jouent un rôle important dans l'état actuel des milieux. Les usages ont induit la mise en place d'un sol spécifique dans les tourbières, d'une part, et ils ont mené à un appauvrissement général des sols dans le bassin versant, d'autre part, appauvrissement compensé aujourd'hui par l'utilisation de fertilisants.

L'état actuel des milieux dépend fortement des pratiques anciennes et il faut donc faire appel à la notion d'héritage fonctionnel pour comprendre le fonctionnement des tourbières du Massif central car elles se trouvent spécifiquement dans un contexte agropastoral franc.

La référence aux tourbières du nord de l'Europe comme exemples pour comprendre ou illustrer le fonctionnement d'une tourbière est donc peu pertinente pour celles du Massif central qui constituent des objets propres, comparables à celles des autres montagnes caractérisées par l'agropastoralisme séculaire, voire millénaire (Vosges, Jura, etc.).

II.4 - Les nutriments: un effet clé sur les plantes et le sol

Les naturalistes ont depuis longtemps classé les végétations de tourbière en fonction de la richesse en bases (calcium, magnésium), d'une part, et en fonction de la disponibilité en azote ou en phosphore, d'autre part.

Spécificité des zones humides, la richesse en nutriments s'organise suivant deux gradients distincts qu'il est impératif de dissocier: celui de l'alcalinité et celui de la trophie stricte. Les végétations vont se répartir sur un système de gradient complexe, allant de deux pôles pauvres en nutriments distincts, l'un alcalin, l'autre acide, vers un pôle riche en nutriments, neutre.

La disponibilité en phosphore joue un rôle majeur parmi les processus de cette structuration. Dans la sphère basique, le phosphore est capté par des carbonates de calcium précipités et, dans la sphère acide, il est rendu indisponible par un ensemble de combinaison avec le fer, le soufre et l'aluminium. Il s'agit d'un régime alternatif dont le seuil se situe vers un pH de 5,5 ; les communautés des pôles pauvres en éléments trophiques s'établissent donc dans un milieu soit franchement acide, soit franchement alcalin, les intermédiaires étant rares, mais de grande valeur patrimoniale.

L'eau, dans cette logique d'organisation des communautés, joue un rôle déterminant car c'est elle qui constitue le facteur majeur de diffusion des éléments minéraux et trophiques. Ce sont donc les écoulements, au final, à travers leur charge ionique, qui structurent les écosystèmes de zone humide. La spécificité des tourbières est, qu'en fonction de la production de tourbe et du changement de topographie induit, les écoulements sont modifiés.

Le rôle fonctionnel de l'eau en tourbière doit donc être appréhendé dans un jeu d'interactions permanent avec le sol et les plantes, bien au-delà du simple concept d'engorgement et des processus d'oxydo-réduction qui lui sont associés. Cependant, si l'eau joue un rôle majeur, c'est bien la charge nutritionnelle qui est la clé de voûte fonctionnelle des tourbières, et elle doit être considérée dans toute démarche conservatoire.

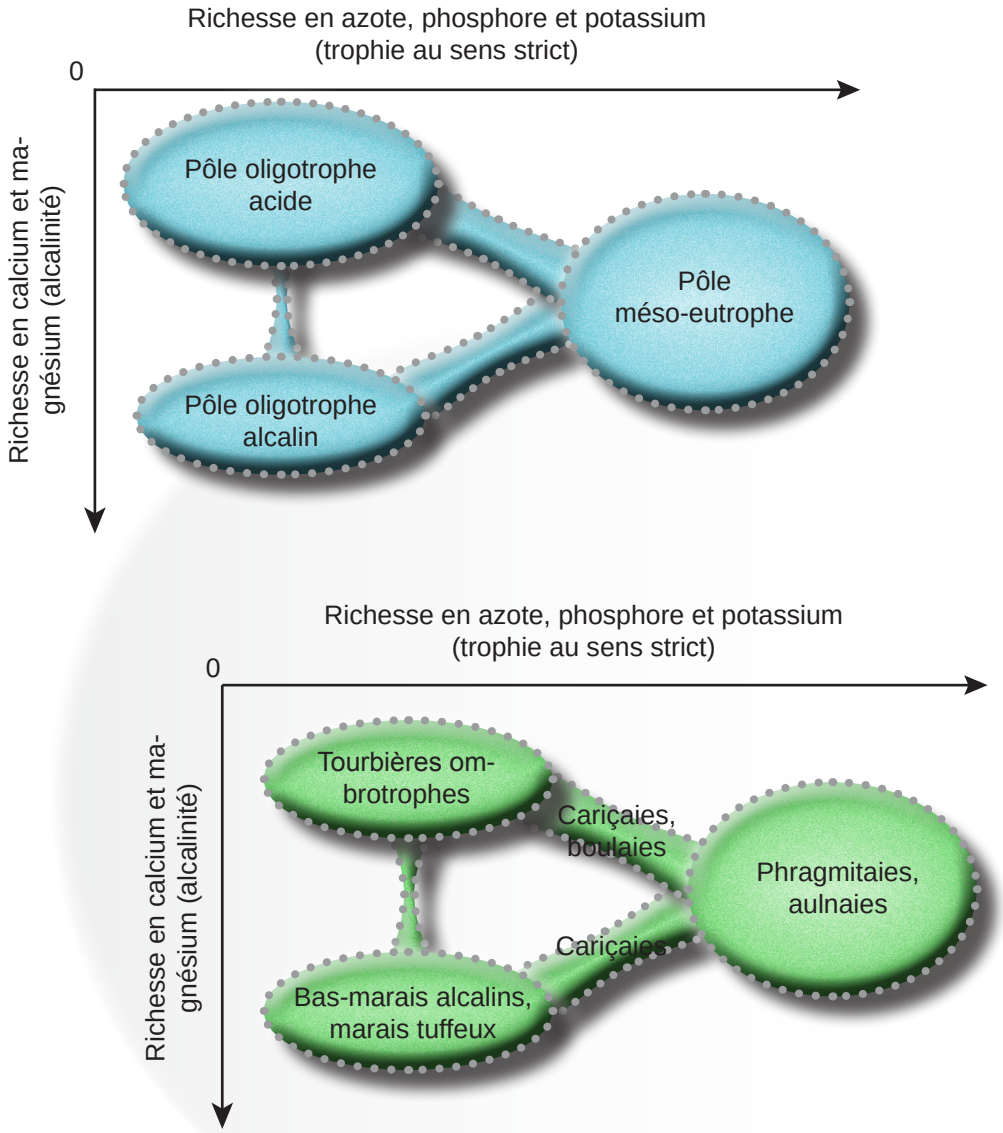


Figure II-4-1: le gradient triple des tourbières.

II.5 - Les logiques d'écoulement: l'eau en tourbière

L'eau en tourbière joue un rôle majeur. Il en faut pour initier le processus de production de tourbe, construire un nouveau sol grâce à des plantes spécifiques ; il en faut aussi pour maintenir le système, conserver la tourbe… et les tourbières.

L'eau est une contrainte pour les êtres vivants terrestres. La saturation du sol en eau, l'engorgement, crée des conditions de vie particulières. Lorsqu'il dépasse une certaine durée dans l'année, ce processus impose des adaptations spécifiques, une spécialisation des plantes, des champignons et des bactéries pour faire face à l'asphyxie, l'oxygène circulant dix milles fois moins vite dans l'eau que dans l'air.

Certaines plantes vasculaires font face à ce manque d'oxygène grâce à des systèmes racinaires creux ou à structure interne lâche, permettant à l'oxygène de l'air de diffuser, à partir de la surface, dans les tissus, et de former une zone relativement riche en oxygène au sein de la rhizosphère. Outre une oxygénation bénéfique à la respiration, cet apport permet aussi de neutraliser des produits toxiques pour les plantes et les microorganismes tels que les sulfites. D'autres plantes adoptent des stratégies d'évitement de l'engorgement, en explorant les zones les moins saturées en eau des hauts de buttes de mousses, cas classique des éricacées sur buttes à sphaignes.

Comme il a été évoqué dans les pages précédentes, l'eau est aussi le principal vecteur des nutriments. Les logiques d'écoulement et d'engorgement sont donc déterminantes dans le fonctionnement des zones humides et en particulier des tourbières.

II.5.A - Concepts clés

Il faut considérer les flux hydriques, la circulation de l'eau ou les écoulements, quels que soit les mots utilisés, comme un continuum fonctionnel. Plus généralement, les logiques hydriques suivent un cycle que l'on peut considérer débuter par les précipitations, qui se poursuit par l'intégration de l'eau dans les compartiments rocheux et le réseau hydrographique, jusqu'à la mer, où se tiendront des processus d'évaporation, puis un transport atmosphérique vers les zones de précipitation, entamant ainsi un nouveau cycle. De nombreux phénomènes interviennent au cours de ce cycle pour le rendre plus complexe, comme la restitution à l'atmosphère des eaux de pluies, juste après leur chute sur les plantes (interception), ou peu de temps après s'être infiltré dans le sol (évapotranspiration). Dans ce

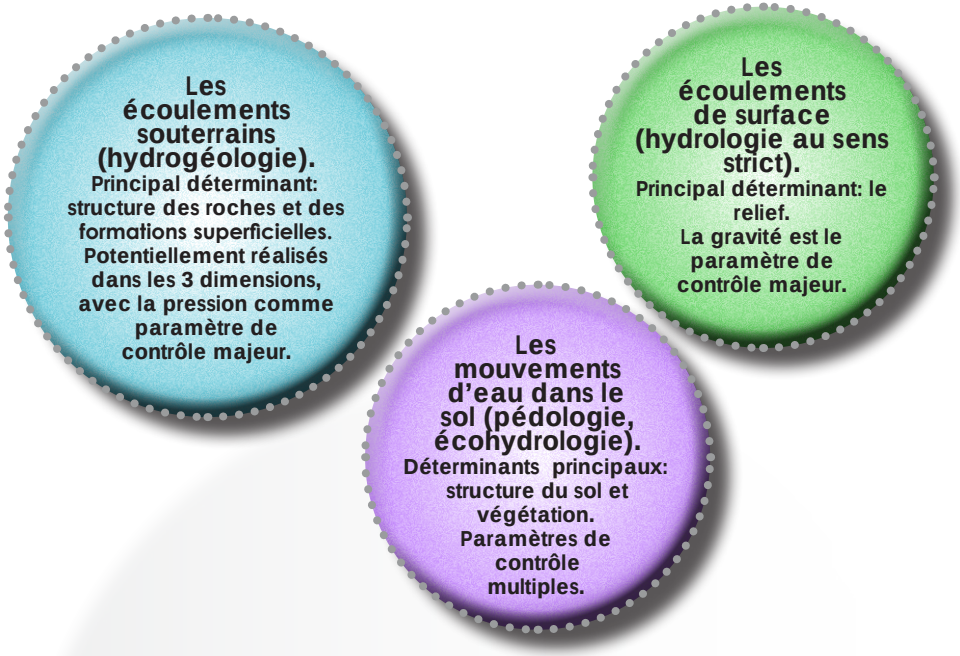


Figure II-5-A1: logiques liées à l'eau à considérer dans la compréhension du fonctionnement des tourbières. Les écoulements souterrains, ceux de surface et les mouvements d'eau dans le sol peuvent être considérés comme 3 grands types de processus déterminants en tourbière ayant des logiques propres.

document, nous nous limiterons à la présentation des principaux processus qui ont lieu au sein du bassin versant d'une tourbière, ou plus précisément son bassin d'alimentation en eau, l'impluvium, qui peut être différent du bassin versant topographique.

La prise en compte de l'eau, dans une optique de diagnostic, se réalise à travers (1) une caractérisation du cadre hydrogéologique, (2) une analyse hydrologique du bassin versant et (3) et une description des régimes piézométriques. Les disciplines concernées sont nombreuses: hydrogéologie, en lien avec la géologie et la géomorphologie; hydrologie, dépendante du relief et du climat; et la pédologie et l'écologie pour l'analyse spécifique des logiques d'engorgement et de leurs conséquences. Bien-sur, dans un but de compréhension du rôle de l'eau dans les tourbières, l'ensemble des données des différentes sciences concernées doivent être intégrées dans un cadre théorique et pratique adapté: l'écologie des écosystèmes.

Cet aspect d'intégration impose

une démarche globale spécifique, sous la forme d'un diagnostic fonctionnel, mais elle impose aussi des adaptions dans les objectifs et la pratique des différentes disciplines concernées. Il ne s'agit pas de faire de la géologie pour la géologie, discipline prise en exemple, mais de réaliser une étude géologique avec l'objectif de s'intégrer dans la démarche écologique, de répondre aux questions posées par le fonctionnement des écosystèmes. C'est la question du fonctionnement des tourbières qui est posée, pas celle du fonctionnement des nappes, même si la seconde se pose en conséquence. Ainsi, la question des nappes hydrogéologiques concerne surtout le régime des émergences et la nature physico-chimique de l'eau qui sourd, pas le fonctionnement interne des nappes qui, en l'occurrence peuvent être considérées comme une boite noire. Pourquoi cela est-il fondamental? Parce qu'il arrive souvent de constater que des gestionnaires confient des thématiques hydro(géo)logiques à des experts qui ne prennent pas en compte le fonctionnement des milieux tourbeux et réalisent des études centrées sur leur discipline, ne répondant pas aux questions réellement posées, et générant parfois de la donnée à fort coût et sans grand intérêt pour les objectifs en termes de conservation.

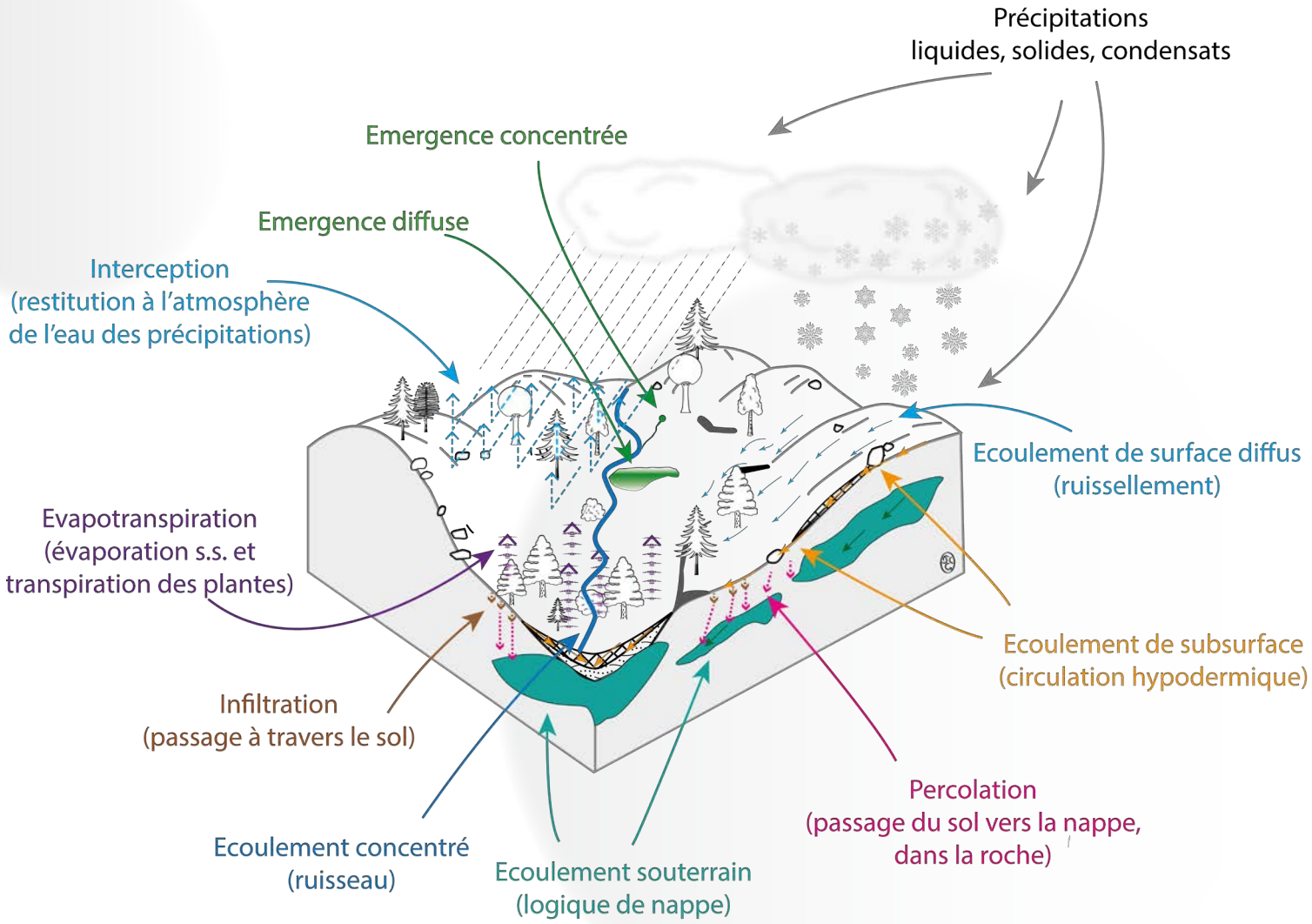


Figure II-5-A2: typologie des écoulements à considérer dans la compréhension du fonctionnement des tourbières (éléments de vocabulaire).

Dans le cadre du diagnostic fonctionnel des tourbières, la question des écoulements souterrains se traite principalement sous la forme de la caractérisation du contexte géologique et à travers des vérifications de terrain des systèmes d'émergence. Le cadre géologique général (socle, sédimentaire, volcanique) permet de définir des modèles hydrogéologiques typiques, la structure précise des compartiments rocheux en termes de lithologie (types de roche), de fracturation (réseaux de failles et de fissures) et altération, permettant ensuite de définir, dans le cadre du modèle général, des fonctionnements locaux plus précis et en particulier pour ce qui concerne les zones d'approvisionnement des nappes et les secteurs d'émergence. Les tourbières les plus concernées par la connaissance des logiques de nappe sont bien-évidemment les tourbières d'émergence. Les tourbières ombrotrophes ne sont pas dépendantes de logiques hydrogéologiques, sauf exceptions.

Les logiques hydrologiques au sens strict concernent principalement les écoulements de surface. Elles se traitent en priorité à travers l'analyse du réseau hydrographique, de la contribution des différents sous-bassins versant et les problèmes de pollution possible. La thématique des émergences y est abordée, ainsi que celle des écoulements dans ou sur les sols. Les bilans hydrologiques, ayant vocation à établir les contributions à l'écoulement au niveau d'un point de référence (par exemple l'exutoire d'une tourbière), sont des projets complexes rarement réalisés dans le cadre des diagnostics fonctionnels. L'approche hydrologique est particulièrement pertinente pour le diagnostic des tourbières de concentration des eaux de surface.

Les logiques d'engorgement des sols de tourbières et autres zones humides ne sont pas l'objet d'une discipline spécifique. Elles sont traitées un peu par les pédologues, surtout par les écologues et en particulier ceux qui s'intéressent aux plantes, en écophysiologie. Un des cadres d'étude utilisés en science est le bilan hydrique, ensemble de mesures ayant pour but de quantifier les différents apports et pertes en eau d'une placette donnée, en particulier l'évapotranspiration qui représente un enjeu majeur pour le fonctionnement des communautés végétales. Les bilans hydriques sont des éléments du bilan hydrologique. Une autre façon de décrire les logiques hydriques à l'échelle du sol est celle de l'hydropériode, le régime piézométrique de la nappe affleurante dans le sol. L'approche se centre sur les variations des niveaux d'eau. Dans le cadre du diagnostic fonctionnel, les actions se concentrent sur le suivi piézométrique en des points choisis pour leur valeur informative, dans un cadre pédologique précisément défini (description des profils de sol).

II.5.B - Principes généraux de la circulation de l'eau

Comprendre les grands principes qui régissent les mouvements d'eau est un prérequis à la conservation des tourbières.

L'eau répond à deux forces majeures: la pesanteur, lorsqu'elle se meut librement, et la pression quand elle est contrainte à se mouvoir dans un cadre confiné.

Le principe qui régit la circulation de l'eau est d'une part le propre poids de l'eau, comme tout corps régit par la pesanteur, mais aussi le poids de l'eau située au dessus, qui en quelque sorte pousse la molécule du dessous, d'où le terme de charge hydraulique.

Les écoulements de surface sont régis par les logiques simples de gradient topographique, l'eau s'écoule d'un point haut vers un point bas, ce fait est intuitif et parfaitement perçu par chacun et ne fait pas intervenir le concept de charge hydraulique. Mais dans les nappes, cela n'est pas le cas. Le fait que l'eau circule dans un espace particulièrement contraint fait intervenir de manière plus significative la notion de charge hydraulique. Il arrive même fréquemment que les roches soient structurées de façon à ce que l'eau ne puisse librement circuler, elle devient captive de son encaissant et subit une pression qui rend la notion de charge hydraulique indispensable à manipuler. La charge, la pression, devient prépondérante et les déplacements deviennent possibles dans n'importe quelle direction, éventuellement d'un point bas vers un point haut. C'est cette pression qui permet la distribution de l'eau de ville à partir d'un château d'eau ou la répartition des niveaux dans deux vases communiquant. La circulation de l'eau dans les roches, guidée par la pression, devient donc contre-intuitive.

La pression se transmet à une vitesse proche de celle du son, autant dire instantanément. Il faut donc

considérer que lorsqu'une lame d'eau issue d'une précipitation viens s'ajouter à une nappe, elle applique une pression quasi immédiate à l'émergence. Dans certains contextes, cela pourrait laisser croire que le délai entre une pluie et une remontée de l'eau dans le sol à l'émergence correspond au temps de transport de l'eau de pluie entre la zone d'infiltration et la source. En réalité, le délai correspond au temps nécessaire à la lame d'eau de transiter dans la zone non saturée du sol, entre la surface et le toit de la nappe. Cela est d'importance quand on doit traiter de problèmes de pollution ou comprendre le contenu en éléments dissous des eaux d'émergence, par exemple.

La charge hydraulique et la capacité de l'eau à s'écouler de bas en haut qui en découle sont fondamentales, car elles permettent l'existence d'un type très répandu de tourbières: les tourbières d'émergence.

Les modalités de circulation des eaux souterraines varient en fonction de la nature des roches qu'elles traversent. Dans les systèmes dits fissurés et poreux, les logiques de circulation de l'eau se modélisent suivant une logique de circulation en arc de cercle, mettant en évidence des zones de recharge de nappe par infiltration et des zones de décharge, par émergence. Différents systèmes s'emboîtent, du local au régional (figure II-5-B1). Ce modèle a été proposé par Tóth en 1963. Il est couramment utilisé dans différents pays du monde mais relativement peu diffusé en France où la notion de flux ascendants reste encore peu utilisée, même si elle tend à se généraliser. Encore trop souvent, les mesures qui correspondraient à des logiques de flux ascendants sont interprétées comme résultant de processus de captivité de nappe. Le modèle proposé par Tóth (1963) s'applique avec profit aux logiques d'émergence de nappe en zone humide, en l'adaptant comme nous le proposons.

Les études menées dans le Haut-Bugey dans le massif du Jura (dépôts glaciaires dans un contexte de séries calcaires mésozoïques), ont montré, de manière directe (suivi piézométrique) ou indirecte, les modalités de fonctionnement de tourbières alimentées par émergences diffuses par transfert de charge (Goubet, 2013a). D'autres études dans des contextes différents valident ce modèle (Goubet, 2015a).

La clé de voûte fonctionnelle est l'existence d'un compartiment hydrogéologique dit «diffusif», en nappe, et en lien avec un compartiment transmissif, alimenté par un dernier compartiment hydrogéologique dit capacitif

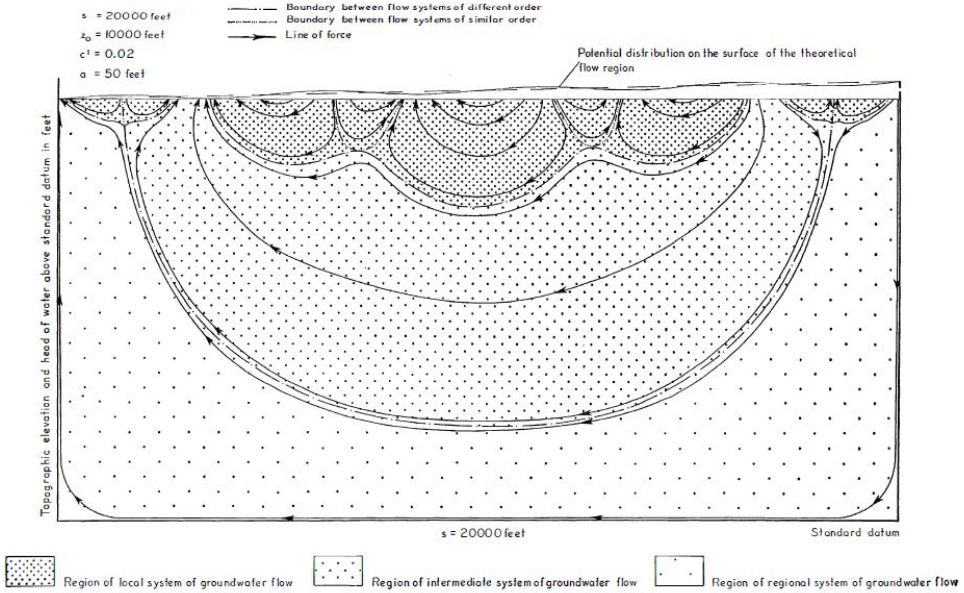


Figure II-5-B1: circulations des eaux souterraines montrant l'importance des flux ascendants dans l'alimentation des émergences (Tóth, 1963).

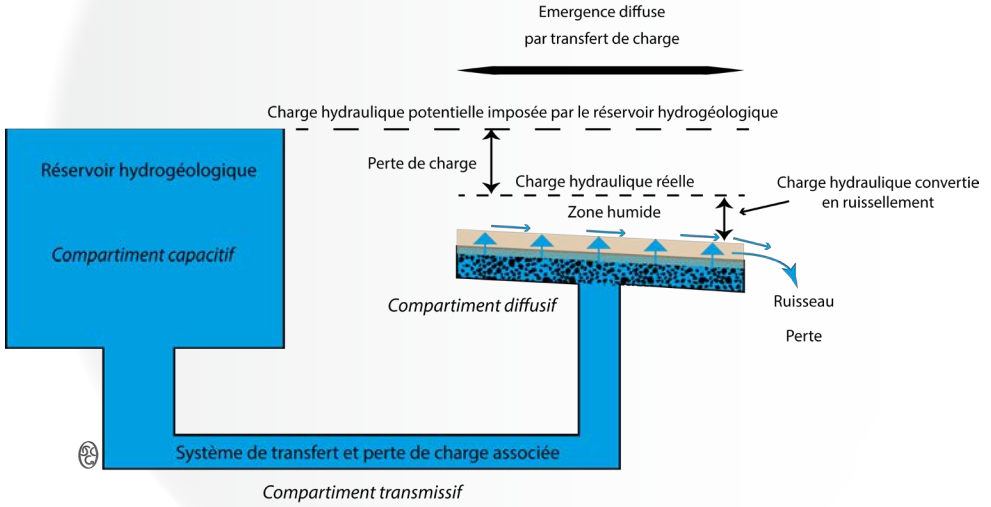


Figure II-5-B2: schéma explicatif du modèle d'émergence diffuse par transfert de charge. Échelles non respectées.

(ou réserve hydrogéologique) (figure II-5-B2). L'absence du compartiment diffusif entraine en général l'existence d'émergences concentrées, et l'absence de tourbière.

Le système est analogue à un réservoir, situé en hauteur, qui est connecté à une céramique poreuse située plus bas par un tuyau. L'eau émerge de la céramique de manière diffuse et s'écoule suivant la pente. A porosité constante, l'arrêt de l'émergence ne dépend pas de l'épaisseur de la céramique, mais surtout de sa hauteur relative par rapport au réservoir. Il s'agit d'une forme de vases communicants. Le niveau théorique d'émergence de l'eau au dessus de la céramique dépend des «pertes de charge» inhérentes aux propriétés structurales de chacun des trois compartiments. Certaines chroniques piézométriques mettent en évidence un gradient de charge hydraulique (figure II-5-B3). Ce genre de trait piézométrique clé est à rechercher dans les analyses hydrologiques.

Dans ce modèle, la mise en place d'un tertre tourbeux se réalise à l'endroit de l'émergence diffuse en constituant une sorte de compartiment diffusif secondaire, en continuité hydrologique avec celui des formations minérales poreuses. Le roseau (*Phragmites australis*), et certains carex, semblent tout à fait adaptés à ce type de contexte. Ils forment de la tourbe sur la base d'une ingénierie pédogénétique qu'on peut dénommer «boucle litière-engorgement-rhizome» (figure II-5-B-4). Contrairement à des systèmes de type hauts-marais où la matière produite est peu décomposable, où le sol est relativement stable mais pauvre en nutriments disponibles, le système de boucle litière-rhizome-engorgement est basé sur une forte productivité de

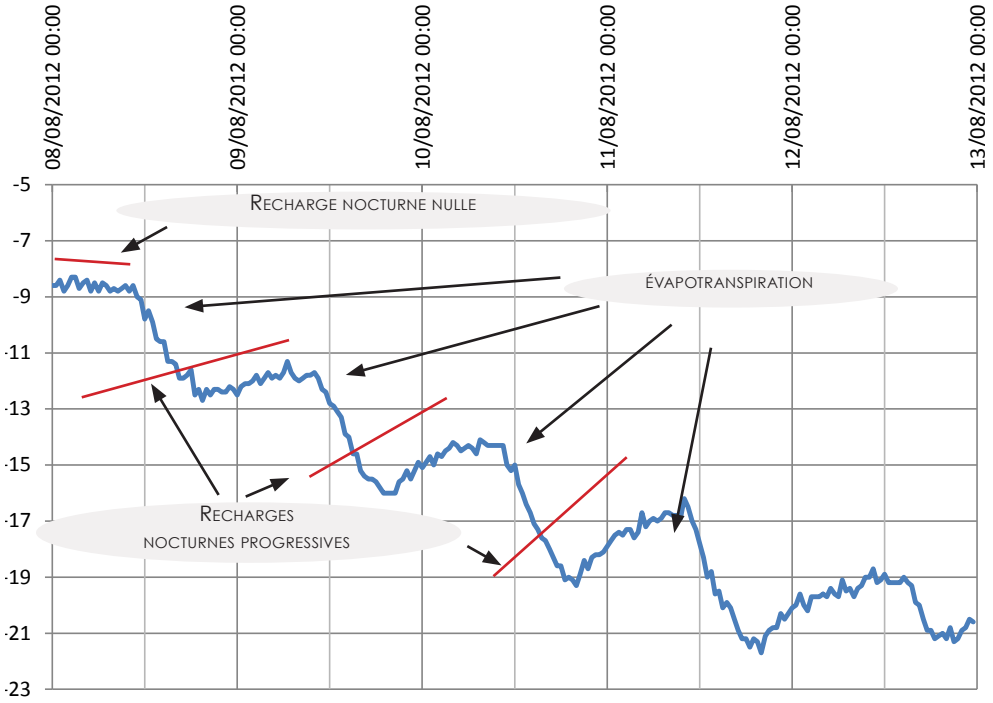


Figure II-5-B3: chroniques piézométriques montrant un gradient de charge ascendante (Goubet, 2013a).

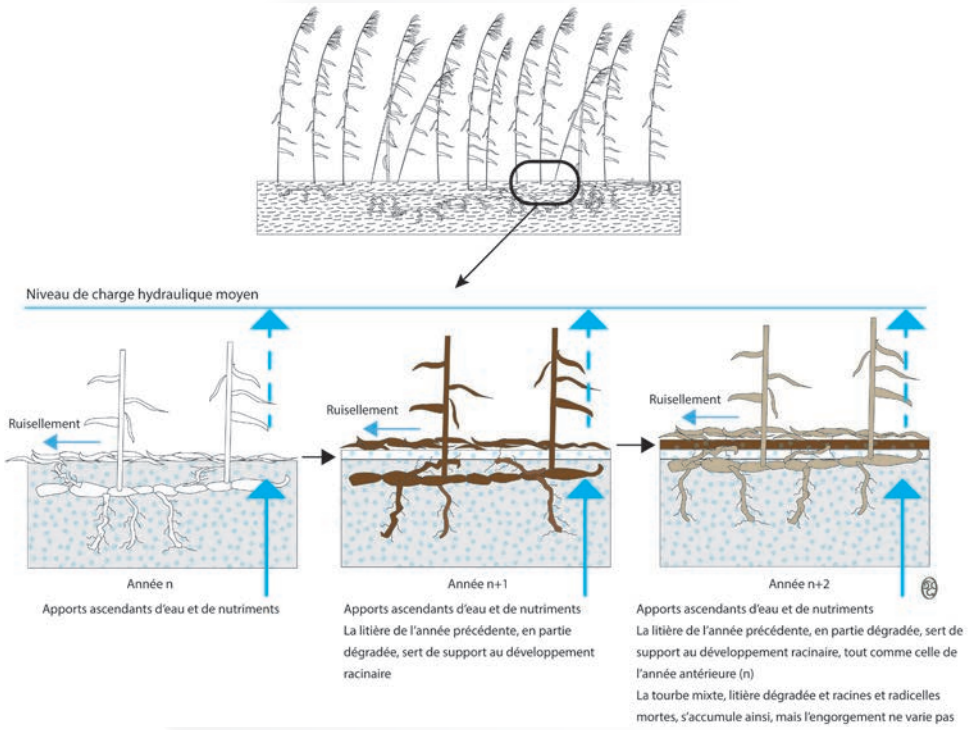


Figure II-5-B4: modèle de croissance d'un tertre tourbeux à phragmite.

biomasse annuelle, restituée dans une litière qui sert de substrat au système racinaire des producteurs de biomasse, mais qui est immédiatement engorgé à cause du niveau de charge hydrique plus élevé que le niveau du sol (d'où la notion de boucle répétitive). Il est probable que d'autres types de végétations soient capables d'édifier de la tourbe dans ce type de contexte, mais nos données sont encore trop peu nombreuses pour le confirmer.

Le Cézallier, l'Artense et leurs marges sont caractérisés par des formations rocheuses de socle granitique et gneissique ou volcanique. Dans les deux cas, le modèle de transfert de charge s'applique, mais de manière suffisamment différente pour nécessiter des présentations distinctes.

II.5.C - Modèle d'écoulement des contextes de socle granitique et métamorphique

Dans les régions de roches cristallines comme les Vosges, le Morvan et Massif central, la logique de transfert de charge s'appuie sur un modèle spécifique. De manière surprenante, les concepts essentiels de la circulation de l'eau dans les milieux cristallins ne sont pas anciens. Le modèle présenté ici résulte de travaux réalisés par P. Lachassagne, R. Wyns et leurs collaborateurs depuis une vingtaine d'années.

Ce modèle s'appuie sur une structure composée de trois compartiments (Lachassagne *et al.*, 2014):

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

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

Le socle cristallin altéré constitue donc un aquifère composite au sein duquel la géométrie des circulations d'eau va dépendre en premier lieu de la structure tridimensionnelle du manteau d'altération et du réseau de fractures

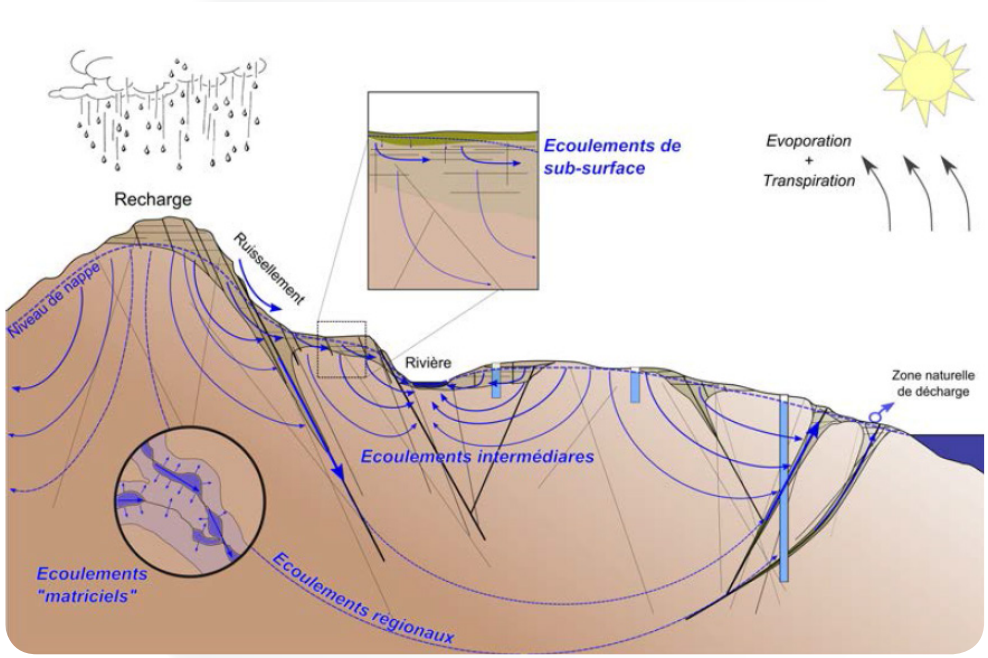


Figure II-5-C1: modèle de circulation de l'eau dans les roches cristallines d'après Roques (2013).

du socle sain. Cette géométrie sera à mettre en relation avec les zones d'émergences, objets déterminants pour les zones humides.

Dans de nombreux contextes géomorphologiques, ce modèle de transferts hydrogéologiques doit être enrichi des effets de dépôts superficiels d'origine glaciaire, alluvionnaire ou colluvionnaire. Comme présenté antérieurement, dans ces cas, au moins un nouveau compartiment doit être pris en compte, avec des propriétés propres: le compartiment diffusif. Un modèle de circulation de l'eau dans les régions cristallines est présenté en figure II-5-C1. Il ne prend pas en compte la notion de compartiment diffusif, car celui-ci est vraiment déterminant principalement pour la compréhension du fonctionnement des zones humides et pas pour les écoulements hydrogéologiques.

II.5.D - Modèle d'écoulement des empilements basaltiques

Le Cézallier, les Monts Dore et les planèzes cantaliennes sont occupées par des empilements de laves basaltiques au sens large (les «basaltes» constituent un groupe que les vulcanologues ont scindé en sous-groupes suivant des propriétés spécifiques en basanites, ankaramites, mugéarites, basaltes au sens strict, etc.).

La circulation de l'eau dans les coulées qui ont une capacité à s'étaler est relativement simple. La structure de ce type de coulée est variable, mais regroupe potentiellement une série de compartiments définis (figure II-5-D1). La base de la coulée est caractérisée par un lit argileux correspondant à un sol cuit, souvent de couleur rouge brique. Cet horizon est relativement imperméable. Il est recouvert par une couche de retombées du cône ou du front de coulée qui constitue un compartiment poreux dans lequel se réalise des écoulements sub-horizontaux dans le sens de la paléotopographie (le relief figé par la coulée). Le reste de la coulée, sa plus grande partie, est élaborée par de la roche massive, imperméable mais plus ou moins fissurée en colonnade dans laquelle l'eau peut circuler, verticalement dans la zone non saturée.

Avant de percoler au sein de la roche, l'eau des précipitations doit s'infiltrer dans le sol. Ce processus va dépendre de nombreux paramètres structuraux du sol et des végétations qui les recouvrent.

La logique de circulation de l'eau

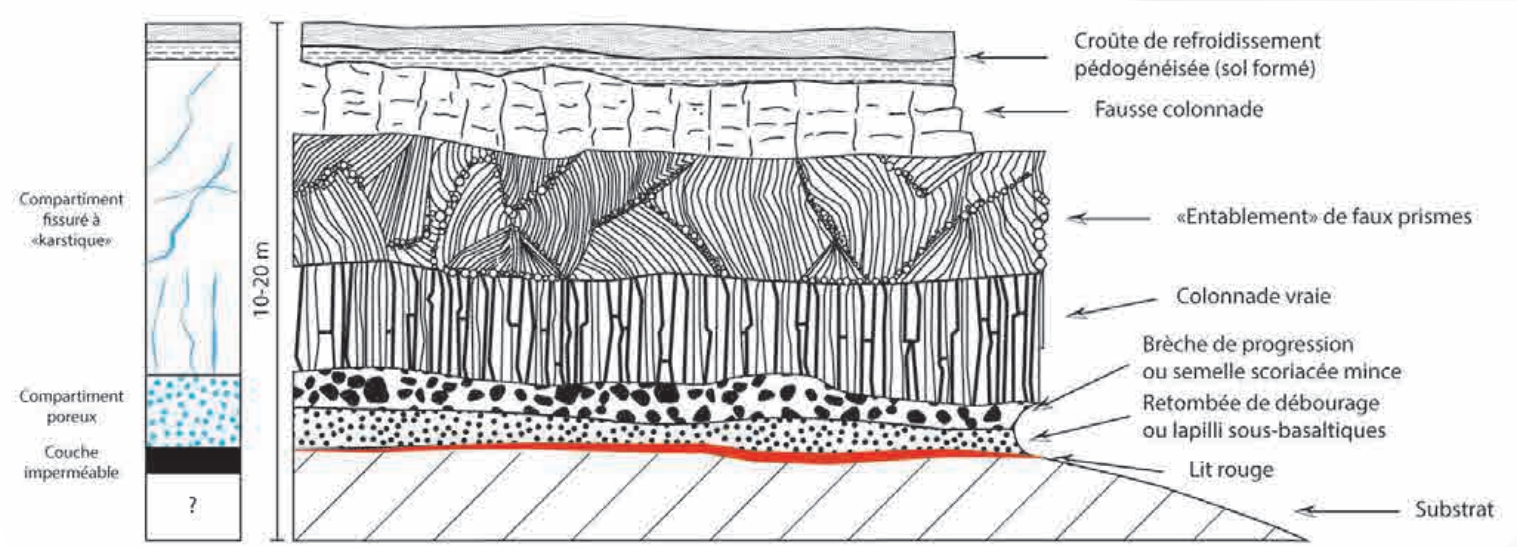




Figure II-5-D1: schématisation des différents compartiments structurant une coulée basaltique associés à leurs capacités à laisser circuler l'eau. Lit rouge sous coulée basaltique, Val d'Allanche.

dans la coulée est principalement conditionnée par: la fissuration de celle-ci; le paléorelief; et la perméabilité du lit souvent rouge de la base de la coulée. Lorsque cette dernière est forte (absence de niveau argileux), l'eau peut percoler sous la coulée et suivre un cheminement identique, si le dessous est une autre coulée, ou passer dans le compartiment de socle dans le cas contraire, un granitoïde ou une roche métamorphique dans la plupart des cas, une roche sédimentaire en Limagne ou sur ses marges. Dans ce cas, les logiques hydrologiques deviennent celles du socle, avec une dépendance forte de la fracturation, de la fissuration et des autres conséquences de l'altération.

Cette conformation hydrogéologique permet la définition de plusieurs types d'émergence: (1) sous-basaltiques pour celles situées dans le socle ou les sédiments sous la pile de coulées, mais à son contact; (2) infra-basaltiques pour celles qui drainent la nappe dans la coulée située sur le socle, à la base de l'empilement; (3) intra-basaltiques, pour celles qui émergent depuis la pile de coulées, soit à un intercoulée, soit dans la masse même de la coulée pour des laves non fissurées.

Bien-sûr, ce schéma simple doit s'enrichir des structures verticales complexes que sont les cheminées (diatrèmes, évents) et les cônes de scories, ou parfois même des maars et leurs anneaux pyroclastiques. Il peut également s'insérer, dans la logique d'empilement, des dépôts d'alluvions plus ou moins drainants.

L'émergence se réalise au contact de la nappe de la coulée et de l'atmosphère, de manière concentrée ou diffuse. L'émergence concentrée est celle où un filet d'eau apparait, issu de la base d'un rocher ou d'un lit graveleux, caillouteux. Ce type d'émergence donne naissance à un ruisselet et à une communauté de source indiquant souvent la charge minérale et trophique, avec des cortèges différents suivant que la source est en altitude, en forêt ou en pleine lumière. Il arrive parfois que la zone d'émergence soit tourbeuse, sur 1 ou 2 m².

L'émergence peut aussi être diffusée par une formation superficielle

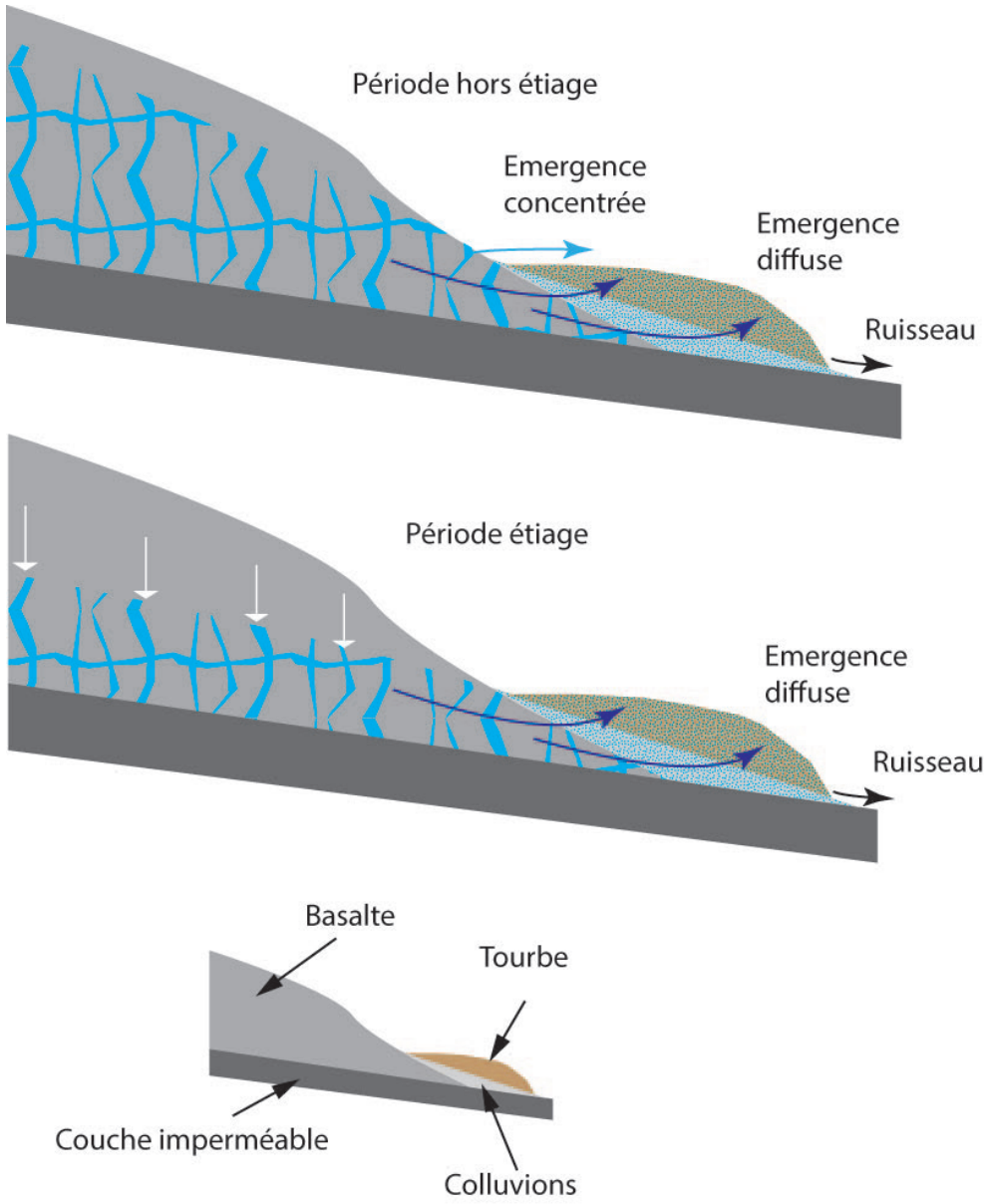


Figure II-5-D2: Logique d'écoulement dans une nappe de coulée basaltique.

comme des colluvions ou des dépôts glaciaires (tills). Dans ce cas, la logique initiale est la même, mais l'écoulement ne forme pas un ruisselet mais il imbibe la formation superficielle, et c'est à l'aval de cette formation que se forme un ruisselet. Souvent, la nappe de la coulée est semi-captive, percolant dans la formation superficielle de manière lente, variable suivant (1) la structure des points d'émergence de la lave et (2) celle de la formation superficielle (figure II-5-D2).

La zone humide induite par l'imbibition du sol est favorable aux espèces de tourbière qui peuvent ensuite former de la tourbe, tourbe qui assurera une continuité hydraulique sous la forme d'un tertre poreux. Parfois, ce tertre prend une forme bombée en lien avec l'expression de la charge hydraulique.

La géométrie de la zone de diffusion est généralement soit alvéolaire, probablement générée par des processus cryoclastiques amplifiés par l'existence d'une émergence rocheuse concentrée (la résultante est alors une «niche»), soit sous forme d'épaulement lorsque l'émergence rocheuse se réalise sur une ligne, à la base de la coulée (la résultante est alors un replat allongé perpendiculairement à la pente)(figure II-5-D3). La concentration des écoulements à l'aval est d'autant plus rapide que la pente est forte.

Souvent, le système présente un tertre tourbeux situé sur l'émergence diffuse et des émergences concentrées à l'amont du tertre, correspondant à des sources par débordement. Les analyses piézométriques montrent que le tarissement est différencié, avec l'arrêt de la décharge amont en été (figure II-5-D2).

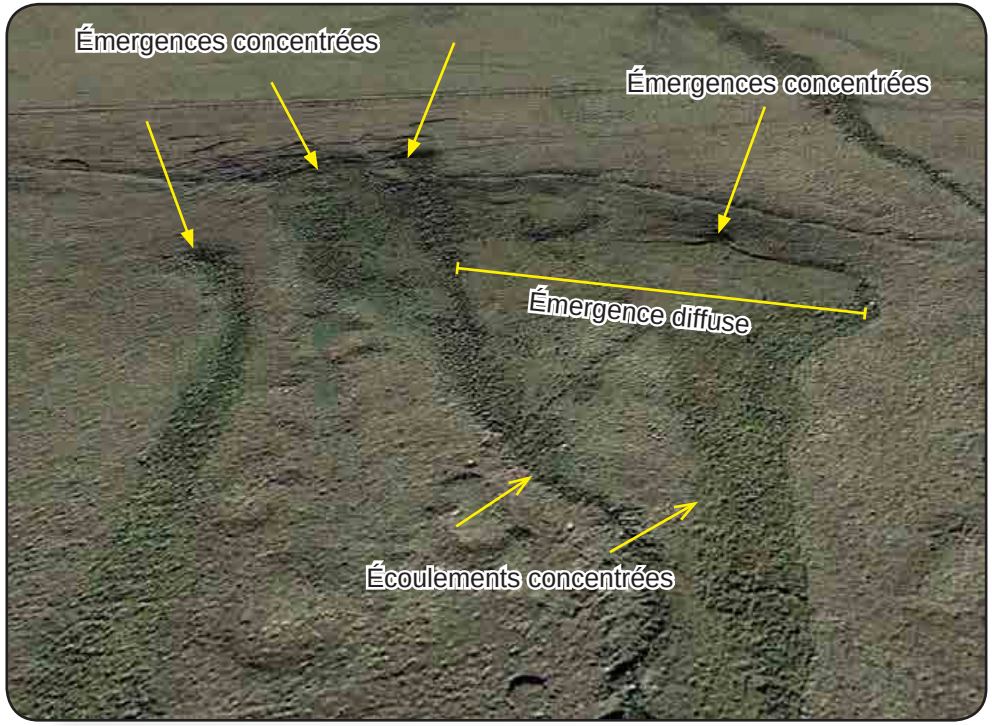


Figure II-5-D3: exemple de système d'émergence d'intercoulée basaltique avec ses émergences concentrées de l'amont, le tertre de diffusion (à gauche seulement) et les écoulements concentrés à l'aval. L'émergence de gauche montre la structure en l'absence de formation diffusive. La Loubeyre à La Godivelle, bassin versant du lac d'en Bas (photo Google Earth (2019).

II.6 - Les plantes de tourbières: écologie et bio-indication

La tourbe est majoritairement constituée de matière organique d'origine végétale et les plantes constituent les espèces ingénieures des tourbières. Logiquement, la connaissance de l'écologie des végétaux vasculaires et des mousses au sens large est donc une des clés de la compréhension du fonctionnement des tourbières et du succès de leur gestion conservatoire. Cependant, en France, la tradition naturaliste a favoriser la notion de communautés, d'association ou de groupement aux dépends de celle des espèces. Les bioindicateurs et plus généralement l'écologie des espèces, sont donc peu valorisés pour la compréhension du fonctionnement des tourbières. Nous proposons donc de présenter les plantes de tourbières suivant leur valeur indicatrice.

Comment présenter les plantes de tourbière? Dans quel ordre? Le but de ce travail étant de permettre de comprendre le fonctionnement des tourbières, nous décrirons l'écologie des plantes à travers un spectre fonctionnel, à travers les processus dont les espèces dépendent, d'une part, et qui sont importants dans le fonctionnement des tourbières, d'autre part.

Logiquement, nous présenterons donc les plantes suivant leur rôle, leur préférence ou leur indication vis-à-vis des processus pédologiques, des écoulements, des logiques trophiques et des usages. Une fois encore, l'ordre de présentation reste subjectif et n'a pas de signification particulière.

Certaines plantes jouent différents rôle et indiquent divers processus, elles seront donc évoquées dans plusieurs parties.

II.6.A - Les plantes turfigènes: la force motrice de la pédogenèse primaire

Seules quelques plantes sont susceptibles de produire de la tourbe, mais un plus grand nombre se rencontrent dans les tourbes, par un effet de conservation généralisé, certaines plantes turfigènes produisant les conditions de conservation pour toute la tourbe et pas seulement pour leur propre matière.

Les plantes turfigènes rencontrées sur le plateau ont déjà été évoquées dans la partie dédiée à la pédogenèse. Elles peuvent se regrouper suivant leur affinité écologique et en particulier suivant un gradient nutritionnel.



Au pôle oligotrophe acide correspondent les sphaignes ombrotrophiles et la linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*)(figure II-6-A1). *Sphagnum magellanicum* constitue la sphaigne des tourbes anciennes, à l'exception de quelques tourbières où *S. fuscum* la remplace littéralement, les espèces compagnes restant les mêmes, principalement la linaigrette engainante, les canneberges (*Vaccinium* gr. *oxyccocos*) et l'andromède (*Andromeda polifolia*). De manière moins fréquente, *S. rubellum*, *S. angustifolium* et *S. capillifolium* accompagnent, comme la callune (*Calluna vulgaris*), les deux turfigènes principales.

Ces plantes sont des indicateurs de turfigenèse oligotrophe, souvent ombrotrophe, mais il faut tenir compte de la nature des roches du bassin versant qui parfois sont très pauvres en nutriments et génèrent des eaux de surface aussi oligotrophes que l'eau de pluie (en particulier des sables, des grès et certains granites). Dans ce cas, les eaux de surface sont oligotrophes et permettent l'expression des communautés ombrotrophes.

La turfigenèse oligrotrophe «alcaline» est principalement réalisée par des mousses et des cypéracées. Dans le Cézallier, elle est rarement mise en évidence dans les tourbes, même dans les sites favorables, probablement à cause de la rareté des restes d'indicateurs. Les contextes les plus favorables à la conservation de ces indicateurs sont les tremblants où les mousses sont abondantes et bien conservées, permettant d'attribuer avec certitude un caractère alcalin. A ce jour, l'unique donnée paléoécologique que nous connaissons dans le secteur de la Réserve est un dépôt du Lac d'en Bas à La Godivelle (Goubet, 2013) qui regroupe *Carex limosa*, *Scorpidium scorpioides*, *Meesia triquetra*, *Scorpidium cossonii* et une espèce de sphaigne de la section Subsecunda.

Le trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*), le comaret (*Comarum palustre*) et la prêle des bourbiers (*Equisetum fluviatile*) sont trois indicateurs de turfigenèse en contexte oligotrophe, acide ou alcalin. Toutes trois indiquent une turfigenèse en milieu aqueux, souvent des tremblants.

Trois autres genres de plantes sont souvent rencontrées dans les tourbes: le roseau (*Phragmites australis*), les bouleaux (*Betula spp.*) et les saules (*Salix spp.*). Ici, le contexte est plus riche en nutriments; l'eau est souvent issue d'émergences, parfois de concentrations des eaux de surface.



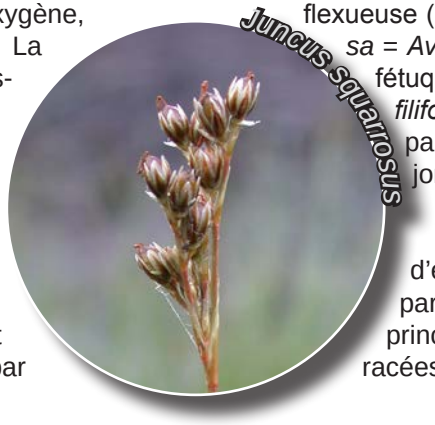
Figure II-6-A1: *Eriophorum vaginatum*, sur la tourbière de la Roche-Chelady à Chastel-sur-Murat.

II.6.B - Indicateurs de l'érosion de la tourbe

Les processus érosifs en tourbière doivent être considérés dans leur spécificité: la tourbe est à la fois un «claste», une particule sédimentaire, et une matière «volatile», passant de l'état solide à un état gazeux (sublimation), à travers l'activité microbienne. Il existe aussi une composante dissoute qui ajoute de la complexité dans la prise en compte des variations de stock et de flux de matière. Nous ne traiterons pas ici toute cette complexité.

Cette double affinité clastique et organique mène à la distinction de deux voie d'altération majeure générant leur propre lot d'indicateurs.

(1) L'altération par compaction et sublimation (=«minéralisation») est relative à la mise en place d'un KTH: la matière organique se densifie par perte des pores et par «minéralisation» au sens pédologique du terme (transformation des produits organiques en produits «minéraux» eau, oxygène, dioxyde de carbone). La tourbe se minéralise aussi dans le sens où des particules minérales se concentrent ou sont déposées. De fait, l'utilisation du terme minéralisation appliqué à la matière organique revêt une ambiguïté et nous le remplacerons par celui de «sublimation».



(2) L'altération par fragmentation, les particules de matière organique étant alors assimilés à des clastes, comme dans le cas classique d'une particule minérale.

Dans les deux cas, la tourbe peut être mise à nu.

Les processus de compaction sont favorables, au jonc squarreux (*Juncus squarrosus*), à *Sphagnum compactum*, *S. tenellum* et quelques micro-hépatiques. Lorsque la fraction minérale augmente, le nard (*Nardus stricta*) s'invite au cortège, ainsi que le jonc diffus (*J. effusus*). Sur le terrain, ceci se traduit par la présence de ces deux espèces aux marges des édifices tourbeux ou dans les secteurs de tourbe peu épaisse. A ces endroits, l'allègement de la charge pastorale permet à la canche cespiteuse (*Deschampsia cespitosa*) de s'installer en masse. Là où la tourbe est plus épaisse, c'est la molinie qui prend le dessus. La canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* = *Avenella flexuosa*) et la fétuque filiforme (*Festuca filiformis*) accompagnent parfois le nard ou le jonc squarreux.

Les indicateurs d'érosion de la tourbe par fragmentation sont principalement des cypéracées: *Carex panicea*, *C.*



Figure II-6-B1: tourbe à nu sur le site de Grouffaud.

nigra, *C. demissa*, *C.echinata*, *C. rostrata*, *Eriophorum angustifolium*, *Rhynchospora alba*. On peut ajouter *Juncus bulbosus* et *Warnstorfia fluitans*.

Il existe aussi quelques plantes occupant des secteurs compactés ou fragmentés, parfois les deux ensemble: *Trichophorum cespitosum* et *Juncus filiformis*.

Des recherches sont encore nécessaires pour affiner ce type de bioindication. Par exemple, il semble que la bistorte (*Polygonum bistorta*) soit favorisée par la compaction, mais qu'elle ne s'exprime que sur des sols relativement riches en nutriments. Elle accompagne ainsi la canche cespiteuse ou bien forme de grande nappe, parfois au bord des fosses de tourbage comme au Lac d'en Bas à La Godivelle.

II.6.C - Les émergences et leurs indicateurs

L'arrivée en surface d'une eau de nappe d'origine hydrogéologique (nappe «profonde» à opposer aux nappes de subsurface comme celles dans les formations superficielles, tourbe incluse) entraine une série de modifications physico-chimiques. Le principal moteur de ces transformations est la baisse de la pression partielle de dioxyde de carbone, dont les conséquences sont variées, mais qui restent souvent localisées au lieu de décompression, à la source même ou quelques mètres en aval.

Ces spécificités physico-chimiques permettent à des espèces de trouver des conditions favorables, sans compétiteurs. La présence de plusieurs de ces espèces à permis la définition de cortèges particuliers définissant une classe phytosociologique, malgré le fait que les surfaces couvertes soient parfois très réduites, de l'ordre du m².

Les indicateurs d'émergence s'organisent suivant des gradients d'alcalinité, de trophie, de luminosité et d'altitude. Les espèces sont relativement nombreuses, il faut probablement y voir une spéciation facilité par la nature «insulaire» du milieu. Nous n'en citerons ici qu'une partie seulement.

Sur le plateau, les indicateurs d'émergence acide oligotrophe montagnarde ouverte sont *Saxifraga stellaris* (=*Micranthes stellaris*), *Epilobium nutans*, *Dicranella squarrosa* (=*Dichodontium palustre*), *Philonotis fontana*, *P. seriata, Bryum weigelii*. *Bryum schleicheri* apparait dans quelques sources au dessus de 1300 m.

Les émergences alcalines oligotrophes montagnardes ouvertes sont caractérisées par *Carex dioica*, *C. flava*, *Epipactis palustris*, *Tomentypnum nitens*, *Fissidens adianthoides*, *Scorpidium scorpioides*, *Meesia triquetra* et d'autres mousses. Dans de rares cas, *Cratoneuron filicinum* a été observé.

Les sources enrichies de milieux ouverts sont occupées par *Montia*



fontana, *Epilobium obscurum*, *Glyceria* gr. *fluitans*, *Veronica beccabunga*. Celles en forêt sont occupées par *Cardamina amara*, *Chrysosplenium* spp., *Myosotis* spp., *Carex remota*.

Viola palustris et *Caltha palustris* sont aussi des marqueurs d'émergence, d'autant plus exclusifs que l'altitude est importante.

II.6.D - Indicateurs d'ombrotrophie

Les producteurs de tourbe ombrotrophe ne sont pas les seuls plantes à indiquer l'ombrotrophie.

Par exemple, *Leucobryum glaucum* et *Racomitrium lanuginosum* sont deux mousses qui se rencontrent régulièrement sur le sol des tourbières ombrotophes du Cézallier ouest et de l'Artense, accompagnées de lichens du genre *Cladonia*. Outre l'ombrotrophie, ils indiquent aussi un processus d'érosion de la tourbe dans un contexte de sécheresse édaphique. Il peut s'agir de tourbières raclées, ayant été brûlées ou drainées. Une mousse non indigène, provenant de l'hémisphère sud, occupe aussi souvent ces mêmes secteurs: *Campylopus introflexus* et joue possiblement un rôle de couvre sol limitant les possibilités de germination.

De nombreuses hépatiques sont des indicateurs d'ombrotrophie. Elles poussent soit dans les sphaignes (*Kurzia pauciflora*, *Calypogeia sphagnicola*, *Pohlia sphagnicola*), soit sur le sol (*Odontoschsima sphagni*, *Cephalozia connivens*, *C. Loitlesbergeri*, *Cephalozella spinigera*, *C. integristipula*, *Lophozia ventricosa*, *L. longiflora*) et peuvent indiquer d'autres processus complémentaires à l'ombrotrophie.

Les indicateurs d'ombrotrophie vasculaires sont plus rares, probablement parce que souvent ces plantes se rencontrent sur des milieux secs, comme les landes, ils sont surtout des indicateurs d'oligotrophie (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa, Potentilla erecta, Molinia caerulea*, etc.).

Les véritables indicateurs vasculaires de l'ombrotrophie sont: la linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*), l'andromède (*Andromeda polifolia*), la canneberge à petits fruits (*Vaccinium microcarpum*), le carex pauciflore (*Carex pauciflora*), et dans une moindre mesure le droséra à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*).

Au-delà de la notion d'ombrotrophie, il est nécessaire de prendre en considération celle d'aérohygrophilie. Les plantes aérohygrophiles se contentent des eaux atmosphériques pour croître, sans bénéficier d'une nappe stagnante, même issue des précipitations ou de la fonte. *Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum* et *S. quinquefarium* sont trois sphaignes aérohygrophiles, le concept de nappe n'a donc pas de sens pour elles. Elles peuvent



Figure -II-6-D1: les plantes aérohygrophiles se contentent des eaux atmosphériques pour vivre et peuvent ainsi croître sur des rochers, des tas de branches, parfois même la «tête» vers le bas comme cela s'observe dans des éboulis. Ici, *Sphagnum capillifolium*, dans les vosges.



Figure II-6-D2: *Sphagnum fuscum* (marron) et *Sphagnum magellanicum* (rouge ou blanchâtre). La photo (réalisée au Paillaret) montre la déssication de *Sphagnum magellanicum* et le maintien humide de *Sphagnum fuscum* conformément aux capacités de chacune des sphaignes à réssister à la sécheresse.

ainsi croître sur des rochers, des tas de branches, parfois même la «tête» vers le bas comme cela s'observe dans des éboulis (figure II-6-D1).

On peut ainsi considérer l'aérohygrophilie comme l'extrême de la fenêtre d'ombrotrophie. *Sphagnum capillifolium* et *S. fuscum* sont ainsi probablement d'excellents indicateurs d'un cadre microclimatique favorable au fonctionnement de tourbières ombrotrophes (figure II-6-D2).

II.6.E - Indicateurs d'alcalinité

La disponibilité en cations alcalins joue un rôle majeur dans l'organisation des végétaux en communautés. En tourbière, cela se traduit par l'existence d'une série de communautés végétales constituant un pôle alcalin oligotrophe qui s'exprime particulièrement nettement dans les contextes calcaires comme le massif du Jura ou le Bassin parisien crayeux.

Le Cézallier, l'Artense et leurs marges sont dépourvues de roches calcaires, mais les roches volcaniques et certaines roches plutoniques ou métamorphiques libèrent des cations alcalins susceptibles d'en enrichir l'eau de leur sources. Au-delà, le plateau est aussi un lieu riche en sources minérales ou thermo-minérales contenant des teneurs importantes de calcium, de magnésium et d'autres cations.

Cette diversité d'émergences plus ou moins riches en bases induit la présence de communautés ou de cortèges spécialisés, plus ou moins simples à mettre en évidence. A ce jour, aucune communauté typique de tourbière «alcaline» n'a été décrite pour le plateau, bien que des espèces typiques de ces bas-marais soient présentes. En règle générale, ces plantes ne sont pas dominantes et se mélangent avec des cortèges communs, de grande amplitude écologique. De plus, les surfaces concernées sont petites, quelques centaines de m², exceptionnellement plusieurs hectares comme à Tioule sur le plateau de Chastel-sur-Murat.

Les indicateurs d'alcalinité les plus fréquents sont des mousses. L'indicateur le plus courant et certainement le moins exigeant en bases est *Bryum pseudotriquetrum* (=*Ptychostomum pseudotriquetrum*). Il semble que la présence d'eau issue de roches métamorphiques ou granitiques comme des granites calco-alcalins suffise pour le voir apparaître aux émergences. Peut-être un peu plus exigeant en base, *Campylium stellatum* reste assez commun dès que l'émergence sort du cadre acide habituel.

Les autres mousses indicatrices, moins communes mais assez répandues, sont *Scorpidium cossonii*, *Sphagnum contortum*, *Sphagnum warnstorfii*, *Tomentypnum nitens* (figure II-6-E1), *Fissidens adianthoides, Calliergon cordifolium, Hamatocaulis*



Figure II-6-E1: *Tomentypnum nitens* tremblant d'émergence de Tioule aval sur le Plateau de Chastel-sur-Murat.



Figure II-6-E2: *Carex diandra*, tremblant d'émergence de Tioule aval sur le Plateau de Chastel-sur-Murat.

vernicosus et un groupe d'hépatiques à thalles appartenant au genre *Riccardia*.

Enfin, il existe quelques espèces encore plus rares et susceptibles de marquer des chimies de l'eau plus spécifiques. Il s'agit de *Scorpidium scorpioides*, *Meesia triquetra*, *Calliergon giganteum* et *Pseudocalliergon trifarium*.

Pour ce qui concerne les plantes vasculaires, les indicateurs sont de même nature de fréquence et d'indication. *Carex pulicaris* est le plus commun et probablement le moins sensible, se contentant de peu de bases. *Carex diandra* (figure II-6-E2), *C. appropinquata* sont les plus répandus. *C. flava*, *Epipactis palustre, Pedicularis palustris* et *Dactylorhiza incarnata* sont plus localisés, mais encore plus courant qu'*Eleocharis quinqueflora, Eriophorum gracile, Trichophorum alpinum* et surtout *Carex chordorrhiza*.



II.6.F - L'enrichissement en nutriments et les plantes associées

L'oligotrophie conditionne certaines tourbières, acides ou alcalines. D'autres se caractérisent par des charges en nutriments un peu plus importantes, par exemple lorsque le roseau ou les arbres participent à la turfigenèse. Cependant, il est peu probable que l'enrichissement trophique soit commun au sein des tourbières fonctionnelles. Il apparait donc important de comprendre les processus d'eutrophisation pour améliorer la prise en charge conservatoire. Ceci-dit, la compréhension de la répartition des indicateurs de richesse trophique est également un atout pour l'analyse des écoulements, les plantes exigeantes en nutriments étant d'excellents marqueurs de flux hydriques.

Les plantes de mégaphorbiaies sont parmi les plus courantes en tourbières, et probablement les premiers taxons à s'installer au sein des systèmes oligotrophes non pâturés. Les plus communes sont *Filipendula ulmaria*, *Angelica sylvestris* et *Cirsium palustre*. Le premier est probablement plus sensible aux écoulements concentrés ou semi-diffus. Les deux autres semblent se satisfaire de ruissellements peu intenses ou même de la décomposition de la tourbe minérotrophe. *Valeriana officinalis*, *Lysimachia vulgaris*, *Mentha* spp., *Polygonum bistorta, Ranunculus acris, Scirpus sylvaticus* et *Veratrum*



Figure II-6-F1: mégaphorbiaie au Lac d'en Bas à la Godivelle.

album sont moins courantes, mais de même indication.

Ligularia sibirica est beaucoup plus rare, mais dépend des mêmes facteurs que l'angélique.

Calamagrostis canescens et *Phragmites australis* sont deux autres indicateurs qui s'expriment dans d'autres contextes, de tremblant pour le premier et d'émergence pour le second. *Typha latifolia* est un autre indicateur à affinité pour l'eau et les bords de tremblant.

Les arbustes et les arbres sont eux aussi des indicateurs d'eutrophisation, en particulier les saules et les bouleaux.

Les mousses de tourbières les plus exigeantes en nutriments sont probablement *Calliergonella cuspidata*, *Climacium dendroides* et S*cleropodium purum*.

Il existe aussi des indicateurs de richesse trophique spécialistes des émergences concentrées comme *Glyceria* aggr. *fluitans*, *Montia fontana*, *Veronica beccabunga*, Myosotis spp. et *Epilobium obscurum*.

De nombreuses autres plantes peuvent être utilisées comme indicateurs d'eutrophisation ou seulement indiquer un «décalage trophique». Il faut ainsi raisonner en gradient trophique avec une répartition complexe des plantes qui varie en fonction de paramètres secondaires comme l'engorgement ou la disponibilité en base. Le choix des indicateurs est dans ce cadre une affaire d'habitude et d'expérience dans une région donnée. Par exemple, un carex pourra indiquer un écoulement ou un sol un peu plus riche dans une tourbière à sphaignes.

Les indicateurs de forte disponibilité nutritionnelle les plus fréquents sont *Urtica dioica*, *Epilobium hirsutum*, *Galium aparine*, *Typha latifolia* sur les tremblants ou en bord d'eau libre, *Lemna* spp. dans l'eau libre et *Iris pseudacorus* le plus souvent en situation forestière. En règle générale, ces plantes vont indiquer les lieux d'entrée des nutriments dans les tourbières.

II.6.G - Plantes favorisées par le pâturage

Le pâturage induit un ensemble de processus constituant autant de facteurs majeurs dans le fonctionnement des tourbières. Ces processus se réalisent à diverses échelles temporelles. Ainsi, si «l'abroutissement» et le piétinement constituent des paramètres à conséquence immédiate, ils vont aussi induire des modifications sur le long terme, progressives. Par exemple, l'abroutissement abaisse le taux de nutriments du sol; le piétinement tasse le sol, etc.

Du fait de cette complexité fonctionnelle, les indicateurs de pâturage sont difficiles à caractériser dans le détail de leur diversité d'indication.

Par exemple, le nard est strictement un indicateur de pâturage intense, sans fragmentation de la tourbe. Autrement dit, il est un indicateur de compaction plus que de pâturage, même si c'est le plus souvent le piétinement du pâturage qui le favorise. Les indicateurs d'érosion ont été présentés dans un paragraphe antérieur.

Les «vrais» indicateurs de pâturage, non équivoques, sont probablement rares. Il semble que *Juncus acutiflorus, Juncus effusus*, là où la tourbe est moins présente, *Carum verticillatum, Festuca filiformis* en sont des exemples typiques, bien que le premier puisse être présent dans des secteurs n'ayant pas subi de pâturage.

Bien-sûr, d'autres espèces peuvent révéler un pâturage actuel ou récent, mais leurs présences peuvent aussi être la conséquence d'un pâturage ancien ou celle d'une «introgression» dans des bas-marais à partir de parcelles voisines, prairiales. C'est le cas de *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Luzula* aggr. *multiflora*, *Ranunculus acris*, *Sanguisorba officinalis, Trollius europaeus*.

Il existe aussi des espèces dont la nature est intrinsèquement liée au bas-marais d'émergence ou de concentration des eaux de surface mais qui sont favorisées par le pâturage ou la fauche. Il s'agit de *Crepis paludosa*, *Epikeyros pyrenaeus*, *Epilobium palustre*, *Festuca rivularis*, *Valeriana dioica*, *Scorzonera humilis*, *Lotus pedonculatus*.

II.6.H - Indicateurs d'incendie (brûlis)

Quelques espèces sont favorisées par les incendies, sans que cela soit un avantage déterminant qui leur donnerait une qualité de pyrophytes, sauf peut-être *Polytrichum commune*.

La plus commune des espèces résistantes au feu est *Molinia caerulea* (figure II-6-H1), probablement à cause de sa structure en touradons et sa capacité à stocker les nutriments dans une partie de sa souche, à l'abri des feux courants.

Probablement pour les mêmes raisons, *Trichophorum cespitosum* et *Eriophorum vaginatum* sont observées comme plantes couvrantes dans les secteurs qui ont été incendiés.

Calamagrostis canescens (figure II-6-H2) est indiquée aussi comme favorisée par le feu.



Figure II-6-H2: *Calamagrostis canescens*, au Lac d'en Bas à La Godivelle.



Figure II-6-H1: moliniaie à Bourdouze est.

II.7 - Les grands types de tourbières

La problématique d'une typologie des tourbières à l'échelle du Massif central ou plus largement celle de la France se heurte à deux difficultés majeures. La première est celle de la nature complexe des milieux tourbeux qui présentent pour un même complexe, en un même lieu, des modalités fonctionnelles différentes dans le temps et dans l'espace. La seconde est liée à la transformation par l'humain de systèmes écologiques naturels, ce qui provoque de profonds changements et génère des modalités fonctionnelles inédites, qu'une typologie d'objets naturels ne peut traiter.

La plus utilisée des typologies actuelles, celle qui définit les tourbières en fonction de leur position dans le paysage ou l'origine de leur eau, s'appuyant sur le suffixe -gène, constitue une approche historique intéressante. Cependant, elle apparait aujourd'hui inappropriée et non opérationnelle. L'absence de prise en compte des processus d'émergence la rend caduque, tout comme la non prise en compte des profondes modifications qu'ont subit les tourbières dans nos régions. Cette typologie mène également à de mauvaises interprétations du fonctionnement des complexes et à des mauvaises pratiques de conservation. Elle doit donc être abandonnée. Nous proposerons une typologie alternative opérationnelle définie pour les tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges qui pourra être utilisée dans d'autres secteurs du Massif central et qui pourra être adaptée aux autres régions de France.

Cette typologie s'appuie d'abord sur les logiques d'écoulement, en privilégiant l'apport principal, celui qui conditionne l'état du système. Ces apports se résument à 3 types principaux, qui vont donc définir trois types fonctionnels fondamentaux. L'échelle d'application de ces types fondamentaux est indéterminée, ils s'appliquent aussi bien à une butte ou un replat qu'à un complexe. Ensuite, les contraintes anthropiques viennent modifier ces trois types primaires pour en créer de nouveaux, que l'on pourrait considérer comme secondaires, mais que le terme d'anthropique résume bien.

Cette typologie est cohérente avec l'auto-organisation des communautés végétales de tourbières qui dépend fortement de la charge trophique et minérale des eaux. Les deux notions, apports d'eau principaux et communautés végétales, sont reliées par le contenu en éléments nutritifs des eaux. Cela découle du fait que les eaux de pluie sont peu chargées en éléments trophiques et minéraux, que les eaux de nappe sont plus ou moins riches en éléments minéraux mais surtout pauvres en éléments trophiques et que les eaux de surface sont le plus souvent riches en éléments trophiques.

Les trois grands types fonctionnels primaires sont nommés tourbières ombrotrophes, tourbières d'émergence et tourbières de concentration des eaux de surface.

Les tourbières secondaires sont: des tourbières ennoyées-décollées; des tourbières ré-humectées; des tourbières exploitées; ou des tourbières pâturées.

II.7.A - Les tourbières ombrotrophes

Les tourbières ombrotrophes (les « bogs de la littérature scientifique en anglais) sont majoritairement alimentées par les précipitations. Elles sont oligotrophes (pauvres en éléments nutritifs) et acides, en lien avec le contenu ionique de l'eau de pluie, faiblement minéralisée et le plus souvent acide.

L'ombrotrophie est le plus souvent acquise par une topographie favorable à l'exclusion des apports de surface ou de nappe, par la réalisation d'un tertre tourbeux ou l'absence de bassin versant, par exemple en situation de col (Goubet, 2007). La mise en place de drain et l'abaissement de la nappe conséquent est une autre possibilité de réalisation de l'ombrotrophie (Goubet, 2016). La pauvreté trophique et minérale de certaines eaux de surface ou de source peut aussi induire une forme d'ombrotrophie, l'eau de pluie devenant l'apport principal des éléments nutritifs dans de tels contextes (Goubet, 2010a).

Les tourbières ombrotophes se rencontrent dans n'importe quelle situation géologique ou géomorphologique : col, sommet, versants, fond de vallon, bord de rivière, etc. Dans certaines conditions climatiques, elles nappent les reliefs comme une couverture (blanket bogs ou tourbières de couverture) (Lindsay *et al.*, 2010).

On peut dissocier deux grands types de communautés dans les tourbières ombrotrophes : celles qui constituent la force motrice de la turfigenèse et celles qui y trouvent des conditions qui leurs sont favorables, sans pour autant contribuer à construire la tourbière, ni même à la maintenir. On peut ainsi définir des ingénieurs et des opportunistes, à l'échelle des plantes et à celle des communautés végétales (Goubet *et al.*, 2004).

Les sphaignes rouges et marron, la linaigrette engainante et les éricacées (canneberges, andromède, callune et bruyère à 4 angles) sont les ingénieures, pour la grande majorité des tourbes (Goubet *et al.*, 2006). Les opportunistes ne sont pas des spécialistes exclusives des tourbières ombrotrophes et correspondent le plus souvent à des plantes des tremblants comme la scheuchzérie, le rhynchospore, des carex, des sphaignes vertes; des landes comme les myrtilles, certaines mousses pleurocarpes; ou des prairies comme la molinie.

La liste des opportunistes est beaucoup plus longue que celle des ingénieurs. Au regard du contenu des tourbes de tourbières ombrotrophes de France, les ingénieurs sont *Sphagnum magellanicum*, *S. rubellum*, *S. fuscum* (rare), *S. austinii* (1 tourbière), *Vaccinium oxycoccos*, *Andromeda polifolia*, *Erica tetralix*, *Calluna vulgaris* (rare) et *Eriophorum vaginatum*. De manière exceptionnelle, *Sphagnum angustifolium*, *Dicranum bergeri* et *Polytrichum strictum* sont rencontrés dans ces tourbes.

La composition des tourbes (absence des plantes non ingénieures, inexistence de lits et d'horizons ne contenant pas les ingénieurs) laissent présumer de l'inexistence des mosaïques fréquemment observées aujourd'hui en France ou dans les tourbières du nord de l'Europe. La tourbière ombrotrophe originelle du Cézallier est un système homogène, hébergeant une petite dizaine de plantes et largement dominé par une : *Sphagnum magellanicum*.



Figure II-7A-2: *Spahgnum magellanicum* au Jolan.



Figure II-7A-1: *Vaccinium oxycoccos* au Jolan.

Les communautés d'opportunistes profitent le plus souvent de perturbations anthropiques comme le piétinement, le brûlis, l'extraction de tourbe ou la mise en eau de secteurs localisés.

De manière générale, dans une tourbière peu anthropisée, la turfigenèse s'appuie sur la croissance verticale des sphaignes et de la linaigrette engainante, théoriquement indéfinie (Goubet *et al.*, 2004 ; 2006). La canneberge ou l'andromède accompagnent la croissance des sphaignes à travers l'extension de rameaux ligneux souterrains ou rampants. Les écoulements sont majoritairement descendants, les flux ascendant étant liés uniquement à l'évaporation ou l'évapotranspiration, qui reste très limitée si la couverture de linaigrette engainante est restreinte. On peut considérer la logique hydrologique comme basée sur un principe de conservation des eaux de pluie, avec un écoulement très lent dans la tourbe, certains proposant même le concept d'eau fossile ou d'aquitard, comme pour les argiles (Wastiaux, 2008). L'eau qui ne pénètre pas rapidement dans la zone non saturée du sol, autrement dit les «excès» d'eau, sont suivant la topographie évacués en surface ou « conservés » dans les zones les plus basses, entre les buttes ou les replats (Wastiaux, 2008). La tourbe s'accumule ainsi en formant un substrat imperméable, seuls les quelques centimètres de sphaignes vivantes formant un compartiment de stockage et déstockage des eaux en fonction de la fréquence des précipitations. Cette structure est nommée diplotelmique (à deux couches), avec une couche inférieure peu perméable (le catotelme) et une couche supérieure (acrotelme) à nappe fluctuante pour peu que les précipitations ne soient pas trop constantes (Lindsay *et al.*, 2010), car dans le cas contraire le niveau d'eau est stable. Le piétinement, par exemple celui induit par le pâturage, altère cette logique diplotelmique et provoque la mise en place d'un horizon densifié, compact, probablement peu perméable, qui isole le catotelme de l'atmosphère. Cet horizon est nommé kultureller Trockenhorizont (KTH). Une couche de tourbe ou de mousses nouvelles peut se déposer ensuite sur cet horizon et constituer alors une série triplotelmique : acrotelme, KTH, catotelme. La connexion fonctionnelle entre acrotelme et catotelme n'est plus effective.

En France, dans la plupart des cas, la production de tourbe ombrotrophe apparait régulière et non interrompue ; les restes de plantes sont presque intacts. Les communautés turfigènes ne montrent donc aucun changement si ce n'est l'arrivée ponctuelle d'une linaigrette engainante dans un univers de sphaignes. Dans de rares cas, la tourbe de haut-marais montre des alternances régulières en épaisseur entre des lits épais à *Sphagnum magellanicum*, de tourbe peu dégradée, et des lits fins à débris d'éricacées et de *Sphagnum fuscum*, compacts. Il pourrait s'agir d'un signal climatique, mais



nous n'avons jamais étudié dans le détail de tels profils.

La régularité de la composition et de la structure des tourbes de tourbières ombrotrophes, sur des épaisseurs jusqu'à plusieurs mètres, laisse présumer d'une certaine stabilité de ce type de tourbières dans le passé ; cela au cours de longues périodes de temps, de climats probablement différents. Cependant, nous ne possédons que trop peu d'informations sur la chronologie des dépôts et des variations climatiques pour affirmer quoi que ce soit.

De toute façon, pour le Cézallier et ses marges, ces tourbières relèvent d'un passé révolu, car elles ont été fortement perturbées et nous n'en connaissons pas d'équivalents actuels. Les communautés végétales qui s'approchent le plus de celles à l'origine des tourbes ombrotrophes sont le plus souvent cantonnées à d'anciennes fosses de tourbage, de surface réduite à quelques centaines de mètres au plus, dans un cadre fonctionnel bien différent de ce qu'il fut dans le passé.

Les tourbières ombrotrophes du plateau sont aujourd'hui, en grande majorité, composées de mosaïques dont la composante turfigène est principalement constituée de linaigrette engainante et de buttes à *Sphagnum capillifolium* (Goubet *et al.*, 2004). Dans le Massif central, la présence de *Sphagnum magellanicum* est rare si on la compare à la nature de la tourbe sous-jacente. *Sphagnum rubellum* et *S. capillifolium* sont présents en petites quantités. *Sphagnum fuscum* ne représente plus aujourd'hui que quelques buttes isolées dans quelques complexes tourbeux du Cézallier et de ses marges, comme au Paillaret, il est pourtant à l'origine de dépôt tourbeux de plusieurs mètres d'épaisseur comme à la Pave près du lac de Bourdouze (Goubet, 2013d).

Ceci-dit, pour s'affranchir au maximum de cette contrainte d'instabilité récente, il est possible de travailler non pas à l'échelle de la tourbière dans son ensemble, résultante de nombreux processus écologiques dans un cadre temporel long, mais de se concentrer sur certaines de ses composantes clés, comme la butte à sphaignes, ou le replat à sphaignes. On peut ainsi considérer que la butte à sphaignes du temps des celtes, établie sur 2 m de tourbe de tourbière haute, fonctionne de la même manière que celle d'aujourd'hui, assise sur un sol tourbeux altéré par des siècles de pâturage. De la même manière, on peut imaginer que la butte à sphaignes du nord de l'Europe fonctionne de la même façon que celle du Cézallier, même si les tourbières qui les hébergent sont, elles, très différentes.



Figure II-A1: aspect typique d'une tourbière ombrotrophe sur KTH du plateau. Les anciens fronts de taille des fosses de tourbage sont visibles à gauche. Bois de la Masse, grand complexe du sud (RNN Chastreix-Sancy).



Figure II-A2: mousses communes des tourbières ombrotrophes: *Sphagnum magellanicum, S. angustifolium, Polytrichum strictum et Aulacomnium palustre* (RNR du Jolan et de la Gazelle)

II.7.B - Les tourbières d'émergence

La notion d'émergence s'applique aux lieux où des nappes d'eau contenues dans des roches superficielles ou profondes sont en contact avec l'atmosphère. On distingue : des émergences concentrées, les sources du langage commun, qui génèrent un écoulement concentré dès l'arrivée à l'air. Il s'agit soit d'un trou entre des rochers, sous un rocher ou au point bas d'une faille ; et des émergences diffuses, plus difficiles à appréhender car elles sont le plus souvent couvertes de tourbe ou d'une végétation de marais ou tourbière.

Les tourbières d'émergence sont alimentées par les nappes. L'eau des nappes est généralement pauvre en phosphore, mais n'en est pas dénuée. De ce fait, les eaux qui émergent permettent l'existence de communautés végétales oligotrophiles à mésotrophiles, acidiphiles ou basiphiles. La présence de carbonates de calcium dans l'eau provoque à l'émergence des processus de séquestration du phosphore qui induisent une oligotrophie marquée.

Les processus d'émergence s'organisent entre un pôle «concentré», autour d'une source ponctuelle de quelques décimètres carrés de surface, et un pôle « diffus » de plusieurs hectares ou plus. Au sein d'un même complexe, il existe le plus souvent des secteurs de concentration relative, généralement à l'amont des systèmes sur versant, ou n'importe où dans la zone humide lorsque le complexe est peu pentu. Souvent, les points d'émergence concentrée sont des mares, portant des noms régionaux spécifiques comme les plons de Picardie, ou des tremblants, lorsque ces mares ont été colonisées par de la végétation spécialisée. Une forme « semi-concentrée » permet l'expression de tremblants de surface importante, parfois même en pente.

L'écoulement est principalement ascendant, de « l'émergence » minérale, au contact de la roche et du dépôt tourbeux, vers la surface de la tourbe. Le moteur de l'écoulement est une pression appliquée à l'eau, qui la fait remonter comme lorsqu'on remplit un des vases d'un système à deux vases communicants et que le niveau de l'autre augmente. Dans le cas des tourbières, le système communicant est déséquilibré car l'écoulement de sortie est régulé par un filtre, souvent une formation superficielle comme des colluvions, des alluvions ou des dépôts morainiques. L'écoulement est donc lent mais durable dans le temps. La recharge de la nappe est suffisamment régulière pour que la pression maintienne un écoulement sur une grande partie de l'année, et même l'année entière dans la phase de construction du massif de tourbe. Le processus de turfigenèse s'appuie sur ce principe de percolation verticale ascendante. Le dépôt de tourbe annuel ajoute un peu d'altitude, allonge le parcours de l'eau, mais il reste possible tant que la pression est suffisante. La nature de l'eau, issue d'une nappe géologique, permet la mise en place de végétations relativement exigeantes en nutriments comme des roselières boisées de manière éparse ou des cariçaies boisées ou non.

La tourbe des tourbières d'émergence est bien différente de celle des autres tourbières : il s'agit d'une litière « fossilisée » par l'enfouissement. Elle est composée d'une part de microagrégats issus d'une activité organique de litière et d'une autre part de racines et de radicelles de graminoïdes : graminées et cypéracées. Des rhizomes de roseau (*Phragmites australis*) et des racines d'aulnes, de bouleaux et de saules sont le plus souvent présentes également. La turfigenèse s'appuie sur une boucle de rétroaction positive qui met en jeu l'engorgement, la litière et les racines dans un cadre de forte production de biomasse annuelle, suivi d'un accroissement important de nécromasse. Ainsi, les parties aériennes produites au printemps viennent constituer une litière à l'automne, cette litière est ensuite envahie par les racines de la plantes, le tout dans un cadre de saturation hydrique quasi permanent. Seules des plantes rhizomateuses et supportant des engorgements permanents sont susceptibles de produire de telles tourbes. Bien-sûr, l'engorgement permanent est imposé par la nature de l'émergence, régulière et surtout pérenne tout au long de l'année. Les ligneux ne sont pas totalement exclus de la tourbière, ils participent à la turfigenèse dans une certaine proportion, probablement faible. En effet, si on compare les quelques restes de racines présentes sur des épaisseurs de plusieurs mètres de tourbe, représentant des durées de production de plusieurs

millénaires, les arbres ne doivent représenter que quelques individus à l'hectare. On imagine aussi que la présence conséquente des arbres aurait pour effet de limiter ou d'inhiber la turfigenèse, ce qui mènerait tout simplement à la disparition de la tourbière. Il s'agit d'une boucle de rétroaction négative qui rend la création d'une tourbe riche en bois impossible, sauf sous forme d'horizons peu épais, ce qui ne se rencontrent qu'exceptionnellement.

La composition floristique des communautés à l'origine de ces tourbes n'est pas précisément connue. Les tourbes à roseau (*Phragmites australis*)(figure II-7-B1) contiennent des restes de cypéracées, possiblement de la linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*), probablement de la laîche rostrée (*Carex rostrata*), de la prêle des bourbiers (*Equisetum fluviatile*), de la laîche blanchâtre (*Carex curta*). Les mousses sont présentes le plus souvent en lits individualisés, les plus fréquentes sont *Meesia triquetra*, *M. longiseta*, *Warnstorfia exannulata*, *Scorpidium scorpioides* et quelques sphaignes. Ce type de communauté semble peu présent aujourd'hui.

II.7.C - Les tourbières de concentration des eaux de surface

Le dernier grand type de tourbière correspond à celles qui sont alimentées par les eaux de surface, là où elles se concentrent. C'est le cas pour les lacs ou les étangs. La charge minérale ou trophique des eaux de surface est très variable, suivant le contexte géologique et les usages dans le bassin versant, les tourbières de concentration des eaux de surface montrent donc un large spectre trophique et minéral, mais elles sont rarement oligotrophes et acides, et de moins en moins oligotrophes à cause des changements de pratiques agricoles. Le cas typique d'une tourbière de concentration acide et oligotrophe est celui des petits lacs dans les régions gréseuses ou sableuses à couvert forestier.

La tourbière de concentration des eaux de surface la plus typique est celle qui s'installe sur un lac, dans un étang ou dans une mare. Il est aussi possible que ce type de milieux tourbeux s'installe au fond de vallons plats, mais nous n'en connaissons pas d'exemples. De plus, dès qu'une petite pente est présente, l'eau tend à se concentrer, ce qui assèche le système et intensifie l'érosion, rendant la tenue de la turfigenèse difficile. La présence de tourbières en fond de vallon plat est surtout induite par des processus d'émergence. Cependant, ce type de tourbière est connu dans les grandes plaines de basse altitude du nord de l'Europe.

Les communautés végétales typiques de ce type de tourbières sont des bas-marais « tremblants », qui constituent une couche de matière organique qui flotte sur l'eau. Ce matelas



Figure II-7-B1: phragmitaie à la Plaine Jacquot (a). Macrorestes de *Phragmites australis* (b) et d'*Equisetum fluviatile* (c) du site de Bourdouze est.

flottant est souvent formé en premier lieu par des plantes spécialisées dans la colonisation de l'eau libre. Les plus communes de ces plantes sont la prêle des bourbiers (*Equisetum fluviatile*), le trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*) et le comaret (*Comarum palustre*). De nombreux carex sont également capables de coloniser l'eau libre (*Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*), mais le plus souvent en synergie avec ces trois espèces ou avec des mousses flottantes (*Sphagnum* spp., *Scorpidium scorpioides*, *Warnstorfia* spp., etc.). Une fois stabilisé, le tremblant devient le substrat de nombreuses autres plantes de tourbières qui s'associent suivant un gradient nutritionnel. Les arbres (saules, bouleaux, aulnes) colonisent fréquemment les tremblants pourvu que l'eau de surface qui se concentre soit suffisamment riche en azote et phosphore. Dans certaines circonstances, une tourbière ombrotrophe se met en place sur le tremblant.

La turfigenèse des tremblants s'appuie sur la conservation du sol qui s'enfonce dans l'eau au fur et à mesure que les végétaux construisent leur biomasse et la nécromasse subséquente. Le temps que le tremblant prenne de la masse et de l'épaisseur, le niveau d'eau reste constant car le sol accompagne les variations des niveaux d'eau, comme un flotteur. Les variations sont de ce fait amorties. L'eau libre sous-tremblant tend à diminuer par épaississement du tremblant et par la formation d'un dépôt de fond édifié par les fragments organiques qui se décrochent du tremblant. Le contenu des tourbes correspond aux végétaux caractéristiques des tremblants, en particulier le comaret, le ményanthe, la laîche rostrée, la laîche blanchâtre et les mousses citées antérieurement. La matière organique est généralement peu ou pas dégradée, comme pour les tourbières ombrotrophes.

Le fonctionnement en tremblant n'est pas exclusif des tourbières de concentration des eaux de surface. Les tremblants se tiennent aussi sur des émergences et en tourbières ombrotrophes.

II.7.D - Les tourbières ennoyées-décollées

L'être humain a modifié de nombreuses tourbières en construisant des barrages sur de petits cours d'eau qui drainaient de petits vallons, provoquant un ennoiement. Cette mise en eau provoque des processus spécifiques de plusieurs ordres, à l'échelle de la pièce d'eau, d'une part, et à celle des tourbières noyées, d'autre part.

Deux conséquences majeures seront mentionnées: le décollement de la tourbe et la mise en disponibilité des nutriments.

Le décollement de la tourbe suite à la mise en eau est un phénomène courant et bien connu. Il est probable que cela ait un lien avec la production de gaz par décomposition de la matière organique. Une fois que le volume de gaz passe un seuil donné, la tourbe se détache à un endroit et remonte à la surface.

Les conséquences de l'ennoiement ont été décrites avec précision au lac des Bordes à Compains. Sur la base de ce travail, on peut indiquer que le décollement ne se réalise pas de manière uniforme sur le complexe tourbeux mais que cela dépend de l'épaisseur de la tourbe. En dessous de 2 m, il ne se réalise pas, mais d'autres paramètres inconnus peuvent limiter le décollement, voire produire une forme de dilatation de la tourbe sans pour autant provoquer une rupture permettant sa mise en flottaison. Au lac des Bordes, ceci induit l'existence d'une masse tourbeuse inondée en hiver et à nu l'été. La mise en flottation permet la création d'îlots libres, parcourant la pièce d'eau au grès du vent. Au lac des Bordes, des îlots sont encore libres, d'autres se sont fixés aux bords (échouage?), mais le gros de la masse tourbeuse décollées n'est pas mobile, probablement parce qu'elle est coincée dans le culot minéral dans laquelle elle s'est formée.

Les conséquences de la mise en eau ne s'arrêtent pas au décollement: l'ennoiement ou les cycles de vidange entraînent aussi des processus d'enrichissement trophique.

Ré-humecter une tourbière drainée ne garantit pas la remise en place



Figure II-7C-1 tremblant de Lac d'en Bas, La Godivelle.

des communautés végétales présentes avant le drainage. L'expérience montre que dans de nombreux cas la «restauration» hydraulique entraine une eutrophisation importante qui empêche la mise en place d'une logique de turfigénèse. En effet, un système trop riche en nutriments se caractérise souvent par un recyclage efficace de la matière organique, et donc par l'absence de tourbe.

Les nombreux constats d'échec de restauration ont induit des recherches spécifiques qui ont permis de comprendre les processus en jeu. Les bénéfices sont importants dans le cadre des projets de restauration hydraulique, bien-sûr, mais aussi dans le cadre plus général du fonctionnement des milieux tourbeux.

Les facteurs clés mis en évidence par ces recherches sont le phosphore et l'azote, en lien avec leurs propriétés de séquestration et de mise à disponibilité suivant les conditions du milieu, en particulier la présence de fer réduit ou oxydé pour le phosphore. Les processus sont complexes et font intervenir d'autres éléments (fer, soufre, carbone) et les micro-organismes.

L'intensité de l'enrichissement en nutriments dépend de plusieurs facteurs. Le premier facteur est le stock de nutriments dans la tourbe et son degré d'altération, ou plus précisément sa structure pédologique. Le taux de fer est aussi un facteur déterminant: plus il est élevé, plus la chance est élevée que le taux de phosphore soit important.

Le fait d'ennoyer une tourbe qui a été drainée ou piétinée est un facteur qui augmente la possibilité d'avoir une mise à disposition des nutriments particulièrement importante. Pour les tourbières qui sont en contact avec une masse d'eau d'un étang, le fait de répéter des cycles d'ennoiement et d'assec sous la forme de vidange est un autre facteur d'amplification de la disponibilité en nutriments.

Les tourbières de montagne en contexte volcanique sont particulièrement riches en fer et en phosphore, en lien avec les sols spécifiques qui couvrent leur bassin versant (andosols).

Les tourbières du Cézallier et ses marges (Monts-Dore et mont du Cantal) sont donc très réactives du point de



Figure II-7-D1: une des tourbières de Chandroux est un exemple de tourbière ennoyée et décollée.



Figure II-7-D2: la tourbière des chastelets, tourbière ré-humectée.

vue nutritionnel à la mise en eau.

Par exemple, au Jolan (Ségur-les-Villas, Cantal) (figure II-7-D3) ou à Chandroux (Vernols, Cantal)(figure II-7-D4), les tremblants mis en place à la suite de la mise en eau d'étang sont largement colonisés par des plantes indiquant de forts taux de nutriments à travers des typhaies (formations végétales à massette (*Typha latifolia*)) ou des saulaies.

Logiquement, puisque l'eutrophisation dépend en partie du stock de phosphore dans le sol avant l'ennoiement, les tourbières hautes sont relativement épargnées d'un enrichissement trophique post-ennoiement. Cela se perçoit sur le terrain et à l'analyse pédologique (détermination des tourbes), comme au lac de Bourdouze à Compains (Puy-de-Dôme).

II.7.E - Les tourbières ré-humectées

De nombreux milieux humides ont fait l'objet de travaux hydrauliques. Les tourbières de dépressions topographiques fermées, d'origine lacustre ou palustre, ont souvent été drainées à travers un surcreusement de leur exutoire. Ces travaux sont parfois très localisés, légers, et ont été associés au pâturage et à la fauche. Tant que l'activité pastorale avait lieu, l'entretien des exutoires permettait un maintien des conditions d'engorgement favorables au pastoralisme, mais l'abandon de ces milieux peu productifs a dans la plupart des cas entraîné un bouchage des exutoires et une hausse du niveau d'eau.

Cette hausse de niveau ne correspond pas à une remise en place des conditions initiales, car les sols drainés ont été modifiés par le piétinement et les processus pédologiques de dégradation de la tourbe drainée-piétinée. Même le niveau du sol a pu évoluer, avec un tassement de plusieurs décimètres. Dans de nombreux cas, le niveau d'eau correspondant au rééquilibrage post-pastoral est donc supérieur au niveau du sol, et induit une forme relativement inédite de milieu que nous nommons «pseudo-tremblant». Il s'agit de sols tourbeux à inondation temporaire et engorgement permanent, constitué d'entrelacs de systèmes racinaires et de touradons plus ou moins



Figure II-7-D3: tremblants du Jolan.



Figure II-7-D4: tremblants de Chandroux.

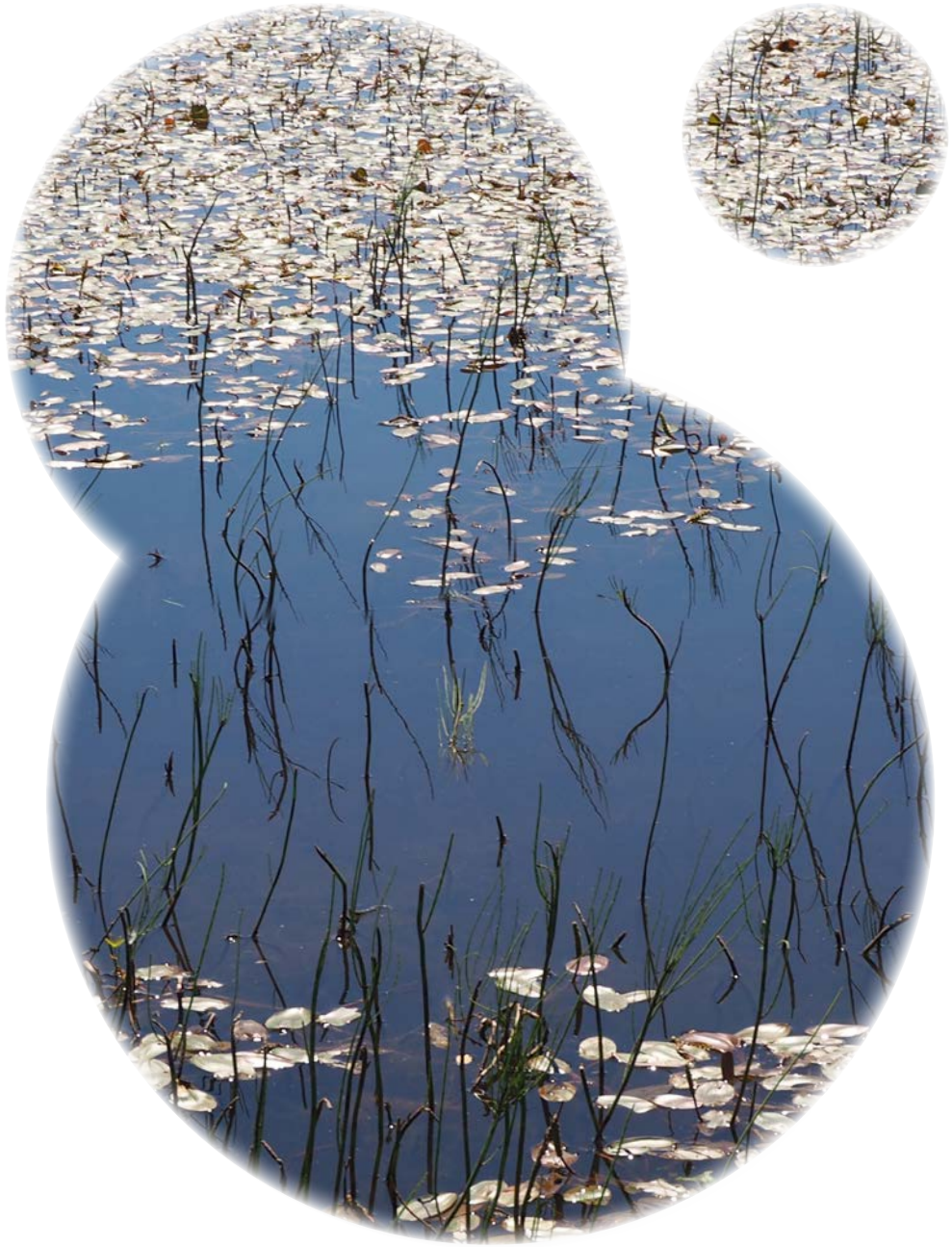
cohérents, qui se dilatent lors des hautes eaux mais qui ne flottent pas. L'accompagnement des variations des niveaux d'eau n'est donc pas parfait comme cela est le cas des tremblants.

L'analyse pédologique des secteurs de pseudo-tremblant met en évidence une structure assez constante avec: (1) un horizon de surface caractérisé par une tourbe fibrique lâche, non prélevée par le carottier, peu porteuse; (2) un KTH détendu en surface, formant ainsi une boue riche en racines actuelles. Ce profil type est celui qui est caractérisé entre les touradons, il est à replacer dans un contexte de mosaïque dans laquelle il forme la matrice. Au niveau des tâches de cette mosaïque, les touradons, le profil est celui d'une tourbe fibrique de «souche» de graminée ou de cypéracée directement ancrée dans le KTH.

Les pseudo-tremblants les plus fréquents sont constitués d'un fond de molinie issu d'une moliniaie post-pastorale classique, ancrée dans le KTH, en mélange avec *Carex rostrata* et *Carex lasiocarpa* qui tous deux se mettent en place une fois le niveau d'eau rehaussé. Il s'agit d'un processus en deux temps, car le bouchage du système de drainage n'est pas immédiatement réalisé à l'arrêt du pâturage. La moliniaie prend une forme monopoliste à l'arrêt du piétinement. Ce schéma est celui proposé pour une grande partie du complexe des Chastelets à La Godivelle et d'une des auréoles du complexe de Rimat à Chastreix (Puy-de-Dôme). Il est à adapter au contexte trophique des tourbières, avec la mise en place de systèmes plus oligotrophes à sphaignes et rhynchospore dans des secteurs de tête de bassin gréseux comme sur la crête séparant la Haute-Saône des Vosges.

Ce modèle est à adapter aux tourbières qui ont fait l'objet d'un barrage volontaire comme celle de Brujaleine sur le plateau de Chastel-sur-Murat (Cantal) ou celle du lac de Bourdouze (Compains, Puy-de-Dôme). Dans ce cas, la moliniaie n'est pas présente et ce sont les carex qui jouent son rôle d'ancrage, les entre-buttes étant libres.

Le processus de ré-humection par abandon se réalise pour d'autres systèmes que des prairies. Il est aussi à considérer dans d'anciennes mosaïques de tourbière haute sur KTH à fosses comme à Chandroux (Vernols, Cantal), à La Taphanel (Riom-ès-Montagne), et sous une forme «accélérée» par endiguement à Lapsou, sur le plateau de Chastel-sur-Murat. La réponse de ces systèmes à la hausse du niveau d'eau dépend du contexte trophique intrinsèque (nature de la tourbe) et périphérique. Il arrive que la mise en eau induise une bascule trophique, faisant passer un système oligotrophe ombrotrophe vers un système mésotrophe de concentration des eaux de surface.



II.7.F - Les tourbières pâturées

II.7.F.a. Notion de système pastoral et système post-pastoral

Parmi les facteurs déterminants de l'état des tourbières, le pastoralisme constitue un des pôles majeurs. La contrainte appliquée agit directement sur le système, à travers le piétinement, l'abroutissement et l'exportation des nutriments, mais elle agit aussi à long terme en modifiant la structure du sol. Cette modification n'est pas réversible à court terme, comme ne l'est pas non plus la reconstitution du stock de nutriments disponibles. On peut ainsi considérer un état pré-pastoral, un état pastoral, un état post-pastoral qui n'est pas l'équivalent d'un état pré-pastoral, à cause des héritages laissés par le pastoralisme (structure du sol et nutriments).

L'état pré-pastoral est déterminé par les trois grands types de tourbières évoqués ailleurs dans le document: tourbières ombrotrophes, tourbières d'émergence, tourbières de concentration des eaux de surface.

En contexte pastoral, sous l'effet du pâturage donc, les communautés peuvent soient s'adapter soit en perdant quelques espèces et en intégrant quelques autres, soit radicalement changer, en fonction de l'intensité de pâturage. En fait, il existe un gradient de «proximité» entre l'état pastoral et la tourbière originelle en fonction du temps et de l'intensité du pâturage. Il peut arriver que rien de l'origine de la tourbière ne puisse être perçu. De plus, le pastoralisme fait converger tous les types originaux vers quelques types uniques. Ces états de convergence n'ont pas fait l'objet de descriptions détaillées nombreuses, mais, parmi ceux-ci, la nardaie paucispécifique est un type fréquent, sur des tourbes acides, comme on peut s'y attendre, mais aussi neutres ou alcalines. La cariçaie à *Carex rostrata* est une autre forme de convergence, mais qui est causée par l'application d'un pâturage sur un écoulement concentré de surface. Ainsi, la convergence se réalise pendant le pâturage, à tel point que la tourbière n'est plus perceptible dans le paysage qu'à travers sa situation en fond de vallon et d'alvéole ou qu'à son relief sub-horizontal.

L'état post-pastoral peut lui aussi être un état de convergence, indépendant du type originel. Les causes sont liées à l'existence d'un horizon spécifique du sol, le KTH, et d'une oligotrophie induite par l'épuisement du stock nutritionnel de siècles de pâturage. Mais cette convergence s'atténue avec le temps. D'abord, si la contrainte de pâturage n'entretient pas le KTH, il semble se déstructurer sous l'action des bioturbations classiques, végétales ou animales. Ensuite, la remise en place d'une hétérogénéité initiale peut



Figure II-7-F1: la tourbière de Peyra, une tourbière pâturée qui montre de manière parfaite une zone mise en défens qui peut servir de cas d'analyse des conséquences du pâturage sur la structure floristique à structure pédologique et hydrologique constantes.

être d'autant plus rapide que les paramètres qui la déterminent sont bien exprimés. Par exemple, les ligneux hauts vont s'installer d'abord dans des secteurs d'apports trophiques, souvent des écoulements de surface ou des émergences.

II.7.F.b. Etats pastoraux et post-pastoraux dans le Cézallier, l'Artense et leurs marges

Sur le plateau du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges, de nombreuses tourbières sont actuellement pâturées, d'autres l'ont été dans des temps plus ou moins anciens. L'élaboration d'une typologie des unités écologiques déterminées par le pâturage direct ou son héritage a donc une grande valeur, en particulier si elle est construite de manière rationnelle, ce qui n'est pas si simple.

L'observation des communautés entre les deux côtés d'une clôture permet souvent d'analyser les différence de composition et de structure floristique. Les effets du temps depuis l'abandon pastoral sont plus difficiles à définir, d'autant que la notion d'abandon est toute relative vis-à-vis d'une contrainte qui peut varier en intensité pour s'estomper progressivement.

La typologie qui sera présentée ici (figure II-7-F2) constitue une proposition relativement empirique, à défaut de pouvoir utiliser des outils d'investigation satisfaisants.

Nous résumons les trois grands types fonctionnels primaires par quatre unités, dont la nature est principalement connue à travers les analyses des macrorestes. Pour les tourbières ombrotrophes, les unités écologiques se résument à des sphagnaies à *Sphagnum magellanicum*, plus rarement à *S. fuscum*, et *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium* aggr. *oxycoccos* etc. Les systèmes d'émergence pré-pastoraux sont le plus souvent des roselières à bouleau avec *Phragmites australis*, *Equisetum fluvitiatile*, *Carex rostrata*, *Betula* sp., *Meesia triquetra*, etc. Ce type de roselières se rencontre aussi dans les systèmes de concentration des eaux de surface, mais le bouleau y est remplacé par les saules. Les autres unités lacustres sont des tremblants de lac qui se compose de divers carex dont *Carex rostrata*, *C. canescens*, ainsi que de *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Scorpidium* sp., etc.

La mise en place du pastoralisme prend plusieurs aspects en fonction des conditions de maintien des écoulements ou de la pression du pâturage. Dans certaines circonstances, le pâturage induit une rupture des écoulements soit par imperméabilisation du sol (création d'un KTH étanche), qui prive la surface des flux ascendants, soit par création de dépressions périphériques au complexe qui prive la surface des écoulements de surface diffus ou concentrés. Le système minérotrophe à l'origine devient ainsi ombrotrophe. Il faut noter que cette ombrotrophisation peut également résulter d'un défaut d'alimentation générale (baisse des flux à l'échelle du bassin versant) faisant un effet d'assèchement généralisé, favorable aux communautés ombrotrophes.

Les systèmes pâturés ombrotrophes, qu'ils soient d'origine ombrotrophes ou non, s'organisent en fonction de l'intensité pastorale. La nature ombrotrophe reste de mise et les sphaignes rouges se maintiennent souvent, accompagnées par la callune, ou du jonc rude et du nard dans les cas un peu plus intenses. Si la pression pastorale augmente encore, le nard devient dominant, et si la tourbe est mise à nu, le trichophore prend de l'ampleur. Un ensemble d'unités d'érosion accompagnent les communautés à sphaignes, nard ou trichophore. Elles se composent de *Carex nigra*, *C. panicea*, *C. demissa*, *Eriophorum angustifolium*, etc. Ces espèces apprécient en particulier les dépressions et la tourbe nue.

Les systèmes d'émergence pâturés présentent le plus souvent des jonçaies acutiflores, plus rarement des cariçaies diversifiées caractérisées par la présence de mousses basophiles, typiques des bas-marais alcalins comme ceux du massif du Jura (*Tomentypnum nitens*, *Sphagnum warnstorfia*, *S. contortum*, *S. teres*, *Scorpidium* spp., *Fissidens adianthoides*, etc.). C'est ici la nature de l'eau qui fait la différence. L'intensité de pâturage s'exprime aussi et a pour conséquence la forte représentation de différents taxons dont les logiques sont encore obscures.

Les unités pastorales dérivant de systèmes de concentration des eaux de surface sont relativement rares, ou encore peu connues. Une partie d'entre elles ne sont pas pâturées, car il s'agit de tremblants, instables, dangereux pour le bétail. Une autre partie des tourbières de concentration des eaux de surfaces ont été remplacées par des tourbières ombrotrophes, avant la mise en place du pâturage, elles sont donc dans le cadre fonctionnel de ces dernières. Pour une troisième partie d'entre elles, il est difficile de déterminer si elles correspondent vraiment à

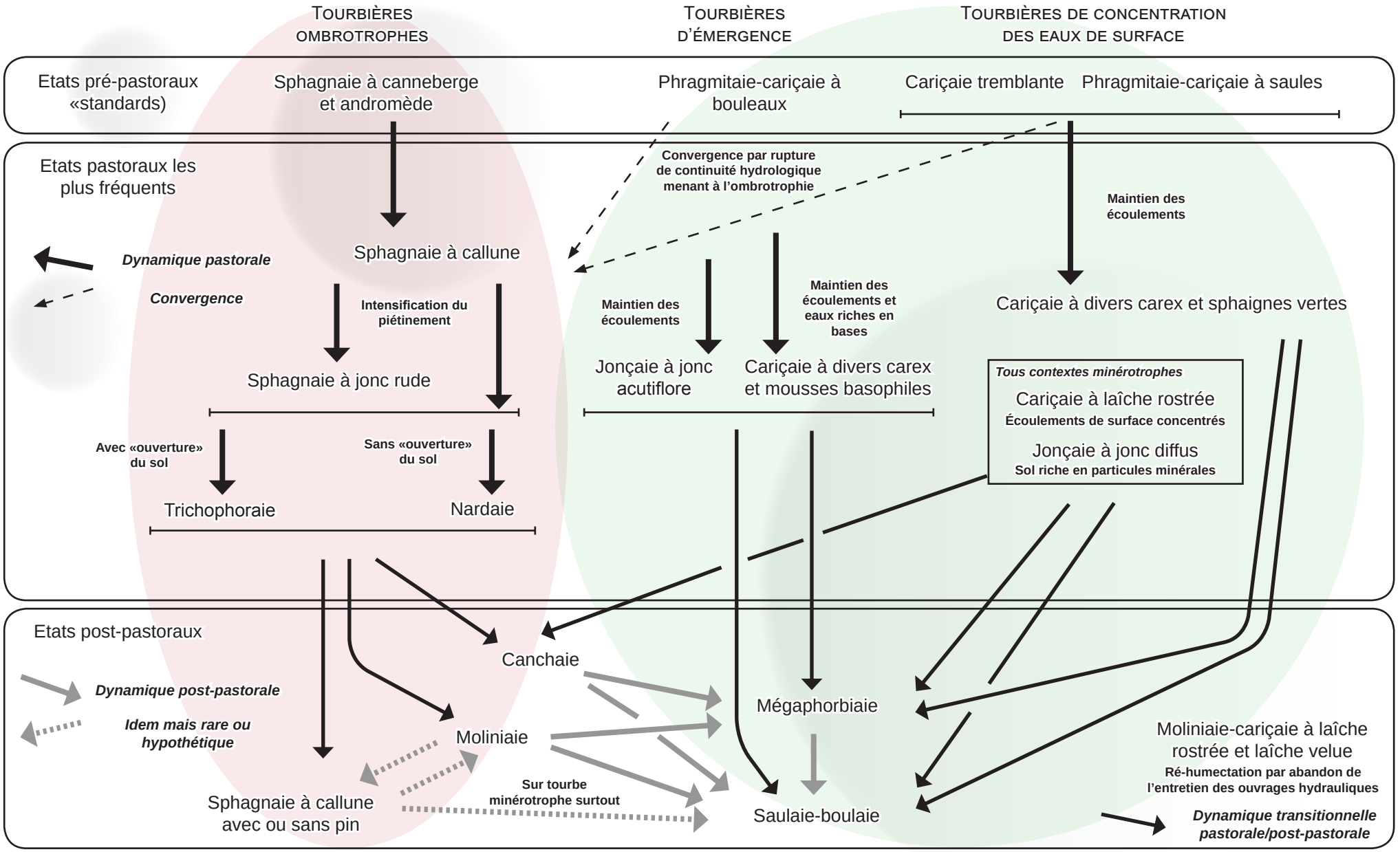


Figure II-7-F2: modèle d'états des tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges dans un cadre pastoral.

des entités de concentration des eaux de surface ou à des systèmes d'émergence; il faut des données hydrologiques pour cela. Ceci-dit, il semble que les tourbières de concentration des eaux de surface pâturées sont majoritairement des cariçaies diversifiées.

Indépendamment des types d'origine, les secteurs d'écoulements plus ou moins concentrés sont occupés par des cariçaies à *Carex rostrata.* Les marges organo-minérales des tourbières sont souvent parsemées de jonçaies à *Juncus effusus*, comme le sont les bords de ruisselets au sol riche en matière organique.

L'arrêt du pastoralisme entraine d'une part des effets directs immédiats d'abroutissement/piétinement et des effets indirects, de long terme, de rééquilibrage trophique, soit autochtones (mise en disponibilité de nutriments présents dans le sol mais indisponibles), soit allochtones, issus d'apports du bassin versant et de ce fait fortement dépendants des écoulements de surface.

A travers sa stratégie adaptative, la molinie est une plante particulièrement performante dès que le pâturage s'estompe. Elle est présente de manière diffuse dans les cariçaies et les jonçaies, mais elle y est contrainte par le pâturage. Elle est présente également dans les communautés de tourbières hautes mais là, elle est contrainte aussi par la rareté nutritionnelle, surtout en phosphore. Lorsque le pâturage baisse d'intensité, dans des systèmes non ombrotrophes ou peu oligotrophes, la molinie capte le phosphore disponible du sol et le séquestre, privant ainsi les autres plantes. Le recouvrement de la molinie s'accroît fortement, ce qui a pour effet de rabattre la nappe (la molinie a une surface foliaire importante, évapotranspire fortement, jusqu'à rabattre une nappe de 2-3 cm par jour jusqu'à 60-70 cm de profondeur). Les plantes peu exigeantes en nutriments et exigeantes en eau sont ainsi exclues. Enfin, la molinie va créer une litière couvre sol épaisse de plusieurs centimètres, peu dégradable et pauvre en nutriments. Le sol devient difficile à coloniser par les autres végétaux.

Une bonne partie des tourbières abandonnées par le pastoralisme vont donc être colonisées par la molinie, sauf pour les secteurs les plus oligotrophes, qui ne permettent pas à la molinie de trouver les ressources nécessaires à son extension, ou les secteurs relativement bien approvisionnés en nutriments, où les mégaphorbiaies vont prendre pied rapidement, suivis plus ou moins dans la foulée par des saulaies puis des saulaies-boulaies.

Dans le temps, le rééquilibrage trophique permet aux plantes de la mégaphorbiaie de s'installer, suivi par les saules. Le processus est d'autant plus rapide que les flux nutritionnels sont importants, qu'ils soient d'origine souterraine ou de surface.

Dans certains cas, les systèmes ombrotrophes à nard, jonc squarreux et sphaignes semblent restés dans un état riche en sphaignes et en callune. Il semble également que ces mêmes communautés dérivent de moliniaies, après un processus de sénescence de la molinie. Leur évolution vers des boulaies semble possible, en particulier pour celles qui dérivent de systèmes minérotrophes, celles situées sur des tourbes de bas-marais.

Les jonçaies à *Juncus effusus* peuvent laisser progressivement la place aux canchaies à *Deschampsia cespitosa*.

Enfin, dans les systèmes de concentration des eaux de surface où le pâturage a été accompagné par un drainage à l'exutoire, l'abandon pastoral s'accompagne d'une remontée progressive du niveau d'eau qui provoque une forme de mélange d'une moliniaie et de cariçaies à *Carex rostrata* et *C. lasiocarpa*.

Pour ce qui concerne les tourbières ombrotrophes, il existe souvent un écart important entre la composition floristique issue des analyses des macrorestes et celle actuellement en place. Cette différence s'exprime à travers la rareté de la sphaigne de Magellan dans l'actuel alors qu'elle constitue la tourbe. A l'inverse, on note la présence forte de *Sphagnum capillifolium* dans l'actuel, quasi absente dans les tourbes. La callune est aussi sur-représentée dans l'actuel, au détriment de l'andromède. Les secteurs qui semblent les plus proches des états pré-pastoraux sont certaines fosses de tourbage ou de grands drains comme ceux de la tourbière de la Barthe.

II.7.G - Les tourbières exploitées pour la tourbe

Le Cézallier, l'Artense et leurs marges sont occupés par de nombreuses tourbières ayant été exploitées en fosses familiales (dites aussi en tables de ferme). Quelle que soit leur origine, lacustre, d'émergence, ombrotrophe, la structure résultante est souvent la même, possiblement par la préexistence de forme de convergence induite par la présence d'un KHT. Cependant, si les tourbières exploitées en fosses familiales se ressemblent toutes, elles sont occupées par des communautés différentes suivant leur statut trophique, avec en général un pôle oligotrophe et un pôle méso-eutrophe.

Dans les deux cas, la topographie est particulière, avec des dépressions, les fosses, des replats, en majorité issus du sol initial, avant l'exploitation, et parfois des rehauts, issus des tas de tourbe superficielle décapée avant l'extraction.

L'eau libre des fosses est occupée par différentes communautés en fonction de la charge nutritionnelle importée ou déstockée (nutriments rendus disponible par un processus de dégradation de la matière organique de la tourbe).

Le contenu nutritionnel de la tourbe de tourbière haute à sphaignes étant faible, les fosses creusées dans ce type de tourbière sont particulièrement oligotrophes, voire dystrophes, et voient leur occupation se réaliser sur des temps particulièrement longs. Les fosses du centre du complexe de la Plaine-Jacquot à La Godivelle en sont un exemple typique, encore dénuées de végétation après des dizaines d'années.

Les fosses en eau de tourbière haute sont principalement colonisées par *Sphagnum cuspidatum*, *Warnstorfia fluitans* et *Eriophorum vaginatum*. Le cortège peut ensuite s'enrichir des autres espèces de tourbière haute comme les sphaignes rouges (*Sphagnum magellanicum*, *S. rubellum, S. capillifolium*), les éricacées (*Vaccinium* gr. *oxycoccos*, *Andromeda polifolia*, *Calluna vulgaris*), la molinie (*Molinia caerulea*).

La présence du trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*), des carex (*Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*), du comaret (*Comarum palustre*), de la prêle des bourbiers (*Equisetum fluviatile*), des saules (*Salix* spp.) indique une condition trophique différente, avec un stock ou des apports moyens. Dans ces conditions, les mousses présentes sont beaucoup plus diverses, avec des sphaignes comme *Sphagnum palustre*, *S. papillosum*, *S.* gr. *denticulatum*, *S. teres*, *Aulacomnium palustre*, etc.

Une richesse trophique plus élevée peut conduire à la colonisation des fosses par la massette, le roseau, l'épilobe obscure qui sont alors accompagnés de *Calliergonella cuspidata* ou, *Brachythecium* spp., entre autres.

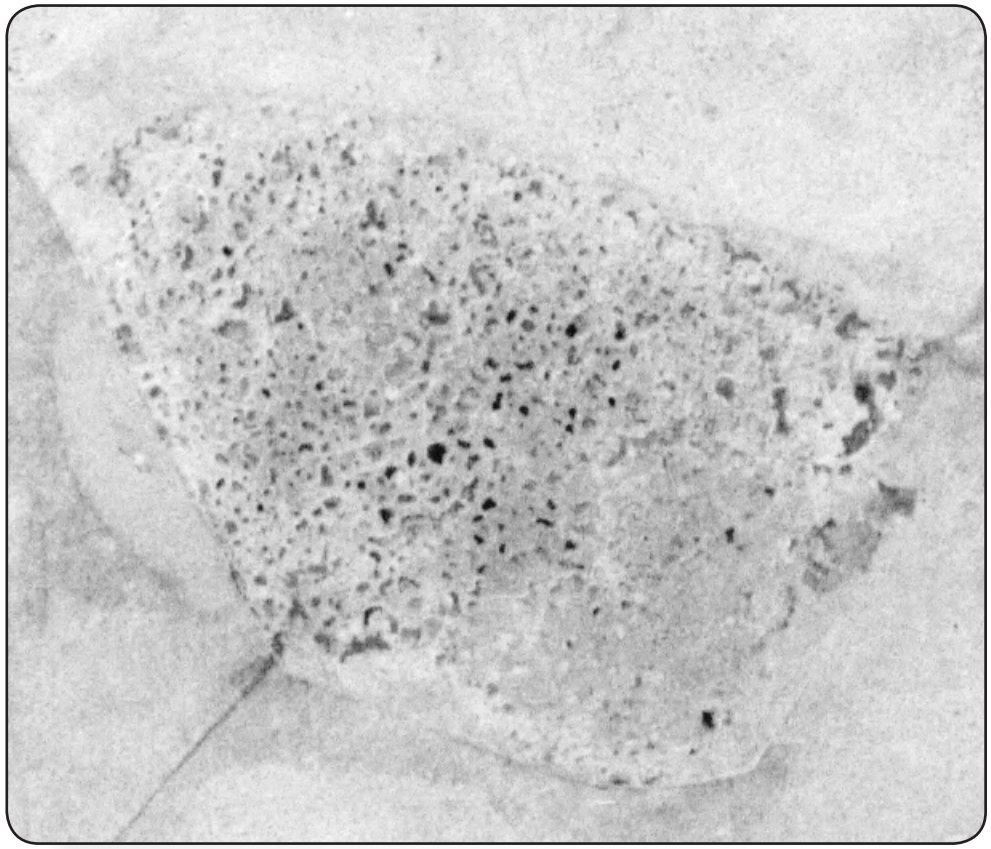


Figure II-7-G1: l'unité ouest de Chandroux et sa mosaïque de fosses, en 1963 (source IGN-remonter le temps)

Dans des cas exceptionnels, le creusement des fosses a mis en contact l'eau superficielle avec une émergence de nappe profonde à fort contenu minéral, ce qui permet l'expression de cortèges basophiles à *Scorpidium scorpioides*, *Meesia triquetra*, etc.

Les fosses ne constituent qu'une part variable de la mosaïque (figures II-7-G1 et II-7-G2), le reste correspond aux replats et rehauts. La densité de fosses est variable, elle peut être «extrême» lorsque les fosses ne sont séparées que de quelques décimètres de tourbe relictuelle, comme pour l'unité ouest de Chandroux ou les secteurs nord-ouest du Jolan. Elle est parfois lâche, ou constitue une trame irrégulière de secteurs denses et d'autres lâches.

Le MNT à 50 cm du PNRVA-CRAIG de 2018 aux Chastelets (figure II-7-G2) montre l'hétérogénéité microtopographique d'une mosaïque de fosses qui illustre bien la trilogie: fosses (en bleu), rehauts (en rouge et jaune) et replats (en vert).

Les rehauts sont souvent occupés par des espèces de tourbes sèches: callune (*Calluna vulgaris*), molinie (*Molinia caerulea*), myrtille des bois et des marais (*Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*), canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*), cladonies (*Cladonia* spp.). C'est aussi le lieu de prédilection de la mousse exotique *Campylium intro-flexus*.

Les replats constituent probablement l'état de la tourbière telle qu'elle serait intégralement si elle n'avait pas été exploitée. Il s'agit des communautés typiques échelonnées sur le spectre habituel de la moliniaie aux communautés de tourbières hautes.

Contrairement à ce que les notions classiques le laissent présumer, ce n'est souvent pas le lieu de la colonisation ligneuse, car les arbustes et les arbres ont besoin de nutriments pour se développer. Les fosses, lieux le plus probable d'une bonne disponibilité nutritionnelle, sont les lieux privilégiés de la pousse des ligneux.



Figure II-7-G3: mosaïque de fosse des Chastelets (La Godivelle).

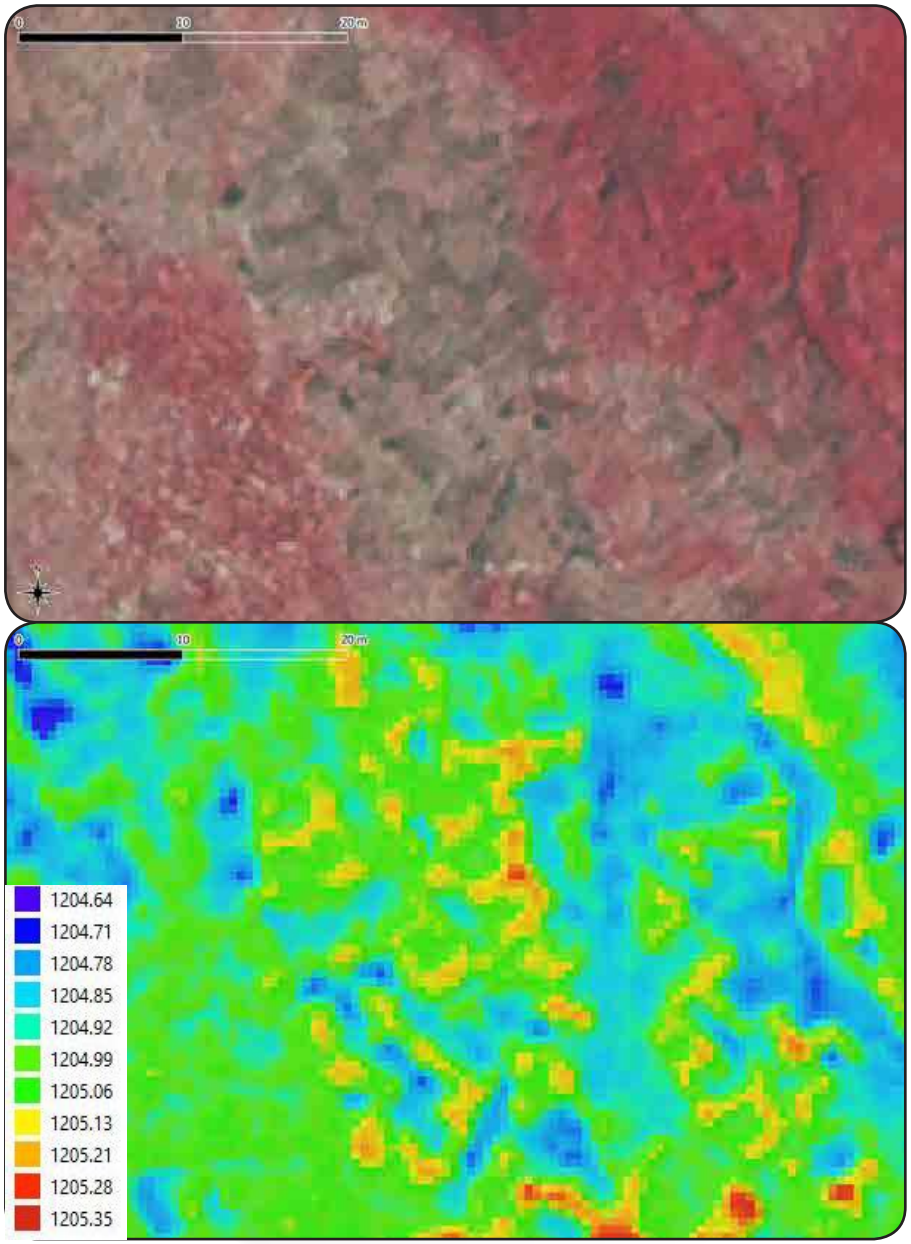


Figure II-7-G2: mosaïque de fosse de l'unité ouest des Chastelets (La Godivelle). Photo infrarouge de 2013, en haut, MNT à 50 cm du PNRVA-CRAIG, en bas. Altitudes en mètres.

II.8 - Quelques grandes questions de fonctionnement et de conservation des tourbières

La pratique montre que de grandes questions se posent aux gestionnaires de tourbières, de manière récurrente. Il s'agit par exemple de la manière dont il faut conduire le pâturage, ne pas le mettre place ou le faire cesser; la façon dont il faut considérer le boisement, l'arbre, en tourbière; ou encore l'avenir des tourbières face au changement climatique. La problématique du drainage est aussi évoquée là où les aménagements hydrauliques sont importants, ce qui est relativement peu le cas sur les tourbières du Cézallier et l'Artense qui apparaissent encore comme des tourbières. Trop rarement, dans des cas où la problématique est évidente, les logiques d'enrichissement trophique, d'eutrophisation, sont aussi mentionnées. Pourtant, ce sont elles qui régissent en grande partie les phénomènes liés au pâturage, à la colonisation ligneuse, aux effets du drainage ou des changements climatiques. Nous en présenterons les grands principes en préliminaires, à travers la problématique de l'enrichissement trophique.

II.8.A - L'eutrophisation

La sciences des tourbières d'aujourd'hui montrent que les logiques nutritionnelles sont transversales et primordiales dans la compréhension du fonctionnement des écosystèmes tourbeux, comme dans leur conservation. Mais elles restent encore peu considérées en termes de conservation.

La littérature montre sans ambiguïté l'importance du phosphore dans le déterminisme de l'oligotrophie, ainsi que celle de l'azote dans certains cas. Le potassium est rarement cité comme un nutriments déterminant.

L'élément le plus déterminant, le phosphore, est aussi celui qui suit le cycle le plus complexe, avec de multiples composés minéraux et organiques dont les proportions varient en fonction de nombreux paramètres, en particulier le fer, indirectement, le soufre, l'azote et le calcium.

Le phosphore est aussi l'élément sur lequel s'appuient les stratégies adaptatives de plantes de tourbières clés comme la molinie, la linaigrette engainante ou les ligneux. Le fonctionnement de certaines unités écologiques comme les moliniaies, les ériophoraies à linaigrette engainante, les saulaies ou les boulaies ne peut être compris qu'à travers une perspective nutritionnelle. La gestion de ces unités est ainsi une gestion du stock et du flux trophique, mais elles ne sont pas les seules dans ce cas.

D'ailleurs, il est simple de concevoir que la dualité entre les tourbières ombrotrophes et les tourbières minérotrophes découlent de processus trophiques.

Traiter le sujet de l'eutrophisation ou plus généralement des flux trophiques est difficile, tant il est vaste. Nous ne présenterons donc ici que quelques notions de base, de manière laconique.

L'eutrophisation est un processus d'enrichissement trophique généralisé, mais souvent contrôlé par un élément dit limitant. Ainsi, le vivant se construit avec divers éléments en proportion définie, dans une certaine fourchette. Le développement de la biomasse est limité par l'élément «le plus rare» en besoins. En tourbière, comme dans les milieux aquatiques continentaux, il s'agit le plus souvent du phosphore.

D'un point de vue du contrôle de l'eutrophisation, c'est donc sur cet élément qu'il est plus pertinent de travailler. D'autant que le cycle du phosphore est plus simple à contrôler techniquement, car l'autre élément potentiellement limitant, l'azote, suit un cycle très différent, multi-sources.

A un endroit donné, le phosphore est en quantité absolue limitée. De plus, il peut être sous une forme disponible pour les plantes (majoritairement sous diverses formes de phosphates), ou indisponible, part «profonde» des minéraux du sol ou lié à divers minéraux sous une forme échangeable suivant les conditions. Il est aussi stocké dans la biomasse (phosphore organique). La mesure des ces différentes formes de phosphore est encore aujourd'hui difficile et coûteuse.

L'azote est lui aussi sous différentes formes, mais son cycle est mieux connu, plus simple. Les mesures sont aussi plus faciles. C'est un élément important pour la nutrition des plantes qui reste facilement accessible en grande quantité à partir de son stock

atmosphérique; il faut pour cela que des organismes spécialisés dans son assimilation sous forme gazeuse soient présents dans le sols ou dans l'eau (fabacées, aulnes, cyanobactéries, etc.).

Appuyer le contrôle de l'eutrophisation sur la gestion du phosphore est donc facilité par la rareté du phosphore et des flux «maîtrisables» par leur nature spécifique, soit autogène soit hydrologique. Le phosphore, contrairement à l'azote, n'a pas une origine atmosphérique, sauf exceptions locales induites par l'existence d'aérosols nombreux (poussières). L'eutrophisation qu'il génère est donc soit liée à des apports extérieurs transportés par l'eau, soit à la mise en disponibilité de l'élément par des processus pédologiques, bio-géochimiques. Il faut ainsi bien faire la différence entre des sources extérieures et des ressources internes.

Ceci-dit, les apports extérieurs étant de nature disponible et indisponible, le schéma va se complexifier à travers la mise en disponibilité locale de sources extérieures. Cela rend plus difficile la détection des apports. Les notions de stocks et de flux prennent toute leur valeur en la matière.

L'eutrophisation doit être considérée dans une perspective (post)-pastorale, d'une part, et dans une dynamique générale du phosphore à l'échelle du bassin versant, d'autre part. Il faut aussi considérer l'ensemble dans une dynamique particulière avec d'abord un épuisement des stocks général, puis une reconstitution localisée.

En effet, l'usage agro-pastoral, puis pastoral des siècles d'occupation des montagnes d'Auvergne a été un facteur de transfert du phosphore, des sols vers d'autres sols ou vers les milieux aquatiques. Par divers processus (érosion des sols, brûlis, export dans le lait ou la viande, dans le foin), l'humain a contribué à diminuer le stock de phosphore dans les sols tout en augmentant les flux en part relatives.

Les variations de stocks et flux vont varier au cours du temps en fonction de la «pression» anthropique qui elle aussi varie dans le temps en fonction de divers paramètres (démographie, méthodes agronomiques, etc.).

Pour la France, il est d'usage de considérer que les stocks et flux minimaux se manifestent au XVIII^{ème} siècle. Les bassins versants sont ainsi à ce moment au maximum de leur caractère oligotrophe. Parfois, des secteurs peu productifs par nature sont utilisés pour produire des fertilisants à travers la récupération des excréments des troupeaux, sans vocation à produire de la viande ou du lait (cas des Landes), ce qui les rend encore plus oligotrophes et peu productifs. Ainsi, certains milieux deviennent des sources de nutriments pour d'autres.

Cela change à partir du XIX^{ème} siècle avec l'invention des engrais minéraux et s'intensifiera au XX^{ème} siècle, de manière différenciée suivant les régions et les modes de culture.

Après une forte décroissance des stocks et des flux trophiques, la tendance s'inverse, une forme de fenêtre d'oligotrophie se referme.

A l'échelle des tourbières, les processus en jeu varient en fonction des grands types fonctionnels primaires, les systèmes ombrotrophes sont peu concernés, les systèmes émergents également, car le phosphore transite peu dans les nappes. Les tourbières de concentration des eaux de surface sont celles les plus à-même de reconstituer des stocks à travers des flux significatifs. Logiquement, ce sont ces systèmes, peu pâturés par nature, car souvent tremblants, qui subissent l'eutrophisation la plus importante. Le Lac d'en Bas à la Godivelle et la Narse d'Espinasse à Saulzet-le-Froid en sont de beaux exemples.

D'un point de vue de la conservation, il va donc être primordial de considérer l'eutrophisation à partir des bassins versants pour les tourbières de concentration dépressionnaires, aussi bien pour les apports sous forme dissoute, que les apports particulaires.

Pour les tourbières d'émergence, comme pour certaines tourbières ombrotrophes, les logiques d'eutrophisation sont différentes. Il faut parler ici de rééquilibrage trophique post-pastoral plutôt que d'eutrophisation stricte. Bien-sûr, les effets sont les mêmes, une augmentation du stock de phosphore, mais pas à travers des apports extérieurs, simplement sous la forme d'un arrêt des exports du pâturage et de la fauche, et d'une mise en disponibilité d'une partie du stock indisponible.

Les processus en jeu restent encore peu étudiés en tourbière, mais les landes ont fait l'objet de caractérisations suffisamment exemplaires pour y trouver une analogie satisfaisante.

Si le stock de phosphore disponible est à des niveaux bas, le stock de phosphore difficilement mobilisable reste relativement élevé, surtout celui qui peut être exploité par les ligneux hauts. En effet, les stocks ont été épuisés par des systèmes prairiaux riches en graminées (et en cypéracées pour les tourbières), ayant exploité du phosphore dans certains compartiments. Mais l'arrivée des ligneux modifie cette logique, un compartiment relativement épargné leur est offert.

Ainsi, les graminées (la molinie) et les cypéracées (la linaigrette engainante) s'appuient sur une logique de conservation du phosphore. Une fois

extrait du sol, ces plantes vont l'utiliser pour leur croissance et leur métabolisme de végétation (printemps, été), et le rapatrier dans des parties à la base des tiges en automne. La restitution au sol est faible, contribuant au caractère oligotrophe du milieu. Les ligneux hauts caduques ont une autre stratégie. Ils extraient le phosphore d'un grand volume de sol avec l'aide de champignons symbiotiques capables d'exploiter des formes de l'élément indisponibles pour les plantes. Ce phosphore intègre le feuillage, au printemps, et il est ensuite restitué à la litière lors de la chute des feuilles et leur dégradation par les organismes du sol. Ce processus est connu des forestiers sous le terme d'amélioration de litière, dont le bouleau est un bel exemple.

Ce type d'eutrophisation entraîne une colonisation ligneuse en front, l'amélioration de la litière étant un processus possible seulement de proche en proche. Il démarre souvent des bords, surtout en système forestier où les ligneux sont déjà présents. Ailleurs, ce sont les secteurs d'apports sous forme particulaire ou dissoute qui serviront de tête de pont, avec des formes de colonisation linéaires, le long des écoulements, ou en panache, dans des secteurs de diffusion des apports de surface.

Dans les phénomènes d'eutrophisation, il faut aussi considérer le potentiel de la tourbe à relarguer des nutriments, en particulier le phosphore qui va encore une fois jouer le rôle de facteur limitant.

Le processus de turfigenèse est un moyen de conservation de l'oligotrophie dans la plupart des contextes. La tourbe séquestre les nutriments, sa dégradation les rend disponibles. Dans un système pastoral non turfigène, les exports neutralisent le relargage nutritionnel. Une fois les usages stoppés, une logique d'enrichissement trophique se met en place, du seul fait de la dégradation de la tourbe si elle a lieu, ce qui n'est pas systématique. Les écoulements ascendant des secteurs d'émergence sont probablement suffisants pour entrainer un flux vers la surface, flux qui sera suffisant pour voir croître des éléments de la mégaphorbiaie, peut-être aidés par des apports de phosphore de nappe, qui sont théoriquement faibles.

D'autres processus d'eutrophisation, tels que ceux induits par les remises en eaux de tourbières en contexte volcanique ou la colonisation ligneuse, sont présentés dans ce document.

L'eutrophisation est un processus courant dans les tourbières du plateau. Il doit être systématiquement considéré dans les stratégie des conservation et les actions de gestion. Toutes considérations de gestion devrait être évaluée au regard des logiques trophiques telles qu'elles sont comprises aujourd'hui ou même seulement soupçonnées, car les processus en jeu ne sont pas toujours réversibles. La science apporte beaucoup d'éléments concernant ces aspects fonctionnels, mais force est de constater qu'ils n'ont pas encore diffusés au sein de la sphère des gestionnaires. L'enjeu de la recherche est donc bien-sûr d'approfondir la connaissance sur le sujet, mais aussi de faciliter les ponts entre «sachants» et «faisants».

II.8.B - Le pâturage

La conduite du pâturage est une question importante de conservation des tourbières pâturées ou de celles qui pourraient faire l'objet de remise en pâturage. Comme beaucoup d'autres, cette question doit fondamentalement être abordée du point de vue trophique, ce qui a été fait à divers endroits de ce document.

Au-delà de ces aspects fondamentaux, la question pratique des modalités de pâturage à mettre en place dans le cadre de la conservation des tourbières peut être discutée d'un point de vue général sous la question: peut-on s'attendre à pouvoir définir des modes d'action standardisés?

La conduite des troupeaux dans des espaces encore relativement peu artificialisés comme les tourbières ne peut se concevoir comme celle menée à des fin purement agronomiques, dans des prairies standardisées. La normalisation est probablement utopique, sauf peut-être à une échelle géographique restreinte à un secteur homogène du point de vue des complexes et des conditions climatiques, encore qu'il faille aussi que les troupeaux soient de types proches.

Les tourbières pâturées se situent souvent dans des parcs incluant d'autres milieux, non humides. Elles sont elles-même hétérogènes dans leur structure écologique, présentant des réponses diverses au pâturage. La sensibilité de chaque unité écologique au pâturage varie de manière différenciée dans la saison, tout comme leur attrait pour les troupeaux. Les troupeaux eux-même présentent une variabilité en termes d'adaptation aux zones humides, à l'échelle de la race et de l'éleveur. La variabilité climatique ajoute encore une part de difficulté dans la définition de règles de pâturage.

Pour autant, contrôler les modalités de pâturage pour satisfaire des objectifs en termes d'états cibles pour les diverses unités écologiques qui composent les complexes n'est pas utopique, mais l'outil approprié est probablement le suivi adaptatif et non la normalisation.

Dans cet esprit, le gestionnaire ne doit pas s'attendre à s'appuyer sur des valeurs standards définies par la science, mais plutôt sur des méthodes ou des protocoles élaborés avec les éleveurs, visant à moduler les pratiques en fonction de la réaction des milieux, au jour le jour.

Il s'agit en quelle que sorte de s'affranchir de la normalisation, appuyer souvent sur une «charge» pendant une «période» donnée, définie pour une «durée» donnée de plusieurs années, correspondant à des objectifs en termes de moyens, vers un suivi adaptatif satisfaisant des objectifs en termes d'états, autrement dit de résultats. La situation peut aussi se résumer sous la forme du passage d'un point vue agronomique, vers un point de vue écologique, sans pour autant nuire à la productivité des espaces concernés.

Cette modalité de gestion adaptative, basée sur une évaluation à haute fréquence, est une réponse possible aux difficultés à venir imposées par le changement climatique et les événements extrêmes de nature aléatoire qui lui sont associés.

Elle impose l'élaboration de modèles d'états, d'indicateurs ou de méthodes de suivi, et de pratiques d'échanges entre gestionnaires et éleveurs.

Pour finir avec le sujet du pâturage, il est important de rappeler que la plupart des tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges sont déterminées par le pâturage, qu'il soit encore en place ou qu'il ait légué un héritage fonctionnel, de nature pédologique ou hydrologique. Il faut aussi considérer que la pratique pastorale a été mise en place dans des tourbières variées, parfois boisées. Ce fait doit être gardé en mémoire lorsque divers sujets doivent être traités, comme celui d'évaluer la pertinence de contraindre une colonisation ligneuse. Faut-il laisser pousser arbres et arbustes, redonnant à la tourbière un caractère originel, plus naturel au fond, ou maintenir ouverts des paysages? Et comment concevoir le maintien ouvert si ce n'est en restaurant la pratique pastorale?

Le pâturage en tourbière est un enjeu majeur de conservation pour lequel la science n'a pas réellement produit de grandes avancées. Beaucoup de sujets n'ont pas été traités, comme celui de la compatibilité du pâturage et de la turfigenèse, pourtant attestée par des données pédologiques. La notion même des liens entre le pâturage et le fonctionnement des sols tourbeux est un sujet ignoré en science, bien qu'il paraisse évident qu'un matériau aussi fragile que la tourbe réagisse fortement au piétinement.

II.8.C - Le drainage

Le drainage est une perturbation topographique des tourbières, une altération du relief qui peut avoir des conséquences fonctionnelles... ou pas. Toute la difficulté est de déterminer l'enchaînement de processus qui découle de cette perturbation primaire d'ordre topographique, dans un contexte général de perturbations diverses, comme le pâturage ou la fauche. L'état d'une tourbière pâturée drainée est-il déterminé par le pâturage, le drainage, ou les deux? La question est rarement posée.

L'objectif ici n'est pas de présenter le sujet dans toute sa complexité, mais de simplement indiquer que le drainage ne peut être résumé à une perturbation «standard» dont le traitement est lui-même standardisé à travers un rebouchage ou des barrages.

Il semble que les tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges n'ont pas fait l'objet d'une forte intensité de drainage, en particulier si on compare la situation à celle de l'Aubrac où bon nombre de fond d'alvéole tourbeux ont fait l'objet d'aménagements hydrauliques. A l'inverse, les extractions de tourbe ont été nombreuses sur le Cézallier, les Monts-Dore et les planèzes du Cantal. Les nombreux fronts de taille peuvent servir de modèles pour illustrer les effets des perturbations topographiques.

Le secteur ayant fait l'objet des drainages les plus importants est celui de la Barthe/Pont de Clamouze. Les drains de 5 m de large de 1 m de profondeur n'ont semble-t-il provoqué aucun changement de structure dans les communautés présentes, sauf aux bords immédiats et dans le drain lui-même. Pourtant, les produits d'extraction ont semble-t-il été régalés le long des deux bords sur une distance de 20 m (figure II-8-C1), il n'y a aucun merlon perceptible sur le terrain.

Les drains sont aujourd'hui occupés par des communautés à sphaignes de Magellan et linaigrette engainante ou par des saulaies, dans la partie sud. Ce dernier fait illustre parfaitement le lien entre nutriments et ligneux, en contradiction totale avec la vue classique d'une colonisation induite par un assèchement.

Le fait est que dans de nombreux cas de drainage du secteur d'étude, le lien entre les drains et un changement de végétation est impossible à établir. Il existe plusieurs hypothèses pour expliquer ce fait: (1) soit le drainage n'a pas d'effet fonctionnel au-delà de sa propre surface; (2) soit les drains ont un effet uniforme sur tout le complexe; (3) soit une contrainte postérieure au drain a gommé l'effet de ce dernier; (4) soit une contrainte antérieure a rendu l'effet inexistant, ce qui revient à l'hypothèse 1 réalisée dans un autre cadre fonctionnel.

Cette constatation des effets



Figure II-8-C1: la tourbière de la Barthe en 2016 et en 1962 (sources: CRAIG-IGN 2016 et IGN - Remonterletemps).

quasi-nuls des drains sur la structure floristique peut être également faite sur les corniches des nombreux fronts de taille des tourbières du plateau. Des mesures piézométriques réalisées sur la tourbière de Pierrefitte près de Marchastel (Cantal) montrent aussi l'effet nul au niveau des nappes. Ceci-dit, une vérification sur d'autres sites serait bienvenue car le suivi de Pierrefitte ne concernait pas directement ce sujet.

Il apparait probable, comme dans le cas de la Barthe, que le drainage n'a pas eu d'effet sur l'état des tourbières du plateau car celles-ci étaient déjà fortement modifiées dans leur fonctionnement par des siècles de pâturage.

Cette constatation n'a pas valeur universelle et il est possible que dans certains cas, le drainage a entraîné des modifications profondes, mais cela reste à démontrer.

L'effet du drainage en tourbière ombrotrophe est rendu limité parce que la tourbe y est relativement peu conductrice pour l'eau. Autrement dit, la tourbe conserve son eau, comme une éponge qui serait régulièrement ré-humectée. En tourbière haute, il est fréquent d'observer des mares en eau juste au bord de drains profonds, en dehors même de périodes de pluie. L'effet hydrologique des drains dans les tourbes ombrotrophes est ainsi limité à quelques décimètres, ou quelques mètres.

Si l'effet des drains semble peu important sur les tourbières du plateau, celui des interventions sur les ouvrages anciens à vocation conservatoire pose des questions. Reboucher ou barrer des drains peut avoir des conséquences importantes sur le fonctionnement des tourbières, en particulier sur leur nature oligotrophe. Ici aussi, le projet de restauration doit prendre en compte les logiques trophiques, et plus le système est oligotrophe, plus la question se pose, en toute logique.

D'abord, une tourbière ombrotrophe ne requiert que l'eau de pluie pour fonctionner, il apparait donc évident qu'une intervention dans ce contexte ne peut concerner que des eaux issues des précipitations, et surtout pas de celles du bassin versant. La taille des tourbières du plateau limite souvent les capacités d'intervention; la nature «traversante» des drains également.

La tourbière de la Barthe est exemplaire. Son drain sud connecte la partie à l'ouest du complexe avec le réseau (figure II-8-C1), ce qui permet les flux trophiques et la colonisation ligneuse afférente. Boucher ce drain n'aurait pour effet que d'accélérer la colonisation ligneuse, et même de l'étendre latéralement si l'eau riche en nutriments du bassin versant déborde.

Ensuite, même si l'eau du bassin versant est considérée dénuée de nutriments, et quel que soit le type primaire de tourbière, la ré-humectation des tourbes peut entrainer une mise en disponibilité trophique pouvant avoir des conséquences déterminantes, cela dépend du contenu en fer et en phosphore des sols qui seront ré-humectés.

Enfin, si la contrainte qui détermine l'état de la tourbière n'est pas prise en compte, l'effet de l'intervention sur les drains sera nul; c'est une modification de la contrainte déterminante qui pourrait avoir un effet.

Une nouvelle fois, de simples observations et la prise en compte de quelques données générales de la littérature illustrent la réalité des processus et remettent en cause certains réflexes issus de pratiques dans d'autres régions ou de modèles classiques erronés.

Le drainage ou d'autres perturbations topographiques (fronts de taille, etc.) ne sont pas souvent mises en relation avec des effets fonctionnels majeurs. De plus, les interventions sur les écoulements dans les drains, bouchage ou barrage, peuvent avoir des conséquences néfastes sur les milieux, en particuliers les plus oligotrophes. Toute opération dite de restauration hydraulique doit donc être évaluée de manière rigoureuse, en considérant les conséquences trophiques de l'action. L'enjeu de la recherche sur ce sujet est important, car peu de données sont disponibles pour les tourbières du plateau.

II.8.D - La colonisation ligneuse

La comparaison des photographies aériennes anciennes corrobore les témoignages indiquant le «boisement» de nombreuses zones tourbeuses. Ce processus de colonisation ligneuse apparait comme une transformation particulièrement visible, par tous, objective.

Pour ce qui est de la compréhension des causes de ce processus, les choses sont moins faciles, surtout pour ce qui est de l'objectivité car, le plus souvent, la cause «évidente» est celle de «l'assèchement». Il s'agit d'une affirmation «allant de soi» (Mikolajczak et Darinot, 2015; Loos *et al.*, 2019). L'origine de cette approche sélective est probablement à chercher dans: l'observation directe des buttes de tourbière haute occupées par des pins (Cubizolle *et al.*, 2010); des tourbières drainées colonisées par des arbustes ou des arbres; et des données de la littérature qui mettent en relation la sécheresse ou le drainage et la pousse des ligneux. Le lien entre une meilleure aération et la compétitivité du ligneux est aussi probablement sous-entendu.

Dans les faits, la notion même de baisse de nappe est difficile à appréhender, car les logiques d'engorgement sont complexes. Une modification de l'amplitude de variation du niveau d'eau peut entraîner des modifications biogéochimiques sans pour autant que le niveau moyen de la nappe baisse. On peut imaginer, par exemple, l'effet de sécheresses plus longues ou plus fréquentes, mais qui restent cantonnées à une courte période de l'année, sans pour autant que la nappe baisse significativement «en moyenne», ou comme on peut le concevoir à la suite d'un drainage.

De plus, des observateurs confondent les notions de baisse de nappe et d'exhaussement. Il arrive fréquemment que l'éloignement de la nappe par rapport au sol résulte de la construction d'une butte ou d'un touradon, sans baisse altitudinale en valeur absolue de la nappe. Bien-sûr, ce processus de construction mène à une modification de l'engorgement à l'échelle de la butte, mimant une baisse localisée de la nappe. Ce processus d'exhaussement peut être autogène, généré par des espèces ombrotrophes, mais il peut aussi être en lien avec un apport nutritionnel extérieur, et c'est donc un apport en nutriments qui provoque un «désengorgement».

Le «désengorgement», l'assèchement, est pour beaucoup de publication une évidence dans la processus de colonisation ligneuse. Mais de manière étonnante, un autre aspect évident des choses n'est jamais abordé dans la littérature: celui de la colonisation ligneuse des milieux post-pastoraux, humides ou secs. En effet, dans les faits, de nombreux milieux pastoraux se boisent lorsqu'ils ne sont plus pâturés, qu'ils soient humides ou non. Pour les milieux secs, la colonisation ligneuses n'est donc pas un processus lié à l'assèchement, mais à une conséquence trophique de l'abandon pastoral. Pourquoi cela ne serait-il pas le cas en tourbière? Pourquoi certaines tourbières au moins ne se boiseraient-elles pas simplement parce que leur sol subirait une fertilisation satisfaisante pour les ligneux, suivant les mêmes modalités que pour les milieux secs et sans changement du régime de nappe?

En ne considérant que deux processus, le désengorgement et l'eutrophisation, cinq hypothèses sont à considérer dans le phénomène de boisement des tourbières (figure II-8-B1). La pousse

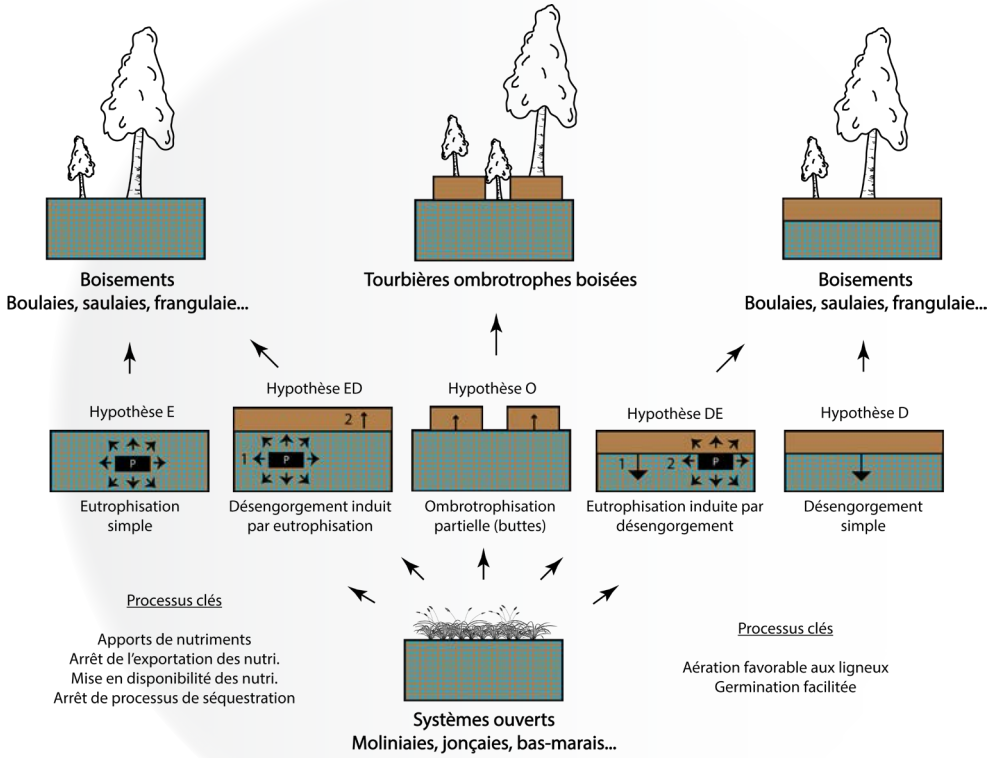


Figure II-8-D1: représentation schématique des hypothèses pouvant expliquer la colonisation ligneuse des tourbières.

des ligneux peut-être est causée par un simple enrichissement trophique (hypothèse E), par un désengorgement induit par la construction d'une couche de tourbe permise par une eutrophisation (hypothèse ED), par une ombrotrophisation mimant un désengorgement (hypothèse O), par une eutrophisation induite par un désengorgement (DE) et par un simple désengorgement (D).

La littérature scientifique disponible ne permet pas de travailler sur ces 5 hypothèses, certaines d'entre elles n'étant simplement pas évoquées. Par contre, des observations et des mesures réalisées sur les tourbières du plateau ne laissent planer aucun doute sur la validation de ces hypothèses «négligées». Même si ces exemples locaux n'ont pas une portée générale, les 5 modalités de boisement sont dans les faits effectives.

Le désengorgement simple (D) est certainement une cause de boisement des tourbières ombrotophes. C'est en tout cas ce qu'indique la littérature, sans que cela soit validé par des mesures qui excluraient un effet trophique. Au contraire, lorsque cette possibilité est envisagée, une corrélation est mise en évidence entre les lieux de boisement et la disponibilité en nutriments dans le sol. Ceci valide l'hypothèse (DE) d'une cascade de processus qui démarre par la baisse de nappe et qui mène au boisement à travers une indispensable mise en disponibilité des nutriments.

L'hypothèse (O) de la pousse de ligneux sur les buttes à sphaignes ombrotrophes est citée dans la littérature. Il est évident que le pin, notamment, ne pousse pas dans les secteurs les plus engorgés. Les causes mentionnées pour ce fait sont en lien avec l'incapacité des associations entre ligneux et champignons dans les milieux longuement engorgés. Cette explication suggère elle aussi un lien étroit entre la nutrition et la pousse des ligneux: la colonisation est encore une fois un effet indirect des logiques nutritionnelles dans les sols, avec dans ce cas un processus autogène de pseudo-assèchement (pas de baisse de nappe, mais montée du niveau du sol).

La colonisation du tremblant à *Carex lasiocarpa* du Lac d'en Bas par *Calamagrostis canescens* est un exemple de formation d'un «sur-sol» suite à l'eutrophisation (hypothèse ED). Le calamagrostide, favorisé par un taux nutritionnel élevé, forme un amas racinaire au dessus du niveau d'eau, prenant une forme de touradon mais où les radicelles sont majoritaires. Cet amas est aéré et il va fonctionner comme un sol classique après quelques années d'apport de biomasse aérienne; des vers de terre y sont observés. L'engorgement de ce sur-sol est rare car le tremblant sous-jacent accompagne les mouvements verticaux de l'eau, laissant hors-d'eau la butte. Il faut bien évidemment considérer que la coalescence des buttes va former un sol continu.



Figure II-8-D2: formation d'un «sur-sol» par *Calamagrostis canescens* sur le tremblant du lac d'en Bas à la Godivelle.

L'exhaussement topographique n'est pas suivi directement de la mise en place d'un boisement, mais d'une mégaphorbiaie: la butte est le lieu privilégié de germination de la reine des près et de l'angélique des bois. On peut cependant prédire une colonisation ligneuse future.

En fait, la colonisation ligneuse a lieu directement au sein du tremblant sans avoir besoin de la formation du

sur-sol, comme le montre les saules sur le tremblant qui subit une eutrophisation importante, indiquée par d'autres observations.

Ainsi, l'hypothèse de la colonisation comme conséquence de l'eutrophisation (E) se constate sur le cas du Lac d'en Bas, comme au Jolan, à Chandroux et de multiples autres tourbières du plateau entre Sancy et monts du Cantal. Il s'observe fréquemment une corrélation spatiale entre les saules et les écoulements de surface provenant des bassins versants, ou la présence des arbres dans les fosses de tourbage pourvu que l'eau qui y est présente soit connectée aux eaux de surface du bassin versant ou à des sources. Souvent, le contraste est frappant entre des milieux relativement peu engorgés, non boisé, et des milieux très engorgés occupés par des saules ou des bouleaux. Bien-sûr, il est impossible dans ces cas là de faire un lien de cause à effet d'un assèchement et du boisement. Les mesures de fertilité des sols indiquées dans la littérature montrent que les saules se rencontrent sur des sols enrichis. Elles montrent aussi que les saules supportent parfaitement l'engorgement permanent et que leur présence n'est pas la conséquence d'un «assèchement».

La colonisation ligneuse a donc souvent un lien avec l'enrichissement trophique, ce qui parait évident quand on considère la biomasse produite par les ligneux hauts, en particulier ceux à feuilles caduques.

L'analyse spatiale des modalités de boisement et des logiques d'écoulement rend évidente la causalité des apports dans la pousse des ligneux, qu'il s'agisse d'écoulements de surface ou d'émergence: plus les flux sont importants, plus rapide est la colonisation post-pastorale.

Au-delà, il existe aussi un déterminisme édaphique, plus le sol est riche, plus rapide sera la colonisation post-pastorale. Cela s'observe clairement dans les contextes où les tourbes ombrotrophes côtoient les tourbe minérotrophes. L'analyse des photographies aériennes montrent une dynamique différenciée avec un boisement quasi-immédiat des secondes, puis un arrêt de la progression des ligneux.

Le sol, en tant qu'héritage fonctionnel, est donc un des facteurs qui contrôle la colonisation ligneuse post-pastorale. Lorsqu'on raisonne dans une perspective historique, paléoécologique, le boisement est ainsi une forme de résilience naturelle des tourbières anciennes, boisées, telles que les données macrorestes nous l'indiquent.

Du point de vue de la conservation, le boisement doit donc être considéré comme un processus de changement d'état des tourbières comme un autre, d'origine diverse, modifiant parfois des systèmes à faible degré d'anthropisation, procédant d'autres fois de la remise en place de communautés originelles à forte naturalité. Les enjeux en termes de connaissances sont importants, notamment pour éclaircir les chaines causales du boisement et du lien entre les nutriments et les modalités de colonisation ligneuse.
Le lien entre conservation et recherche est bien-sûr celui de contrôler les causes réelles de la mise en place des ligneux, et non de se satisfaire de modèles erronés.

II.8.E - Le réchauffement climatique et les tourbières: approche théorique

La question de l'impact du réchauffement climatique sur les tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges se combine avec la dynamique pastorale ou post-pastorale. De ce fait, deux axes fonctionnels sont à considérer, ce qui complique fortement la compréhension des phénomènes.

De plus, les types de communautés actuelles n'ont probablement pas existé avant la mise en place du pâturage, il est donc impossible d'explorer leur dynamique à moyen et long termes à travers des études paléoécologiques et de produire des modèles prédictifs basés sur des exemples réels, sur des références qui ont existé: prédire l'effet d'une contrainte spécifique dans un système dont la dynamique complexe reste inconnue est difficile.

La recherche actuelle en matière d'impact du changement climatique sur les tourbières est importante, mais elle concerne presque exclusivement des systèmes non pastoraux, et même quand l'objet de recherche est en contexte pastoral, cette spécificité n'est pas prise en compte.

Sans pouvoir aller loin dans l'analyse, il est possible de présenter quelques pistes de réflexion qui permettent d'évaluer la pertinence des études réalisées ailleurs et la capacité d'action en termes de gestion ou de suivi.

De manière générale, nous pouvons classer les paramètres susceptibles d'être à la fois en lien avec le changement climatique, d'une part, et le fonctionnement des tourbières, d'autre part, en effet direct et effet indirect. Par effet direct, nous signifions des paramètres qui agissent sur le fonctionnement de la tourbière sans processus intermédiaire, comme une sécheresse qui provoquera la dessiccation des sphaignes ou une augmentation de la température qui libérera de l'azote. Un effet indirect correspondra le plus souvent à une réaction en chaine qui débute par un processus hors de la tourbière, pour finir par avoir des conséquences sur des processus au sein de la tourbière. Par exemple, des conditions climatiques peuvent induire des changements de pratiques anthropiques qui mèneront au prélèvement d'une partie de l'eau qui transite dans la tourbière.

Les paramètres directs sont les mieux étudiés, car ils restent de loin plus simples à caractériser par des démarches expérimentales et les résultats obtenus sont sensés être aisément transférables. La démarche scientifique est dans ces cas réductionniste, même si elle s'attache à l'analyse de 2 ou 3 facteurs de manière simultanée. Il existe ainsi de nombreuses études, en mésocosme (serre expérimentale) ou sur le terrain, qui décrivent les variations en termes de productivité de biomasse, de recouvrement ou d'élongation en fonction de l'évolution des température, du taux de CO_2, du taux d'azote ou de phosphore.

Les paramètres indirects sont beaucoup moins bien connus et leur étude nécessite des approches plus complexes, par exemple, à travers la comparaison de sites dans des contextes en partie différents. Il est souvent plus simple de travailler sur les paramètres indirects par l'intermédiaire de modèles «englobants» (holistes), s'appuyant sur une considération synthétique des résultats des analyses réductionnistes élaborées dans le cadre des effets directs, mais sans pouvoir réaliser les validations par une expérimentation contrôlée.

En général, dans une démarche d'évaluation des effets du changement climatique sur une tourbière, il va donc être difficile de prédire l'impact des processus indirects, d'une part, et les capacités d'adaptation de la tourbière dans sa globalité, d'autre part. L'évaluation sera relativement plus fiable dans le cadre des processus à l'échelle des unités écologiques comme celle d'une communauté spécifique. Ceci a des conséquences en termes opérationnels, comme nous le développerons pour chacun des grands types de tourbières.

Le travail qui suit est en parti repris d'une analyse réalisée dans le cadre du cas des tourbières de la Réserve naturelle nationale des Sagnes de la Godivelle.

Tourbières ombrotrophes

Les tourbières ombrotrophes constituent le modèle le plus simple pour illustrer les problématiques de fonctionnement et de variations des paramètres climatiques.

Dans la majorité des cas, le fonctionnement naturel des tourbières ombrotrophes ne dépend pas d'autres paramètres que les apports atmosphériques, en eau et en nutriments.

Dans un contexte anthropisé, le

piétinement et les perturbations topographiques sont des facteurs directs majeurs de dysfonctionnement ou de destruction. La modification du contenu atmosphérique liée à l'humain est une autre cause de perturbation possible.

Dans certains cas, il est possible que la tourbière ombrotrophe fonctionne grâce au soutien d'une nappe hydrologique, avec une forme de bicouche limitant les pertes par infiltration (Bourgault *et al.*, 2019; Goubet & Tourman, 2018; Goubet, 2020b).

La variation des quantités, de la nature (pluie, neige, brouillard) et de la répartition des précipitations influe directement sur le fonctionnement des tourbières. Les systèmes ombrotrophes s'organisent de manière à compenser ces variations pour répondre aux problèmes de submersion dans le cas de forte quantité de précipitations, ou au contraire, pour survivre à leur rareté. Cette adaptation prend la forme à la fois d'une modification de la structure et/ou de la composition de la tourbière dans son ensemble. Par exemple, les mosaïques montrent des proportions différentes des éléments qui les composent en fonction des paramètres climatiques comme l'illustre la figure II-8-E1 (Lindsey *et al.*, 1998). Dans ce cas, les communautés végétales restent les mêmes, mais elles s'organisent de manière différente. A d'autres échelles bioclimatiques, certaines communautés sont remplacées par d'autres. Mise à part les altérations anthropiques, *Sphagnum austinii* domine les secteurs hyperocéaniques, *S. fuscum* les secteurs nord et est, *S. magellanicum* le reste. La turfigenèse est ainsi assurée sur toute l'Europe tempérée et boréale par trois espèces adaptées à des contraintes climatiques spécifiques.

Pour les systèmes les moins anthropisés, et en considérant la libre circulation des espèces, l'impact du réchauffement climatique doit donc être considéré dans une dimension d'adaptabilité des tourbières ombrotrophes, sur une fenêtre plus large que celle qui limite un type de communauté, même s'il est dominant actuellement.

Mais justement, que se passe-t-il à l'échelle de la communauté ou à celle de la butte occupée par une communauté spécifique (la communauté s'étendant sur un ensemble de butte)? Pour simplifier les choses, dans un premier temps, nous ne considérerons que trois processus majeurs : la sécheresse et ses effets directs, le piétinement, l'eutrophisation autogène (effet direct) et allogène (effet indirect). Nous axerons l'analyse sur une communauté turfigène dominée par les sphaignes, accompagnées de la linaigrette engainante et d'éricacées, sachant qu'il existe aussi des communautés ombrotrophes turfigènes largement dominées par la linaigrette engainante et que parfois les éricacées prennent des recouvrements importants.

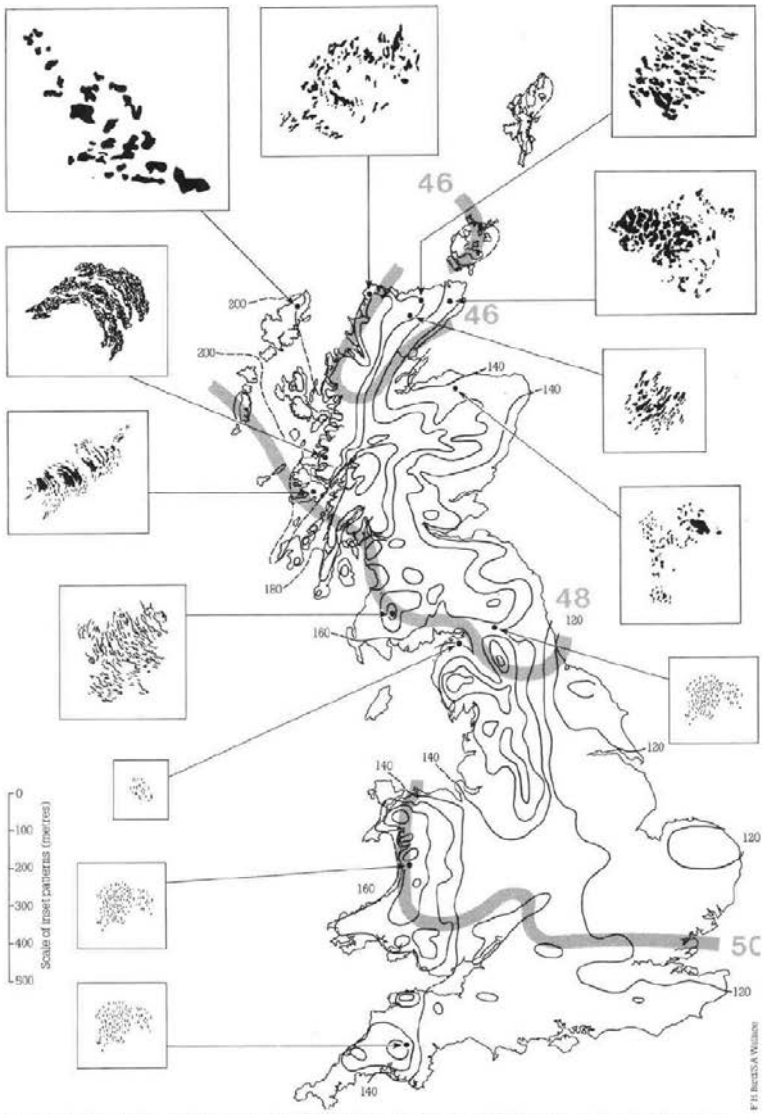


Figure 4 Distribution and general structure, seen from above, of bog surface patterns recorded from a range of sites throughout Britain. Patterns have been mapped directly from aerial photographs standardised to the same scale. Pools and hollows are shaded black, ridges and hummocks white. Isopleths for annual average number of "wet days" are also indicated, as compiled by Ratcliffe (1968) from data published in *British Rainfall* (1951-1960) (see Figure 12b). Superimposed are the isotherms for three average means of daily mean temperatures over the period 1901-1930 - 46T (7.8°C), 48°F (8.9°C) and 50T (10°C).

Figure II-8-E1: structure des tourbières ombrotrophes britanniques suivant leur position géographique et les données climatiques.

Nous considérons ici la notion de sécheresse telle qu'elle est définie dans le Larousse : «absence ou insuffisance de pluie pendant une certaine période»(https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/s%C3%A9cheresse/71719). La notion de sécheresse pour décrire l'état d'une plante dénuée d'eau (autre définition du Larousse) sera remplacée par celle de dessiccation. La sécheresse est donc un processus climatique et la dessiccation un processus biologique (ou pédologique).

La sécheresse crée la dessiccation, mais la relation n'est pas linéaire. De nombreux facteurs entrent en synergie, provoquant une amplification; d'autres compensent (Nijp *et al.*, 2014; Waddington *et al.*, 2015; Jassey et Signarbieux, 2019). La dessiccation des sphaignes est régie par des phénomènes fonction de la répartition des précipitations, mais aussi du vent, de « l'ensoleillement » (de l'énergie du flux photonique pour être précis), de la température et de la stratégie adaptative de l'espèce. L'effet du vent est dépendant de multiples facteurs comme la forme du coussin de sphaignes et la présence d'autres plantes. De la même manière, l'effet de l'ensoleillement dépend de la nébulosité, de l'orientation des buttes, etc. Les effets de la dessiccation vont aussi être fonction de l'espèce (Sagot et Rochefort, 1996).

Pour certains taxons, la dessiccation létale pour les cellules des parties hautes de la plante (le capitulum) est une stratégie pour protéger les parties basses, pour d'autres, elle mène à la mort de toute la plante. De manière générale, les sphaignes sont adaptées à la sécheresse à travers une structure anatomique adaptée : des cellules mortes qui sont autant de petites réserves d'eau, des rameaux pendants qui cerclent une tige constituant une sorte de mèche humide (Hayward et Clymo, 1982), contrôlé en haut par un «verrou» hydraulique de fibres compactes (le capitulum), du moins pour les taxons les mieux adaptés à la sécheresse. L'eau contenue dans les cellules est fortement liée et il faut une pression importante pour que la cellule se vide.

La dessiccation est un processus opérant à l'échelle de l'individu, les espèces s'y sont adaptées par une anatomie spécifique, mais elle opère aussi par un « comportement » de groupe. Ainsi, les espèces qui résistent le mieux à la sécheresse sont aussi celles qui poussent en coussins serrés, compacts et plutôt lisses en surface. Les espèces concernées par ces adaptations anatomiques et « comportementales » sont celles qui édifient des buttes hautes, ou qui sont capables de pousser sur des rochers et même sous des rochers, le capitulum vers le bas. Bien-sûr, la notion de nappe pour ces sphaignes n'a pas de réalité, malgré ce qui peut-être lu dans de nombreuses publications scientifiques. Ces espèces sont principalement *Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum* et *S. quinquefarium*, peut-être *S. austinii*, mais nous connaissons mal cette espèce hyperocéanique qui n'est connue que d'une tourbière en France. Le groupe de *Sphagnum magellanicum* peut également former des buttes hautes à parois verticales. Dans ce cas, le port des individus est différent de celui des replats. La sphaigne est plus petite et compacte, pouvant appartenir à une espèce différente de celle des replats. Il existe une littérature scientifique abondante sur le sujet des traits fonctionnels des sphaignes, dont des articles directement liés au réchauffement climatique (Jassey et Signarbieux, 2019).

Dans le cadre des effets des variations des paramètres climatiques sur le fonctionnement des tourbières ombrotrophes, ce point est important. La capacité d'adaptation des sphaignes pour éviter la dessiccation est réelle, mais à ce jour imprévisible. Elle peut ainsi dépendre de la vitesse d'adaptation des individus dans le cadre des écophènes, ou de la présence ou de la vitesse de propagation des écotypes. Or, ce fait n'est pas pris en compte dans de nombreuses études expérimentales qui visent à prédire la réponse d'une sphaigne ou d'une communauté à sphaignes en fonction de

l'augmentation des températures ou d'autres paramètres en lien avec le climat ou le fonctionnement. Même les expérimentations dites « longues », 8 ans (Keuper *et al.*, 2011), semblent trop courtes pour laisser le temps à une communauté de s'adapter au changement par substitution d'écotypes ou d'espèces. Une partie des problèmes méthodologiques posés par les expérimentations en milieu contrôlé (mésocosme) ou en milieu naturel a été énoncés par Zhaojuna *et al.* (2011).

Les multiples processus adaptatifs des sphaignes et plus largement des communautés de tourbières ombrotrophes expliquent la capacité bien connue de ces tourbières à s'être maintenue dans le temps, malgré les changements climatiques (Lamentowicz *et al.*, 2019) et à couvrir des aires géographiques étendues (Robroek *et al.*, 2017). Cependant, les expérimentations réalisées sur le sujet ne rendent pas compte de ce fait historique et fonctionnel (Dieleman *et al.*, 2014), probablement à cause de leur limite spatiale et temporelle.

Notre objectif n'étant pas de réaliser une étude détaillée de l'influence des variables climatiques sur les sphaignes, nous n'aborderons pas divers sujets tels que l'influence de la température sur la physiologie des espèces (Sagot et Rochefort, 1996) ou les conséquences des changements liés à la luminosité (Hayward et Clymo, 1983).

Tourbières d'émergence

La prise en compte de l'ensemble des effets des variations climatiques sur la composition et la structure des communautés de tourbières d'émergence apparait très compliquée et encore «hors de portée» scientifique.

En effet, la sécheresse ou les températures n'ont pas seulement des conséquences fonctionnelles sur les plantes, elles en ont également sur le sol, avec des modifications des cycles des éléments comme le carbone, l'azote et le phosphore, qui à leur tour agissent sur les communautés. Par exemples, les rétroactions entre le sol, les plantes ont été exposées par Waddington *et al.* (2015) (figure II-8-E2). Ils mettent en évidence les boucles de rétroactions hydriques les plus communes (hydriques = à l'échelle de la placette),

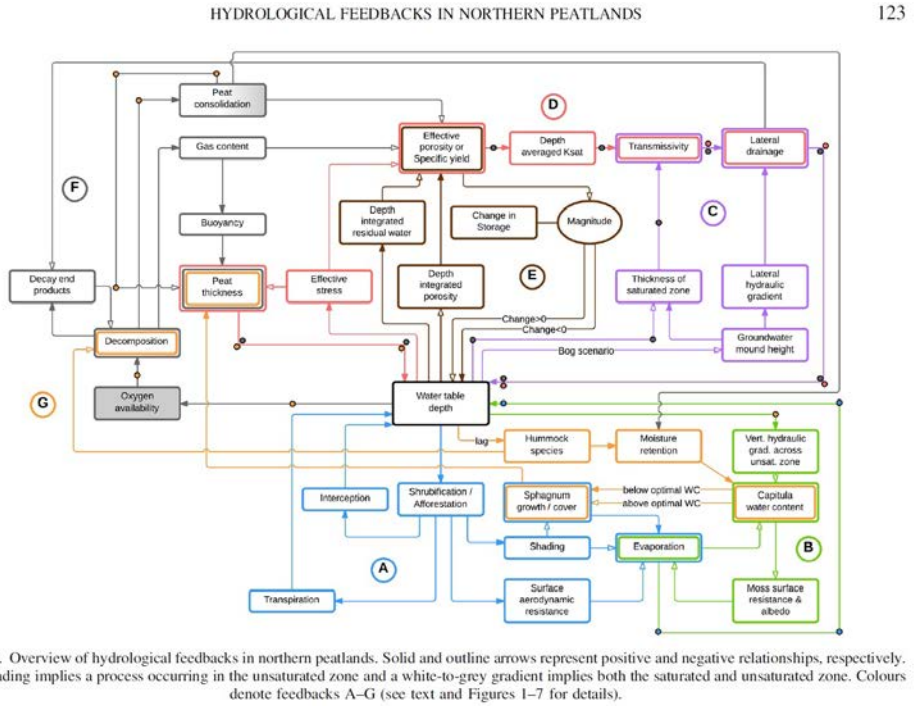


Figure 8. Overview of hydrological feedbacks in northern peatlands. Solid and outline arrows represent positive and negative relationships, respectively. Grey shading implies a process occurring in the unsaturated zone and a white-to-grey gradient implies both the saturated and unsaturated zone. Colours denote feedbacks A–G (see text and Figures 1–7 for details).

Figure II-8-E2: boucles de rétroaction du système plante-eau-sol en tourbière (Waddington *et al.* (2015)

auxquelles il conviendrait d'ajouter les logiques de rétroaction hydrologique, à l'échelle du bassin versant.

Les tourbières d'émergence sont bien évidemment dépendantes des nappes d'eau d'origine hydrogéologique.

Les logiques fonctionnelles de ce type de tourbières restent assez mal connues, en partie parce que ce concept d'émergence est relativement récent, même si des travaux ont

démontré leur existence depuis longtemps (Siegel et Glaser, 1987; Glaser *et al.*, 1996).

De nombreuses données laissent présumer d'un fonctionnement étroit avec les tourbières ombrotrophes, sous forme de relais réversibles (Glaser *et al.*, 1996; Goubet, 2017b) ou non, comme à la Plaine-Jacquot (Goubet, 2017a). Il semble ainsi que des modifications climatiques ayant pour effet de diminuer la hauteur des nappes hydrogéologiques déterminant le fonctionnement de nombreuses tourbières d'émergence entrainent la mise en place de tourbières ombrotrophes. Le système tourbeux bascule d'une alimentation fortement minérotrophe vers un apport majoritairement atmosphérique. Dans certains cas, cela est réversible, probablement parce que les nappes reprennent un niveau haut. Dans de nombreux cas de tourbières du Cézallier, le passage entre les deux types fonctionnels se réalise à travers un lit à linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*), comme à Greil-Rascoupet (Goubet, 2017c), Sougeat-la-Souze (Goubet, 2013c) et la Plaine-Jacquot (Goubet, 2017a).

Historiquement, nous avons donc les preuves que ces tourbières peuvent être fortement impactées par les changements climatiques à travers une modification de leur alimentation hydrique, mais aussi par la mise en place de divers usages tels que le pastoralisme, comme l'atteste la fréquence des sols piétinés de type kultureller Trockenhorizont. Les tourbières d'émergence, même lorsqu'elles ne sont pas pâturées, ne sont plus celles qui ont édifié les tourbes anciennes. Le plus souvent, ces tourbières anciennes étaient des phragmitaies à saules et bouleaux riches en carex. Ces communautés sont aujourd'hui devenues rares, sauf à La Godivelle où elles sont présentes au Lac d'en Bas, à la Plaine-Jacquot et aux Vicarias, un secteur d'émergence situé à moins de 2 km à l'ouest du Bourg.

L'existence d'un pastoralisme passé ou actuel est un paramètre écologique susceptible de prendre une bonne part dans les logiques fonctionnelles, rendant difficile le décryptage des causes climatiques et pouvant provoquer des rétroactions positives ou négatives suivant les situations.

Pour les tourbières d'émergence, l'approche pour comprendre les effets climatiques passent par une connaissance satisfaisante du fonctionnement des nappes qui alimentent ces tourbières, en particulier pour ce qui concerne leur lien avec les variables climatiques.

Tourbières de concentration des eaux de surface

Les tourbières de concentration des eaux de surface fonctionnent le plus souvent avec une forme de tampon qui les met à l'abri des variations saisonnières des apports : la tourbière flotte sur l'eau et accompagne les variations du niveau. Ce phénomène a été démontré pour une partie de l'unité péri-lacustre du Lac d'en Bas à partir de données piézométriques (Goubet, 2019), comme le montre la figure II-8-E3.

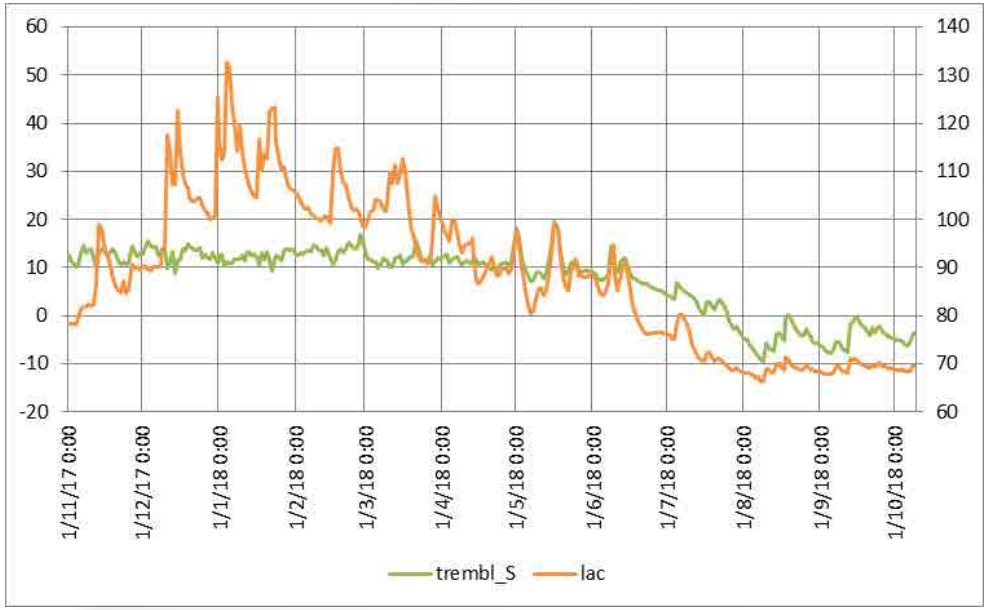


Figure II-8-E3: chronique piézométrique annuelle (11 mois) du Lac d'en Bas (légende en cm/sol à droite) et sur le tremblant dans sa partie sud (légende en cm/sol à gauche). La déconnexion des deux courbes jusqu'à la mi-juin 2018 est relative à la flottaison du tremblant. Ensuite, le niveau du lac baisse suffisamment pour que le tremblant se pose sur le fond et le niveau y baisse ainsi comme ailleurs.

Cette capacité adaptative permet probablement à la tourbière de perdurer dans le temps avec une certaine stabilité de sa composition et de sa structure. Cependant, de nombreuses tourbières lacustres sont colonisées à un moment de leur histoire par des communautés ombrotrophes : la tourbière de concentration des eaux de surface devient ainsi une tourbière ombrotrophe.

Pourquoi cela? Est-ce dû au climat? Sur le plateau, nous manquons d'éléments paléoécologiques pour le préciser, en particulier l'âge de ces transformations. Au Lac d'en Bas, nos études des macrorestes montrent que le niveau du lac a varié de manière importante. Il est même arrivé que le niveau baisse suffisamment pour permettre la mise en place d'une tourbière à saules et phragmite, turfigène seulement là où de probables émergences pouvaient compenser la régression lacustre (Goubet et Goubet, 2020). Aucune tourbière ombrotrophe n'a profité de ce retrait du lac pour s'installer, comme on pourrait s'y attendre.

Les tourbières de concentration des eaux de surface montrent, comme les autres, des capacités adaptatives vis-à-vis des changements du climat, parfois en laissant la place aux tourbières ombrotrophes ou d'émergence.

De plus, elles peuvent aussi probablement voir leur composition et leur structure floristiques se modifier à la suite de changements dans les cycles biochimiques induits par la seule température, indépendamment des conséquences d'un désengorgement. Par exemple Limpens *et al.* (2014) estiment des mises à disposition de 4 g/m²/an pour chaque degré d'augmentation de la température moyenne annuelle. Et bien-sûr, ces apports exclusivement autochtones sont à considérer en parallèle aux apports du bassin versant induit par les usages, en particulier agricole. La thématique «climatique» des tourbières de concentration des eaux de surface se télescope avec celle de l'eutrophisation d'origine anthropique, complexifiant les analyses.

Le traitement rapide de la question du lien entre réchauffement climatique et conservation des tourbières montre la complexité des processus en jeu et la difficulté, même pour la science, de comprendre les changements à venir dans un cadre pastoral ancestral comme celui du Cézallier et de l'Artense. De ce fait, il apparait évident que cette thématique doit faire l'objet d'une collaboration étroite entre les acteurs de la conservation et les organismes de recherche, sur la base d'une démarche locale, et non celle d'une forme de transferts des résultats issus de la littérature internationale, obtenus sur des milieux différents, dans des contextes socio-économiques distincts.

III. Le diagnostic fonctionnel



Nous présenterons ici la démarche globale de diagnostic fonctionnel et les différentes méthodes utilisées pour collecter les données.

III.1 - Démarche globale de diagnostic

Il faut concevoir la méthode d'étude comme une démarche globale, appuyée sur la notion de système, de systémique. Le complexe étudié est ainsi considéré comme un système ouvert, composé de sous-systèmes nommés «unités fonctionnelles». La notion d'écosystème ou de système écologique n'est plus définie sur la base de l'interaction entre une biocénose et un «biotope», mais comme un système complexe où matière minérale et matière organique sont intimement liées. Ce système écologique est défini par une composition, une structure et des processus d'auto-organisation. Les principes de l'auto-organisation découlent de ceux de la physique-chimie et peuvent donc être prédits par un corps de principes théoriques. L'écologie des écosystèmes a vocation à décrire les systèmes écologiques et définir les principes théoriques qui régissent leur auto-organisation, leur fonctionnement.

Notre démarche s'intègre dans le champ de l'écologie des écosystèmes et s'appuie sur la notion de diagnostic fonctionnel. Le protocole se décline en 3 étapes successives qui peuvent être répétées si nécessaire: une description, une synthèse fonctionnelle et une série d'évaluations et de recommandations (figure III-1-1). Ces trois étapes permettent de proposer des actions de gestion et un plan de suivi qui améliorera la description d'un futur diagnostic.

La démarche de diagnostic s'appuie sur une logique d'intégration de données de différents types qui peuvent être regroupés en trois pôles majeurs (figure III-1-2) : structure ; transferts ; diachronie. Le pôle structure (au sens large) s'attache à décrire la composition et la structure (au sens strict) des complexes et de leur zone de dépendance fonctionnelle. Il s'agit donc de définir les différents composants du système (la composition) et leur arrangement spatial (la structure au sens strict), ceci à différentes échelles. Ce pôle intègre, entre autre: la caractérisation du relief de la zone d'étude, incluant les épaisseurs de tourbe et le réseau hydrographique; la caractérisation des unités écologiques; celle des sols; etc. En règle générale, les données inhérentes à ce pôle sont relativement simples à

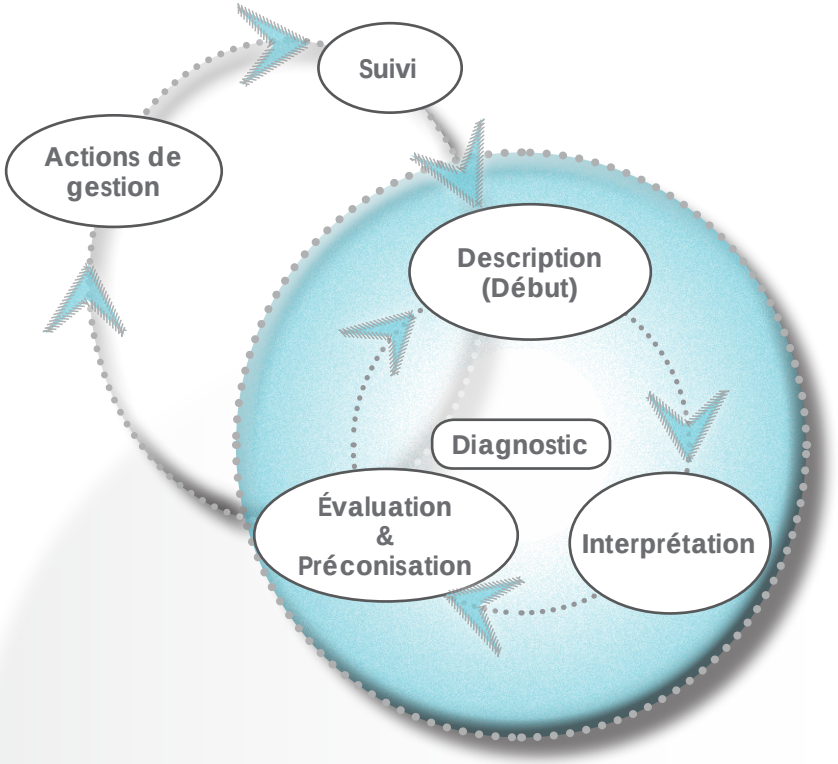


Figure III-1-1: structure du diagnostic. Le diagnostic constitue une suite logique d'actions qui débute par une description des systèmes tourbeux. A partir des données descriptives, une interprétation fonctionnelle est ensuite réalisée en comparant les résultats obtenus aux modèles de fonctionnement proposés dans la littérature scientifique. Diverses grilles d'évaluation sont ensuite appliquées, menant le plus souvent à des recommandations en termes de gestion et de suivi. Parfois, la compréhension des systèmes écologiques en jeu est trop imparfaite et il est nécessaire de réaliser une nouvelle boucle diagnostique en enrichissant les données descriptives. Les actions de gestion réalisées, incluant celle de la libre évolution, peuvent faire l'objet d'un suivi qui constituera une part de la description d'une future boucle diagnostique, à échéance d'un plan de gestion ou en cas de changements importants, par exemple.

acquérir et analyser. Le pôle transferts concerne un ensemble de données propres au processus d'échange de matière entre les différents compartiments du système et entre le système et l'extérieur. Les matières considérées sont principalement l'eau, les éléments minéraux (Ca et Mg), les éléments trophiques (N, P et K) et les particules minérales et organiques. Les processus en jeu montrent le plus souvent une variabilité spatiale et temporelle qui rend difficile la collecte et l'analyse des données. La prise en charge de ce volet gagne donc à s'appuyer sur une bonne analyse de la structure, pour rendre le plus efficient possible le protocole. Le dernier pôle correspond à l'analyse diachronique de la structure et des transferts, il correspond donc à la caractérisation des variations dans le temps des deux premiers pôles. Les données propres à ce volet sont de nature historique (photographies aériennes incluses) ou paléoenvironnementale (palynologie, macrorestes, etc.).

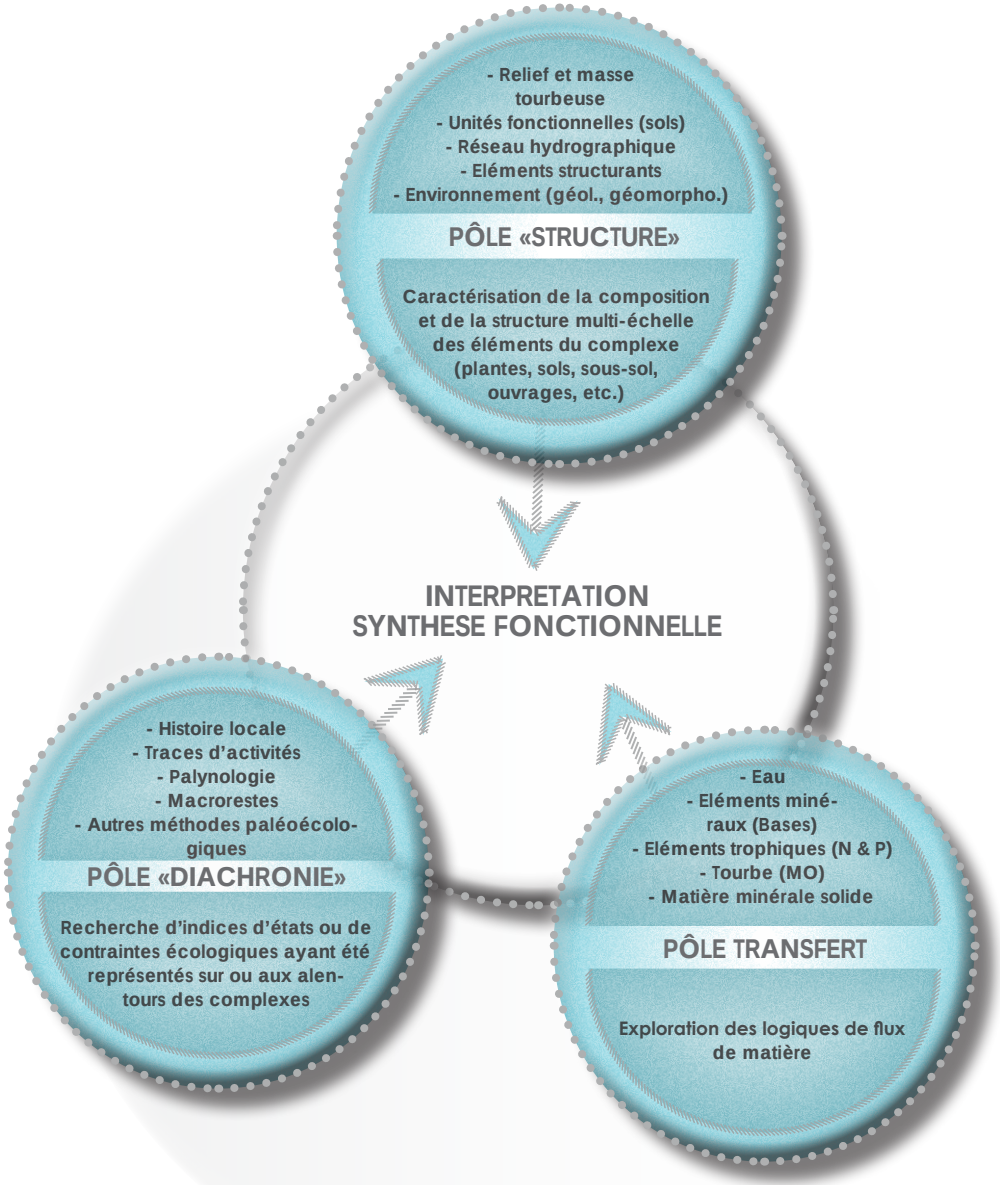


Figure III-1-2: les 3 pôles du diagnostic avec les corps de données relatifs à chacun. Chacun des éléments des pôles, fait l'objet de protocoles clairement définis. La synthèse fonctionnelle et les évaluations et préconisations sont sensées faire aussi l'objet de protocoles stricts, mais ceux-ci sont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

III.2 - Relief et dérivées

L'eau joue un rôle majeur dans le fonctionnement des tourbières, non seulement parce que l'engorgement des sols constitue une contrainte adaptative majeure pour les organismes vivants, ce qui génère une biodiversité spécialisée, mais aussi parce que l'eau constitue le vecteur principal des nutriments, principal paramètre écologique de structuration des communautés de zone humide.

Or, les écoulements sont fortement dépendants du relief, en particulier pour ceux qui se réalisent en surface.

De nos jours, le relief est principalement abordé à travers des modèles numériques de terrain (MNT) dont le fichier cœur est constitué d'une série de données de longitude (le «x»), de latitude (le «y») et d'altitude (le «z») pour un ensemble de points organisés en réseau régulier (la grille). La taille des mailles de la grille, la résolution planimétrique (en x et y), conditionne l'exploitation du MNT pour comprendre les logiques d'écoulement, tout autant que la résolution altimétrique (en z) qui est généralement satisfaisante pour les usages les plus courants.

Le MNT est donc une représentation numérique du relief. Il peut être utilisé sous forme de dérivées à travers des modules de calcul pour générer, par exemple, des figures ombrées (figure III-2-1), des réseaux hydrographiques théoriques (figure III-2-2), des limites de bassins versants, des cartes de pentes, etc. Les MNT permettent également de réaliser des profils topographiques de manière très simple et rapide (figure III-2-1), sans la mise en place de méthodes de terrain de géomètre, comme cela était nécessaire dans le passé.

Les logiciels libres pour travailler sur le relief et ses dérivées sont principalement QGIS (https://www.qgis.org/fr/site) et SAGA GIS (http://www.saga-gis.org/en/index.html).

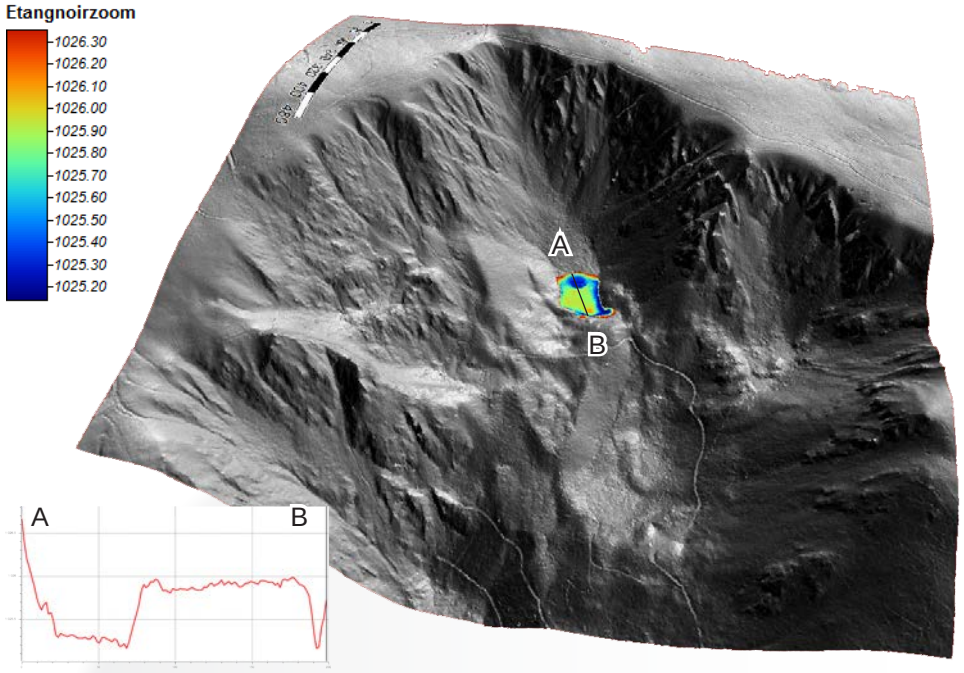


Figure III-2-1: représentation du relief sous forme ombrée (en gris) et sous forme colorée (zone humide seulement) à partir d'un MNT de maille 1 m (CIGAL-IGN). En bas à droite, profil topographique issu du même MNT et représentant le relief en coupe du point A au point B.

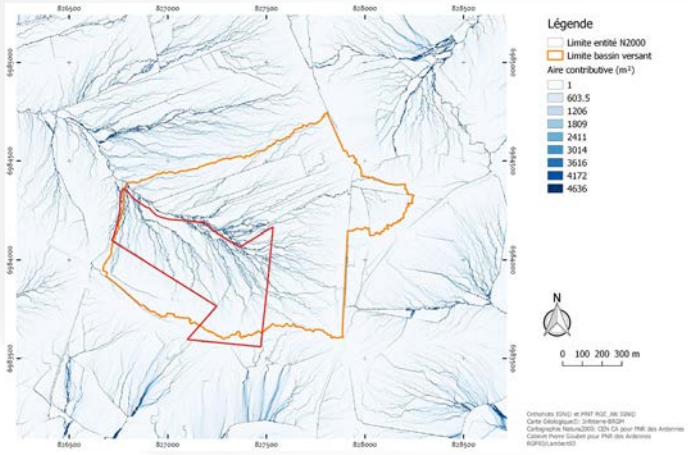


Figure III-2-2: modélisation des écoulements de surface à partir d'un MNT de maille 1 m (IGN).

III.3 - Géologie et géomorphologie

En tourbières, les communautés végétales s'organisent en fonction de la disponibilité des nutriments, suivant des logiques biogéochimiques complexes. De plus, la nature physico-chimique des eaux est dépendante des roches et des formations superficielles dans lesquelles s'effectuent les écoulements.

Dans ce cadre, la compréhension des écoulements souterrains est fondamentale, en particulier pour les tourbières qui dépendent des eaux de nappe. Ceci fait de l'analyse géologique et géomorphologique un volet déterminant pour la compréhension des logiques d'écoulement et, par conséquent, plus largement pour décrypter le fonctionnement des tourbières, prioritaire dans le diagnostic fonctionnel.

L'analyse géologique, et dans une moindre mesure l'analyse géomorphologique, découle d'une approche descriptive longue et cumulative, sur des objets peu changeants. Les principales ressources de données géologiques sont bibliographiques au sens large, intégrant des documents non publiés (thèses, mémoires d'étude, rapports de sondages, etc.), des bases de données et surtout des cartes, qui constituent le plus souvent la ressource essentielle. Une partie de l'information est regroupée sur le site Infoterre (http://infoterre.brgm.fr) du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), dont les cartes (figure III-3-1).

Ces cartes, et d'autres informations géologiques et géomorphologiques sont disponibles sur SIG via des protocoles de consultation internet (flux WMS) et peuvent de ce fait être croisées avec diverses données spatiales comme le relief (figure III-3-2).

Le but ultime de l'analyse géologique et géomorphologique est d'élaborer des modèles d'écoulements (figure III-3-3) et de flux nutritionnels permettant à la fois de comprendre le fonctionnement des tourbières et les moyens de les conserver.

Les modèles hydrogéologiques sont souvent validés par des études piézométriques.

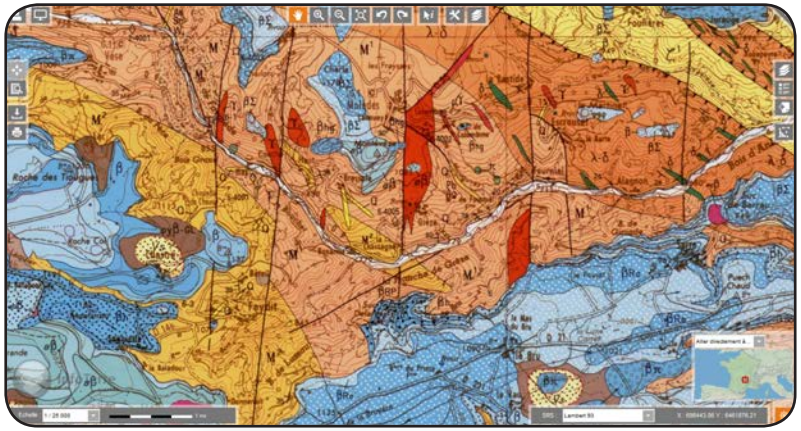


Figure III-3-1: page de consultation des informations géologiques sur le site spécialisé du BRGM (http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do)..

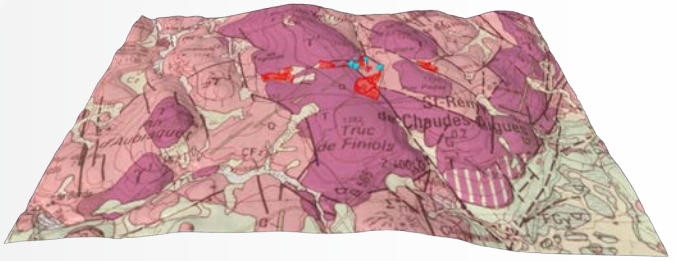


Figure III-3-2: usage des fonds de cartes géologiques à travers un flux WMS sur logiciel SIG. Ici, l'information géologique est croisée avec le relief et le contour des édifices tourbeux.

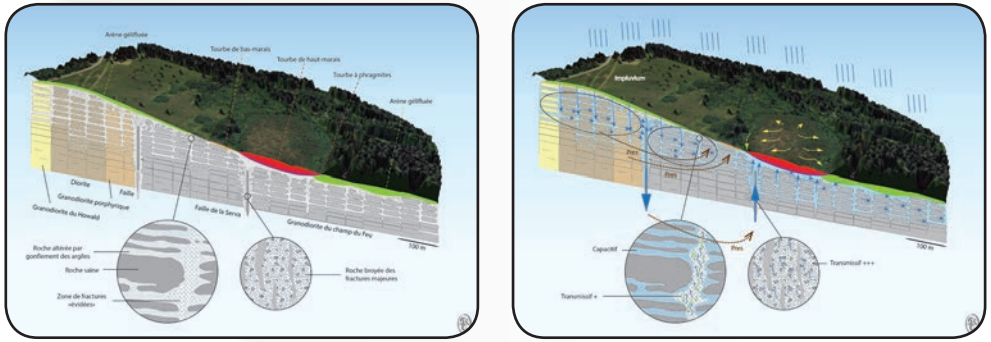


Figure III-3-3: exploitation à des fins de modèle hydrogéologique et fonctionnel des données géologiques. Le relief, la structure géologique et l'altération des roches conditionnent les écoulements qui eux-même conditionnent la présence des différentes tourbières.

III.4 - Caractérisation des épaisseurs de tourbe

La présence de tourbe, l'épaisseur du dépôt, et plus généralement la forme de l'édifice tourbeux constituent des informations essentielles à la compréhension du fonctionnement actuel ou passé d'une tourbière. Cette information basique est utile lors de la définition des enjeux et du temps de travail sur les investigations pédologiques et paléoécologiques.

L'estimation des épaisseurs de tourbe est le plus souvent réalisée à la perche métallique (figure III-4-1). Il s'agit d'enfoncer une tige métallique verticalement dans le sol jusqu'à ressentir une résistance supposée correspondre au socle minéral sous la tourbe. Chaque point estimé est pointé au GPS à précision pluri-métrique et intégré à une couche SIG.

Les mesures à la perche sont susceptibles de contenir des erreurs liées à l'existence de tourbes compactes ayant le même comportement que des argiles meubles, ou dans le cas de sédiments lacustres qui se comportent comme de la tourbe. La comparaison des données de la perche et de celles du carottier russe permet de valider les mesures d'épaisseur.

Il existe d'autres méthodes de caractérisation des épaisseurs de tourbe comme celles du radar géologique ou la résistivité électrique, mais l'usage de ces outils reste réservé à des problématiques spécifiques.

Les données de sondage à la perche sont intégrées dans un SIG et peuvent être restituées suivant différentes modalités: simples cartes (figure III-4-2), coupes ou profils (figure III-4-3) ou sous forme de dérivées comme des cartes d'altitude du socle rocheux sous la tourbe (figure III-4-4), permettant de comprendre le cadre topographique avant la mise en place de la tourbière.

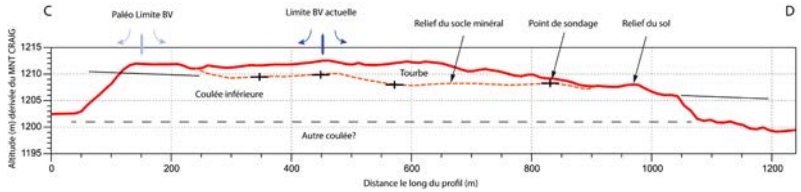


Figure III-4-4: utilisation des données d'épaisseurs de tourbe en coupe, croisées avec un MNT à 10 m (CRAIG).

Figure III-4-2: épaisseurs de tourbe sur fond photographique (CRAIG-IGN).



Figure III-4-1: évaluation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique.

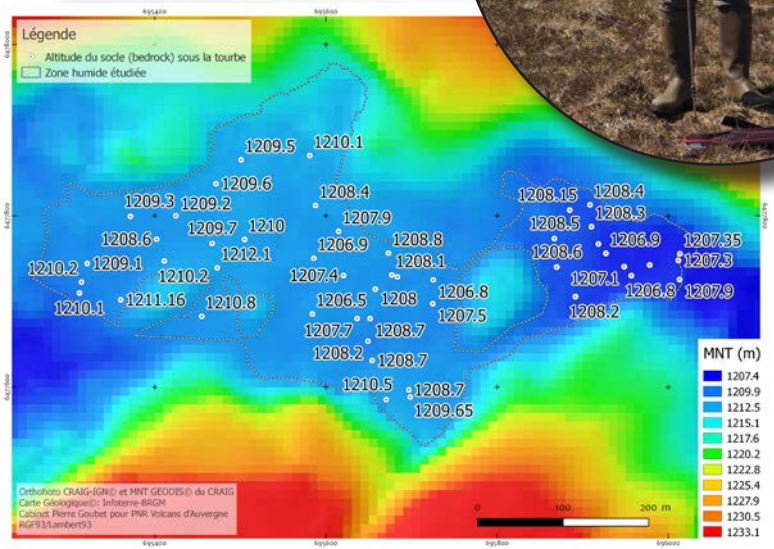


Figure III-4-3: altitude du socle minéral sous la tourbe calculée à partir d'un MNT à 10 m (CRAIG).

III.5 - Caractérisation pédo-paléocologique de terrain

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. A cela s'ajoutent parfois des éléments complémentaires.

L'outil utilisé pour le prélèvement est, dans la tourbe, le carottier russe, dans les autres sols, différents types de tarières manuelles (tarière Edelman, tarière gouge) (figure III-5-1). Une fois extraites, les carottes sont étudiées directement sur le terrain. Pour valider les observations à la loupe, des échantillons sont prélevés et stockés dans des sachets plastiques, numérotés et référencés en fonction du sondage et de sa place dans celui-ci (la profondeur à laquelle il a été trouvé). Ces échantillons sont ensuite analysés à la loupe binoculaire ou au microscope, la plupart du temps suivant le même protocole que celui de l'analyse des macrorestes à vocation conservatoire.

La localisation des sondages est enregistrée au GPS de précision pluri-métrique, les photographies des carottes dès leur extraction sont enregistrées également.

La restitution des résultats de ces descriptions de terrain se réalise à travers des schémas représentant des profils pédologiques lorsqu'ils ne sont épais que de 100-150 cm, ou des profils paléoécologiques s'ils sont plus importants.

La réalisation de sondages allant du sol jusqu'au socle minéral sous la tourbe est un des objectifs du diagnostic ou du prédiagnostic, mais ce travail est long et il n'est pas toujours possible de dupliquer les informations.



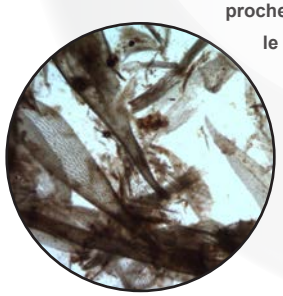
Figure III-5-1: le carottier russe (a), la tarière edelman (b), la tarière gouge (c).

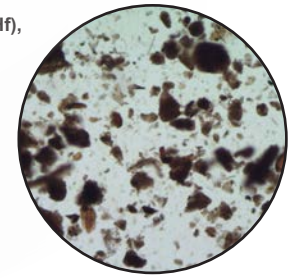
Généralités sur les sols tourbeux

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).


Fibres dans la tourbe, ici une mousse.


Microagrégats de matière organique.

III.6 - Analyse des macrorestes

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

III.6.A - Phase de terrain

L'extraction des carottes est réalisée à l'aide du carottier russe.

Une fois extraites, les carottes sont photographiées et placées dans des demi-tubes en PVC, référencés. Elles sont ensuite emballées dans un film plastique.

La localisation des sondages est enregistrée au GPS de précision métrique.

III.6.B - Phase de laboratoire

Au laboratoire, les échantillons de carottes prélevés sont déballés, puis un fragment est extrait à l'aide d'un tube cylindrique (seringue). Ce prélèvement représente un volume de 4,7 cm^3 environ (figure III-6-1). Les échantillons sont analysés, en diluant la matière dans une boite plastique mesurant 9,7 x 6,5 cm (figure III-6-1).

Les carottes sont conservées pendant toute l'étude afin d'y avoir recours en cas de besoin.



Figure III-6-1 : échantillons pour analyse des macrorestes brut (a) et prêt à être analysé (b).

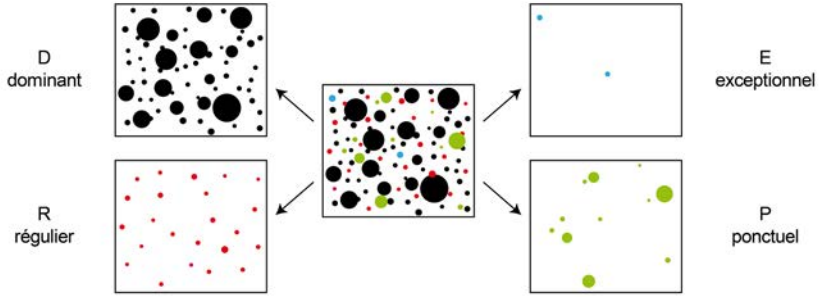


Figure III-6-2 : schéma présentant la signification des coefficients de recouvrement utilisés.

III.6.C - Analyse des échantillons

La phase d'analyse des échantillons consiste en une identification des macrorestes présents suivie d'une quantification approximative.

L'identification est réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope. Dans le cadre de l'analyse d'un sondage complet, la quantité des éléments présents est estimée sur la base de quatre niveaux allant de dominant (d) à exceptionnel (e), en passant par régulier (r) et ponctuel (p) (figure III-6-2).

Les données sont ensuite compilées dans des tableaux avec en ordonnées les profondeurs des échantillons en cm, espacés de 10 cm en commençant à -7 cm, pour ne pas échantillonner dans les parties hautes et basses de la carotte, proches des bords et potentiellement perturbées. En abscisses, sont présentés les contenus des échantillons avec une première série qui décrit les proportions, en pourcentages, des fibres, des microagrégats et des particules minérales. La présence de charbon est indiquée dans une autre colonne. Ensuite, le contenu en macrorestes de type racines et radicelles indéterminées est présenté. La détermination tente d'être la plus précise possible. Les racines et radicelles des monocotylédones et dicotylédones autres que ligneuses sont présentées dans une colonne propre. Le plus souvent, les racines de ligneux sont reconnaissables et peuvent être présentées à part. Lorsque possible, une distinction entre ligneux hauts et ligneux bas est réalisée et des colonnes distinctes sont proposées. Le reste des macrorestes, en général de meilleure précision taxonomique, est présenté ensuite, vers la droite du tableau.

III.7 - Datation au carbone 14 (^{14}C)

III.7.A - Principes physico-chimiques

L'élément carbone présente une diversité de son contenu en certaines particules; il se présente donc suivant différents isotopes, dont un, le carbone 14, qui peut être utilisé pour dater la matière organique jusqu'à des âges de 50 000 ans.

Le principe repose sur la capacité de cet isotope, qui est créé par un rayonnement cosmique et instable, de se transformer en «carbone classique». Il existe ainsi dans l'atmosphère, l'océan et la biosphère, une proportion connue, mais variable, de carbone 14 par rapport au carbone total. Une fois le carbone enfoui, la proportion de carbone 14 va décroître de manière régulière et à vitesse connue, 50% tous les 5734 ans à 40 ans près. Il suffit donc de mesurer le rapport entre le carbone 14 et le carbone total pour définir le temps passé depuis l'enfouissement.

Pour effectuer cette quantification, les techniques sont de 2 types: la mesure directe d'un rayonnement lorsque le carbone 14 se transforme en azote 14 avec l'émission d'une particule béta, comme on peut le faire pour mesurer différents types de rayonnement nucléaire (par exemple avec un compteur Geiger), puis des mesures sur la masse de carbone concernée; ou bien par dosage directe du carbone 14 et du carbone total par une machine spéciale qui sépare les différents isotopes de l'élément. Cette dernière méthode est dite par AMS (analyse par spectrométrie de masse).

Les résultats sont fournis suivant des modalités de taux carbone 14 et d'âge. Deux âges sont indiqués: un âge ^{14}C en BP (before present avec référence en 1950) et un âge calibré exprimé par rapport a l'année 0 du calendrier occidental, les deux représentants des fourchettes d'amplitudes différentes, induites par la nature des deux dates. La première peut être considérée comme un âge «brut» avec une marge d'erreur instrumentale, la seconde comme un âge probable en fonction de l'ensemble des paramètres d'erreur instrumentaux et induits par les variations du taux de carbone 14 lors de la fossilisation. Le calcul de l'âge calibré est présenté sous forme graphique avec en abscisse la marge d'erreur, en ordonnée la date brute et



Localisation: Venec D1 à 126 cm,
Code échantillon: D1_sAus_126.
Macrorestes datés: *Sphagnum austinii*.
Age calibré: de 252 à 416 ap. J.-C.



Localisation: Venec D1 à 318 cm.
Code échantillon: D1_bmol_318
Macrorestes datés: spindles et gaines basales de linaigrette engainante.
Age calibré : de 2034 à 1778 av. J.-C.



Localisation: Venec D5 à 206 cm
Code échantillon: D5_bmol_206:
Macrorestes datés: gaines basales de molinie.
Age calibré: de 1875 à 1620 av. J.-C.

Figure III-7-1 : échantillons de macrorestes prêts à sécher avant départ pour datation au carbone 14. Sous chaque photo, les références des échantillons et les datations obtenus.

sa marge d'erreur statistique et sur le graphique la courbe de calibration (= la variation connue du taux de ^{14}C dans la période encadrant la date brute). Cette représentation permet de mieux figurer les véritables âges possibles qui ne sont pas toujours continus en probabilité. Par rapport aux fourchettes de dates calibrées, l'analyse des probabilités de répartition des dates est un outil qui permet des comparaisons plus précises.

III.7.B - Méthode de prélèvement et choix des objets à dater

La difficulté de dater au carbone 14 n'est pas tant dans l'analyse elle-même, qui offre aujourd'hui des techniques et des corrections satisfaisantes, que dans le choix de l'objet à dater et l'interprétation qui en est faite. Par exemple, certains végétaux peuvent biaiser les résultats d'une datation en absorbant du carbone «fossile», au taux de ^{14}C faible avec comme effet un vieillissement artificiel. Ce phénomène est bien connu de certaines plantes aquatiques. Pour les plantes de tourbières, peu de choses sont connues; il est assumé que les mousses et les autres plantes de tourbières ne consomment pas de carbone ancien de manière à modifier les mesures. Ceci-dit, pour permettre un tri rigoureux et de bonnes comparaisons, nous privilégions des mesures sur des fragments végétaux plutôt que sur la tourbe en vrac.

La stratégie de datation sera présentée dans la partie résultats, une fois la délimitation des différentes couches réalisée.

Le protocole a consisté à prélever dans la carotte un échantillon de manière identique à celle du prélèvement pour les macrorestes, à trier les objets à dater sous la binoculaire, à les laver à l'eau non calcaire, puis à les sécher à l'air pendant plusieurs jours (figure III-7-1). Ils sont ensuite envoyés au laboratoire de datation ensachés de manière étanche.

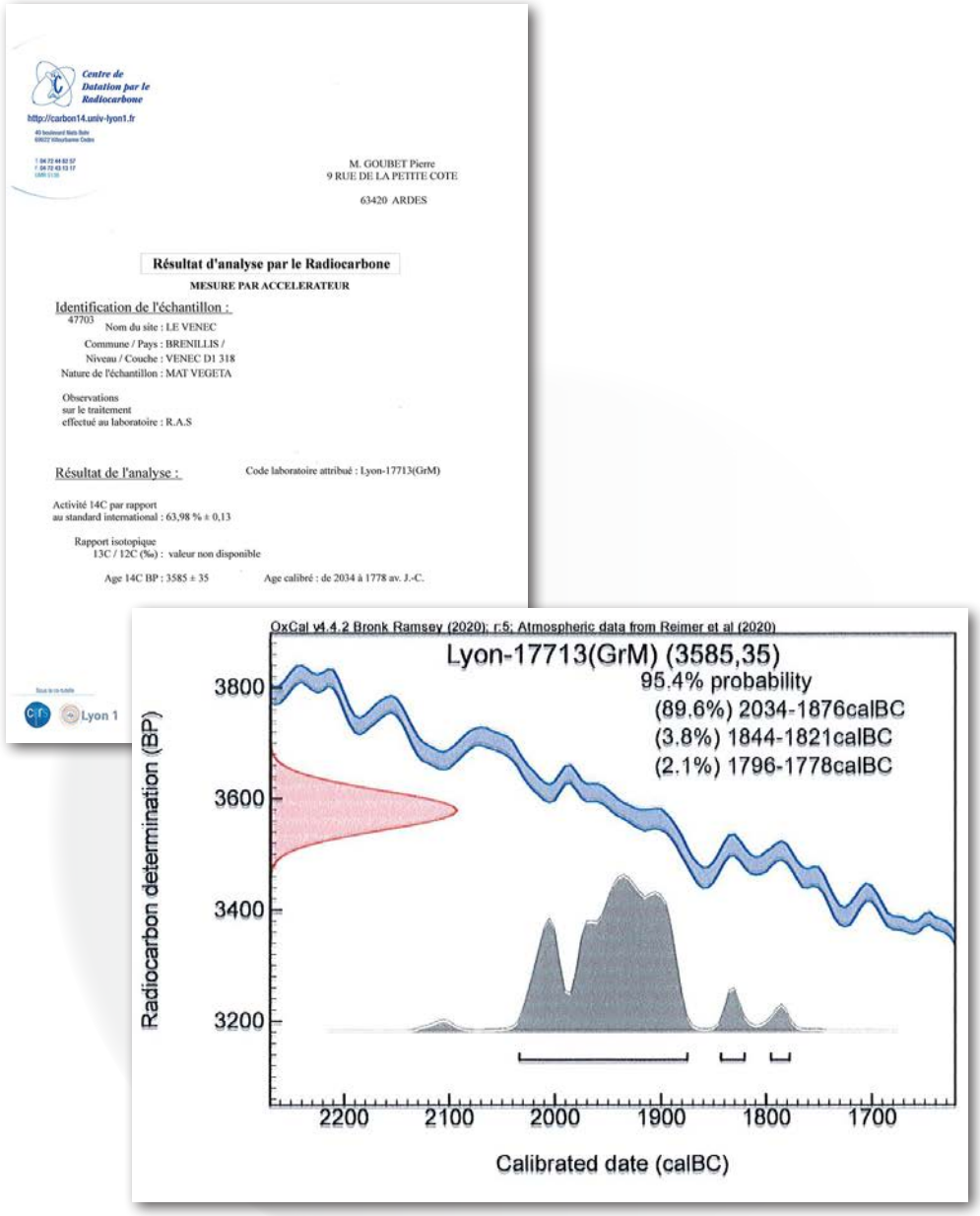


Figure III-7-2 : présentation des résultats obtenus par le laboratoire.

III.8 - Caractérisation des unités fonctionnelles

La connaissance de la répartition des communautés végétales sur un complexe humide permet de définir à la fois (1) l'enjeu patrimonial lié aux habitats, ce qui est généralement réalisé, et aussi (2) les logiques écologiques à l'échelle du complexe.

Les communautés végétales de plantes vasculaires et de bryophytes (des mousses et des hépatiques) s'organisent suivant des logiques spécifiques. Chaque plante possède une niche écologique théorique qui dépend d'un ensemble de paramètres écologiques. Suivant les valeurs de ces différents paramètres en un endroit donné, un certain nombre de plantes sont susceptibles de pouvoir y vivre. Cependant, la composition et la structure des communautés ne dépendent pas uniquement de ces paramètres théoriques, mais aussi de contraintes supplémentaires comme la capacité d'une plante à s'installer (présence de sources de propagation) ou l'état de la communauté au moment de l'arrivée d'une propagule. De plus, de nombreux processus entrent en jeu dans les relations entre les différentes plantes d'une communauté comme la compétition ou la facilitation. La niche d'une plante réalisée en un endroit donné, est donc souvent plus restreinte que sa niche théorique.

Ce concept de niche appliqué à une espèce peut être extrapolé à l'échelle des communautés végétales. Ainsi, la communauté présente à un endroit donné résulte, en grande partie, des conditions écologiques locales. On parle de déterminisme pour signifier les paramètres les plus importants pour l'existence d'une communauté. Par exemple, certaines saulaies sont «déterminées» par des stocks ou flux de nutriments relativement importants, apportés par des ruisseaux. Elles se réalisent en l'absence de pâturage, autre élément «déterminant», au sens précis du terme en écologie.

Si les communautés végétales possèdent des déterminants écologiques, ces derniers ne sont pas toujours bien connus. Il existe beaucoup d'interprétations de déterminisme basées sur une approche naturaliste empirique et «classique», dans le sens où ces interprétations sont issues d'avis anciens, se répétant dans la littérature moderne, sans avoir été élaborée de manière détaillée. De ce fait, certaines de ces propositions de déterminismes sont aujourd'hui amendées ou contre-dites par des observations, des faits ou des données récentes. Il s'avère, en particulier, qu'une même communauté puisse être déterminée par de plus nombreux facteurs que ce qui est considéré habituellement.

Puisqu'une communauté végétale est déterminée par l'état des paramètres écologiques, on peut s'appuyer sur la communauté présente à un endroit donné pour définir l'état des paramètres écologiques à cet endroit. Par agrégation, sur la base de la logique spatiale de l'ensemble des unités d'un complexe, ce sont les conditions écologiques globales qui peuvent être définies. Il s'agit d'une forme de bio-indication, à l'échelle des communautés végétales.

Dans le cadre d'un diagnostic fonctionnel, nous allons logiquement travailler à deux échelles spécifiques: celle de la communauté végétale et celle du complexe. La première est un arrangement spatial d'espèces, le second est un arrangement spatial d'unités fonctionnelles. Cela entraîne donc (1) une description de la composition et de la structure d'une unité fonctionnelle et (2) une cartographie d'unités fonctionnelles.

La difficulté majeure de l'exercice est de trouver l'adéquation entre la description à l'échelle de l'unité fonctionnelle et la description à l'échelle de la cartographie avec trois interrogations: que faut-il décrire, que faut-il cartographier et quel est le lien entre ce qui est décrit et ce qui est cartographié?

Ces questions sont essentielles et les traiter permet de prendre conscience des limites des méthodes mises en place.

Par exemple, les moliniaies sont des unités fonctionnelles très courantes dans les milieux tourbeux. Elles sont très faciles à identifier et à délimiter dans leur globalité. Cependant, dans le détail, le cortège qui accompagne la molinie varie dans l'espace, en fonction des conditions écologiques «complémentaires» à celles qui donnent l'avantage à cette espèce. On peut donc souvent différencier plusieurs «sous-moliniaies» en fonction des plantes compagnes. Sur le terrain, la description de la composition et de la structure floristique des différentes moliniaies est très difficile, leur cartographie souvent impossible. Il s'offre alors deux choix au descripteur, soit investir en temps dans une approche précise, par exemple sous forme de profil de structure et de suivi, soit se contenter d'une description succincte et d'une cartographie simple à réaliser. La première démarche permet d'exploiter au mieux la bioindication végétale et rendre compte d'une réelle diversité structurale de l'unité fonctionnelle. Le choix d'une telle méthode se justifiera

dans certains cas; elle ne permet pas toujours de réaliser des cartographies réellement plus précises. L'autre méthode, celle d'une considération simplifiée de l'unité fonctionnelle, est rapide et constitue une bonne base de travail. On peut souvent indiquer la diversité suspectée sur la simple observation, en mentionnant les différents cortèges perceptibles, sans les décrire précisément.

Dans la pratique générale, une forme de standardisation des cartographies d'habitats impose la réalisation de relevés de type phytosociologique. L'expérience montre que ce type de description n'a ni l'avantage de la précision (le relevé ne rend pas compte de la diversité des cortèges associés), ni celui de la représentativité (le relevé n'a qu'une valeur locale, sur quelques centaines de m² au mieux)(figure III-8-1). Il n'est qu'une illustration de la communauté présente, équivalent à une description simple, mais il prend plus de temps, son coût est supérieur. Cependant, si la méthode phytosociologique présente peu d'intérêt en écologie des écosystèmes, elle est pertinente en biogéographie, science pour laquelle elle a été développée.

Malgré les désavantages qui lui sont associés, nous n'excluons pas complètement l'usage des relevés sur placette, car dans certains cas, ils restent l'outil le plus approprié, faute de mieux, en particulier dans des communautés diversifiées d'un certain intérêt patrimonial. A l'inverse, nous ne décrirons pas par cette méthode des unités peu patrimoniales comme les saulaies, ou celles qui présentent peu de variations à incidence fonctionnelle comme c'est le cas pour de nombreuses buttes à sphaignes. En effet, celles-ci présentent une certaine variabilité floristique induite par la présence d'espèces des milieux adjacents, alors que le «cœur» de la butte est constitué de quelques espèces qui déterminent l'existence même de la butte. La valeur du relevé devient faible et la simple mention de la présence de buttes à *Sphagnum capillifolium* permet de signifier avec une précision satisfaisante l'unité fonctionnelle, sans avoir à réaliser une série de relevés permettant d'apprécier la variabilité spatiale de la composition des buttes qui n'a de toute façon pas d'utilité.

Dans la pratique, à l'échelle de la communauté, nous allons donc adapter la description aux enjeux (moyens inclus), cherchant un équilibre entre la plus-value de la description et le temps nécessaire à cette description. Nous ne traiterons pas toutes les unités de la même façon; nous ne cherchons pas une sorte d'homogénéité descriptive, sauf sur certaines études particulières. Ceci-dit, toutes les unités présentes sont traitées de manière «qualitative» ou font l'objet d'un relevé floristique sur surface homogène avec le recouvrement des taxons pondérés de manière simple suivant la codification présentée en figure III-8-2.

La répartition spatiale des unités décrites est caractérisée soit par une cartographie de terrain au GPS de précision métrique (Mobile Mapper 6), soit à partir de photographies aériennes ou satellites sous SIG (QGIS). L'usage des MNT peut aussi contribuer à délimiter certaines unités, tout comme la consultation des photographies aériennes anciennes.

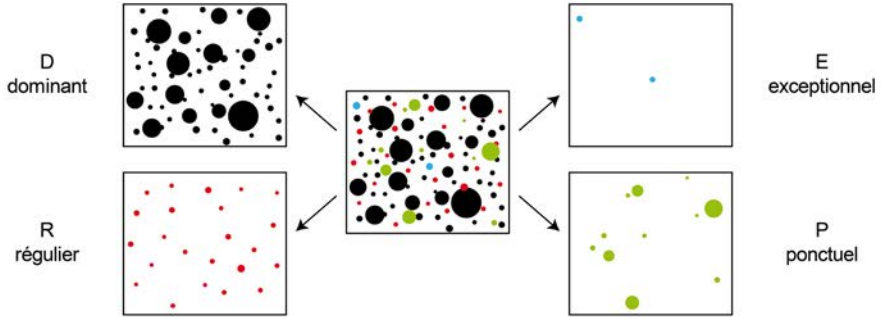


Figure III-8-2 : schéma présentant la signification des coefficients de recouvrement utilisés.

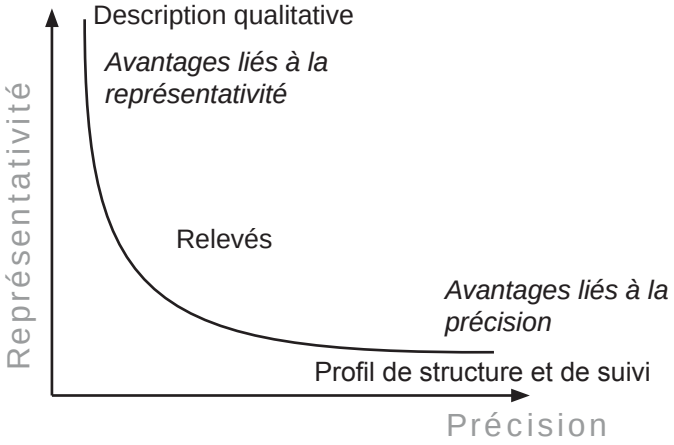


Figure III-8-1 : représentation schématique des avantages liés aux approches descriptives des communautés/unités fonctionnelles.

III.9 - Profils de structure et de suivi

La mise en place d'outils de suivi floristique n'est pas une chose facile, pour des raisons multiples. Deux méthodes sont le plus souvent choisies: celle du relevé sur une surface de référence délimitée pour le long terme (bornes) et celle de la cartographie de taxons, toujours sur une surface de référence. Le relevé est relativement peu précis comparé à la cartographie, mais plus rapide à exécuter et, surtout, les données sont plus facilement comparables d'une campagne à l'autre. La cartographie de taxons ou de groupes de taxons est souvent assez difficile à réaliser à cause des stratifications de végétations et de la faible surface concernée par rapport à la taille d'un site. La méthode des relevés se heurte à la difficulté de choisir une surface ayant du sens, et à trouver une méthode de quantification de l'importance de chaque taxon qui permette de saisir les variations de structure des végétations.

Pour palier aux défauts des deux méthodes, nous avons mis en place depuis quelques années et sur de nombreux sites tourbeux, une méthode mixte, rapide et aux résultats facilement comparables comme celle des relevés, mais à couverture spatiale et analyse structurale possible et simple comme une cartographie de taxons. Nous avons proposé le terme de profil de structure et de suivi (PSS) à cet outil. Il ne s'agit pas d'une méthode idéale mais d'un compromis temps-bénéfice satisfaisant pour les systèmes ouverts à couches bryophytiques importantes comme en tourbière.

La réalisation de profils de structure et de suivi permet, au travers d'une analyse empirique ou d'une analyse numérique, de caractériser la composition et surtout la structure des unités fonctionnelles élémentaires et des unités fonctionnelles d'ordre supérieur comme une série graduelle ou une mosaïque plurimétrique. Elle permet aussi de mettre en corrélation la composition ou la structure floristique avec des éléments tels que le relief, les écoulements, la nature des sols, etc.

Les profils sont réalisés sur la base d'un linéaire entre deux points bornés, linéaire matérialisé par un ruban gradué. Il s'agit de représenter les objets rencontrés sur ce linéaire sur une base métrique. En d'autres termes, il s'agit de reporter tous les objets présents pour chaque mètre du profil, 10 cm de chaque côté du ruban (figure II-9-1). Les données sont intégrées à un tableau d'absence-présence (matrice binaire) avec un axe correspondant à la distance à la base et un axe correspondant à l'ensemble des objets présents sur le profil (figure III-9-2). Les objets enregistrés sont des taxons, des groupes de taxons, des UFE ou des informations complémentaires: eau libre, talus, etc.

Ces données quantitatives peuvent faire l'objet d'analyses statistiques; elles servent aussi de base à un suivi à moyen et long terme. Dans ce cadre, il ne faut pas chercher à rendre compte d'une variation précise au mètre près des deux collectes, car il est impossible de travailler deux fois sur le même linéaire avec cette précision.

Le fait que les relevés soient contiguës sur plusieurs dizaines de mètres permet une analyse de regroupement et de structure spécifique. La répartition des taxons sur un profil continu permet des regroupements en cortèges, purement locaux, réalisés par tri manuel (figure III-9-2). Ces cortèges se regroupent eux-aussi sur le profil en phytocénoses qui peuvent



Figure III-9-1: le ruban métreur matérialise le profil de structure de suivi le long duquel des relevés contiguës de 0,2 m² génèrent une matrice Taxons X Distance. A chaque mètre du profil, les plantes situées à 10 cm de chaque côté du ruban sont intégrées au relevé.

être délimitées non pas de manière arbitraire, visuelle, sur le terrain, mais sur la base de la répartition des espèces dans la matrice. Sur certains profils, des gradients, des écotones ou des effets de bordure peuvent être nettement mis en évidence, ce qu'aucune autre méthode n'autorise avec un si faible investissement.



Les PSS permettent aussi de calculer des indices de biodiversité et en premier lieu la richesse spécifique des plantes vasculaires et des bryophytes (figure III-9-2).

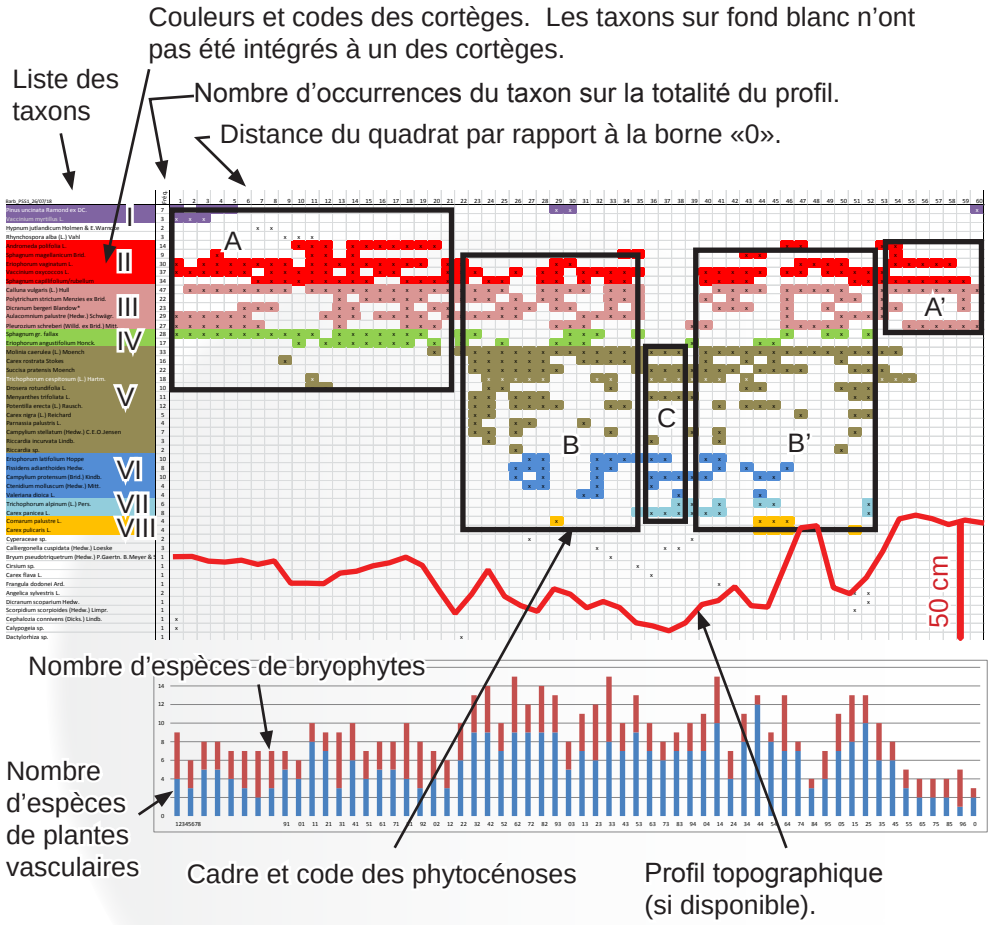


Figure III-9-2: profil de structure et de suivi floristique réalisé sur la Seigne des Barbouillons (Jura) et profil topographique correspondant (en rouge), issu d'un MNT à 50 cm (SMMAHD). Le profil correspond à la présence des plantes (nom en ordonnées) pour chaque mètre le long d'un ruban gradué (en abscisses). Les taxons se regroupent en cortège par occurrence commune (pas de regroupement dit «expert» sur une base bibliographique par exemple. Le cortège n'est donc pas «imaginaire», mais résulte de l'occurrence réelle des plantes telle que mesurée. Une exception est faite ici lors de la séparation des cortèges II (plantes turfigènes) et III (plantes non turfigènes) qui montrent une répartition identique. Ici, la composition et la structure floristique sont comparées au relief, ce qui met en évidence le lien entre les bas niveaux topographiques et les cortèges en «bleu». Le spectre de richesse floristique (en bas), montre la corrélation entre les bas niveaux topographiques et le nombre d'espèces de plantes vasculaires qui augmente.

III.10 - Caractérisation piézométrique

L'eau joue un rôle majeur en tourbière, à travers sa qualité de contrainte écologique pour les êtres vivants et parce qu'elle est le principal vecteur des nutriments. Comprendre les logiques d'écoulement est de ce fait un objectif majeur du diagnostic fonctionnel. La caractérisation des logiques de flux hydriques s'appuie d'abord sur des éléments structuraux (relief, géologie, géomorphologie, bio-indicateurs) et, en complément, sur des mesures d'indicateurs spécifiques comme les variations des niveaux d'eau ou les propriétés physico-chimiques des eaux.

L'analyse piézométrique s'attache à définir les variations des niveaux d'eau dans les roches et les sols. L'analyse limnimétrique est l'équivalent pour les eaux de surface. Pour certains lieux, l'analyse est à la fois piézométrique, lorsque la nappe est sous le niveau du sol, et limnimétrique lorsqu'elle est au dessus (zones inondées en hiver, par exemple). Nous n'appliquerons pas avec rigueur ces concepts et parlerons la plupart du temps de régimes piézométriques au sens large, sauf pour les cours et les pièces d'eau.

Le suivi des niveaux d'eau se réalise grâce à des piézomètres, des tubes complètement ou en partie crépinés (percés d'un réseau de fentes de structure définie), qui se fixent verticalement dans le sol et qui se remplissent de l'eau des milieux adjacents à niveau équivalent. Les niveaux étaient traditionnellement relevés quelques jours par an à partir de la tête du tube, à la surface, avec un ruban gradué et une diode sensible à l'eau. Aujourd'hui, le suivi est réalisé sur des durées horaires ou demi-horaires grâce à des sondes automatiques qui sont équipées de capteurs.

Divers fabricants proposent des sondes équipées de capteurs électroniques de pression et de température.

Chaque sonde piézométrique (figure III-10-1) 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, suivant les besoins, et soit en PVC, soit en PEHD (figure III-10-1). Les sondes sont posées dans une navette en PVC qui est déposée dans le fond du piézomètre avec une canne télescopique adaptée, ou posée directement au fond du tube, sur une cale positionnant le capteur au dessus du culot de sédimentation.

Tous les piézomètres sont posés un même jour ou en deux jours rapprochés grâce à un carottier russe de diamètre extérieur de 60 mm (figure III-5-1) ou d'autres tarières pédologiques (Edelman, gouge de 30 mm).





Figure III-10-1: pose de tubes piézométriques (a); sonde piézométrique, ici des Leveloggers de Solinst et navette de pose (b).

Les profils pédologiques de chaque piézomètre sont généralement relevés ou connus sur la base de travaux antérieurs. Les schémas de restitution des sondages sont présentés dans la partie résultats soit dans le volet pédologique, soit dans le volet hydrologique.

Les sondes sont programmées pour un démarrage simultané et restent en place pour la même durée, généralement entre 11 et 12 mois.

Les données brutes sont exprimées en divers formats suivant les types de capteur, il est possible de convertir l'ensemble en cm H_2O, en format CSV ou Excel.

Le traitement des données peut-être réalisé sous tableur. La compensation sonde piézométrique-sonde

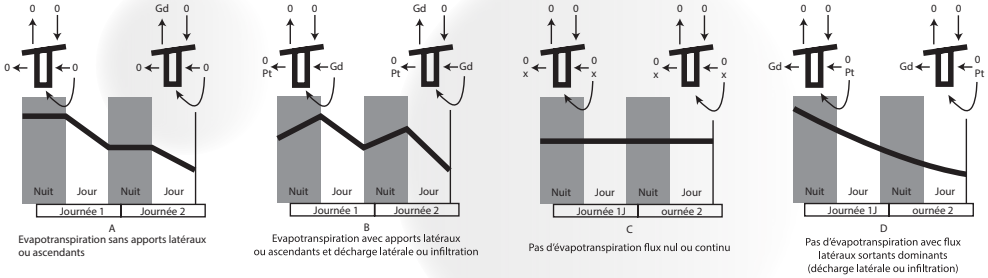


Figure III-10-3: modèle simplifié de décomposition théorique du signal piézométrique sur deux journées consécutives. L'allure des courbes est ici interprété en termes d'écoulement ou d'évapotranspiration. Par exemple, le signal de gauche montre une baisse du niveau diurne et une stagnation nocturne. Ceci s'interprète par l'absence de tout écoulement et un prélèvement des plantes par évapotranspiration. Les écoulements «neutres», autant d'eau entrant que d'eau sortant ne peuvent pas être mesurés et sont considérés comme peu probables.

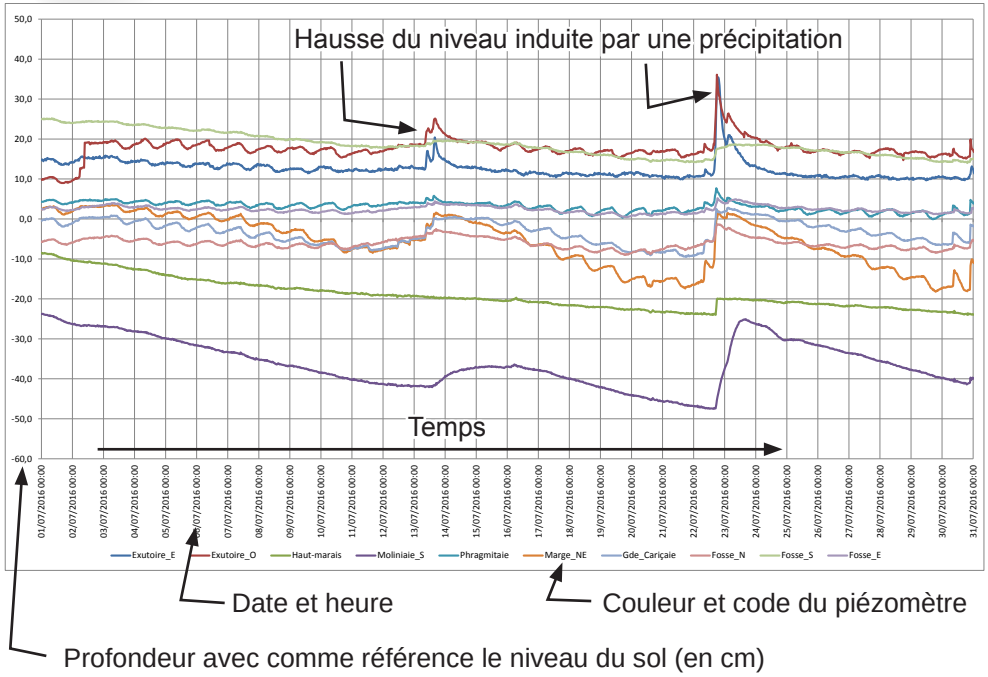


Figure III-10-2: chronique piézométrique mensuelle d'une dizaine de piézomètres.

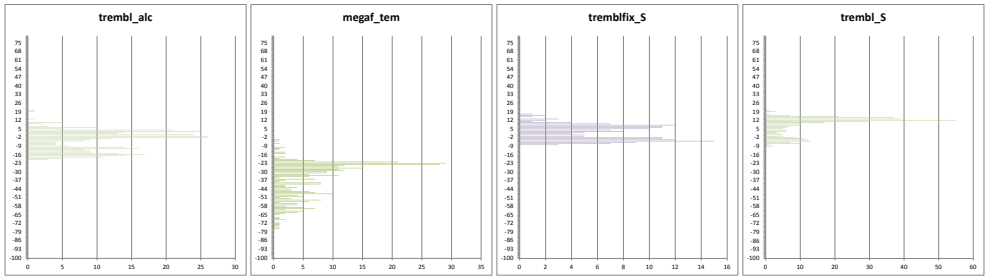


Figure III-10-4: histogrammes de fréquences annuels de 4 suivis piézométriques. Les classes de profondeurs (en ordonnées) sont centimétriques.

baromètrique 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. Dans ce cadre, une correction est souvent calculée en prenant comme référence la mesure du niveau d'eau par rapport au sol le jour de la dépose des sondes.

Le mode de représentation des variations piézométriques le plus courant est la chronique: un diagramme binaire avec une hauteur ou une altitude en ordonnées et le temps en abscisses (figure III-10-2). Le «0» des hauteurs est le plus souvent le niveau du sol, mais il peut aussi être une valeur arbitraire dans le cas des niveaux d'eau d'un lac ou d'un ruisseau.

La base de nos interprétations tient dans une décomposition théorique du signal piézométrique, à l'instar des hydrologues qui décomposent un pic de crue en phases et contributions distinctes. Pour cela, nous nous appuyons sur de petits modèles conceptuels (figure III-10-3) et de nombreux comparatifs entre différentes courbes.

D'autres formes de représentation sont possibles, comme celle des histogramme de fréquence (figure III-10-4).

III.11 - Photographies aériennes anciennes

Des photographies aériennes anciennes de l'Institut géographique national (IGN) sont disponibles en ligne à travers un site de consultation et de téléchargement spécialisé (https://remonterletemps.ign.fr).

Nous téléchargeons l'ensemble des clichés de qualité significative et utilisons ceux qui mettent en évidence des faits marquants, interprétables ou non.

Si besoin, certaines photographies sont calées sur un SIG mais non orthonormées. Dans ce cas, les éléments de comparaison peuvent être légèrement décalés dans les figures.

Les principales informations qui peuvent être extraites des photographies aériennes anciennes sont: le réseau hydrographique à différentes époques; les émergences diffuses ou concentrées; les usages des différentes parcelles; les périodes d'aménagement; et la colonisation ligneuse.

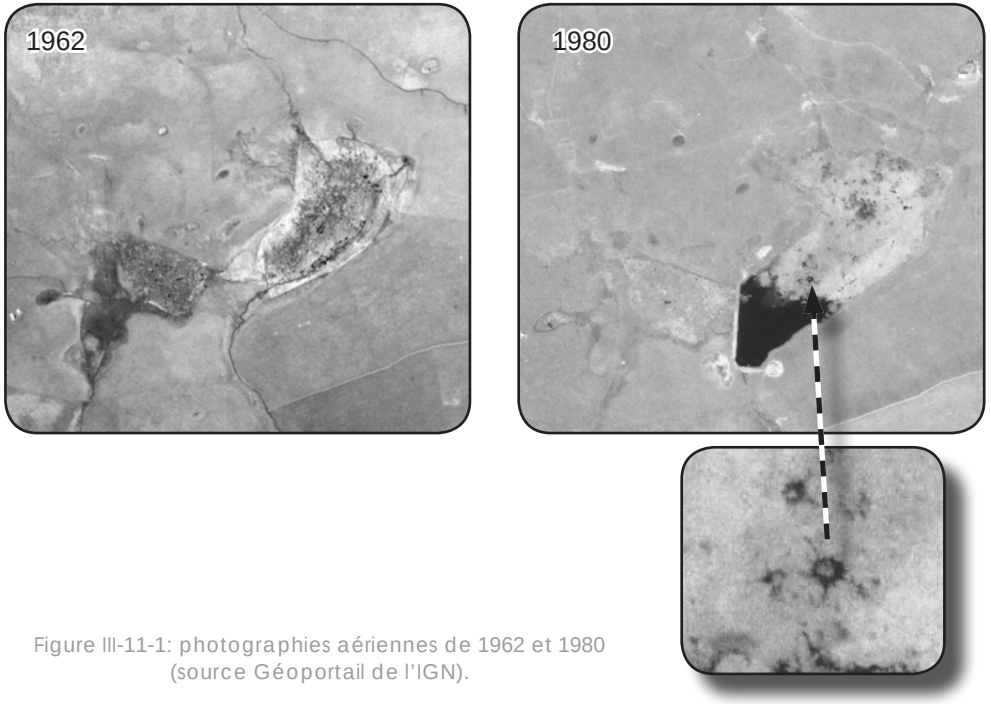


Figure III-11-1: photographies aériennes de 1962 et 1980 (source Géoportail de l'IGN).

III.12 - Synthèse fonctionnelle et recommandations

La synthèse fonctionnelle correspond à la démarche d'élaboration des modèles de fonctionnement des unités fonctionnelles d'un complexe. Elle opère donc à des échelles spatiales variées, de l'unité fonctionnelle élémentaire (une butte à sphaignes, une mosaïque de buttes et de dépression, une moliniaie, une saulaie) au complexe pris dans son ensemble. Elle opère aussi à des échelles temporelles distinctes, en définissant les grandes étapes de construction et de destruction de la tourbe, sur des échelles spatiales variables, fonction des moyens mis en place pour le diagnostic.

L'ensemble des unités fonctionnelles ne fait pas l'objet d'une synthèse détaillée; seules les unités clés sont traitées.

Le plus souvent, le fonctionnement des unités a déjà été décrit par ailleurs, dans la littérature scientifique officielle ou dans la littérature non publiée. Cela est surtout vrai pour les unités de rang inférieur, plus rarement à l'échelle des complexes.

A chaque échelle, notre démarche tient principalement dans la comparaison des données disponibles avec des modèles préexistants. Cependant, parfois, les données n'entrent en résonance avec aucun modèle connu et il nous faut proposer un nouveau modèle, avec dans ce cas une recommandation sur des processus de validation.

Avant même le recours aux modèles de fonctionnement disponibles, nous réalisons la description et des analyses spécifiques à chaque corps de données, correspondant aux sous-parties précédentes (relief, épaisseurs de tourbe, sols, unités écologiques, etc.), dans la partie dédiée aux résultats. Sauf cas particulier, dans la partie qui traite de la synthèse, nous comparerons les différents corps de données entre eux, pour mettre en évidence des logiques spécifiques.

L'analyse des faits et leur interprétation est donc réalisée soit dans la partie résultats, à un niveau «élémentaire», soit dans la partie synthèse fonctionnelle, de manière plus intégrée. Nous recommandons donc de prendre connaissance des deux parties pour intégrer l'ensemble des interprétations proposées.

La synthèse fonctionnelle sert de base à la définition des «recommandations», ou plus précisément des propositions en termes d'action de connaissance, de gestion ou de suivi. Souvent, ces propositions sont présentées dans un tableau récapitulatif.

IV. Typologie des tourbières du Cézallier et de l'Artense



Diverses typologies des zones humides ont été proposées, le plus souvent en lien avec la nature de l'eau qui les alimente de manière déterminante. Pour les tourbières, indépendamment de ces classifications, une typologie des tourbières a été élaborée dans les années 1990. Elle reste la plus utilisée aujourd'hui, mais montre de nombreuses limites qui la rend peu pertinente, comme nous le présenterons.

Notre nouvelle proposition typologique s'appuie sur des approches et les besoins modernes d'étude et de conservation des zones humides, associés aux principes de la typologie des sols décrite dans le Référentiel pédologique (2008). Elle sera présentée sous sa forme appliquée aux tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges.

IV.1 - Limites de la typologie existante

Pour les tourbières, la typologie qui est actuellement utilisée dans la sphère des gestionnaires est celle où le suffixe -gène est croisé à un terme «synthétique» prétendant décrire une situation géomorphologique et une origine de l'eau: limnogène pour les tourbières en contexte lacustre, soligène pour les tourbières de versant, topogène pour les tourbières de fond de vallon, etc.

En pratique, cette typologie s'avère peu opérationnelle, sauf à se suffire d'approximations grossières et à induire en erreur les utilisateurs. En effet, le contexte topographique n'est pas un indicateur de l'origine de l'eau. L'eau de source détermine des tourbières aussi bien en contexte lacustre, en contexte de versant, de fond de vallon, alluvial ou même côtier. De même, les tourbières ombrotrophes occupent de nombreuses situations et la notion d'un type «ombrogène» est discutable: toutes les tourbières ombrotrophes sont ombrogènes, même si dans l'esprit de la typologie seules les tourbières ombrotrophes ayant démarrée directement sur un substrat minéral ont droit à l'appellation. Mais on perçoit rapidement la difficulté d'application du concept sur cette base, comment déterminer avec certitude le point de démarrage d'une tourbière sans avoir à réaliser de nombreuses mesures. Les britanniques ont ainsi résolu ce faux problème en utilisant le terme de tourbière de couverture, décrivant des systèmes ombrotrophes indépendants de la topographie, ce qui se vérifie sur le terrain d'un regard, parce qu'il est fait appel à des données descriptives simples et non des considérations liées à des processus complexes de mise en place.

De plus, cette typologie ne prend pas en compte l'état des tourbières, en complément de leur origine. En effet, en France, de nombreuses tourbières, sinon toutes, ont fait l'objet de modifications dans le cadre de différents usages, changeant leur aspect et leur fonctionnement. Il parait évident, aujourd'hui, de considérer ce fait dans une typologie pertinente, d'autant que l'on sait que de nombreux types convergent sous les contraintes anthropiques vers un type unique.

Les types en -géne posent aussi des problèmes d'interprétation. Dans l'exemple de la tourbière lacustre du Lac d'en Bas à La Godivelle (63), il pourrait paraître satisfaisant de se contenter de définir le complexe lacustre comme limnogène, mais en fait, il existe au sein du lac des émergences qui déterminent des communautés oligotrophes uniques sur le complexe, de grandes valeurs patrimoniales, et qui contrastent avec les communautés réellement lacustres (dépendante des eaux du lac). Dire que la tourbière du Lac d'en Bas est limnogène est faux. Elle l'est pour une partie, là où des tremblants de lac ont formé de la tourbe, mais pas au niveau des émergences, et peut-être pas là où la tourbe a été édifiée par des saulaies-phragmitaies. Cela mène aussi à une mauvaise compréhension de l'état du complexe, de son fonctionnement, de sa valeur patrimoniale et des moyens de conservation à mettre en place. Cette typologie est donc à la fois fausse et non opérationnelle.

IV.2 - Typologie fonctionnelle des tourbières du plateau

L'objectif est de proposer une typologie objective, descriptive et opérationnelle, à précision variable en fonction des usages, et évolutive.

Cette typologie s'appuie (1) sur les trois grands types de tourbières présents dans les montagnes du Massif central et (2) des qualificatifs, notion inspirée de la typologie des sols.

Les grands type de tourbières, ombrotrophes, d'émergence et de concentration des eaux de surface ont été présentés en détail dans les chapitres antérieurs. Ces trois types s'intègrent, par exemple, dans la typologie de Bertrand *et al.* (2012) dont les critères sont présentés en figure IV-2-1. De manière générale, les tourbières ombrotrophes (dépendantes des précipitations) sont opposées aux tourbières minérotrophes (ou géotrophes), dépendantes d'une eau issue du sol ou du sous-sol. Pour ces tourbières, il faut noter qu'il existe toujours une part

ombrotrophique, au moins une partie de l'année, mais cette part n'a pas de traduction fonctionnelle. Les tourbières minérotrophes sont ensuite groupées en tourbières dépendantes des eaux souterraines (groundwater) et en tourbières dépendantes des eaux de surface.

La spécificité des tourbières est celle de la construction du tertre tourbeux et l'enregistrement des différents états de l'écosystème qui contribuent à cette construction. On peut ainsi définir la tourbière en fonction de son état présent, mais aussi en fonction des différents états qui l'ont caractérisé. Il s'agit ici de préciser la variabilité temporelle. Mais cela vaut aussi pour l'espace, suivant l'échelle considérée qui désigne l'objet, une «tourbière», définie comme une unité continue de tourbe ou de végétation potentiellement turfigène (un complexe), peut être constituée de diverses unités dont le type varie.

Cette coexistence spatiale rend difficile l'utilisation de la notion de «phase» parfois utilisée en tourbière pour désigner des états différents en fonction du temps. En effet, il arrive fréquemment que différentes unités coexistent sur de longues durées, sans démarrer au même moment, et dans des proportions variables. Sur le plateau, de nombreux complexes sont à l'origine minérotrophes et s'enrichissent d'une unité ombrotrophe qui s'étend de manière progressive au sein de l'unité minérotrophe, sans pour autant la remplacer totalement. Le vocable pour désigner de tels cas serait: lorsque l'origine de l'eau n'est pas parfaitement établie une tourbière minérotrophe à unité ombrotrophe; et dans le cas contraire, une tourbière d'émergence à unité ombrotrophe; ou une tourbière lacustre à unité ombrotrophe.

L'usage des trois types de tourbières originelles s'applique donc à différentes échelles, d'une unité fonctionnelle élémentaire comme une butte à sphaignes au complexe tout entier. Il est donc fondamental de préciser dans la définition du type l'échelle d'application sous la forme: butte ombrotrophe, unité principale d'émergence, unité de concentration des eaux de surface, etc.

La situation géomorphologique de l'entité désignée est une autre donnée descriptive objective. Il est ainsi possible, de manière non-ambigüe, de préciser que l'entité se situe sur un versant, un bas de versant, un fond de vallon, dans une dépression lacustre, en contexte alluvial, dunaire, etc. Ceci ne prévaut aucunement d'une origine de l'eau. C'est probablement la facilité d'attribution à un contexte géomorphologique qui a fait le succès de la typologie en -gène. En complément, le contexte géologique est un élément descriptif relativement simple, indiqué par les cartes géologiques du BRGM. Bien-sûr, en région de socle métamorphique et plutonique ou de volcanisme, la précision n'est pas requise et les termes utilisés peuvent rester généraliste (par exemple «basaltes» au sens large, et non ankaramite, basanite, etc., «granites» au sens large sans préciser l'origine, etc.).

Origine de l'eau et situation constituent donc deux axes primaires de description. L'état actuel vis-à-vis des usages passés ou actuels constitue un troisième axe qui peut être considéré comme secondaire, dans le sens où l'état découle d'une modification d'un état antérieur.

Les usages pouvant être considérés comme fréquents sont le pastoralisme (pâturage et fauche), l'extraction de tourbe, les plantations forestières, l'ennoiement-décollement.

Ici aussi, l'approche spatio-temporelle est nécessaire et il faut qualifier l'usage dans le temps et l'espace vis-à-vis de l'unité ou du complexe concerné.

L'existence d'un KTH est aussi un élément descriptif et fonctionnel qui mérite d'apparaître dans la désignation d'un type fonctionnel. L'adjectif hydroséral, désignant le remplissage d'une dépression par des sédiments lacustres, puis tourbeux, est aussi une précision descriptive simple et utile. Une partie des tourbières d'origine lacustre suit une logique hydroséral qui s'achève par une unité ombrotrophe, d'autres montrent des séries stratigraphiques différentes, qui ne sont pas toujours interprétables en terme de remplissage lacustre, même pour les sédiments tourbeux. Peut-on parler de

Table 1 Criteria to determine the groundwater dependence of an ecosystem

Target	Criterion	Type of ecosystem	Potential indicators
(1) Ecosystem	Terrain not affected by high water table or excess surface water. If affected, it is only for short periods	Non wetland	Hydrophytic, phreatophytic or aquatic vegetation and processes do not exist
	Terrain affected by high water table at, near or above the land surface	Wetlands and "deepwater habitats" → (2)	Terrain is saturated for sufficient time to promote wetland or aquatic processes
(2) Wetland and "deepwater habitats"	Wetland receiving water exclusively from precipitation and not influenced by groundwater	Ombrotrophic wetlands	Topographically elevatedAcid pH*Sphagnum*-dominated vegetation
	Wetland receiving water rich in dissolved elements	Minerotrophic wetlands and "deepwater habitats" → (3)	Located in topographic depression.Electrical conductivity, pH and/or anion/cation contents
(3) Minerotrophic wetland and "deepwater habitats"	Water source provided uniquely by surface run-off	Surface water dependent ecosystems	Geological settings of watershed
	Water source provided at least partly by groundwater	Groundwater-dependent ecosystems	Geological settings of watershed. Evidence of groundwater arrival (springs, alluvial settings, etc.)

Figure IV-2-1: table des critères de détermination des écosystèmes d'émergence et autres zones humides.

Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J. M., & Hunkeler, D. (2012). From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. Hydrogeology Journal, 20(1), 5-25.

Attributs primaires-Tourbières originelles	Sous-types	Exemples
Tourbières ombrotrophes	Indifférenciée	Paillaret, Pierrefitte
	Bombée	Pas dans les sites étudiés
	De couverture	Pas dans les sites étudiés
Tourbières d'émergence	Indifférenciée	
	Diffuse	Tioule moyen
	Semi-concentrée	Tioule aval, Chambe
	Concentrée	Chambe
Tourbières de concentration des eaux de surface	Indifférenciée	Lac d'en Bas, Coualle-Basse
Situation géomorphologique	Sous-types	Exemples
Lac (lacustre)	Indifférenciée	
	De maar	Chastelets, Narce d'Espinasse
	De fjell (surcreusement glaciaire)	Lac d'en Bas, Pignole
Étang (stagnustre)		Chandroux, Jolan
Versant		Col de Courre/Tour Carrée
Col		Pas dans les sites étudiés
Bas de versant		Plaine de Montcineyre, Sougeat-la-Souze, Jouvion
Cône de déjection		Fontaine Salée rive gauche
Fond de vallon		Plaine-Jacquot, Lac d'en Bas amont, Bourdouze est
Fond d'alvéole		Crespy-Greloux
Dépression de fjell (surcreusement glaciaire)		Brugiroux, Sagnes de Breuil, Frau de Vial
Cratère ou cheminée		Rocher de Laqueuille
Contexte géologique	Sous-types	Exemples
Sur basaltes		Plaine-Jacquot, Champagnac, bois de la Masse
Sur lave indifférenciée		
Sur granite		Chaussider, Pignole
Sur gneiss		Jouvion
Sur till (ou dépôts glaciaires)		Crespy-Greloux, Col d'Entremont, Chambedaze?

Attributs secondaires-Usages	Sous-types	Exemples
Tourbières pâturées (KTH)	Indifférenciée	
	Post-pastorales	Bourdouze-est
	Ré-humectées	Chastelets, Rimat
	En phase érosive	Sagnes de Breuil
Tourbières exploitées pour la tourbe	Fosses familiales (ou mosaïque de fosses)	Jolan, Grouffaud
	Fosses industrielles	Greil-Rascoupet, Le Couderc de Landeyrat, Pierrefitte est
Tourbières plantées		Plaine de Montcineyre
Tourbières drainées		Pont de Clamouze
Tourbières ennoyées-décollées		Lac des Bordes, Chandroux, Taphanel sud

Figure IV-2-2: Intitulés des attributs primaires ou secondaires et des situations géomorphologiques; exemples de sites du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges.

sédimentation lacustre pour un dépôt qui se réalise à la suite de l'assèchement de la pièce d'eau (régression lacustre)?

Attribuer un type à une tourbière doit donc prendre en compte: son attribut primaire, sa situation géologique et géomorphologique et son état d'usage actuel ou passé.

Le type primaire s'impose comme le terme prioritaire: toute tourbière sera donc désignée comme ombrotrophe, d'émergence ou de concentration des eaux de surface. Ensuite, la question de l'ordre de présentation des qualificatifs se pose. Nous proposons de commencer par préciser le contexte géomorphologique et géologique, pour finir par l'état anthropique actuel.

Le complexe de la Plaine-Jacquot à La Godivelle et Compains peut ainsi être défini comme une «Tourbière d'émergence de bas de versant/fond de vallon, à unité ombrotrophe, en contexte basaltique, à KTH, post-pastorale, exploitée en grandes et petites fosses familiales». L'intitulé simplifié peut être: «tourbière d'émergence à unité ombrotrophe, post-pastorale».

V. Fiches de synthèse fonctionnelle



Principe de construction des fiches.

Les fiches sont construites dans le but de présenter la connaissance, à un moment donné, du fonctionnement d'un complexe ou d'un ensemble de complexes d'un même secteur homogène (méta-complexe).

Elles sont composées de 7 parties.

Les deux premières indiquent les données de sites, principalement le nom du complexe, le gestionnaire, le statut du site et un éventuel lien sur le site de l'INPN.

La troisième partie recense les données de diagnostic qui sont disponibles et précise si des données importantes sont absentes. L'organisation suit la structure du diagnostic en séparant les volets: structure, transferts et diachronie.

La quatrième partie est consacrée à une description du complexe à travers ses états antérieurs, son état actuel et les états possibles en fonction du laisser faire et des possibilités d'actions «envisageables». Elle résulte de la prise en compte de l'ensemble des données de la partie précédente.

La cinquième partie propose une interprétation fonctionnelle et un rattachement typologique. Elle découle de l'analyse des états constatés, précisés dans la partie antérieure, comparés aux modèles de fonctionnement et déclinés sous forme de types fonctionnels.

Une partie est dédiée aux sujets non abordés dans les autres champs, et une dernière correspond à une liste bibliographique des références essentielles.

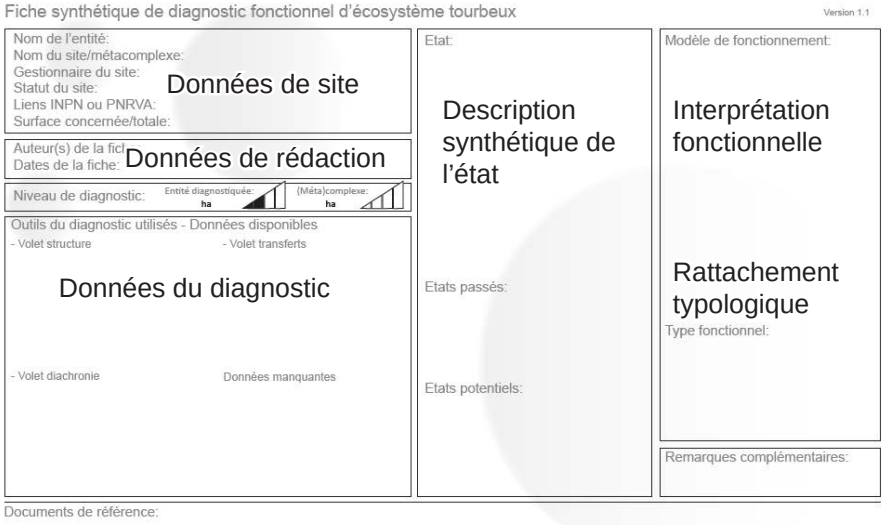


Figure V-1: volets de la fiche et logique de construction.

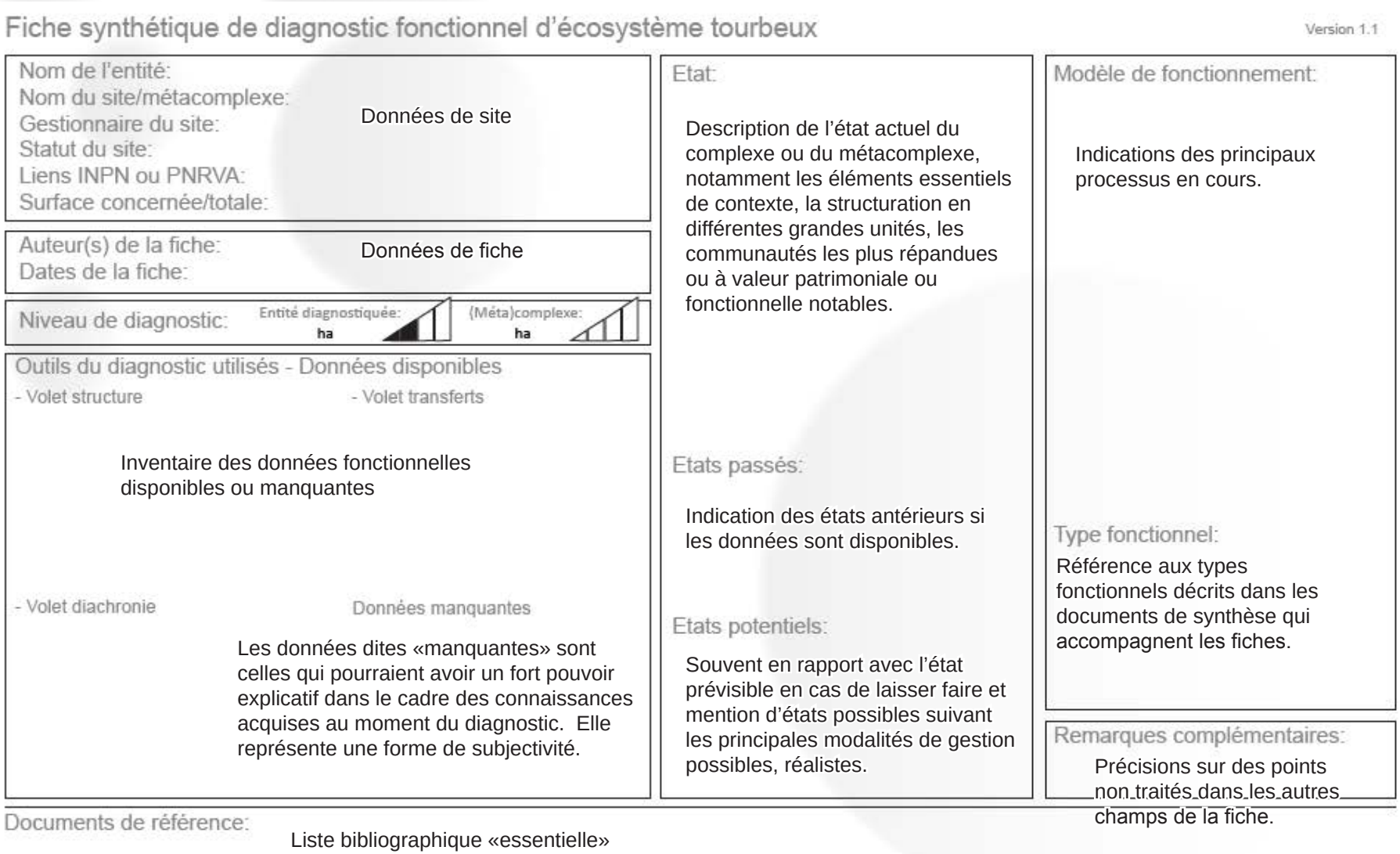
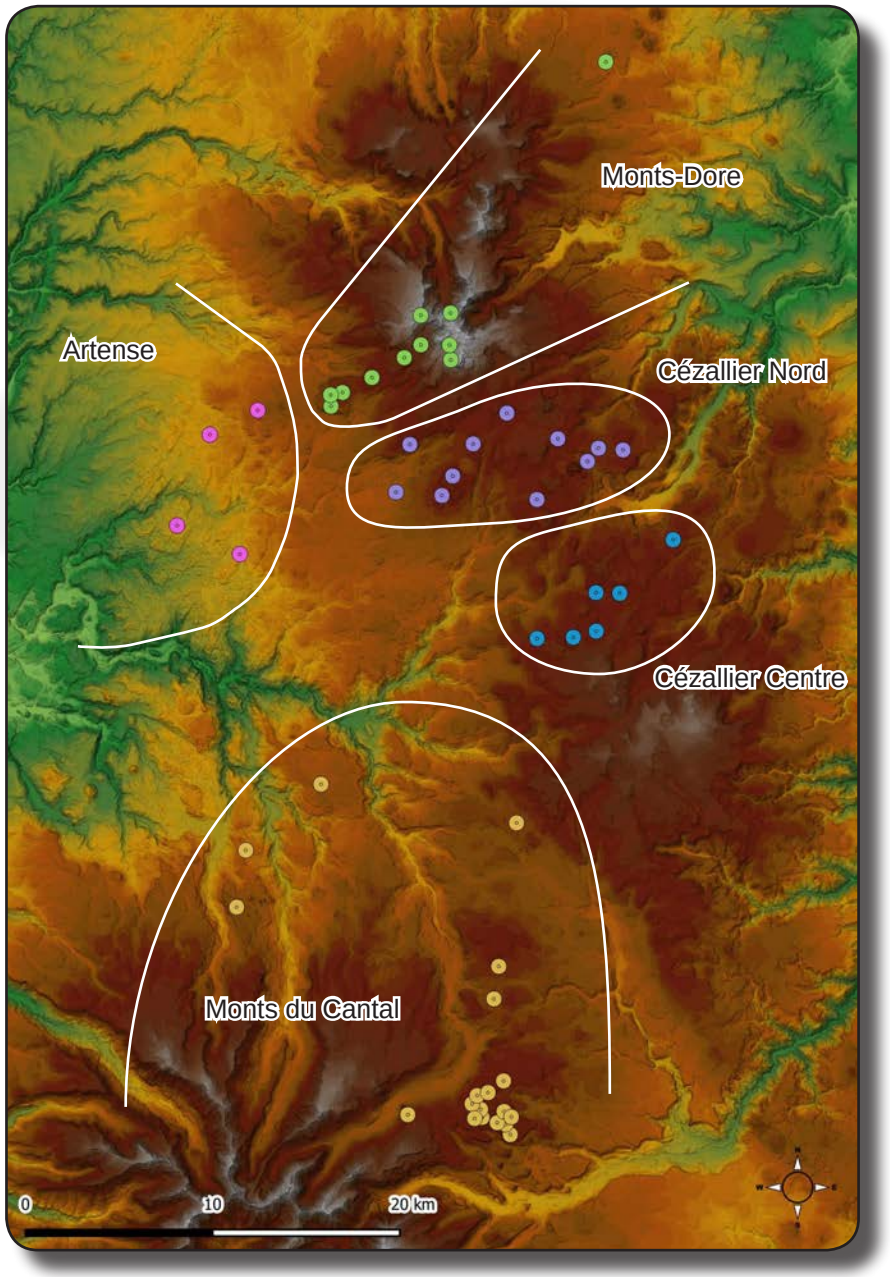


Figure V1-2: précisions sur les champs de la fiche.



Localisation des secteurs et des sites concernés par les fiches. Fond relief CRAIG-IGN

Noms	Communes	Noms	Communes
Cascade de la Dore	Chambon-du-Lac	Lac d'en Bas	La Godivelle
Le Pascher	Chastreix	Coualle-Basse	La Godivelle
Fontaine Salée	Chastreix	Les Chastelets	La Godivelle
Montagne du Mont	Chastreix	Plaine-Jacquot	La Godivelle/Compains
Rimat	Chastreix	La Chambe	Montgreleix
Bois de la Masse nord	Chastreix	Grand-Combe	Apchon
Bois de la Masse sud	Chastreix	Lapsou	Chastel-sur-Murat
Col de Courre-Tour Carrée	Chastreix	Champagnac	Chastel-sur-Murat
Tarafet	Chastreix/Chambon-du-Lac	Brujaleine	Chastel-sur-Murat
Paillaret	Picherande	Tioule moyen	Chastel-sur-Murat
Narse d'Espinasse (non figurée)	Saulzet-le-Froid	Col d'Entremont	Chastel-sur-Murat
Crespy-Greloux	Bagnols	Brugiroux	Chastel-sur-Murat
La Pignole	Champs-sur-Tarentaine-Marchal	Breuil	Chastel-sur-Murat
Jouvion	Saint-Donat	Peyra	Chavagnac
Chaussider	Trémouille	Pierrefitte	Marchastel/St Amandin
La Liste	Besse-et-Saint-Anastaise	Carmentron	/Chastel-sur-Murat/Dienne
Bourdouze Est	Besse-et-Saint-Anastaise	Frau de Collanges	Chavagnac/Dienne
Lac de Bourdouze	Compains	Rocher de Laqueuille	Dienne
La plaine de Montcineyre	Compains	Carmentron nord-est	Dienne
Sougeat-la-Souze	Égliseneuve-d'Entraigues	La Roche Chélady	Dienne
Chambedaze	Égliseneuve-d'Entraigues/	Greil-Rascoupet	Landeyrat
Gayme	Picherande	Taphanel	Riom-ès-Montagne
Grouffaud	Picherande	Le Jolan	Ségur-les-Villas
Vassivière	Picherande	Chandroux	Vernols
Tourbière du lac Chauvet	Picherande/Égliseneuve-d'Entraigues	Chandroux	Vernols
Lac des Bordes	Compains		

V.1 - Monts-Dore



Noms	Communes
Cascade de la Dore	Chambon-du-Lac
Le Pascher	Chastreix
Fontaine Salée	Chastreix
Montagne du Mont	Chastreix
Rimat	Chastreix
Bois de la Masse nord	Chastreix
Bois de la Masse sud	Chastreix
Col de Courre-Tour Carrée	Chastreix
Tarafet	Chastreix/Chambon-du-Lac
Paillaret	Picherande
Narse d'Espinasse (non figurée)	Saulzet-le-Froid

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Corniche de la cascade de la Dore
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 1,3/1,3 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 
(Méta)complexe: 1,3 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier, 2 sondages «piézométriques»;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- étude piézométrique sur 2 points.

- Volet diachronie

- 1 sondage pédo-paléoécologique de terrain au carottier, 2 sondages «piézométriques».

Données manquantes

- étant donné la spécificité de la partie «lacustre» du complexe, comportant au moins 2 m de sédiments meubles dont 1,7 de tourbe, une analyse des macrorestes accompagnée d'au moins une datation au carbone permettrait de mieux caractériser cette tourbière en situation exceptionnelle.

Etat:

Ce petit complexe se décline en plusieurs unités adjacentes dont deux unités majeures: (1) une saulaie à saule des lapons et (2) une dépression colmatée en partie par de la tourbe (au moins 1,7 m), occupée par une cariçaie à *Carex rostrata* et des replats à *Sphagnum subsecundum* et carex divers, mesurant 2500 m².
D'autres unités correspondent à des moliniaies paucispécifiques ou des nardaies humides.
Le complexe se situe dans un secteur fortement aménagé pour l'activité touristique et en particulier par des terrassements ayant détruit la partie sud-ouest du complexe et sa marge sud-est.
Le complexe n'est pas pâturé.
L'analyse piézométrique met en évidence un fonctionnement dépendant des eaux de surface du bassin versant, aussi bien dans la dépression que sur les versants à saules.

Etats passés:

Le profil pédo-paléoécologique de terrain indique une origine lacustre du complexe (indiquée surtout par les cladocères et *Carex limosa*).
Le remplissage est minérotrophe, mais un lit ombrotrophe à sphaigne de Magellan est présent sous le KTH.

Etats potentiels:

Les secteurs de molinie ont vocation à se boiser par les saules.
Les saulaies sont stables à moyen terme.
La dépression humide n'est concernée par la dynamique ligneuse que dans le temps long, les variations de niveau devant limiter les saules.

Modèle de fonctionnement:

La dépression humide fonctionne suivant des modalités d'inondation saisonnière par eaux de surface. La partie en cariçaie à *Carex rostrata* est certainement issue de processus d'évidement de la tourbe induit par le pastoralisme passé. Le processus ne semble plus se tenir et on note une stabilité structurale depuis les années 1950.
La présence importante de sphaignes dans la partie tourbeuse non aquatique laisse présumer d'une stabilité édaphique face à l'érosion.
Les saulaies ne semblent pas s'étendre, depuis plusieurs décennies, mais sont certainement destinées à coloniser l'ensemble de la tourbière, en particulier les moliniaies.
L'alimentation en eau du secteur se réalise majoritairement à travers les écoulements de surface et de sub-surface.

Type fonctionnel:

Si l'ensemble du complexe est une tourbière de concentration des eaux de surface: la partie ouest est un fond de vallon plat, alors qu'en partie nord-est, il s'agit d'un ancien petit lac.
L'ensemble est en phase post-pastorale, à KTH et la partie anciennement lacustre a subi un probable évidement de la tourbe par érosion.
Le complexe est aussi détruit dans certaines parties par des terrassements.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Le Pascher
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 13 ha/13 ha

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 

(Méta)complexe: 13 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel typique avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique sur un profil est-ouest;
- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle.

Données manquantes

Etat:

Le Pascher constitue la partie haute du plateau du Bois de la Masse. Il se tient sur le même empilement de coulées basaltiques, couvertes par un dépôt superficiel de champ de blocs polygéniques à matrice peu perméable. Le substrat est ainsi formé de buttes et de dépressions; ces dernières étant le plus souvent occupées par des tourbières. Les tourbières, de taille variable, sont de nature analogue à celles du plateau du Bois de la Masse. Les communautés présentes sont celles des tourbières ombrotrophes à KTH, sur tourbes ombrotrophes ou minérotrophes. Les mosaïques de fosses couvrent une surface significative.
La plupart des complexes sont pâturés, laissant s'exprimer les communautés typiques à nard, jonc squarreux et *Sphagnum capillifolium*. Les fosses de tourbage sont principalement à l'ouest, où elles couvrent une grande partie de la surface. Ces fosses étant aussi pâturées, leur état n'est pas typique des fosses du plateau de La Masse.

Etats passés:

Il s'agit probablement de tourbières d'émergence et de concentration des eaux de surface localisées qui ont été colonisées par des tourbières ombrotrophes. Ces dernières se sont étendues au-delà des dépressions, en lissant le relief minéral.

Etats potentiels:

Les tourbières du Pascher sont particulièrement diversifiées et les états potentiels sont nombreux. Certains secteurs mis en défens illustrent le devenir en cas de baisse de la pression pastorale.

Modèle de fonctionnement:

Les tourbières du Pascher suivent la logique typique des tourbières ombrotrophes à KTH en phase pastorale ou post-pastorale. Les marges, à KTH également, sont probablement sur tourbe d'origine minérotrophe, mais cela n'est pas perceptible à cause de la convergence des états induite par le KTH.
Les mosaïques de fosses ont la particularité d'être constituées de fosses familiales regroupées qui forment un rendu intermédiaire entre des fosses en table de ferme isolées et des fosses industrielles. Les modèles classiques de mosaïque de fosses doivent donc être adaptés, avec parfois des mosaïques ré-humectées. La colonisation des saules est marquée là où les écoulements concentrés de surface transitent dans les complexes ou à leur marge.

Type fonctionnel:

Au Pascher, les tourbières sont d'origine mixte, majoritairement ombrotrophes, sur basaltes, à KTH et fosses, majoritairement en contexte pastoral.

Remarques complémentaires:

Dans le contexte du Bois de la Masse, les complexes du Pascher sont particulièrement pâturés et ont été parmi les plus perturbés. Ils peuvent ainsi servir d'exemples d'états en situation de pression pastorale forte.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Fontaine Salée
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 16 ha/ 23 ha (70 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 16 ha 
(Méta)complexe: 23 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel typique avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 7 sondages «piézométriques» et 2 sondages paléoécologiques analysés en laboratoire;
- cartographie des unités fonctionnelles et 11 relevés floristiques;
- 1 profil de structure et de suivi de 110 m;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- étude piézométrique sur 8 points.

Données manquantes

- Volet diachronie

- 2 profils d'analyse des macrorestes.
- 6 datations au carbone.

Etat:

La Fontaine Salée héberge de nombreuses zones humides dont des tourbières avec: en rive droite, trois complexes étagés, le plus grand se situant dans le fond de vallon, les deux autres sur des épaulements et; en rive gauche, débordant sur la rive droite au nord, un grand complexe couvert à sa marge nord-est par un cône de déjection.
Les communautés présentes sont:
- des cariçaies à *Carex rostrata*, à *C. lasiocarpa*, à *C. nigra*, à *C. diandra*, *C. limosa*, et à multiples carex;
- des jonçaies à *J. acutiflorus* ou à *J. effusus*;
- des trichophoraies, des nardaies-jonçaies à *Juncus squarrosus*, des callunaies à sphaignes (*Sphagnum capillifolium*);
- une grande partie du fond de vallon de la rive droite est occupée par une mosaïque complexe qui regroupe des plantes de tourbières et des plantes de la nardaie minérale;
- les points d'émergence concentrée sont occupés par des tremblants de diverses natures et sont parfois bombés.

Les saulaies ne sont pas étendues, mais les saules sont présents de manière diffuse, en particulier en rive droite.
Des communautés à mousses basophiles sont présentes, au sud-ouest.

Etats potentiels:

Les tourbières de la vallée sont passées par différents états en fonction des conditions pastorales. Aujourd'hui, leur diversité s'exprime à travers la pression pastorale actuelle et les héritages des pratiques passées. Vu la fréquence des saules dans certaines unités, l'allègement de la pression pastorale mènera rapidement aux saulaies.

Modèle de fonctionnement:

Les tourbières de la Fontaine Salée fonctionnent suivant la conjonction des processus d'émergence et ceux du pastoralisme avec une influence croissante de ce dernier là où le flux émergent est le moins élevé et la possibilité de développer localement des sols suffisamment tassés pour inhiber la décharge et laisser s'installer des communautés ombrotrophes.

Type fonctionnel:

La Fontaine Salée héberge des tourbières d'émergence, sur laves, pastorales, en grande partie à KTH, dont certaines sont occupées aujourd'hui par des communautés ombrotrophes. Au sud-ouest, des tourbières d'émergence pastorales à mousses basophiles sont présentes.

Remarques complémentaires:

Etats passés:

Les analyse des macrorestes et les datations au carbone indiquent que les tourbières originelles étaient localisées, probablement aux points d'émergence, caractérisée par des roselières. La disparition des communautés d'origine est du fait de l'humain, comme l'émergence des tourbières d'aujourd'hui.
Les dates indiquent le fonctionnement de communautés turfigènes pastorales 1500 ans au moins avant J.C..

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Montagne du Mont
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 1,3 ha / 1,3 ha

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 

(Méta)complexe: 1,3 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles;
- 16 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

Données manquantes

- Volet diachronie

- Photos aériennes anciennes;
- 16 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle.

Etat:

La pessière de la Montagne du Mont se situe à la tête de l'empilement de coulées basaltiques du plateau du Bois de la Masse. Elle n'est pas pâturée.
Elle héberge principalement des moliniaies, des mégaphorbiaies, ces deux types se mélangeant souvent, et des replats ou buttes à sphaignes rouges (*Sphagnum magellanicum*, *S. rubellum* et *S. capillifolium*). Les tourbes sont peu épaisses avec un maximum de 1,2 m. La présence d'un horizon de surface densifié de type kultureller Trockenhorizont (KTH) a été noté en particulier dans les secteurs à sphaignes rouges.
Les unités se répartissent en deux points principaux: la tête d'une des sources de la Gagne et le prolongement de l'épaulement à émergence médian de la Fontaine Salée.

Etats passés:

Les tourbes observées ont été construites par des communautés de cariçaies et de jonçaies plus ou moins boisées.

Etats potentiels:

Le devenir de ces communautés, en l'absence de pâturage, est le boisement, d'abord par les saules, puis par le bouleau et éventuellement l'aulne.
Les replats à sphaignes rouges de la partie nord-est sont peut-être plus résistants au boisement à cause de leur plus forte oligotrophie (apports hydriques restreints aux précipitations à cause du KTH).

Modèle de fonctionnement:

Deux types de fonctionnement sont observés:
- celui des moliniaies et mégaphorbiaies, unités post-pastorales sur émergences encore actives mais relativement concentrées, en rééquilibrage trophique marqué, indiqué entre autre par les plantes de mégaphorbiaie;
- celui des replats à sphaignes rouges, unités ombrotrophes vraisemblablement issues du piétinement pastoral, mais aussi des travaux de plantation. L'ambiance fermée de la pessière est peut-être un facteur favorable au sphaignes rouges.

Type fonctionnel:

Les tourbières de la Montagne du Mont sont des systèmes sur basalte d'émergence post-pastoraux soit à molinie et mégaphorbiaies, dans des secteurs d'écoulement, soit à KTH dense et ombrotrophie dérivée.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
GOUBET P. (2014). Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme. Diagnostic fonctionnel et mise en place d'un plan de suivi des zones humides de la pessière de la montagne du Mont (Réserve naturelle de Chastreix-Sancy, Chastreix, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre GOUBET, Jenzat, 23 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Rimat
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 7,6 ha / 7,6 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 

(Méta)complexe: 7,6 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel typique avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique sur un profil est-ouest;
- 4 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 4 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle ou à la boue lacustre.

Données manquantes

Etat:

Le complexe, de forme sub-circulaire, se situe dans une dépression sise dans une coulée basaltique, une autre coulée venant créer un relief plus important à l'est. L'exutoire unique est à l'ouest.
Les épaisseurs de sédiments meubles mesurées à la perche atteignent 9,40 m.
Les tourbes étudiées au carottier russe ont montré une épaisseur maximale de 2,80 m. Elles sont en partie composées de tourbe à sphaigne de Magellan, avec des tourbes de tremblants à leur base, au-dessus des boues lacustres qui constituent la plus grande partie des sédiments meubles. Les tourbes à sphaigne de Magellan sont couvertes de tourbe à carex.
Les unités fonctionnelles s'organisent de manière concentrique: avec un tremblant peu épais à replats à sphaignes de Magellan au centre, cerclé d'un pseudo-tremblant à *Carex rostrata* et *C. lasiocarpa*, lui-même auréolé par une moliniaie paucispécifique. Il existe une corrélation claire entre les unités fonctionnelles et le relief.

Etats passés:

La turfigenèse se met en place à travers un tremblant à scheuchzérie ou directement par de la tourbe ombrotrophe à sphaigne de Magellan.
La tourbière ombrotrophe est ensuite pâturée, l'exutoire aménagé, le niveau d'eau baisse.
La ré-humectation par abandon permet l'expression des communautés actuelles.

Etats potentiels:

La ré-humection mène souvent à la saulaie. Ce n'est pas le cas à Rimat, pour le moment, même si quelques saules sont présents.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe de Rimat est constitué d'une unité centrale à logique de tremblant lacustre, cerclée d'une première auréole à logique post-pastorale ré-humectée et d'une seconde auréole post-pastorale et pastorale.
La logique de tremblant lacustre met en jeu des herbiers plus ou moins denses à ményanthe, *Sphagnum cuspidatum*, scheuchzérie, qui se densifient aux marges et accueillent des replats à sphaigne de Magellan indiquant une logique ombrotrophe localisée.
La première auréole est occupée par une moliniaie-cariçaiçe typique des tourbières post-pastorales, à KTH, ré-réhumectées par abandon de l'entretien des aménagements hydrauliques. L'aspect de cette unité ne révèle pas de processus d'eutrophisation par mise en disponibilité nutritionnelle.
La seconde auréole est occupée par une moliniaie paucispécifique typique d'une dynamique post-pastorale simple.

Type fonctionnel:

Le complexe de Rimat est une tourbière de concentration des eaux de surface à unité ombrotrophe, post-pastorale, ré-humectée, à lac relictuel quasi fermé.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:

Nom du site/métacomplexe: Bois de la Masse nord (coulée supérieure)

Gestionnaire du site: PNRVA

Statut du site: RNN Chastreix-Sancy

Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165

Surface concernée/totale: 50 ha / 50 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)

Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel typique avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle.

Données manquantes

Etat:

Les tourbières du Bois de la Masse se tiennent sur un empilement de coulées basaltiques, couvertes par un dépôt superficiel de champ de blocs polygéniques à matrice peu perméable. Le substrat est ainsi formé de buttes et de dépressions; ces dernières étant le plus souvent occupées par des tourbières.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 5,8 m; elles varient sur de courtes distances.
Les tourbières sont de tailles variables et les plus grandes découlent probablement de la coalescence d'unités plus petites, initiées dans des dépressions, ayant ensuite débordée.
Elles sont de nature analogue à celles du plateau du Bois de la Masse.
Les communautés sont principalement des callunaies-ériophoraies à sphaignes rouges, des trichophoraies-ériophoraies, des moliniaies.
Les fosses hébergent des ériophoraies à sphaignes et de l'eau libre à sphaignes.
Les marges pâturées sont couvertes de nardaies, de nardaies-jonçaies à jonc squarreux, de moliniaies et aussi de callunaies basses à *Sphagnum capillifolium/S. rubellum*.

Etats passés:

Les tourbes indiquent des turfigenèses minérotrophes de concentration des eaux de surface ou d'émergence, mais il semble que les tourbes ombrotrophes dominent.

Etats potentiels:

La dynamique des tourbières à KTH reste mal connue. Les secteurs bénéficiant d'écoulements de surface se boisent et devraient continuer.

Modèle de fonctionnement:

Les tourbières du Bois de la Masse nord couvrent une grande surface et sont de natures diverses. Plusieurs logiques fonctionnelles y sont donc présentes.
Certaines fosses de tourbage suivent une logique oligotrophe, ombrotrophe, avec des remplissages à linaigrette engainante et sphaignes. D'autres, approvisionnées par des écoulements de surface, se boisent en saules et bouleaux.
Les replats en phase post-pastorale semblent stables, ombrotrophes par nature primaire bien que sur KTH, pour une partie d'entre eux au-moins. C'est bien-sûr l'oligotrophie qui inhibe la colonisation ligneuse, oligotrophie induite par la nature ombrotrophe et par des tourbes elles-même oligotrophes.
Les secteurs pâturés sont en majorité aussi oligotrophes et suivent les logiques d'états dépendants de l'intensité passée et actuelle du piétinement.

Type fonctionnel:

La majorité des unités sont des tourbières ombrotophes post-pastorales, à KTH sur tourbe ombrotrophe, à mosaïques de fosses oligotrophes ou mésotrophes à ligneux.
Aux marges, les unités sont des tourbières à KTH, pastorales, majoritairement ombrotrophes par nature primaire ou anthropiques.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Bois de la Masse sud (coulée inférieure)
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 40 ha / 40 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 40 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel typique avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 3 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 3 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol au socle.

Données manquantes

- caractérisation des puissances plus détaillée;
- caractérisation pédopaléoécologique plus fine;
- analyse des macrorestes avec 2-3 datations;
- caractérisation floristique sur PSS et cartographie correcte.

Etat:

Les tourbières du Bois de la Masse se tiennent sur un empilement de coulées basaltiques, couvertes par un dépôt superficiel de champ de blocs polygéniques à matrice peu perméable. Le substrat est ainsi formé de buttes et de dépressions; ces dernières étant le plus souvent occupées par des tourbières.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 5,8 m; elles varient sur de courtes distances.
Les tourbières sont de tailles variables et les plus grandes découlent probablement de la coalescence d'unités plus petites, initiées dans des dépressions, ayant ensuite débordées.
Elles sont de nature analogue à celles du plateau du Bois de la Masse.
Les communautés sont principalement des callunaies-ériophoraies à sphaignes rouges, des trichophoraies-ériophoraies, des moliniaies.
Les fosses hébergent des ériophoraies à sphaignes et de l'eau libre à sphaignes.
Les marges pâturées sont couvertes de nardaies, de nardaies-jonçaies à jonc squarreux, de moliniaies et aussi de callunaies basses à *Sphagnum capillifolium/S. rubellum*.

Etats passés:

Les tourbes indiquent des turfigenèses minérotrophes de concentration des eaux de surface ou d'émergence, mais il semble que les tourbes ombrotrophes dominent.

Etats potentiels:

La dynamique des tourbières à KTH reste mal connue. Les secteurs bénéficiant d'écoulements de surface se boisent et devraient continuer.

Modèle de fonctionnement:

Les tourbières du Bois de la Masse nord couvrent une grande surface et sont de nature diverses. Plusieurs logiques fonctionnelles y sont donc présentes.
Certaines fosses de tourbage suivent une logique oligotrophe, ombrotrophe, avec des remplissages à linaigrette engainante et sphaignes. D'autres, approvisionnées par des écoulements de surface, se boisent en saules et bouleaux.
Les replats en phase post-pastorale semblent stables, ombrotrophes par nature primaire bien que sur KTH, pour une partie d'entre eux au-moins. C'est bien-sûr l'oligotrophie qui inhibe la colonisation ligneuse, oligotrophie induite par la nature ombrotrophe et par des tourbes elles-même oligotrophes.
Les secteurs pâturés sont en majorité aussi oligotrophes et suivent les logiques d'états dépendants de l'intensité passée et actuelle du piétinement.

Type fonctionnel:

La majorité des unités sont des tourbières ombrotophes post-pastorales, à KTH sur tourbe ombrotrophe, à mosaïques de fosses oligotrophes ou mésotrophes à ligneux.
Aux marges, les unités sont des tourbières à KTH, pastorales, majoritairement ombrotrophes par nature primaire ou anthropiques.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Col de Courre - Tour Carrée
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 0,3 ha / 0,3 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 

(Méta)complexe: 0,3 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la gouge;
- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain à la gouge du sol au socle et 1 sondage «piézométrique»;
- 1 relevé floristique;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG,
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- Étude piézométrique réalisée sur 1 point.

- Volet diachronie

- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain à la gouge du sol au socle et 1 sondage «piézométrique».

Données manquantes

- profil de structure et de suivi.

Etat:

Les deux complexes de 1000 et 2000 m² se situent dans deux amphithéâtres d'érosion, en corniche des versants ravinés du fond de la Fontaine Salée.
Les deux complexes sont occupés par des communautés à molinie et trichophore, bordés à l'aval de quelques saules.
Les tourbes sont épaisses d'un mètre au maximum. Elles sont minérotrophes, à carex, jonc et sphaignes.

Etats passés:

Les tourbes révèlent des états antérieurs proches de l'actuel, mais à moments plus riches en joncs et carex, probablement sous l'influence d'un pâturage d'intensité variable, surtout plus intense qu'aujourd'hui.

Etats potentiels:

En l'absence de pâturage, ces systèmes sont voués à se boiser de saules, comme cela est le cas de la majorité des zones d'émergence de la haute vallée. Le processus est probablement lent pour des raisons d'oligotrophie de l'eau de la source.

Modèle de fonctionnement:

Les deux complexes fonctionnent suivant le croisement d'une logique d'émergence et d'une autre post-pastorale.
La géométrie de l'aquifère impose une faible minéralisation qui confère une oligotrophie de la source, oligotrophie limitant la colonisation ligneuse, ce qui peut expliquer le fait que ces complexes soient encore ouverts, alors que ceux de l'autre versant sont déjà colonisés.

Type fonctionnel:

Les deux complexes sont des tourbières d'émergence sub-alpines, post-pastorales, à KTH ou tourbe récente.
Leur originalité réside dans leur altitude importante à l'échelle du Massif central (1665-1690 m) et leur faible colonisation ligneuse à l'échelle de la RNN Chastreix-Sancy.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Sources Trentaine et Chareire (Tarafet)
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 5 ha/10 ha (50 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 5 ha 
(Méta)complexe: 10 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 3 sondages pédopaléoécologiques de terrain à la gouge du sol au socle;
- 17 relevés floristiques et cartographie fine d'un des complexes;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2018.

- Volet transferts

- étude piézométrique réalisée sur 2 complexes distincts.

- Volet diachronie

- 3 sondages pédopaléoécologiques de terrain à la gouge du sol au socle.

Données manquantes

La partie amont du métacomplexe n'a pas été visitée. Les tourbières d'émergence à saule des lapons et saules bicolores n'ont pas été caractérisées.

Etat:

Le fond de vallée et certains des versants situés entre le Paillaret et le Puy Gros hébergent de nombreuses petites zones tourbeuses, inscrites dans des alvéoles d'émergence ou sur le flanc de ruisselets.
Une partie, à l'ouest, est pâturée par des bovins en estive classique, l'autre partie, au nord-est, est pâturée par des ovins gardés.
Les communautés s'organisent le long des gradients reliant les systèmes d'émergence, dont certains sont tremblants, aux systèmes ombrotrophes découlant du pâturage (rupture des flux d'émergence par compaction du sol et des écoulements de surface par tassement des marges). Les communautés d'érosion sont également représentées. Les complexes de la partie est, pâturée par les ovins, sont majoritairement occupés par le saule des lapons.

Etats passés:

Toutes les tourbes observées sont minérotrophes, à carex et riches en espèces des sources. La présence de lits charbonneux riches en éricacées indiquent des phases pastorales différentes.

Etats potentiels:

Les états potentiels sont directement en lien avec la pression pastorale.
Sans modification des pratiques, à climat constant, les systèmes pâturés sont stables, les saulaies post-pastorales probablement également.
L'absence de pâturage mène à la saulaie, une intensification du piétinement favorisera les unités de compaction et d'érosion.

Modèle de fonctionnement:

Les milieux présents correspondent à une série d'états typiques des tourbières pastorales et post-pastorales subalpines.
L'effet de la compaction (piétinement) favorise le nard et le jonc squarreux, l'imperméabilisation du sol qui en découle et qui dure longtemps stoppe les remontées d'émergence provocant une ombrotrophisation favorable à *Sphagnum capillifolium*, *S. compactum*, et au trichophore. L'ouverture des sols sur-piétinés permet l'expression de cypéracées (*Carex demissa*, *C. nigra*, *C. panicea* et *Eriophorum angustifolium*) et du jonc bulbeux, entre autres.
Les zones de concentration des flux émergents sont tremblantes, peu piétinées, et voient s'installer des communautés spécialisées.
Lorsque l'intensité de pâturage est faible, les saules s'installent, sachant qu'ils sont souvent présents sous des niveaux pastoraux moyens, mais contraints par le piétinement et l'abroutissement.

Type fonctionnel:

Les complexes sont majoritairement des tourbières d'émergence subalpines en contexte d'estive, à KTH et tremblants de source.
Il existe aussi des tourbières d'émergence post-pastorales à KTH et saulaies subalpines.

Remarques complémentaires:

Certains des complexes sont probablement les tourbières les plus élevées du Massif central.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 187 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Tourbière du Paillaret
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN Chastreix-Sancy
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600165
Surface concernée/totale: 0,7/0,7 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 
(Méta)complexe: 0,7 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- Topographie fine réalisée au dGPS centimétrique (2012 et 2017);
- Lidar RNNCS 2018;
- Relevé des unités fonctionnelles élémentaires (UFE) (2012 et 2017);
- Cartographie fine des UFE (2012 et 2017).

- Volet transferts

- Volet diachronie

- Analyse des macrorestes sur une colonne au centre du complexe;
- une datation ^{14}C;
- analyse des photographies aériennes.

Données manquantes

- Etant donné la nature du complexe et son état, il ne nous semble pas opportun d'enrichir la description, même pour ce qui est des données de transferts.

Etat:

Le complexe de forme ovale se tient dans une combe à neige alimentée en eau par un affluent issu du tablier d'éboulis du puy de Paillaret.
Il se compose de deux unités majeures: un cœur formé d'une tourbière ombrotrophe à linaigrette engainante, *Sphagnum magellanicum* et *S. fuscum*; et une auréole d'érosion occupée par des cariçaies (*Carex nigra*, *C. rostrata*), des ériophoraies à linaigrette à feuilles étroites, des replats à *S. papillosum*, des trichophoraies ou de la tourbe nue.
Les processus érosifs ont été fortement limités par la mise en place d'une clôture d'exclos ayant un effet de régression des unités d'érosion et notamment de la tourbe à nu.

Etats passés:

Ce petit complexe montre une série hydrosérale typique, du lac à la tourbière haute, en passant par des cariçaies.
L'horizon de surface densifié (KTH) est présent et il est exceptionnellement surmonté d'une tourbe compacte à sphaignes (*Sphagnum fuscum* puis *S. magellanicum*) démontrant un processus de résilience post-pastorale. La remise en place d'une tourbière haute post-pastorale est datée du XIX^{ème} siècle.

Etats potentiels:

Suivant les conditions de gestion: la tourbière ombrotrophe prendra le dessus sur la tourbière en phase érosive (maintien de l'exclos), ou l'inverse (intensification du piétinement).

Modèle de fonctionnement:

Le complexe du Paillaret est une des rares tourbières à montrer un processus de turfigenèse post-pastorale aussi net, ayant commencé dès le XIX^{ème} siècle.
L'ombrotrophie actuelle ou ancienne est représentée à la fois par une ériophoraie à *Sphagnum magellanicum* massive et des buttes individualisées de *S. fuscum*.
Cependant, les processus érosifs périphériques assez classiques en montagne prennent ici une importance certaine au regard de la petite taille du complexe. La mise en défens est une réponse adaptée à cette problématique et devrait permettre la restauration de la turfigenèse sur tout le complexe à l'exception de petits chenaux d'écoulements transitoires.

Type fonctionnel:

Le complexe est une tourbière ombrotrophe d'origine lacustre, hydrosérale classique, à unité centrale post-pastorale à KTH, parfaitement résiliente, et unité périphérique de concentration des eaux de surface en phase érosive gérée par mise en défens.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Syndicat mixte du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Suivi écologique et cartographique 3D des végétations de la tourbière du Paillaret 5 années après sa mise en exclos (retrait du pâturage) (Réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy, Auvergne, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 13 p.
Goubet P. (2012) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière du puy de Paillaret (Réserve Naturelle Nationale de Chastreix-Sancy). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 38 p.
Poiraud A. (2020) – Notice de la carte géomorphologique de la RNN de Chastreix-Sancy. Bureau d'études Inselberg, RNN de Chastreix-Sancy, PNR des Volcans d'Auvergne, 30 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:

Nom du site/métacomplexe: Narse d'Espinasse

Gestionnaire du site: PNRVA

Statut du site: Arrêté de protection de biotope

Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3800189

Surface concernée/totale: 15 ha / 15 ha

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)

Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 15 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- 26 relevés phytosociologiques;
- cartographie des unités écologiques (1998);
- MNT à 10 m de CRAIG.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- Analyses paléoécologiques diverses dont la palynologie sur 4 sondages.
- 5 datations ^{14}C;
- analyse des photographies aériennes.

Données manquantes

- 4-5 sondages pédopaléoécologiques de terrain;
- cartographie à jour des unités fonctionnelles;
- analyse des macrorestes.

Etat:

La Narse d'Espinasse se tient dans un cratère de maar circulaire d'une profondeur estimée à 70 m. Il est bordé au nord par un cône de scories (puy de l'Enfer).
La narse est le lieu de transit de la Veyre et d'un petit affluent au nord-ouest. Un drain central fait communiquer les deux écoulements. Deux autres drains cernent le complexe sur ses marges.
Le complexe est occupé pour moitié par une saulaie-boulaie. Les zones ouvertes étaient en partie déjà couvertes de plantes hautes de mégaphorbiaie et de roselière dans les années 1990, il est fort probable qu'elles le soient encore de manière plus importante aujourd'hui.

Etats passés:

La complexe est réputée être un des rares exemples de tourbières lacustres qui n'a pas développé de tourbière haute.
Vraisemblablement, la tourbière est en phase post-pastorale et doit se caractériser par un KTH.

Etats potentiels:

La dynamique de colonisation ligneuse, la présence de hautes herbes, celle d'indicateurs d'eutrophisation comme la ligulaire, indiquent une eutrophisation marquée qui mènera probablement à terme à la colonisation exhaustive du site.

Modèle de fonctionnement:

La Narse d'Espinasse est en phase post-pastorale et subit donc un rééquilibrage trophique, entraînant une colonisation ligneuse attendue dans un contexte de tourbe minérotrophe. Cependant, l'enrichissement trophique qui y est observé est probablement fortement amplifié par le transit de deux affluents drainant des secteurs d'agriculture industrielle. L'assèchement évoqué dans certains documents reste à caractériser de manière précise, car il n'est pas forcément effectif et ne constitue probablement pas un problème majeur de conservation.

Type fonctionnel:

La Narse d'Espinasse est une tourbière minérotrophe de maar, sur boue lacustre, post-pastorale, à demi boisée.

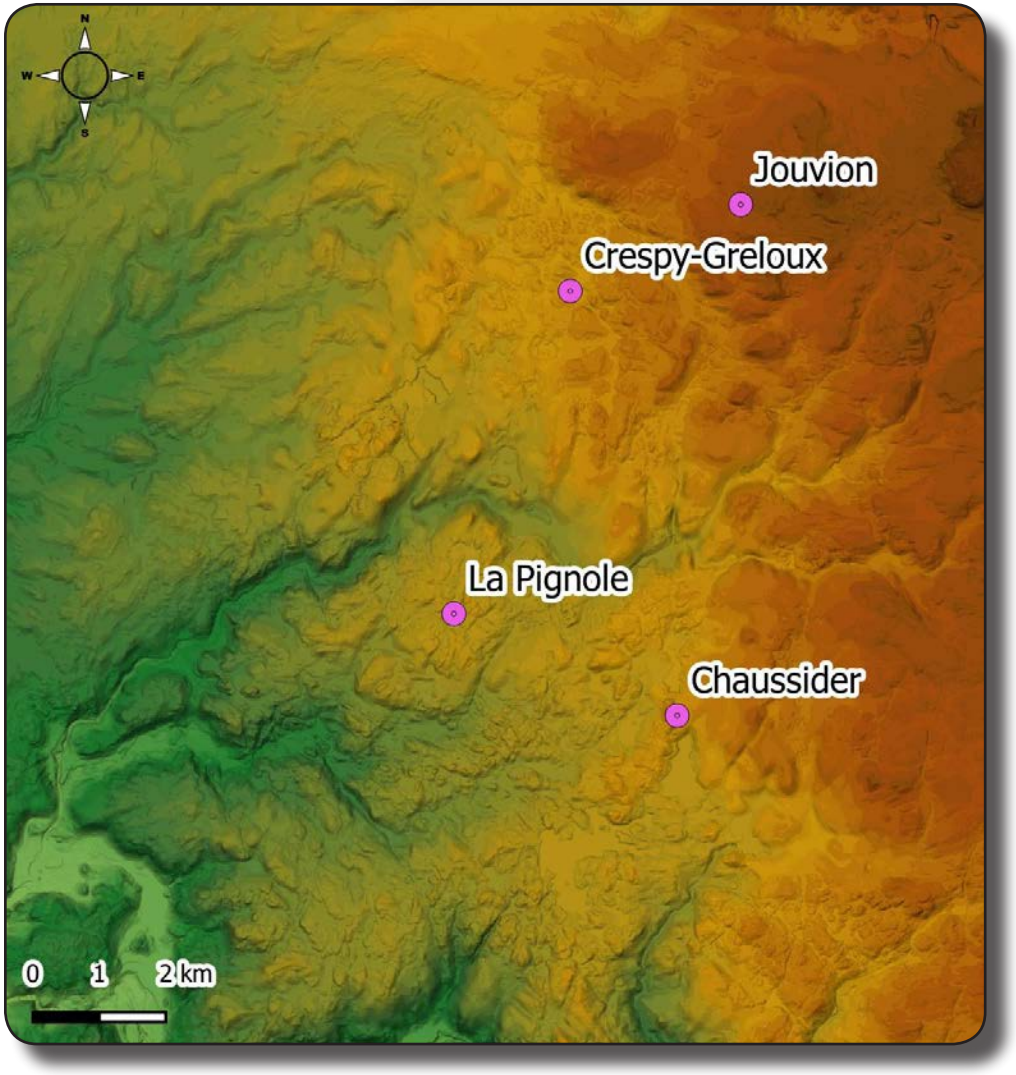
Remarques complémentaires:

La Narse d'Espinasse est un exemple typique de la rapidité des processus post-pastoraux en contexte minérotrophe, en particulier de la colonisation ligneuse.
Il est probable que les secteurs qui soient restés les plus longtemps oligotrophes soient aussi ceux où des émergences induisent un effet de chasse.

Documents de référence:

Juvigné, E., Lousberg, N., Gewelt, M. (1988). Evolution morphosdimentaire de la narse d'Espinasse (Massif central, France). Revue des Sciences naturelles d'Auvergne, 53, 7–14.
Miras, Y., Laggoun-Défarge, F., Guenet, P., & Richard, H. (2004). Multi-disciplinary approach to changes in agro-pastoral activities since the Sub-Boreal in the surroundings of the "narse d'Espinasse" (Puy de Dôme, French Massif Central). Vegetation History and Archaeobotany, 13(2), 91-103.
Thébaud G., C. Roux & Delcoigne A. (2007). Narse d'Espinasse : Expertise Phytoécologique et orientations de gestion. Institut des Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand. 28 p. + Annexes.

V.2 - Artense



Noms	Communes
Crespy-Greloux	Bagnols
La Pignole	Champs-sur-Tarentaine-Marchal
Jouvion	Saint-Donat
Chaussider	Trémouille

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.1

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Crespy-Greloux
Gestionnaire du site: CEN Auvergne
Statut du site: Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301039
Surface concernée/totale: 9 ha / 9 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 9 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- 21 profils pédo-paléoécologiques de terrain;
-2 profils de structure et de suivi floristique de 32 et 293 m;
- cartographie des unités fonctionnelles (2015);
- une tranchée à la pelle mécanique de 2,5 m de long jusqu'au till de fond d'arène;
- MNT lidar à 50 cm du CEN Auvergne-CRAIG.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 21 profils pédo-paléoécologiques de terrain;
- test pour analyse des macrorestes sur un profil;
- analyse des photographies aériennes.

Données manquantes

Une caractérisation piézométrique sur 5-6 points permettrait de compléter le diagnostic en traitant un volet important.

Etat:

Le complexe de Crespy-Greloux se tient dans un fond d'alvéole granitique à fond glaciaire (till).
Les épaisseurs sont faibles, ne dépassant pas 1,35 m.
La partie ouest du complexe est scindée en deux par un ruisseau rectifié.
La tourbière montre dans une partie nord des structures plateaux-sillons analogues à celles des sols périglaciaires polygonaux.
Les communautés sont principalement des ériophoraies-callunaies à *Sphagnum rubellum* et mousses pleurocarpe (*Pleuriozum schreberi* et *Hypnum jutlandicum*).
Les marges, les bords du ruisseau et des dépressions humides sont prairiales.

Etats passés:

Les tourbes sont peu épaisses, souvent altérées, caractérisées par un KTH épais couvert d'une tourbe fibrique, probablement «récente», qui témoigne d'une turfigenèse pastorale à base de joncs et de carex.
De la tourbe à roseau a été observée sous un des KTH.

Etats potentiels:

Le complexe de Crespy-Greloux est en phase pastorale peu intensive, probablement en équilibre avec son état. Il est donc à priori stable.

Modèle de fonctionnement:

La tourbière de Crespy-Greloux est apparemment une «simple» tourbière d'origine minérotrophe, en contexte pastoral, à KTH ayant mené à la mise en place d'une communauté ombrotrophe à la suite d'une baisse significative de la pression pastorale.
Dans ce cadre, les modalités fonctionnelles s'appuient sur une ombrotrophie rendue possible par l'arrêt d'une alimentation en eau d'origine minérotrophe, et une charge pastorale relativement faible au regard de la «valeur» des paramètres climatiques locaux, favorables aux espèces ombrotrophes.
Cependant, il reste des questions majeures sur l'origine de la tourbe à joncs post-KTH, sur l'arrêt des apports minérotrophes et sur les structures d'apparence périglaciaire.

Type fonctionnel:

Le complexe de Crespy-Greloux est une communauté de tourbière ombrotrophe, à ombrotrophie secondaire d'origine inconnue, d'alvéole granitique d'origine glaciaire, pastorale, à tourbe post-KTH minérotrophe, .

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

GOUBET P. (2015). Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels Auvergne. Diagnostic fonctionnel partiel de la tourbière de Crespy-Greloux, Bagnols, Puy-de-Dôme. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 25 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: La Pignole
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Entité d'un site Natura 2000 - ENS 15
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301039
Surface concernée/totale: 15 ha / 15 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 15 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- 8 sondages pédo-paléoécologiques de terrain et 10 sondages «piézométriques»;
- une cartographie des unités écologiques (2015);
- le MNT à 5 m du CRAIG.

- Volet transferts

- suivi piézométrique sur 10 points.

- Volet diachronie

- 8 sondages pédo-paléoécologiques de terrain et 10 sondages «piézométriques»;
- photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

La tourbière de la Pignole s'allonge sur 1,3 km du sud au nord, insérée dans une profonde alvéole d'arénisation dégagée par l'érosion glaciaire.
L'origine de la dépression est en lien avec une faille dans les roches fortement métamorphisées du socle.
Les épaisseurs exactes sont encore inconnues, mais dépassent 6,5m en de nombreux endroits.
Le complexe s'échelonne sur 1,3 km, occupé par un lac, des moliniaies, des moliniaies-cariçaies à *Carex lasiocarpa*, des communautés à callune et *Sphagnum capillifolium*, des tremblants de front de lac à *Rhynchospora alba*, des phragmitaies à bouleau, des saulaies-boulaies, etc.

Etats passés:

Après une première phase lacustre relativement homogène, différents types de tourbières se sont installés et ont produit des tourbes. Comme c'est souvent le cas, les secteurs hors tremblants ont fait l'objet d'un agropastoralisme ayant provoqué la création d'un horizon de surface tassé, décomposé de type kultureller Trockenhorizont (KTH).

Etats potentiels:

Le futur des états actuels reste incertain, parce que d'un point de vue théorique et pratique, nous connaissons encore mal ces tourbières «récentes», venues s'installer sur des tourbières anciennes perturbées par l'homme. Pour certaines au moins, les tourbières hautes, le concept de résilience ou d'auto-restauration peut s'appliquer, on observe ainsi une tourbière haute actuelle sur une tourbe de tourbière haute ancienne, reposant sous un KTH.

Modèle de fonctionnement:

Le grand complexe de la Pignole fonctionne suivant plusieurs modalités suivant les secteurs.
La partie sud, péri-lacustre, s'organise en une partie tremblante, peu évolutive en surface (pas de gain depuis les années 1940). Les processus d'altération/réparation semblent effectifs, ce qui maintient une diversité adaptée. Ils sont probablement liés aux gels et dégels successifs. La partie non-tremblante de cette partie sud fonctionne suivant une modalité post-pastorale classique en moliniaie et callunaie. Une petite partie est encore pâturée.
La partie centrale est occupée par des communautés de tourbière haute post-pastorale, des moliniaies, des callunaies et aussi des saulaies-boulaies et des phragmitaies à bouleaux.
La partie nord se différencie par la présence d'une moliniaie-cariçaie de ré-humectation et des communautés de tourbière haute post-pastorale étendues.

Type fonctionnel:

Au sud, il s'agit d'une tourbière péri-lacustre, d'alvéole de socle glaciaire, à tremblants et communautés ombrotrophes post-pastorales, sur KTH et tourbe minérotrophe.
Au centre, la tourbière est en partie ombrotrophe, sur boue lacustre, post-pastorale, sur KTH et tourbe à sphaigne de Magellan, en partie minérotrophe, à phragmite et boisée.
Au nord, il s'agit d'une communauté de tourbière haute post-pastorale, sur boue lacustre et tourbe minérotrophe, partiellement ré-humectée par abandon.

Documents de référence:

GOUBET P. (2015). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière de La Pignole (Champs-sur-Tarentaine-Marchal, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 37p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Jouvion
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 - ENS 63
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301039
Surface concernée/totale: 9 ha sur 9 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 9 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel typique avec:
- cartographie des unités écologiques (2017);
- 4 profils de structure et de suivi (128 m; 3 x 40 m);
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 8 points et 6 sondages «piézométriques»;
- MNT lidar à 50 cm (disponible mais non exploité).

- Volet diachronie

- 8 sondages pédo-paléoécologiques de terrain et 6 sondages «piézométriques»;
- 4 profils d'analyse des macrorestes (2,30 m; 2 x 1m; 1,5 m);
- 3 datations par le carbone;
- photographies aériennes anciennes.

- Volet transferts

- suivi piézométrique sur 10 points;
- 2 campagnes d'analyse de l'eau en 4 points et 13 indicateurs.

Données manquantes

- analyse piézométrique et physico-chimique complémentaire pour la finalisation du diagnostic.

Etat:

Le complexe de Jouvion se tient au pied d'un «front» de coulée basaltique, dans une dépression du socle métamorphique. Il est traversé par un ruisseau dont une part de l'eau est constituée d'un apport dérivé se situant sur la coulée basaltique. Le reste provenant d'émergences basaltiques.
Le complexe s'organise en deux unités fonctionnelles couvertes de communautés de tourbières hautes, séparées par un ruisseau bordé d'aulnes.
La partie nord est amputée d'une fosse de tourbage, les parties est et sud sont occupées par des prairies de types différents.
Les prairies sont encore pâturées, les communautés de tourbières hautes ont été mises en défens à la fin des années 2010.

Etats passés:

Les analyses paléoécologiques mettent en évidence un fonctionnement passé majoritairement minérotrophe, à base de phragmite, saules, bouleaux, aulnes et fougères.
On note cependant des «poussées» ombrotrophes non abouties.
Le KTH est présent et caractéristique.

Etats potentiels:

Le système pastoral maintenu sur les unités prairiales garantit leur stabilité.
La mise en défens des secteurs ombrotrophes a entraîné une nouvelle dynamique dont la trajectoire n'est pas encore clairement établie, entre moliniaie et tourbière haute.
La fosse sera colonisée par la boulaie.

Modèle de fonctionnement:

Plusieurs modalités fonctionnelles majeures se tiennent dans les différentes unités du complexe.
Les deux secteurs ombrotrophes fonctionnent en systèmes post-pastoraux sur KTH épais et tourbe minérotrophe.
La prairie du sud-est est dépendante d'une émergence diffuse et fonctionne suivant les modalités pastorales classiques.
La prairie sud n'est pas dépendante d'une émergence et prend une forme moins typique de zone humide.
La fosse de tourbage est indépendante des écoulements alentours. Elle fonctionne donc suivant des modalités trophique propres aux tourbes minérotrophes, permettant l'expression de boulaies à strates herbacées et bryophytiques oligotrophes, de types bas-marais acides.

Type fonctionnel:

La tourbière de Jouvion est en grande partie une tourbière ombrotrophe, sur socle, en «front» de coulée, sur tourbe minérotrophe, à KTH, en phase post-pastorale, à grande fosse de tourbage.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2018) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. Analyse hydrologique et trophique de la tourbière de Jouvion (Saint Donat, Puy-de-Dôme).Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 28 p.
Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. Analyse paléoécologique de la tourbière de Jouvion (Saint Donat, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 19 p.
Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. Profils de structures et de suivis du complexe de Jouvion (Saint Donat, Puy-de-Dôme). Description précise de la flore des unités écologiques. Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 10 p.
Goubet P. (2012) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Campagne 2012 et synthèse des campagnes 2008 - 2012 des suivis des végétations et des mares créés en 2009 sur la tourbière de Jouvion (Saint-Donat, Puy-de-Dôme, France). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 21 p.
Goubet P. (2008) - Compte-rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Profils topographiques de surface et de subsurface complémentaires de la tourbières de Jouvion à Saint-Donat (Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 5 p.
Goubet P. (2005) - Compte rendu d'expertise. Diagnostic écologique. Tourbière de Jouvion. Saint-Donat, Puy-de-Dôme. Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand, 13 p. Commande Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Chaussider
Gestionnaire du site: Aucun
Statut du site: Aucun
Liens INPN ou PNRVA:
Surface concernée/totale: 1,1 ha sur 1,1 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 1,1 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel:
- cartographie des unités écologiques (2017);
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 1 point;
- MNT lidar à 5 m du CRAIG.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 1 sondage pédo-paléoécologique adapté, avec prélèvement de 9 échantillons répartis sur 5 m de carottes non décrites;
- photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

Le complexe se tient dans une alvéole granitique d'origine glaciaire. Il a une forme grossièrement circulaire et se situe en contexte forestier.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 6,5 m.
Les unités écologiques sont: (1) des mosaïques de tourbières hautes à linaigrette engainante et callune, *Sphagnum rubellum*, molinie, globalement au centre; (2) une moliniaie à bouleaux éparses en auréole; et (3) des sapinières à sphaignes réparties ponctuellement sur les marges.

Etats passés:

Le sondage pédo-paléoécologique montre la présence de boues lacustres et de tourbes majoritairement minérotrophes avec une phase ombrotrophe à sphaigne de Magellan, contrariée à son sommet par des perturbations anthropiques majeures. Un KTH typique est présent au-dessus de ces tourbes partiellement altérées.

Etats potentiels:

La tourbière ombrotrophe post-pastorale semble stable. Les processus de colonisation ligneuse périphérique seront peut-être rendu difficile au centre par l'oligotrophie marquée du substrat et une reprise turfigène ombrotrophe nette.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe est en phase post--pastorale, dans un contexte forestier, souvent favorable aux communautés ombrotrophes. Etant donné que les tourbes sont à tendance ombrotrophe, la colonisation ligneuse est fortement ralentie.
Le système montre une forme de résilience.

Type fonctionnel:

Le complexe de Chaussider est une tourbière ombrotrophe, d'alvéole de socle d'origine glaciaire, post-pastorale, à KTH sur tourbe ombrotrophe et boue lacustre, d'alvéole granitique.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostics fonctionnels préalables à des actions de gestion visant à favoriser la faune aquatique sur des sites choisis par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 38 p.

V.3 - Cézallier nord

Noms	Communes
La Liste	Besse-et-Saint-Anastaise
Bourdouze Est	Besse-et-Saint-Anastaise
Lac de Bourdouze	Compains
La plaine de Montcineyre	Compains
Sougeat-la-Souze	Égliseneuve-d'Entraigues
Chambedaze	Égliseneuve-d'Entraigues/Compains
Gayme	Picherande
Grouffaud	Picherande
Vassivière	Picherande
Pont de Clamouze	Picherande
Tourbière du lac Chauvet	Picherande/Égliseneuve-d'Entraigues



Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: La Liste
Gestionnaire du site: Aucun
Statut du site: Aucun
Liens INPN ou PNRVA:
Surface concernée/totale: 4,5 ha /4,5 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 4,5 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel:
- cartographie des unités écologiques (2013);
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 5 point;
- MNT lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG (non exploité).

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 5 sondages pédo-paléoécologiques;
- photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

La tourbière se situe au pied de la cheire du Montchal, sur des dépôts de maar, eux-mêmes sur basalte. Une ligne d'émergences borde l'amont du complexe. Celui-ci est traversé de deux drains majeurs, actifs, et d'une série de drains secondaires probablement inactifs.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 3,3 m et sont en général supérieures à 1 m.
Le complexe est nettement scindé en trois parties. La partie centrale, mise en défens, est occupée par une moliniaie, une communauté de tourbière haute à callune et *Sphagnum capillifolium* et une saulaie.
Les deux autres parties, de chaque côté de la précédente, sont pâturées et occupées par des nardaies et des jonçaies à *Juncus effusus*.

Etats passés:

Les carottages révèlent la nature minérotrophe des états passée, à bois, carex et phragmite.
Le KTH est épais et compact.

Etats potentiels:

Les tourbes révèlent des états originels minérotrophes, laissant présumer d'une dynamique de ce type en cas d'arrêt du pastoralisme, même si une phase ombrotrophe se met en place, comme dans la partie mise en défens, au centre. Mais rien n'est certain.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe est probablement une tourbière d'émergence en partie en phase pastorale, à KTH épais et compact, subissant un pâturage fort induisant une nardaie. Le processus déterminant est le piétinement qui induit un maintien en l'état du KTH.
Cela contraste avec la partie centrale qui est en phase post-pastorale, lieu d'une probable colonisation de la moliniaie post-pastorale typique par des communautés ombrotrophes à callune et *Sphagnum capillifolium*.

Type fonctionnel:

Le complexe est probablement une tourbière d'émergence, à KTH sur tourbe minérotrophe, en phase pastorale et post-pastorale ombrotrophe suivant les lieux.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2013) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne dans le cadre du contrat territorial des lacs de la tête de bassin de la Couze Pavin. Diagnostic fonctionnel des zones humides du bassin versant de la Gazelle, affluent de la Couze Pavin (Besse-et-St-Anastaise et Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1, 101 p., Volume II, 47 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Bourdouze est
Gestionnaire du site: PNRVA / CEN Auvegne
Statut du site: Natura 2000 (*pro parte*)
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 32 ha / 32 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 32 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel (approfondi à l'est):
- cartographie des unités écologiques (2013 et 2014 par le CEN-Auvergne);
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique sur 13 points;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 15 points;
- MNT lidar à 10 m du CRAIG.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 1 profil des macrorestes (2,90 m);
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 15 points;
- photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

- caractérisation piézométrique de validation du modèle.

Etat:

Le complexe se situe majoritairement en tête du bassin versant du rif de Feu et à la marge du bassin du lac de Bourdouze. Il couvre le fond de vallon entre deux reliefs volcaniques. Il se tient probablement sur des coulées basalitques plus ou moins recouvertes de dépôts de maar.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 3,10 m, avec un gradient croissant d'ouest en est.
Une petite partie est est pâturée.
La plus grande partie du complexe est occupée par une moliniaie, ponctuée de quelques secteurs à callune et *Sphagnum capillifolium*. Les marges sont représentées par des canchaies. Localement, des plantes de mégaphorbiaie s'insèrent dans les moliniaies. Dans la partie pâturée, les communautés de tourbière haute à *Sphagnum capiliffolium* sont bien représentées, avec des cortèges propres au pâturage associés par exemple au jonc squarreux.

Etats passés:

Les tourbes ont été en majorité édifiées par des communautés à phragmite, saules et bouleaux. Des couches à bryophytes sont aussi présentes.
Le KTH est typique, épais et dense.

Etats potentiels:

Le devenir des tourbières d'émergence à KTH en phase post-pastorale est mal connu. La dynamique vers la remise en place d'une tourbière minérotrophe est possible. La partie pastorale est probablement stable.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe de Bourdouze est le siège de quatre processus fondamentaux qui en déterminent l'état et la dynamique.
Le post-pastoralisme, exprimé dans le cadre d'un KTH typique, épais et dense, caractérise la partie ouest. C'est l'oligotrophie qui domine, avec la présence quasi exclusive de la molinie.
L'ombrotrophie est aussi présente, de manière ponctuelle, à travers des buttes à *Sphagnum capillifolium*.
L'eutrophisation est indiquée par les espèces de la mégaphorbiaie qui s'insèrent dans les moliniaies du bassin versant du lac. Elle reste très locale sur les marges, indiquée par les saulaies.
La logique pastorale s'exprime dans un cadre oligotrophe, voire ombrotrophe, à l'est.
Globalement, l'oligotrophie domine.

Type fonctionnel:

Le grand complexe de Bourdouze est est une tourbière d'émergence, post-pastorale à l'ouest, pastorale à l'est, à KTH, ombrotrophe.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la parcelle YP-2 du complexe tourbeux de Bourdouze est (Besse et Saint-Anastaise, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 17 p.

Goubet P. (2013) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne dans le cadre du contrat territorial des lacs de la tête de bassin de la Couze Pavin. Diagnostic fonctionnel des zones humides du bassin versant de la Gazelle, affluent de la Couze Pavin (Besse-et-St-Anastaise et Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1, 101 p., Volume II, 47 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Lac de Bourdouze
Gestionnaire du site: PNRVA / CEN Auvergne
Statut du site: Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 21 ha / 21 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 21 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel:
- cartographie des unités écologiques (2013);
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique sur une centaine de points;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 1 point;
- MNT lidar à 10 m du CRAIG.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 1 point;
- photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

- le prédiagnostic reste appuyé sur un unique profil pédo-paléoécologique de 2,5 m. Le complexe mérite une analyse complémentaire axée sur une caractérisation pédo-paléoécologique sur 7-8 points;
- des profils de structure et de suivi pourraient «éclaircir» les mosaïques.

Etat:

Le complexe se situe au sein d'un système lacustre sis sur des coulées basaltiques plus ou moins recouvertes de dépôts de maar.
Il se compose de 2 unités majeures.
La première correspond probablement à une tourbière «originelle» occupée aujourd'hui par une mosaïque originale mélangeant plantes ombrotropes (*Sphagnum magellanicum*) et minérotrophe. Localement, un tremblant à scheuchzérie, accompagnée du rare *Sphagnum majus* est présent. La transition avec les versants minéraux se réalise à travers des communautés spécifiques.
La seconde unité majeure est un tremblant à *Carex lasiocarpa* et sphaignes qui présente des petites unités différentes comme des ériophoraies à *Eriophorum angustifolium*, des cariçaies à *C. rostrata*, etc.

Etats passés:

L'unique sondage réalisé ne permet pas de définir les états passés du complexe.

Etats potentiels:

La problématique de l'orientation d'une tourbière réhumectée telle que celle de Bourdouze reste dépendante de l'élaboration de modèles basés sur des sites existants où la ré-humectation est ancienne.
L'état actuel du pré-diagnostic ne permet pas de se prononcer à Bourdouze. Cependant, la présence de *Calamagrostis canescens*, à la fois indicateur d'enrichissement trophique et ingénieur de l'écosystème, pourrait indiquer une eutrophisation généralisée menant à la saulaie.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe se scinde en 2 parties, mais pour chacune, l'état actuel est fortement déterminé par la ré-hausse la plus récente du niveau d'eau.
Pour la partie tourbière «originelle», la réhausse n'a pas entrainée une eutrophisation marquée, le système est complexe et encore mal connu.
Il semble que cela ne soit pas le cas pour la partie ouest du complexe, où la réhausse, possiblement amplifiée par des diffusions sous-tremblant, semble induire une eutrophisation.

Type fonctionnel:

La partie «originelle» est une tourbière post-pastorale réhumectée, lacustre.
Le grand tremblant ouest est une tourbière de concentration des eaux de surface, lacustre, par endiguement d'un vallon tourbeux.

Remarques complémentaires:

Le complexe du lac de Bourdouze est encore mal connu et pourrait subir une eutrophisation marquée. Une meilleure caractérisation des tourbières nous semble être importante, en particulier pour juger des modalités de gestion spécifiques à mettre en place.

Documents de référence:

GOUBET P. (2013). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne dans le cadre du contrat territorial des lacs de la tête de bassin de la Couze Pavin. Diagnostic fonctionnel des zones humides du bassin versant de la Gazelle, affluent de la Couze Pavin (Besse-et-St-Anastaise et Compains, Puy-de-Dôme). Volume 1, 101 p., Volume II, 47 p. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Plaine de Montcineyre
Gestionnaire du site: CEN-Auvergne
Statut du site: Propriété du CEN-Auvergne, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 5,5 ha / 5,5 ha (100 %).

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 5,5 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- évaluation des épaisseurs de sédiments meubles à la perche sur 28 points;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 5 points;
- cartographie des unités écologiques (2019);
- 1 profil de structure et de suivi floristique (137 m).

- Volet transferts

- Volet diachronie

- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 5 points;
- photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

Le complexe de la Plaine de Montcineyre se situe au pied d'un versant sur des coulées basaltiques, plus ou moins couvertes de dépôts de maar.
Les épaisseurs de tourbe atteignent 3 m, mais sont généralement inférieures à 2,5 m.
Le complexe a été planté d'un mélange de pins sylvestres et de pins à crochet. Il est aussi traversé sur la marge nord par une conduite d'adduction d'eau potable.
Il n'est pas pâturé.
Il est couvert en grand majorité par une pineraiemoliniaie à *Peurozium schreberi*, sauf sur les marges où des écoulements de surface permettent l'expression de saulaies. *Eriophorum vaginatum* et *Sphagnum rubellum* ou *S. capillifolium* sont les seules plantes turfigènes de la pineraie-moliniaie.

Etats passés:

La tourbe est majoritairement minérotrophe, édifiée par des communautés à phragmite. Au point d'épaisseur maximale, des tourbes ombrotrophes à sphaignes de Magellan sont aussi présentes.
Le KTH est typique.

Etats potentiels:

Le devenir des tourbières d'émergence à KTH en phase post-pastorale est mal connu. La dynamique vers la remise en place d'une tourbière minérotrophe est possible, par altération du KTH, mais cela implique aussi une charge hydraulique favorable, ce qui n'est à priori pas le cas aujourd'hui.

Modèle de fonctionnement:

Le fonctionnement du complexe actuel contraste avec celui du passé, sauf sur une petite surface à l'est.
Les modalités fonctionnelles originelles sont celles d'une tourbière d'émergence à roseaux basées sur un transfert d'eau de la nappe vers la surface dont nous connaissons pas aujourd'hui l'effectivité, mais qui semble ne plus être possible à cause de la nappe mère elle-même, et non du KTH.
L'eau de nappe ne pouvant plus alimenter la surface de la tourbière, c'est l'eau de pluie qui est à l'origine des flux hydriques et nutritionnels, menant au processus d'ombrotrophie.
Seules les marges sont encore alimentées en eau de nappe, permettant l'expression des saulaies.
Les pins n'ont pas d'influence majeure.

Type fonctionnel:

Le complexe de la Plaine de Montcineyre est une tourbière d'émergence, post-pastorale, à KTH, plantée de pins et à communautés ombrotrophes.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

GOUBET P. (2019). Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière de la plaine de Montcineyre (Compains, puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 26 p.
GOUBET P. (2013). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne dans le cadre du contrat territorial des lacs de la tête de bassin de la Couze Pavin. Diagnostic fonctionnel des zones humides du bassin versant de la Gazelle, affluent de la Couze Pavin (Besse-et-St-Anastaise et Compains, Puy-de-Dôme). Volume 1, 101 p., Volume II, 47 p. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Sougeat-la-Souze
Gestionnaire du site: CEN-Auvergne, PNRVA
Statut du site: Propriété du CEN-Auvergne, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 10 ha / 10 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 10 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel avec:
- Caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique ou au carottier russe;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 10 points dont 6 du sol au socle;
- MNT du CRAIG-IGN, réalisé par photogrammétrie à prendre avec réserve;
- données géologiques disponibles sur le site Infoterre du BRGM;
- pointage et analyse des certaines unités fonctionnelles;
- cartographie des logiques d'écoulement.

- Volet diachronie

- Caractérisation paléoécologique de terrain;
- analyse des photographies aériennes anciennes.

- Volet transferts

- Cartographie des logiques d'écoulement.

Données manquantes

Etat:

Le méta-complexe se compose de 4 complexes échelonnés aux pieds d'un relief correspondant à des «fronts» de coulées basaltiques.
Les tourbes les plus épaisses se situent au nord-ouest avec 5,5 m, mais en générale, elle ne dépassent pas 2 m dans les autres unités.
L'environnement est constitué de plantations d'épicéas et de boisements mixtes.
Les unités écologiques sont variées mais dominées en surface par les mégaphorbiaies, les saulaies-boulaies, les phragmitaies, les moliniaies et les mosaïques ombrotrophes à callune et *Sphagnum capillifolium*.
Il y a une corrélation claire entre les épaisseurs de tourbe fortes et les mosaïques ombrotrophes, ces dernières étant le plus souvent bordées de moliniaies.

Etats passés:

Les tourbes sont diverses. Les plus communes sont issues de phragmitaies à bouleaux, de cariçaies et de communautés à *Sphagnum magellanicum*. Ces dernières sont corrélées aux mosaïques ombrotrophes actuelles.
Le KTH est généralement bien exprimé.

Etats potentiels:

Le méta-complexe est grand et diversifié. Le devenir des tourbières y est conditionné par les paramètres écologiques propres à chacun des complexes: stabilité dans les mosaïques ombrotrophes, colonisation par les ligneux ailleurs, sauf là où la turfigenèse de la roselière limitera la croissance des arbres.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe diversifié de Sougeat-la-Souze fonctionne suivant diverses modalités en fonction des lieux.
La logique ombrotrophe correspond à une forme de résilience de la tourbière, post-pastorale, sur KTH et tourbes ombrotrophes.
La dynamique post-pastorale s'exprime aussi à travers les moliniaies périphériques des mosaïques qui se situent, elles, sous l'influence des écoulements de surface issus des versants, permettant un processus d'enrichissement trophique favorable aux plantes de la mégaphorbiaie.
Les écoulements concentrés traversant apportent suffisamment de nutriments pour permettre l'expression des saulaies.
Mais les saulaies s'expriment aussi probablement à travers des émergences diffuses, comme c'est le cas des phragmitaies.

Type fonctionnel:

Le complexe nord-ouest est une tourbière ombrotrophe post-pastorale, à KTH, résiliente.
Le complexe centre-est est majoritairement une tourbière d'émergence, post-pastorale, à KTH, partiellement boisée. Localement s'y tiennent des tourbières ombrotrophes, par absence d'émergence.
Le complexe sud est une tourbière ombrotrophe, post-pastorale, à KTH, à fosses familiales, résiliente.

Documents de référence:

Goubet P. (2013) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel partiel de la tourbière de Sougeat-la-Souze, Egliseneuve-d'Entraigues, Puy-de-Dôme. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat ,18 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.1

Nom de l'entité:	Tourbière haute de Chambedaze
Nom du site/métacomplexe:	Chambedaze
Gestionnaire du site:	Propriété privée
Statut du site:	APPB - Natura 2000-FR8301040
Liens INPN ou PNRVA:	https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale:	11,3 ha sur 65 ha

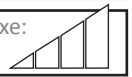
Auteur(s) de la fiche:	Pierre Goubet (versions 1.0 et 1.1)
Dates de la fiche:	Décembre 2020 (version 1.2) - Juin 2017 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 11,3 ha



(Méta)complexe: 65 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- Caractérisation pédologique et paléoécologique de terrain de Goubet (2017);
- MNT du CRAIG à 10 m (avec de probables erreurs induites par la couverture ligneuse);
- photographies aériennes;
- topographie de surface et de subsurface des années 1980 (Molet *et al*., 1985).

- Volet transferts

- Aucune donnée

- Volet diachronie

- Analyse pollinique de Guenet et Reille (1988);
- Caractérisation pédologique et paléoécologique de terrain de Goubet (2017).

Données manquantes

- Ce travail de diagnostic ne concerne que la réalisation d'un prédiagnostic fonctionnel réalisé sur la base habituelle des prédiagnostics

Etat:

Le complexe tourbeux de Chambedaze se compose d'un ensemble d'unités fonctionnelles majeures (nombre qui reste à déterminer) dont une tourbière haute principale (11,3 ha et objet de ce prédiagnostic) et un système tourbeux lacustre.
L'édifice tourbeux étudié est occupé par plusieurs unités fonctionnelles élémentaires réparties de manière complexe dont : une ériophoraie (*Eriophorum vaginatum*) à *Calluna vulgaris* et *Sphagnum capillifolium* et une trichophoraie à *Sphagnum tenellum*. La trichophoraie occupe les dépressions et semble s'organiser suivant une logique de drainage naturel de l'édifice.
Une fosse de tourbage se situe dans la partie ouest de l'édifice. Sa description précise a été réalisée (Goubet, 2017).
L'édifice est bordé de boulaies, à l'exception du secteur est bordé par une estive.

Etats passés:

2 sondages sol-substrat minéral ont été réalisés (au cœur de la tourbière et près de la fosse) et montrent une série comparable avec un KTH bien exprimé surmontant une tourbe de haut-marais complexe à *Sphagnum magellanicum* ou *S. fuscum* et lits de linaigrette engainante.

Etats potentiels:

Communauté de tourbière haute post-KTH à linaigrette engainante et sphaignes rouges.
Édifice dans un état de «conservation» favorable (plus rigoureusement «en phase résiliente satisfaisante»).
Etat potentiel à long terme inconnu par manque de connaissance scientifique.

Modèle de fonctionnement:

Si on se réfère à la communauté en place, la présence d'un KTH bien exprimé et l'origine du complexe, une tourbière haute à sphaigne de Magellan et sphaigne marron, le complexe a fonctionné et fonctionne encore suivant une logique ombrotrophe, en phase post-KTH à fort recouvrement de linaigrette.
La communauté actuelle est différente de celles qui ont édifié la tourbe mais reste parmi les plus proches, en particulier grâce au bon recouvrement de la linaigrette engainante et de *Sphagnum capillifolium*.
Cet type de tourbière, sensible au piétinement, doit rester inaccessible au bétail.
Son caractère ombrotrophe la rend indépendante des écoulements alentours, dépendante des précipitations et des dépôts d'aérosols.

Type fonctionnel:

Le type fonctionnel de cette unité majeure du complexe de Chambedaze est celui de la tourbière haute à KTH et communauté post-KTH de type ériophoraie à callune et *Sphagnum capillifolium* (*Eriophorum vaginatum* et *Calluna vulgaris*).

Remarques complémentaires:

Aucune.

Documents de référence:

Guenet P. & Reille M. (1988). Analyse pollinique du lac-tourbière de Chambedaze (Massif-Central, France) et datation de l'explosion des plus jeunes volcans d'Auvergne. Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire, 25(4), 175-194.

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostics fonctionnels préalables à des actions de gestion visant à favoriser la faune aquatique sur des sites choisis par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 38 p.

Mollet A. M., Francez A. J., Gillet F. & Schumacker R. (1985). Contribution à la connaissance des tourbières d'Auvergne. Végétation et physico-chimie des sites de Chambedaze et de la Godivelle (Puy-de-Dôme). Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne, 51(1-2-3-4), 51-59.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Gayme
Gestionnaire du site: Aucun
Statut du site: Aucun
Liens INPN ou PNRVA:
Surface concernée/totale: 30 ha / 30 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 30 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 5 sondages concernant les parties nord-est et sud-est du site.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- analyse des photographies aériennes anciennes;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain en 5 points.

Données manquantes

Etat:

La tourbière de Gayme est une des rares tourbières du Cézallier ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle de la tourbe, sous forme de carrière à front de taille.
Elle se situe sur une coulée basaltique, probablement aux pieds du «front» d'une autre coulée formant un relief au nord-ouest, entièrement boisé.
Elle se compose aujourd'hui de deux parties, le fond de carrière et le reste de la tourbière, non-exploitée.
Le fond de carrière est rocheux et a été conçu pour être inondé, il est occupé par un étang et une cariçaie à *Carex rostrata,* dans laquelle s'individualisent quelques tâches à massette et de nombreuses saulaies-boulaies.
Les zones de tourbière relictuelle correspondent principalement à des mosaïques de fosses familiales ombrotrophes et leurs moliniaies périphériques. La bordure nord-est est occupée par une mégaphorbiaie et une saulaie.

Etats passés:

Les données paléoécologiques ne concernent qu'un sondage de 2,5 m dont le terme supérieur est une tourbe à sphaigne de Magellan, sous KTH. La tourbe sous-jacente est issue de cariçaies, mais surmonte probablement une tourbe à phragmite.

Etats potentiels:

Le fond de carrière est susceptible d'être colonisé par la saulaie-boulaie, possiblement éparse.
Les rélictes de la tourbière sont probablement stables, possiblement le futur siège d'une turfigenèse ombrotrophe étendue.

Modèle de fonctionnement:

Le fond de carrière fonctionne probablement suivant une modalité double de colonisation d'eau libre et de colonisation ligneuse, grâce à une bonne disponibilité en nutriments. La nature tremblante des cariçaies n'est pas établie, l'épaisseur de la tranche d'eau libre est donc encore pour le moment une limite qui ne permet pas la totale colonisation du plan d'eau.
Les parties relictuelles ont été fortement perturbées par le pâturage et surtout les fosses familiales. La tourbe ombrotrophe limite la colonisation ligneuse post-pastorale aux marges. Les processus de colonisation de fosses sont divers.

Type fonctionnel:

Le complexe de Gayme est une tourbière exploitée en carrière, à relictes ombrotrophe, post-pastorale, à KTH, à fosses familiales.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostics fonctionnels préalables à des actions de gestion visant à favoriser la faune aquatique sur des sites choisis par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 38 p.
Goubet P. (2010). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Natures Régional des Volcans d'Auvergne. Etude de l'état fonctionnel de 11 tourbières du territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (Puy-de-Dôme et Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte), 46 p. Volume 2 (figures), 42 p. Volume 3 (fiches des UFE), 30 p. Volume 4 (fiches synthétiques de diagnostics), 11 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Tourbière du lac Chauvet
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 24 ha / 24 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 24 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 7 sondages pédo-paléoécologiques dont 4 à vocation descriptive;
- MNT à 10 m du CRAIG-IGN;
- analyse succincte des communautés végétales.

- Volet transferts

Données manquantes

- Volet diachronie

- caractérisation paléoécologique de terrain en 4 points.

Etat:

Le complexe du Lac Chauvet se situe sur une coulée basaltique aux pieds du «front» d'une coulée formant un relief, au sud-est.
Une moitié de la tourbière est pâturée et le contexte est globalement forestier.
La tourbière est traversée par un écoulement de part en part.
Les épaisseurs de tourbe atteignent 4 m.
La partie non-pastorale présente des formations typiques à linaigrette engainante, callune et *Sphagnum capillifolium*, et des fosses de tourbage familiales de divers remplissages.
Les classiques moliniaies périphériques sont présentes aux marges du complexe et au bord de l'axe drainant.

Etats passés:

Tous les sondages indiquent que l'édifice a été construit dans sa partie supérieure par des communautés ombrotrophes à sphaigne de Magellan. De manière très originale, certaines tourbes ont été construites par *S. rubellum* et *Dicranum bergeri*.
Le démarrage de la tourbière est réalisé à travers des roselières à bouleaux.
Les KTH sont typiques.

Etats potentiels:

Le complexe post-pastoral semble stable et potentiellement sur une dynamique de remise en place de la turfigenèse ombrotrophe.
La partie pâturée est en équilibre.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe du Lac Chauvet est le siège de divers processus en fonction des parties concernées dont certaines pourraient être considérées comme des complexes à part entière.
La partie non pâturée est dans un état post-pastoral typique, avec une bonne couverture de linaigrette engainante indiquant un potentiel turfigène fort. Les fosses de tourbage sont en phase de fermeture. La nature ombrotrophe des tourbes est favorable à une faible incidence des fronts de taille, ne remettant pas en cause la dynamique turfigène.
La partie pâturée est occupée par une communauté assez classique à trichophore où les processus érosifs ne sont apparemment pas très intenses. Bien-sûr, la turfigenèse y est stoppée.

Type fonctionnel:

Le complexe du Lac Chauvet est une tourbière ombrotrophe, à KTH, post-pastorale et à fosses familiales, à l'ouest, pastorale, à l'est.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostics fonctionnels préalables à des actions de gestion visant à favoriser la faune aquatique sur des sites choisis par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 38 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Grouffaud
Gestionnaire du site: Aucun
Statut du site: Aucun
Liens INPN ou PNRVA:
Surface concernée/totale: 12 ha / 12 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 12 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- cartographie des unités fonctionnelles et description de la structure des fosses.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- analyse des photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

Le complexe de Grouffaud se tient sur le socle métamorphique de l'Artense, à quelques dizaines de mètres du front d'une des coulées basaltiques du Sancy.
Les épaisseurs de tourbe n'ont jamais été mesurées.
La tourbière a été exploité en fosses familiales et semble-t-il de manière plus intensive au sud-ouest.
Une grande partie du complexe est occupée par des mosaïques de fosses ombrotrophes bordées de moliniaies. Localement sont présentes des cariçaies à *Carex rostrata* et des saulaies.

Etats passés:

L'absence de donnée pédo-paléoécologique ne permet pas de définir les états passés du complexe avec fiabilité. Ceci-dit, la nature oligotrophe des fosses est un indice de tourbes ombrotrophes et donc d'une origine ombrotrophe du complexe.

Etats potentiels:

L'état actuel du complexe révèle une oligotrophie forte qui laisse présumer d'une certaine stabilité et d'une potentielle reprise turfigène ombrotrophe dans les secteurs centraux.
Les moliniaies périphériques sont susceptibles de se boiser.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe est dépendant de processus liés au post-pastoralisme et surtout à l'extraction de tourbe.
Le post-pastoralisme s'exprime partout, mais le plus classiquement dans les secteurs non exploités en fosses, dans les moliniaies, les cariçaies et les saulaies. Le processus en cours dans ces périphéries semble celui de la colonisation ligneuse par les saules, probablement induite par des apports nutritionnels de surface, mais aussi par une nature minérotrophe de la tourbe.
Les mosaïques de fosses centrales sont probablement rendues oligotrophes par la nature ombrotrophe de la tourbe. La situation possiblement bombée des centres du complexe confère certainement aussi une ombrotrophie de relief.
Le comblement des fosses est inégal et se réalise en particulier à travers les tremblants à *Sphagnum cuspidatum* et linaigrette engainante.

Type fonctionnel:

Le complexe de Grouffaud est une tourbière ombrotrophe, post-pastorale, à fosses familiales.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2010). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Natures Régional des Volcans d'Auvergne. Etude de l'état fonctionnel de 11 tourbières du territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (Puy-de-Dôme et Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte), 46 p. Volume 2 (figures), 42 p. Volume 3 (fiches des UFE), 30 p. Volume 4 (fiches synthétiques de diagnostics), 11 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Vassivière
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 14 ha / 14 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 14 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 4 sondages pédo-paléoécologiques du sol au socle;
- MNT à 10 m du CRAIG-IGN;
- structure des unités fonctionnelles et cartographie succincte.

- Volet transferts

Données manquantes

- Volet diachronie

- analyse des photographies aériennes anciennes;
- 4 sondages pédopaléoécologiques du sol au socle.

Etat:

Le méta-complexe de Vassivière se situe au pied d'un relief basaltique probablement constitué d'au moins 3 coulées, toutes aquifères, formant 3 lignes de sources typiques. Le fond de vallon est une lave trachy-andésitique. Une faille complique la structure géologique.
Les épaisseurs de tourbe ne dépassent le mètre que dans une partie sud-est, proche du ruisseau, et dans la partie nord.
Les unités fonctionnelles sont: des prairies de fauches, au nord; des saulaies, de grandes tailles au nord; plusieurs types de mosaïques qui intègrent des replats de sphaignes, des tricho-phoraies, des mégaphorbiaies, des bosquets de saules, des jonçaies à *Juncus acutiflorus*.

Etats passés:

Les sondages indiquent que les tourbes ont été majoritairement édifiées par des roselières à bouleaux.
Localement, des tourbières ombrotrophes ont peut-être aussi constitué des tourbes, mais les données restent trop imprécises pour en être sûr.

Etats potentiels:

Une bonne partie est en dynamique d'eutrophisation post-pastorale, qui mènera à une saulaie-boulaie.
Les parties ombrotrophes apparaissent stables, tout comme la prairie de fauche, tant que la fauche est maintenue et que les fertilisations sont faibles ou nulles.

Modèle de fonctionnement:

Les modalités fonctionnelles varient suivant l'unité considérée.
Au nord, la prairie de fauche est une unité pastorale fonctionnant plus ou moins en équilibre en fonction de la pression de fauche et des fertilisations apportées. Le niveau trophique se joue sur ces deux paramètres.
La saulaie nord dépend probablement d'une émergence diffuse d'une eau relativement enrichie en nutriments, en accord avec les usages dans l'impluvium et possiblement aussi le cadre basaltique.
Les mosaïques à mégaphorbiaies et saulaies fonctionnent elles-aussi suivant une modalités d'émergence diffuse, là aussi possiblement favorisée par des taux nutritionnels relativement élevés pour les mêmes raisons que les saulaies.
Les mosaïques à sphaignes sont mal connues.

Type fonctionnel:

Le complexe de Vassivière est une tourbière d'émergence, localement ombrotrophe, majoritairement post-pastorale, boisée localement.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostic fonctionnel de la tourbière de Vassivière (Besse-et-Saint-Anastaise, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 12 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:

Nom du site/métacomplexe: Pont de Clamouze

Gestionnaire du site: PNRVA

Statut du site: Natura 2000

Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040

Surface concernée/totale: 13 ha / 13 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)

Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 13 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel avec:
- 2 sondages pédo-paléoécologiques du sol au socle;
- MNT à 10 m du CRAIG-IGN.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 2 sondages pédo-paléoécologiques du sol au socle;
- analyse des photographies aériennes anciennes.

Données manquantes

- Au moins un sondage pédo-paléoécologique complémentaire au centre du complexe.

Etat:

La tourbière du pont de Clamouze constitue un des éléments d'un vaste ensemble de complexes dit de la Barthe.
Elle s'étend sur un substrat constitué de basaltes au sens large. Elle s'insère probablement dans une dépression légère du substrat rocheux.
Les sondages carottés ont atteint des profondeurs de 1,8 et 2 m avant de toucher le substrat rocheux.
Le complexe a fait l'objet de multiples perturbations: le pâturage (il est en situation pastorale avec de nombreuses fermes proches), le drainage par drains particulièrement profonds et le creusement d'un étang au sud-ouest.
La plus grande partie du complexe est aujourd'hui non pâturée, à l'exception des marges et la partie à l'ouest de l'étang.
Les communautés végétales observées sont de type ériophoraie-callunaie à sphaignes rouges ou trichophoraie à *Sphagnum tenellum*.

Etats passés:

Les tourbes sont ombrotrophes et le KTH est caractérisé.

Etats potentiels:

La tourbière apparait stable. Il est possible qu'une turfigenèse ombrotrophe s'étende sur la partie la moins perturbée du complexe, hors pâturage.

Modèle de fonctionnement:

La tourbière du pont de Clamouze fonctionne suivant une modalité ombrotrophe post-pastorale assez classique dans le secteur (Tourbières du Lac Chauvet, de la Barthe, du plateau du bois de la Masse, de Sougeat-la-Souze, etc.).
La reprise turfigène est conditionnée à l'absence de piétinement.

Type fonctionnel:

Le complexe du Pont de Clamouze est une tourbière ombrotrophe, post-pastorale, à KTH, sur tourbe ombrotrophe.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostics fonctionnels préalables à des actions de gestion visant à favoriser la faune aquatique sur des sites choisis par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 38 p.

V.4 - Cézallier centre

Noms	Communes
Lac des Bordes	Compains
Lac d'en Bas	La Godivelle
Coualle-Basse	La Godivelle
Les Chastelets	La Godivelle
Plaine-Jacquot	La Godivelle/Compains
La Chambe	Montgreleix



Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Lac des Bordes
Gestionnaire du site: CD 63, PNRVA
Statut du site: ENS63, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301040
Surface concernée/totale: 3 ha / 3 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 3 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles (2010);
- cartographie de la répartition des ligneux (2013);
- topographie de terrain de surface et de subsurface;
- bathymétrie;
- caractérisation des propriétés physico-chimiques des eaux;
- MNT à 10 m du CRAIG et à 50 cm (disponible mais non utilisé).

- Volet diachronie

- Analyse des photographies aériennes anciennes.

- Volet transferts

- suivi piézométrique du lac.

Données manquantes

Etat:

Le complexe du lac des Bordes se tient sur le rebord d'une coulée basaltique creusée de deux dépressions suivant un axe nord-sud. Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 9,5 m dans la dépression nord et 5,8 m dans celle du sud.
Le complexe est formé de 4 îlots principaux dont 2 étaient mobiles il y encore quelques décennies.
Au sud, la tourbe ne flotte pas, elle est mise à nu en été.
L'îlot sud est occupé par une communauté de tourbe nue à éléocharis et joncs bulbeux et filiforme mosaïquée avec une cariçaie à *Carex rostrata*. La masse de tourbe est probablement ancrée dans le fond minéral et elle ne flotte pas. Au contraire, les autres îlots flottent. Le plus grand est occupé par diverses unités, principalement un tremblant à *Carex limosa*, des cariçaies diverses dominées par *C. lasiocarpa* et *C. rostrata* et des replats à polytrics. Des sillons à scheuchzérie et des buttes à sphaigne de Magellan sont aussi présentes.
Les deux petits îlots sont couverts de cariçaies et de replats à polytric commun.

Etats passés:

La nature tremblante du complexe rend difficile l'analyse paléoécologique.
La mise en eau est polyphasée et date initialement de 1660-1670.

Etats potentiels:

Les unités fonctionnelles sont originales et échappent aux modèles classiques.

Modèle de fonctionnement:

Les tourbières du lac des Bordes sont originales dans leur composition et leur structure. Les processus dont elles découlent ou qui sont en cours restent mal connus.
Il est certain que la mise en eau initiale du fond de vallon est ancienne, reportée dans un procès, et que les niveaux ont varié au cours du temps comme en témoignent les photographies aériennes anciennes. Le niveau actuel découle d'aménagements des années 1960. Ces rehausses et assecs successifs rend complexe la compréhension de la dynamique en place.
Le lac se situe au milieu de prairie de fauche fertilisées mais ne semble pas fortement affecté par un enrichissement trophique. Ceci est certainement permis par le petit bassin versant topographique qui fait de ce lac plus une réserve d'eau de pluie qu'un collecteur d'eau de surface.

Type fonctionnel:

Le complexe du lac des Bordes est une tourbière d'endiguement, de décollement, atypique.

Documents de référence:

Goubet P. (2020). Compte rendu d'études commandées par le Conseil départemental du Puy-de-Dôme et coordonnées par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Suivi cartographique de la flore patrimoniale des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Campagne 2019. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 7 p.
Goubet P. (2014) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Caractérisation des propriétés physico-chimiques des eaux du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 11 p.
Goubet P. (2013) - Compte rendu d'expertise commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Variations du niveau d'eau, hypothèses sur l'origine de l'eau et conséquences pour le fonctionnement des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 11 p.
Goubet P. & Petit S. (2010) - Compte rendu d'expertise commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme. Diagnostic écologique du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet. Jenzat. Volume 1 (texte), 29 p. Volume 2 (figures), 34 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Le Lac d'en Bas
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600023
Surface concernée/totale: 52 ha / 52 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 52 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel poussé avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique sur 4 profils;
- 37 sondages pédo-paléoécologiques de terrain dont 17 piézométriques;
- 49 relevés floristiques, cartographie des unités fonctionnelles, des buttes à *Sphagnum magellanicum* et des fronts de taille.
- description typologique des boisements;
- diagnostic hydrologique et fonctionnel du bassin versant du Lac d'En Bas;
- 10 profils de structure et de suivi;
- lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG.

- Volet diachronie

- 4 analyses des macrorestes et 3 dates ^{14}C;
- 37 sondages pédo-paléoécologiques de terrain;
- photos aériennes anciennes.

- Volet transferts

- Caractérisation piézométrique sur 18 points;
- diagnostic hydrologique et fonctionnel du bassin versant du Lac d'en Bas dont étude piézométrique sur 9 points;
- analyses physico-chimiques dont la caractérisation fine des produits phosphorés.

Données manquantes

- caractérisation des épaisseurs de sédiments meubles en dehors des profils «historiques».

Etat:

Le complexe du Lac d'en Bas se tient dans le fond d'un vallon dont la partie aval correspond à un surcreusement d'origine glaciaire. La géologie locale est majoritairement caractérisée par des coulées basaltiques plus ou moins couvertes de dépôts de maar et de dépôts scoriacés.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 14,50 m. Elles sont les plus fortes à l'aval, dans le système lacustre.
Deux unités majeures se distinguent: une péri-lacustre, l'aval, caractérisée par un tremblant où s'exprime un gradient trophique allant des saulaies-boulaies aux cariçaies à basophiles, en passant pas la calamagrostidaie à *Calamagrostis canescens*, les mégaphorbiaies ou les cariçaies-prêlaies à *Carex lasiocrapa*.
A l'amont, les unités écologiques sont des phragmitaies, des mégaphorbaies, des calamagrostidaies à *Calamagrostis canescens*, des saulaies-boulaies, des moliniaies, des mosaïques de fosses de tourbage.

Etats passés:

Un complexe aussi vaste est diversifié du point de vue paléoécologique. Les états décrits à ce jour sont des milieux lacustres, diatomitiques, des tremblants alcalins oligotrophes, des tourbières ombrotrophes, des saulaies-phragmitaies.
Les KTH sont généralisés; les fosses localisées.

Etats potentiels:

L'eutrophisation post-pastorale est généralisée à l'amont, sauf dans certaines fosses. L'eutrophisation anthropique de système lacustre est générale, sauf aux émergences.

Modèle de fonctionnement:

L'unité péri-lacustre est le siège de processus complexes d'eutrophisation liés à la charge en nutriments des eaux du lac, induite par les apports du bassin versant. Dans le détail, les modifications d'états varient en fonction d'un probable héritage de l'exploitation des boues lacustres dans les années 1960 et du contact avec les eaux du lac. Les saulaies-boulaies qui forment un arc à une certaine distance du lac sont probablement liées à l'assec et contribuent aujourd'hui à la colonisation en front par amélioration de la litière. Les eaux du lac riches en nutriments permettent l'expression du *Calamagrostis canescens*, espèce ingénieure, qui améliore le sol et favorise les plantes de la mégaphorbiaie. L'existence de zones oligotrophes à plantes basophiles rares est induite par des émergences qui «chassent» les eaux du lac.
L'eutrophisation de l'unité aval est en partie un rééquilibrage post-pastoral, en partie induite par des apports de versants anthropiques.
Elle est nulle dans les fosses de tourbage qui ne sont pas en contact avec les écoulements de surface.

Type fonctionnel:

La partie aval est une tourbière lacustre, à tourbe oligotrophe alcaline, en partie boisée, eutrophisée.
La partie amont est une tourbière de fond de vallon à émergences locales, post-pastorale, à KTH, à fosses familiales regroupées en grande fosse acide oligotrophe.

Documents de référence (partiel et simplifié):

Goubet P. & Goubet C. (2020). Analyse des macrorestes de deux colonnes de tourbe du Lac-d'en-Bas. Goubet P. (2019). Suivi floristique des effets de la fauche de la tourbière du Lac d'en Bas. Analyse deux ans après la mise en place de la fauche. Goubet P. (2019) - Étude piézométrique de la tourbière du Lac d'en Bas. GOUBET P. (2019). Quels sont les processus à l'origine de la colonisation ligneuse des tourbières du Lac d'en Bas? Goubet P. (2018) - Suivi floristique des effets de la fauche de secteurs humides du Lac d'en Bas. Etat zéro 2017. Goubet P. & Goubet C. (2017). Suivi des zones à forts enjeux patrimoniaux des tourbières du Lac d'En Bas. Évaluation de l'état de conservation. Goubet P. & Poiraud A. (2016) - Diagnostic hydrologique et fonctionnel du bassin versant du Lac d'en Bas en vue de la mise en œuvre d'un programme d'actions pour la préservation des zones humides et milieux aquatiques. Goubet P. (2013) - Analyse des macrorestes sur deux profils du complexe du Lac d'en Bas. Goubet P. (2011) - Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux du Lac d'en Bas, unités amont et intermédiaire (partie ouest). Goubet P. (2010) - Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux de la Godivelle (Puy-de-Dôme) : campagne 2009.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Coualle-Basse
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600023
Surface concernée/totale: 33 ha / 33 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 33 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles;
- 1 profil de structure et de suivi;
- 15 sondages pédo-paléoécologiques dont 13 du sol au socle;
- MNT à 10 m Géodis du CRAIG et aujourd'hui MNT lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG (non exploité).

- Volet transferts

Données manquantes

- Volet diachronie

- 15 sondages pédo-paléoécologiques de terrain dont 13 du sol au socle;
- photos aériennes anciennes.

Etat:

Le complexe de la Coualle-Basse se tient dans le fond d'un vallon où convergent plusieurs affluents.
Le fond géologique est constitué de coulées basaltiques couvertes de dépôts de maar dont l'épaisseur est inconnue et probablement variable.
La structure du complexe s'organise suivant un axe d'écoulement majeur, bordé d'abord par une phalaridaie, puis par une mosaïque de calamagrostidaies à *Calamagrostis canescens* et de saulaies-boulaies.
Dans les vallons connexes se tiennent diverses prairies, mégaphorbiaies et moliniaies.
Localement, des émergences permettent l'expression de cariçaies à basophiles ou d'anciennes fosses offrent des communautés à sphaignes.

Etats passés:

Les tourbes sont minérotrophes, à phragmite, prêle, carex et bois.
Des sédiments lacustres ont été reportés sous laWW tourbe (Bastin et al., 1990).

Etats potentiels:

La diversité des milieux rend difficile la définition d'états potentiels, d'autant que les usages varient d'une parcelle à l'autre.

Modèle de fonctionnement:

La complexe de la Coualle-Basse fonctionne de manière différente suivant les secteurs.
L'unité centrale, post-pastorale correspond probablement à une zone d'épandage du ruisseau provenant du lac, riche en nutriments et probablement aussi parfois en particules minérales qui favorisent la baldingère.
L'unité sud-ouest est soumise à la fauche et a été exploitée en fosses. Il s'y mélange donc des unités de colmatage de fosse à *Sphagnum* aggr. *palustre*, des prairies de fauche, des saulaies, des moliniaies et des mégaphorbiaies en fonction des héritages et des usages.
L'unité sud-est est le siège d'émergences suffisamment riches en bases pour diversifier les cortèges, en particulier celui des mousses.
L'unité nord est occupée par des canchaies et des prairies.

Type fonctionnel:

Le complexe de la Coualle-Basse est pour part une tourbière de concentration des eaux de surface de fond de vallon et une tourbière d'émergence, post-pastorale et pastorale, à KTH, partiellement boisée et à fosses familiales groupées.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Bastin, B., Gewelt, M., & Juvigné, E. (1990). A propos de l'âge et de l'origine des téphras tardiglaciaires T4 et T5 de Godivelle-Nord (Massif Central, France). Annales de la Société géologique de Belgique.
Goubet P. (2012) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles du complexe tourbeux de la Coualle-Basse (La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat Volume 1 (texte), 9 p. Volume 2 (figures), 19 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:

Nom du site/métacomplexe: Les Chastelets

Gestionnaire du site: PNRVA

Statut du site: RNN, Natura 2000

Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600023

Surface concernée/totale: 20 ha / 20 ha (100 %)

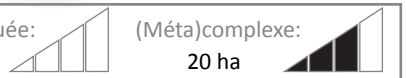
Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)

Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha

(Méta)complexe: 20 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- MNT lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG;
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 6 sondages pédo-paléoécologiques de terrain au carottier dont 2 du sol au socle;
- cartographie des unités fonctionnelles et 17 relevés floristiques.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- Photos aériennes anciennes;
- 6 sondages pédo-paléoécologiques de terrain au carottier dont 2 du sol au socle.

Données manquantes

- Caractérisation piézométrique.

Etat:

Le complexe des Chastelets s'insère dans une dépression à l'origine lacustre, située dans un cratère de maar pourvu de cônes secondaires, encadrée par des empilements basaltiques et des dykes.
Les communautés sont des mosaïques de fosses familiales; des moliniaies pauscispécifiques; des moliniaies-cariçaies à *Carex lasiocarpa* et *C. rostrata*; ériophoraies-moliniaie à *Eriophorum vaginatum*; filipendulaies; calamagrostidaies à *Calamagrostis canescens*.
De petites surfaces du complexe, marginales, sont encore pâturées.

Etats passés:

La tourbière débute par un tremblant à scheuchzérie et carex et se poursuit avec une phase de tourbière haute à sphaigne de Magellan. Les horizons supérieurs sont complexes, difficiles à définir, probablement en lien avec la mise en place d'usages pastoraux peu intensifs. L'intensification pastorale n'est pas aussi nettement caractérisée par un KTH que la plupart des tourbières locales.
Une partie du complexe a fait l'objet d'une extraction de tourbe en fosses familiales.

Etats potentiels:

Les deux dynamiques majeures qui s'appliquent au sein de la zone post-pastorale sont l'ombrotrophisation et l'eutrophisation. A terme, le complexe devrait se partager entre un secteur central de tourbière haute et un anneau de boisement dont la mise en place est accélérée par l'eutrophisation d'origine anthropique, pour la partie nord.

Modèle de fonctionnement:

L'état actuel du complexe se structure autour de six logiques fonctionnelles: le pastoralisme, le champ de fosses familiales, le post-pastoralisme classique, le post-pastoralisme suivi d'une inondation, l'ombrotrophie et l'eutrophisation.
Les modalités d'écoulement ne sont pas connues, mais il existe une contribution importante d'eau d'émergence riche en bases qui permet l'expression de communautés de basophiles rares. Le ruisseau qui traverse le complexe apparait particulièrement riche en nutriments, sans qu'il soit clairement établi d'où provient l'eau.

Type fonctionnel:

Le complexe des Chastelets est une tourbière ombrotrophe, sur boue lacustre, post-pastorale, à KTH, ré-humectée en partie, à fosses familiales.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Contribution au diagnostic fonctionnel de la tourbière des Chastelets (La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 42 p.

Poiraud A. (2020) - Étude géomorphologique et hydrologique du bassin versant de la tourbière des Chastelets, La Godivelle (63). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 21 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: La Plaine-Jacquot
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNN, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR3600023
Surface concernée/totale: 14 ha / 14 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 14 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel typique avec:
- Caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles;
- 7 relevés floristiques;
- 1 profil de structure et de suivi;
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 10 sondages pédo-paléoécologiques du sol au socle;
- MNT Géodis à 10 m du CRAIG et aujourd'hui MNT lidar à 50 cm du PNRVA-CRAIG (non exploité);
- caractérisation géologique et géomorphologique (Poiraud, 2017).

- Volet diachronie

- Photos aériennes anciennes;
- 10 sondages pédo-paléoécologiques du sol au socle.

- Volet transferts

- Caractérisation piézométrique sur 10 points.

Données manquantes

- Analyse des écoulements d'un point de vue théorique à partir du MNT fin;
- compléments de caractérisation pour certaines unités fonctionnelles.

Etat:

Le complexe de la Plaine-Jacquot s'étend sur le replat légèrement penché vers l'est d'un toit d'une coulée de basalte mis à nu entre deux versants, au nord et au sud, constitué d'un empilement basaltique.
Le complexe se compose en fait de deux complexes séparés par une butte minérale. Le plus grand, à l'ouest, est occupé en son centre par une communauté ombrotrophe à callune et *Sphagnum capillifolium*, de grandes fosses d'eau libre, d'une cariçaie à *Carex lasiocarpa* et basophiles et de mosaïques de fosses familiales. Les marges sont occupées par des mégaphorbiaies, des saulaies, des roselières et dans les fosses des tremblants divers.
L'autre, à l'est, est occupée par une canchaie à bistorte.

Etats passés:

Le complexe s'est développé à partir de bas-marais à phragmite induits par les systèmes d'émergences aux deux interfaces de trois coulées empilées. Pour une raison inconnue, le bas-marais laissa place à une tourbière haute. L'anthropisation ultérieure a mené à la création d'un épais kultureller Trockenhorizont (KTH) et au creusement d'au moins deux générations de fosses de tourbage.

Etats potentiels:

Le complexe apparait stable en dehors des marges qui ont vocation à se boiser de saules et bouleaux.

Modèle de fonctionnement:

Aujourd'hui, les différentes unités du complexe sont dans une phase de rééquilibrage après l'arrêt des multiples perturbations. La partie centrale du complexe, une ancienne tourbière haute, est ainsi occupée par une communauté de tourbière haute, sur KTH, et de quelques fosses en eau, dystrophes.
La partie nord de l'ancien haut-marais est occupée par une cariçaie à *Carex lasiocarpa* originale, riche en mousses basophiles. Cette unité est probablement d'origine anthropique, induite par une baisse du niveau topographique de cette partie du complexe, suite à une activité pastorale intense. L'origine de l'eau, particulièrement riche en bases, est à chercher dans des apports thermo-minéraux.

Type fonctionnel:

Le grand complexe est une tourbière d'émergence de bas de versant/fond de vallon, à unité ombrotrophe, en contexte basaltique, à KTH, post-pastorale, exploitée en grandes et petites fosses familiales.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière de la Plaine-Jacquot (La Godivelle, Saint-Alyre-Es-Montagne et Compains, Puy-De-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 38 p.
Poiraud A. (2017). Étude géomorphologique de la Plaine Jacquot, commune de la Godivelle (63). Rapport final pour le PNR des Volcans d'Auvergne,Février 2017, 35 pages.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: La Chambe
Gestionnaire du site: CEN Auvergne
Statut du site: Aucun
Liens INPN ou PNRVA:
Surface concernée/totale: 15 ha / 15 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 15 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic rapide avec:
- description qualitative des unités fonctionnelles.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- Photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- 6-7 carottages pour analyse pédo-paléoécologiques de terrain;
- analyse de la question des apports en bases (sujet à l'échelle du Cézallier et de ses marges);

Etat:

Les complexes de la Chambe se situent sur des basaltes, au creux d'alvéoles d'émergence ou dans des dépressions de surcreusements glaciaires.
Le méta-complexe est organisé en 3 sous-unités indépendantes composées par des unités de fond plat reliées par des unités de pente plus ou moins forte, plutôt linéaires.
L'unité amont, sise dans un surcreusement, est occupée par des communautés de tourbière haute ou des remplissages de grandes fosses de tourbage.
L'unité aval sud est majoritairement occupée par des jonçaies à *Juncus effusus* et des cariçaies à *Carex rostrata*, sauf au niveau des alvéoles de l'amont, où les unités fonctionnelles élémentaires sont plus diversifiées. S'y observent des tremblants à *Carex diandra*, des replats à sphaignes dont *Sphagnum warnstorfii*.
L'unité aval nord est en grande partie occupée par des jonçaies à *Juncus effusus* et des cariçaies à *Carex rostrata*.

Etats passés:

Aucune donnée paléoécologique n'est disponible sur les complexes. Cependant, il est probable que les tourbes soient minérotrophes pour les systèmes aval.
Les complexes montrent probablement des KTH et ils ont été exploités pour la tourbe.

Etats potentiels:

Les systèmes semblent stables.

Modèle de fonctionnement:

Le fonctionnement actuel dépend de trois facteurs majeurs: la présence et la nature des eaux d'émergence, la pression de pâturage actuelle et la structure des fosses de tourbage.
Les apports de sources varient en quantité déterminant ainsi le taux d'ombrotrophie, et en qualité, déterminant la présence de bas-marais d'émergence à basophiles.
La pression de pâturage détermine l'état des systèmes ombrotrophes avec des secteurs à callune et d'autres à nard.
Les fosses de tourbage permettent l'expression de communautés plus hygrophiles, minérotrophes, et notamment celle de tremblants de source.

Type fonctionnel:

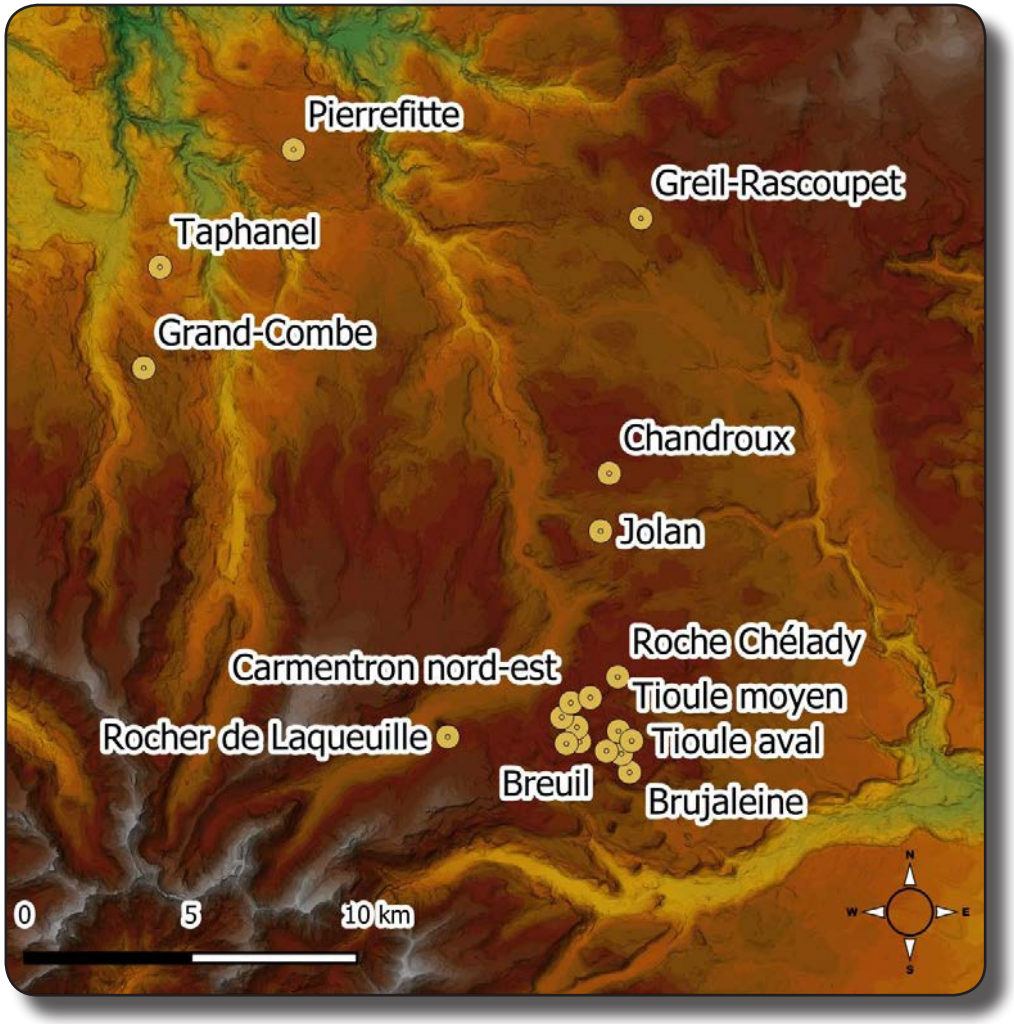
Une partie des complexes correspond à des tourbières d'émergence, d'alvéoles basaltiques, certaines à basophiles, pastorales, à fosses familiales.
Une autre est possiblement une tourbière ombrotrophe, à KTH, à grande fosse.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2010). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Natures Régional des Volcans d'Auvergne. Étude de l'état fonctionnel de 11 tourbières du territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (Puy-de-Dôme et Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte), 46 p. Volume 2 (figures), 42 p. Volume 3 (fiches des UFE), 30 p. Volume 4 (fiches synthétiques de diagnostics), 11 p.

V.5 - Monts du Cantal



Noms	Communes
Grand-Combe	Apchon
Lapsou	Chastel-sur-Murat
Champagnac	Chastel-sur-Murat
Brujaleine	Chastel-sur-Murat
Tioule aval	Chastel-sur-Murat
Tioule moyen	Chastel-sur-Murat
Brugiroux	Chastel-sur-Murat
Breuil	Chastel-sur-Murat
Peyra	Chavagnac
Pierrefitte	Marchastel/St Amandin
Carmentron	Chavagnac/Chastel-sur-Murat/Dienne
Frau de Collanges	Chavagnac/Dienne
Rocher de Laqueuille	Dienne
Carmentron nord-est	Dienne
La Roche Chélady	Dienne
Greil-Rascoupet	Landeyrat
Taphanel	Riom-ès-Montagne
Le Jolan	Ségur-les-Villas
Chandroux	Vernols

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Grand-Combe
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301060
Surface concernée/totale: 24 ha / 24 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 24 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation localisée des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 5 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier dont 3 du sol au socle;
- MNT à 5 m du CRAIG;
- cartographie des unités fonctionnelles.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 5 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier dont 3 du sol au socle, 12 prélèvements étudiés en laboratoire;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- données d'épaisseur de sédiments meubles;
- 25-30 carottages à vocation paléoécologique;
- MNT fin.

Etat:

Le site de Grand-Combe regroupe 5 complexes situés sur une planèze cantalienne, sur des basaltes et sur une brèche. Les complexes s'allongent dans le sens de l'écoulement glaciaire; ils se tiennent dans de probables surcreusements.
Les épaisseurs de tourbe sont mal connues, elles semblent varier fortement et rapidement, dépassant 5,5 m.
Les unités écologiques varient d'un complexe à l'autre et au sein d'un même complexe.
Les unités les plus étendues sont des jonçaies à *Juncus acutiflorus*; des mégaphorbiaies; des nardaies; des moliniaies; des canchaies; et des mélanges de ces unités.
Localement, se tiennent aussi des bas-marais à basophiles, des tremblants à *Carex diandra* et des communautés de tourbière haute.

Etats passés:

Les états passés répertoriés varient d'un complexe à l'autre et au sein d'un même complexe. La tourbe la plus représentée dans les sondages a été édifiée par des communautés à phragmite et bouleaux.
Les boues lacustres sont relativement rares; les KTH sont généralisés.

Etats potentiels:

La diversité des unités fonctionnelles, en fonction des contextes hydrologiques et des usages, permet de déduire les différents états potentiels en fonction de paramètres écologiques locaux et des usages. Elle est impossible à résumer.

Modèle de fonctionnement:

La connaissance de ces grandes tourbières cantalliennes reste dépendante de la masse de données collectées, qui reste faible du point de vue paléoécologique.
Les processus en cours sont nombreux, car il faut bien admettre que chacun des grands complexes est une entité diversifiée du point de vue fonctionnel, tant dans leur nature originelle, leur niveau d'altération anthropique, que du point de vue des usages en cours.
Les logiques pastorales et post-pastorales s'expriment sur des tourbières originelles de concentration des eaux de surface, des tourbières d'émergence ou des tourbières ombrotrophes. Le KTH met entre parenthèse une partie de ce fonctionnement originel et permet l'expression de communautés de tourbière haute post-pastorales.
Des logiques d'émergence riche en bases permettent l'existence de cariçaies à basophiles tremblantes ou non.

Type fonctionnel:

La plupart des complexes sont probablement des tourbières de concentration des eaux de surface, pour partie lacustre, à KTH, pastorales ou post-pastorales. Localement, il existe des tourbières ombrotrophes, à KTH, pastorales ou post-pasorales.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Volet «structure» du diagnostic fonctionnel des tourbières de La Taphanel (Riom-ès-Montagnes) et de Grand-Combe (Apchon). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 34 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Lapsou
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site:
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 4,5 ha / 4,5 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 4,5 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier, 3 sondages «piézométriques»;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006.

- Volet transferts

- Etude piézométrique sur 3 points.

- Volet diachronie

- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier du sol à la boue lacustre;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- Une dizaine de points d'évaluation des épaisseurs de sédiments meubles;
- une cartographie à jour des unités fonctionnelles.

Etat:

Le complexe de Lapsou se situe dans une dépression du substrat basaltique d'origine glaciaire, bordée à l'ouest par un relief qui constitue aussi une réserve hydrogéologique.
Le complexe a été exploité en fosses familiales et il a fait l'objet d'une inondation par endiguement.
Le complexe montre aujourd'hui une partition nette entre (1) des marges pâturées, prairiales, (2) une partie arborée, au nord, résultant d'un postaralisme ancien, (3) une partie ombrotophe de nature pastorale probablement modifiée par l'endiguement et (4) une partie tremblante et pseudo-tremblante au sud.

Etats passés:

La tourbière démarre sur un remplissage lacustre et s'édifie à partir de communautés à roseau.
Le pâturage induit la mise en place d'un KTH, puis l'endiguement mène aux communautés actuelles.

Etats potentiels:

La nature de la tourbe, minérotrophe, les apports de nappe, probablement dominants, l'absence de communautés ombrotrophes à sphaigne de Magellan et la rehausse induite par la digue laisse présumer d'une charge trophique favorable aux ligneux. Nous imaginons donc Lapsou colonisé par les ligneux à moyen terme.

Modèle de fonctionnement:

Les modalités fonctionnelles du complexe de Lapsou sont définies par (1) le post-pastoralisme d'une tourbière à tourbe à roseau exploitée en fosses familiales et (2) d'une tourbière post-pastorale à KTH sur tourbe à roseau ré-humectée par endiguement.
Les deux dynamiques convergent vers le boisement, boisement qui était déjà à l'œuvre avant l'endiguement, ce dernier n'ayant pas eu d'effet notable sur la dynamique si ce n'est une croissance en volume des individus.
La dynamique du pseudo-tremblant se réalise à travers une richesse spécifique plus importante qu'à Brujaleine, site proche et comparable, probalement parce que le niveau trophique de Lapsou est supérieur, en lien avec la nature minérotrophe de la tourbe et des apports de nappe plus importants, expliquant aussi la nature de la tourbe.

Type fonctionnel:

Lapsou est une tourbière d'origine minérotrophe, sur boue lacustre, à KTH, exploitée en fosses familiales, ré-humectée/inondée dans sa partie aval par endiguement, à moitié boisée.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

GOUBET P. (2020). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Murat, Neussargue-en-Pinatelle et Dienne, CantaL). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Champagnac
Gestionnaire du site:
Statut du site:
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 6 ha / 6 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 6 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation localisée des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier, 3 sondages «piézométriques»;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier non exhaustif (4 m sur 5 m);
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- cartographie récente des unités écologiques;
- 2-3 sondages paléoécologiques de terrain.

Etat:

Le complexe se situe dans une dépression du substrat volcanique d'origine glaciaire. Des apports de nappe sont possibles, à l'ouest comme à l'est.
Les épaisseurs de sédiments atteignent 5 m non loin des bords.
La tourbière a été exploitée en grandes fosses jusqu'aux années 1950 puis inondée en 1980 suite à la construction d'une digue.
Elle est aujourd'hui occupée par de l'eau libre et des tremblants majoritairement arborés. Les marges sont elles aussi occupées par les saules et les bouleaux, depuis la mise en place de digue.
Une petite partie à l'ouest est pâturée et couverte d'une canchaie et d'un mélange de moliniaie et nardaie, toutes indicatrices d'une pression pastorale forte mais non érosive.

Etats passés:

Les tourbes observées sont minérotrophes, issues de roselières, mais avec des moments ombrotrophes, probablement induits par des variations climatiques. Le KTH est épais et compact.

Etats potentiels:

L'eau libre a vocation à être colonisée par les tremblants et les tremblants à se boiser.
Les marges boisées sont probablement à l'équilibre, même si les peuplements évolueront probablement vers l'aulnaie, étant donnée le niveau trophique élevé.
La pointe ouest est stable sous la contrainte pastorale actuelle.

Modèle de fonctionnement:

Le complexe a atteint un point de dégradation extrême dans la partie exploitée, avec destruction de la tourbe puis ennoiement. Le processus de turfigenèse actuel par tremblants se boisant rapidement se réalise dans un cadre de richesse trophique qui ne s'éloigne pas trop du cadre originel, mais où l'on peut néanmoins observer une surcharge à l'exutoire (algues vertes), probablement induite par les apports de la dégradation de la tourbe du fond de fosse et des élevages de canards.
Sur les marges, les boisements peuvent être clairement attribués au double effet de mise en défens et d'apports nutritionnels induits par la montée de l'eau. L'ingénierie des arbres a aujourd'hui modifié le sol.
La pointe ouest fonctionne suivant des modalités classiques de tourbière à KTH épais et compact avec canchaies périphériques et moliniaies-nardaies ailleurs.

Type fonctionnel:

Champagnac est une tourbière duale, avec (1) une partie exploitée en grandes fosses, inondée, à tremblants boisés et marges boisées et (2) une tourbière de concentration des eaux de surface à tourbe de roseau, KTH, pastorale, à canchaies, nardaies, moliniaies.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Brujaleine
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 8 ha / 8 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: 
(Méta)complexe: 8 ha 

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 profil de structure et de suivi floristique de 60 m;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier, 3 sondages «piézométriques»;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006.

- Volet transferts

- étude piézométrique sur 3 points.

- Volet diachronie

- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier du sol à la boue lacustre;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- cartographie récente des unités fonctionnelles;
- compléments sur la structure du fond rocheux (mesures à la perche métallique);
- 2-3 sondages pédo-paléoécologiques de terrain.

Etat:

Le complexe de Brujaleine s'inscrit dans une dépression au sud-est du plateau de Chastel-sur-Murat, sise dans des coulées de lave. Il est bordé au nord-ouest par un relief faisant office de réserve hydrogéologique.
Les épaisseurs de sédiments meubles varient de 1-2 m à 7 m au sud-ouest.
Une petite digue le borde au sud-est, un grand «drain» le traverse longitudinalement et un autre transversalement dans son quart amont.
La plus grande partie de la surface est occupée par une cariçaie à *Carex rostrata* et *C. lasiocarpa*, formant une structure de pseudo-tremblant sur KTH distendu. Localement, des arbres et arbustes sont présents au nord-ouest depuis la deuxième moitié du XX^{ème}, ou se sont mis en place sur les merlons de drain construits dans les années 1990. Des buttes ombrotrophes dont certaines à *Sphagnum fuscum* sont présentes au sud-ouest.

Etats passés:

La tourbe se tient sur des boues lacustres. Elle est principalement construite par la sphaigne de Magellan; la transition se réalisant à travers un tremblant à scheuchzérie.
La partie haute se compose d'un KTH surmonté d'une tourbe peu cohérente à racines de carex.

Etats potentiels:

Le devenir des tourbières pâturées ré-humectées reste incertain et dépend certainement de conditions locales, ne permettant pas une généralisation.
La tourbière peut se boiser, ou voir se généraliser les buttes ombrotrophes.

Modèle de fonctionnement:

La tourbière de Brujaleine fonctionne sur la base d'un héritage pastoral sur lequel se surimpose une ré-humectation par endiguement.
La plus grande surface fonctionne suivant les modalités de pseudo-tremblant à carex, relativement oligotrophe et paucispécifique.
L'ombrotrophisation locale et la colonisation ligneuse locale sont deux dynamiques antagonistes qui se réalisent principalement dans la partie ouest du complexe.

Type fonctionnel:

La tourbière de Brujaleine est une ancienne tourbière ombrotrophe sur boue lacustre, à KTH, ré-humectée par endiguement, à colonisation ligneuse et ombrotrophisation locales.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Tioule moyen
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 4,9 ha / 4,9 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 4,9 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 profil de structure et de suivi floristique de 100 m;
- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier, 3 sondages «piézométriques»;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006.

- Volet diachronie

- 2 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier;
- 1 analyse des macrorestes (2,5 m);
- 2 datations ^{14}C;
- photos aériennes anciennes.

- Volet transferts

- suivi piézométrique annuel sur 4 points.

Données manquantes

- cartographie des unités écologiques;
- inventaire des plantes vasculaires et des bryophytes;
- caractérisation des épaisseurs de sédiments meubles plus étendue;
- analyse hydrogéologique.

Etat:

La tourbière se tient dans une dépression du substrat volcanique atteignant en un point au moins 9 m. Elle correspond à un élargissement du vallon, au pied nord d'un relief majeur. Les écoulements issus du bassin nord la traverse de manière plus ou moins diffuse.
Le complexe est occupé par une diversité d'unités fonctionnelles qui n'ont pas fait l'objet d'une description précise (PSS) en dehors d'une partie centrale, dans une moitié sud.
La communauté présente y est particulièrement diversifiée (jusqu'à 23 espèces sur 0,2 m²), 70 taxons sur les 100 m du PSS.
Il s'agit d'une communauté riche en cypéracées et mousses dont des basophiles, rares à l'échelle du Massif central. Les saules sont présents, mais ils montrent un taux élevé de morbidité et une certaine mortalité.
D'autres communautés sont présentes mais n'ont pas fait l'objet d'une analyse même légère.

Etats passés:

Le complexe est d'origine lacustre, en partie, là où les surcreusements sont les plus importants. Le remplissage est minérotrophe, avec des tourbes à roseau, des tourbes de boisement et d'autres issues de cariçaies.
Le KTH est présent mais il apparait complexe, certainement à cause d'une irrégularité dans la pression pastorale et le drainage à l'exutoire.

Etats potentiels:

Le complexe semble stable, dès lors que le pastoralisme y est pratiqué de manière adaptée, sur l'évaluation de l'état lui-même (gestion adaptative plus que normative).

Modèle de fonctionnement:

La tourbière fonctionne sur le principe de l'émergence d'une eau riche en minéraux alcalins en contexte pastoral. La taille et la diversification la rendent exceptionnelle. Certains secteurs fonctionnent suivant des modalités probablement plus ombrotrophes. Les données de l'analyse des macrorestes indiquent que l'état ouvert et riches en cypéracées résulte d'un usage pastoral ancestral, depuis 1500-1600 ans. Elles indiquent aussi que la tourbière est résiliente vis-à-vis de diverses perturbations anthropiques liées au pâturage, comme l'abaissement du niveau de l'eau.

Type fonctionnel:

Le complexe de Tioule moyen est une tourbière d'émergence, pastorale, à basophiles, probablement légèrement ré-humectée, de taille exceptionnelle.

Remarques complémentaires:

Le complexe de Tioule moyen, jusqu'alors inconnu et toujours peu connu, est probablement exceptionnel à l'échelle du Massif central et mérite un statut à la hauteur.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Brugiroux
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 1,5 ha / 1,5 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 1,5 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2019.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- Photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- 2-3 sondages pédo-paléoécologiques de terrain.

Etat:

Le complexe de Brugiroux se tient sur la corniche sud-ouest du plateau de Chastel-sur-Murat, dans une dépression du substrat volcanique. Il est pâturé.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 4,2 m.
Les unités fonctionnelles sont: (1) des canchaies à *Deschampsia cespitosa*, des cariçaies à *Carex vesicaria*, sur tourbe peu épaisse ou sol humide non tourbeux; (2) des moliniaies paucispécifiques; et (3) une communauté de tourbière ombrotrophe mêlant la molinie, la callune, le trichophore et les plantes qui leurs sont souvent associées.

Etats passés:

Aucune donnée paléoécologique ne permet de proposer un état passé.
L'épaisseur de sédiments meubles et la fréquence des boues lacustres sur le plateau rend probable l'existence d'un dépôt aquatique sous la tourbe.
La nature oligotrophe de la communauté à molinie, trichophore et callune laisse supposer la présence d'une tourbe à sphaignes sous un KTH.

Etats potentiels:

La dynamique semble stable, pour peu que le pastoralisme soit maintenu en l'état.
La mise en défens pourrait favoriser la dynamique ombrotrophe, mais cela n'est pas garanti car la molinie déjà bien présente pourrait s'installer en masse.

Modèle de fonctionnement:

Les canchaies et cariçaies sont des unités typiques des contextes humides, à engorgement hivernal, peu ou pas tourbeux, sur lave en contexte pastoral. Leur stabilité est liée à l'engorgement et à la pression pastorale. Les cariçaies s'installent là où les niveaux hivernaux sont les plus importants. La diminution de l'engorgement mène donc des cariçaies aux canchaies et des canchaies aux nardaies.
L'intensification de la pression pastorale mène à la nardaie pour les canchaies et à la tourbe nue à renoncule flammette et glycérie pour les cariçaies.
La moliniaie indique un probable abaissement de la charge pastorale dans les dernières décennies.
L'unité à molinie, callune et trichophore est à composante oligotrophe, probablement ombrotrophe, diversifiée par des processus érosifs liés au pâturage.

Type fonctionnel:

Le type fonctionnel du complexe reste difficile à définir en l'absence de données paléoécologiques.
L'état actuel est celui d'un complexe en situation pastorale, à composante ombrotrophe.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Sagnes de Breuil
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 3,6 ha sur 3,6 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 3,6 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2019.

- Volet transferts

- Suivi piézométrique annuel sur 2 points.

- Volet diachronie

- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- 3-4 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier ou à la gouge.

Etat:

Les deux complexes concernés se tiennent dans des dépressions du substrat volcanique couvertes en partie au moins de dépôt glaciaire. Le complexe nord montre des épaisseurs de tourbe relativement peu épaisses (0-70 cm), qui peuvent toutefois aller jusqu'à 2 m très localement. La dépression du grand complexe est plus importante, avec des épaisseurs de 7,5 m au moins.
Le complexe nord est pâturé, occupé par une communauté ombrotrophe à structures érosives en partie occupées par des cariçaies à *Carex vesicaria*.
Le complexe sud a été exploité en fosses familiales et il est couvert d'une mosaïque de fosses en partie ombrotrophe, en partie minérotrophe, colonisée par des saules et des bouleaux. Les marges pâturées et aux épaisseurs de tourbe faibles sont occupées par des canchaies, moliniaies et des jonçaies.

Etats passés:

Seuls les états passés du complexe sud sont connus.
Les dépôts les plus profonds étudiés ne sont pas lacustres, mais ils se situent au-dessus de 3 m de sédiments meubles inconnus. Les tourbes sont à roseau, puis à sphaigne de Magellan.
Les derniers états sont ceux relatifs au KTH (supposé) et aux fosses.

Etats potentiels:

L'état du complexe nord est stable dans un contexte climatique et pastoral stable.
Au sud, la colonisation ligneuse totale est attendue.

Modèle de fonctionnement:

En l'absence d'une description fine du relief, la compréhension du fonctionnement du complexe nord est sujette à caution. Il semble que les communautés soient ombrotrophes à cause de la création de systèmes érosifs périphériques déprimés qui captent les écoulements.
La nature active ou héritée des processus érosifs est posée comme souvent. C'est un point fonctionnel majeur qui n'a pas de réponse sans recherches complémentaires.
Le complexe sud est d'une autre nature, d'origine ombrotrophe. Le KTH n'a pas été observé sur le sondage réalisé, mais il probable.
Les fosses de tourbage familiales constituent un compartiment particulier. Il semble qu'elles communiquent entre elles, permettant ainsi à l'écoulement principal de transiter au cœur de la tourbière. Ceci favorise l'installation des ligneux grâce à l'apport de nutriments de l'écoulement.
On peut penser qu'un processus d'amélioration de litière en front à partir des fosses communicantes mènera au boisement de toute la tourbière.

Type fonctionnel:

Le complexe nord est une tourbière ombrotrophe secondaire par incision des marges, pastorale.
Le sud est une tourbière ombrotrophe post-pastorale à fosses familiales et eutrophisation originale.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Le Peyra
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 1 ha sur 1 ha (100%)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 1 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2019.

- Volet transferts

- Suivi piézométrique annuel sur 1 point.

- Volet diachronie

- Un profil d'analyse des macrorestes à 10 cm sur une épaisseur de 350 cm;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

A acquérir seulement en cas d'action:
- relief fin par levé lidar pour caractériser la structure des processus érosifs et offrir la capacité de suivre leur évolution à l'échelle du complexe;
- caractérisation piézométrique complémentaire.

Etat:

Le complexe se tient dans une dépression de 7 m du substrat volcanique d'origine glaciaire.
Le cœur est occupé par une communauté de tourbière haute, pâturée et érodée en surface suivant une trame en lien avec les écoulements. Il est également possible que le centre du complexe se soit effondré sur lui-même.
Une petite zone mise en défens est occupée par une mosaïque de tourbière haute à fosses.
Les marges correspondent aux unités classiques de canchaie sur sol organo-minéral limoneux; moliniaie sur tourbe peu épaisse; et cariçaie à *Carex vesicaria* dans les zones inondées l'hiver et pâturées.

Etats passés:

La tourbe à sphaigne de Magellan repose sur une boue lacustre. Le passage entre les deux sédiments s'effectue à travers un lit à scheuchzérie peu épais.
L'histoire la plus récente est celle de la formation d'un KTH et de l'extraction de la tourbe en une petite dizaine de fosses familiales.

Etats potentiels:

Malgré son système érosif et son effondrement central possible, le complexe semble stable, si on considère les photographies aériennes anciennes et en dépit des apparences actuelles qui montrent clairement l'effet du piétinement.
Le risque d'une érosion exhaustive de la tourbe et la disparition des plateaux de tourbière hautes est grand, mais les conditions de sa réalisation sont inconnues.

Modèle de fonctionnement:

Le double héritage, tourbe ombrotrophe et KTH, détermine une oligotrophie encore marquée, voire une ombrotrophie, «microtopographique» ou intégrale si les écoulements supposés restent d'origine ombrotrophe ou même à faible contribution d'émergence.
Ce double héritage structural se combine avec le processus de pâturage.
La question de fonctionnement qui reste posée, d'importance majeure, est celle de l'existence de processus érosifs effectifs et non d'un simple héritage structural d'une érosion passée.
Cette question fondamentale est particulièrement évidente à Peyra, mais elle vaut pour de nombreuses tourbières d'estive montagnarde ou alpine.
A Peyra, les photographies aériennes anciennes ne montrent pas d'évolution rapide du processus érosif. Le système est apparemment en équilibre.

Type fonctionnel:

Le complexe de Peyra est une tourbière ombrotrophe, sur boue lacustre, à KTH, majoritairement pastorale, à structures érosives, localement post-pastorale et exploitée en fosses familiales.

Remarques complémentaires:

Le complexe de Peyra est un cas représentatif des tourbières à structures érosives et devrait faire l'objet d'une étude et d'une gestion spécifique, à portée plus générale.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Pierrefitte
Gestionnaire du site: Aucun en dehors de N2000 (PNRVA)
Statut du site: Inclut dans N2000 FR8301060
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301060
Surface concernée/totale:

Auteur(s) de la fiche: Pierre Goubet (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2019 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- MNT à 5 m du CRAIG (Goubet, 2019);
- épaisseurs et nature de tourbe (Dubois, 1949);
- description sommaire des unités fonctionnelles (Bernard *et al.*, 2014);
- caractérisation pédologique et paléoécologique de terrain (Goubet, 2019).

- Volet diachronie

- Analyse des macrorestes ponctuelle sur une colonne (Goubet, 2019);
- une radiodatation ^{14}C (Programme ARTEMIS-CNRS).

- Volet transferts

- Suivi piézométrique sur 5 points;
- analyses physico-chimiques sur un point des fosses industrielles (Athos-Environnement, 2018) et mesures physico-chimiques et diagnostic «diatomées» sur le bassin versant proche (Beauger, 2018).

Données manquantes

- Vu l'enjeu patrimonial axé principalement sur les odonates et la problématique générale des fosses de tourbage qui reste peu traitée du point de vue de la science, nous ne proposons pas d'acquisition de nouvelles données en dehors d'un plan d'action global axé sur le fonctionnement des fosses de tourbage familiales à l'échelle du Massif central ou de la France.

Etat:

La tourbière de Pierrefitte correspond a un complexe étendu dont la partie est a été altérée par une exploitation de tourbe industrielle qui a pris fin en 2010.
L'état actuel de la tourbière dépend du secteur concerné avec, à l'ouest, une communauté de tourbière haute pâturée sur KTH et tourbe de haut-marais (callune, molinie, trichophore, linaigrette engainante et à feuilles étroites, jonc squarreux, etc.); au centre, une callunaie à mousses pleurocarpes et localement *Sphagnum capillifolium* et; à l'est, des fosses industrielles en eau libre à herbiers flottants, massette, et des saulaies associées. Localement, d'anciennes fosses familiales sont présentes, d'âges et de remplissages variés. Des moliniaies s'observent dans les secteurs non pâturés, ainsi que des saulaies.

Etats passés:

L'origine du complexe tient dans l'existence d'une dépression lacustre remplie en partie par de la tourbe de roselière et de haut-marais. Comme la plupart des tourbières du secteur, la tourbe superficielle est altérée, compactée, formant un kultureller Trockenhorizont typique.

Etats potentiels:

La dynamique future de la tourbière, dans les conditions écologiques actuelles, est la stabilité pour la partie pâturée à l'ouest, la colonisation ligneuse et le comblement progressif des 2 types de fosses et probablement la colonisation ligneuse des zones ouvertes non pâturées.

Modèle de fonctionnement:

Le déterminisme des communautés est principalement lié à l'héritage ou au maintien du pastoralisme, secondairement aux apports trophiques, pour les saulaies et les fosses.
Les grandes fosses industrielles ne modifient pas, à ce jour, la structure floristique, au delà de quelques mètres des bords. Ceci est conforme aux modèles définis pour ce genre de contexte. Le suivi piézométrique réalisé pour cette étude confirme la faible capacité de drainage de la tourbe de tourbière haute, en particulier lorsqu'elle est altérée par le pâturage

Type fonctionnel:

Le type fonctionnel «hors fosses» est celui du complexe hydroséral à tourbe à phragmite et de haut-marais terminal sous KTH, dans un contexte mixte, cristallin et lavique, sous contrainte pastorale, post-pastoral et en mosaïque de fosses.
Nous ne considérons pas les fosses industrielles comme milieux tourbeux.

Remarques complémentaires:

Les recommandations tiennent en particulier dans la mise en place d'un suivi floristique pertinent, la rénovation de mares familiales anciennes et la possibilité de réaliser un décapage expérimental pour tester la remise en place d'une turfigenèse de tourbière haute.

Documents de référence:

Goubet P. (2019) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Contribution au diagnostic fonctionnel de la tourbière de Pierrefitte (Marchastel, St Amandin, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze. 29 p.
Athos Environnement (2018). Suivi de la qualité des eaux et des sédiments de la tourbière de Pierrefitte (15) - Méthode de la diagnose rapide: 31 p.
Beauger A. (2018). Lot 1 : Étude diatomées de la tourbière de Pierrefite. GEOLAB, Université Clermont Auvergne: 47 p. + annexes.
Bernard C.-E., Thébaud G., & Skrzypczak R. (2014). Tourbière de Pierrefitte (Marchastel, 15). Profil socio-écologique topo-stationnel et suivi permanent de la végétation. UNIVEGE. Clermont-Ferrand. Non paginé.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:	Carmantron
Nom du site/métacomplexe:	Carmantron
Gestionnaire du site:	PNRVA
Statut du site:	Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA:	https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale:	9 ha / 9 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche:	Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche:	Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 9 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 3 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier, 1 sondage «piézométrique»;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2019.

- Volet transferts

- Suivi piézométrique sur 1 point.

- Volet diachronie

- 3 sondages pédo-paléoécologiques de terrain au carottier, 1 sondage piézométrique;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- 10 à 12 sondages pédo-paléoécologiques de terrain au carottier ou à la gouge;
- 2-3 profils de structure et de suivi floristique.

Etat:

L'entité concernée est un ensemble de complexes de tailles et de natures différentes, situés sur deux replats basaltiques à dépressions glaciaires.
Les épaisseurs de tourbe s'échelonnent de 0 à 3,80 m.
Les complexes sont pâturés et les unités fonctionnelles sont celles des estives basaltiques des planèzes: nardaies, canchaies à *Deschampsia cespitosa,* Cariçaies à *Carex vesicaria*, sols nus à *Glyceria* sp. et *Ranunculus flammula*, moliniaies, cariçaies à *Carex rostrata*, cariçaies à *Carex nigra*, Jonçaies *Juncus acutiflorus* ou à *J. effusus* et mosaïques ombrotrophes à callune et *Sphagnum capillifolium*.
On note une corrélation fidèle entre les épaisseurs de tourbe faibles et les nardaies, canchaies cariçaies à *Carex vesicaria*.

Etats passés:

Seulement trois complexes du plateau supérieur ont été sondés. Les états passés restent donc mal connus et il est impossible de généraliser les données actuelles.
Les profils ne montrent pas la présence de tourbe ombrotrophe, certains ont sondé des boues lacustres.

Etats potentiels:

La grande diversité des unités présentes ne permet pas de développer les états futurs possibles des complexes. Pour la plupart des complexes, le maintien du pastoralisme actuel, dans un climat stable, implique la stabilité.

Modèle de fonctionnement:

Cette partie du plateau de Chastel-sur-Murat rassemble de nombreux types de tourbières réparties en un grand nombre de complexes dont seulement quelques uns sont connus du point de vue pédo-paléoécologique.
Les modalités fonctionnelles sont celles des tourbières et autres zones humides d'estive montagnarde sur laves basaltiques à dépressions glaciaires et émergences localisées.
Les processus ombrotrophes sont présents, mais ils restent contraints par le pâturage.
Pour le reste, les processus de concentration des eaux de surface et d'émergence déterminent les communautés, sans qu'il soit vraiment possible de définir quel type d'eau est majoritaire. De toute façon, les conditions hydrogéologiques et les pratiques d'estives sans dégradations par dérochement ou fertilisation mènent au maintien d'une relative pauvreté minérale des eaux de surface ou de nappe.

Type fonctionnel:

Les complexes du plateau supérieur sont principalement des canchaies à *Deschampsia cespitosa*, des cariçaies à *Carex vesicaria* et leurs formes mélangées; systèmes d'émergence ou de concentration des eaux de surface ou de subsurface.
Les complexes du plateau inférieur sont du même type, à l'exception d'un grand complexe qui semble être une tourbière ombrotrophe par incision des marges, pastorale.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité: Carmantron nord-est
Nom du site/métacomplexe: Carmantron
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 4 ha / 4ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 4 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006, 2019.

- Volet transferts

Données manquantes

- Volet diachronie

- 1 sondage pédo-paléoécologique de terrain au carottier;
- photos aériennes anciennes.

Etat:

Il s'agit d'un des grands complexes du plateau de Chastel-sur-Murat, en contexte post-pastoral, sur lave.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 5,5 m.
Le complexe a été exploité en fosses familiales sur la quasi totalité de sa surface.
Il est aujourd'hui couvert d'une saulaie-boulaie, à l'exception d'une petite zone ouverte occupée par une mosaïque de fosses ombrotrophes à fosses mésotrophes, où quelques arbres poussent.
Certaines marges sont particulièrement riches (orties, ronces).

Etats passés:

Le profil pédopaléoécologique indique des boues lacustres et des tourbes minérotrophes, à carex et ligneux, mal caractérisées.

Etats potentiels:

La destruction de la tourbière par extraction de tourbe l'oriente aujourd'hui vers un état inédit de mosaïque de fosses boisée.
Le devenir de la zone ouverte est difficile à définir, entre reprise d'une turfigenèse ombrotrophe et la colonisation ligneuse.

Modèle de fonctionnement:

La plus grande partie du complexe fonctionne suivant une dynamique inédite post-pastorale, mais surtout post-extraction. La nature minérotrophe de la tourbe semble provoquer la colonisation ligneuse et l'eutrophisation des fosses et des marges de la tourbière.
L'unité ouverte fonctionne suivant une modalité ombrotrophe pour les replats d'entre fosses. L'origine de cette oligotrophie locale est peut-être liée à la position amont du secteur. Cela ne pourra être vérifié que sur la base d'un MNT précis.

Type fonctionnel:

Le complexe est une tourbière minérotrophe sur boue lacustre, post-pastorale, exploitée en fosses familiales, majoritairement boisée.

Remarques complémentaires:

Même si le diagnostic reste partiel, l'état et le potentiel du complexe n'impose pas d'acquisition de données complémentaires.

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:	Frau de Collanges
Nom du site/métacomplexe:	Ruisseau de Chavagnac
Gestionnaire du site:	PNRVA
Statut du site:	Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA:	https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale:	8 ha / 8 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche:	Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche:	Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha

(Méta)complexe: 8 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel partiel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2019.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 1 sondage pédo-paléoécologique de terrain au carottier;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

Le complexe dont il est question ici est celui situé juste en contre-bas de l'étang du Frau de Collanges, tête du ruisseau de Chavagnac.
La tourbière se tient dans le fond de vallon élargie en auge, bordée de deux versants basaltiques.
Les épaisseurs de tourbe atteignent 7 m à l'aval; elles sont irrégulières et il est probable qu'il exsite deux surcreusements séparés par un rehaut.
Des fosses familiales ont été creusées sur la quasi totalité du complexe, sauf à son extrémité aval et là où les épaisseurs de tourbe sont très faibles.
Le complexe est occupé soit par des saulaies-boulaies à fosses, soit des canchaies, à l'exception de l'aval où un pseudo-tremblant à prêle des bourbiers et une jonçaie acutiflore sont présentes, de chaque côté d'une clôture.

Etats passés:

A l'endroit du sondage, la tourbe repose sur une boue lacustre.
Les communautés de tourbières ont été d'abord des cariçaies-prêlaies, puis des roselières à bouleaux et saules.
Un KTH limoneux témoigne d'une phase pastorale, puis d'une ré-humectation importante de 90 cm de hauteur d'eau.

Etats potentiels:

La forte dégradation du complexe par extraction en fosses, dans un contexte de tourbes minérotrophes, laisse présumer d'une colonisation ligneuse, sauf à l'aval, sur le pseudo-tremblant, à l'avenir incertain, ainsi que dans la partie pâturée stable.

Modèle de fonctionnement:

L'extraction de la tourbe sur la quasi totalité du complexe oriente la dynamique vers la colonisation ligneuse, probablement induite par l'eutrophisation provoquée par la dégradation de la tourbe. Il s'agit d'un processus inédit à l'échelle des tourbières, purement anthropique. Le détail du fonctionnement de ce type de tourbière n'est pas connu; il est en fait non étudié, en rapport avec le peu d'intérêt que présentent ces formes.
Le pseudo-tremblant fonctionne ici sur une modalité relativement originale au regard de la quantité importante de prêle. En général, dans ce type de contexte, la molinie ou les carex dominent. Il est possible que cela soit lié à la hauteur d'eau de 90 cm qui rend plus compétitive la prêle que les carex ou la molinie.
La jonçaie acutiflore du secteur pastoral est déterminée par le pâturage.

Type fonctionnel:

Le complexe tourbeux du Frau de Collanges, situé à l'aval de l'étang, est majoritairement une tourbière exploitée en fosses familiales, boisée, sur tourbe minérotrophe et boue lacustre.
Une partie est un pseudo-tremblant de ré-humectation à prêle; et une autre, pastorale, est une jonçaie acutiflore.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: La Roche Chélady
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 2,7ha / 2,7 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 2,7 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 1 sondage pédopaléoécologique de terrain au carottier;
- lidar à 5 m du CRAIG;
- étude géomorphologique (Poiraud, 2020);
- cartographie des unités écologiques 2006 et 2019.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 1 sondage pédo-paléoécologique de terrain au carottier;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

Le complexe de la Roche Chélady se tient dans le surcreusement glaciaire d'un basalte, situé au pied d'un talus représentant un front de coulée basaltique.
Les épaisseurs de sédiments meubles atteignent 3,5 m.
Le complexe a été exploité en fosses familiales et il est phase post-pastorale.
Les unités fonctionnelles s'organisent en fonction des épaisseurs de tourbe avec, pour les plus fortes, des mosaïques de fosses ombrotophes ou boisées, et pour les plus faibles, des canchaies et cariçaies à *Carex vesicaria*.

Etats passés:

Le profil paléoécologique a rencontré des boues lacustres et des tourbes minérotrophes à carex et prêle.
Le KTH est typique, indiquant une phase pastorale.

Etats potentiels:

Les marges post-pastorales du complexe sont vouées à se boiser.
Les deux cœurs exploités en fosses montrent des états contradictoires: ombrotrophes ou boisés. Il est probable que le boisement prenne le dessus, à terme, vu que le contexte est globalement relativement riche en nutriment et que le site est petit, induisant de forts effets de bordure favorables aux ligneux.

Modèle de fonctionnement:

Les dynamiques en place relèvent des tourbières épaisses, dans les deux secteurs de fortes épaisseurs qui ont été exploités en fosses, et des tourbières et zones humides sur basalte pour les marges.
Les processus des cœurs sont soit ombrotrophes, soit minérotrophes, avec une probable dissociation entre les rehauts et les fosses. La nature de la tourbe, minérotrophe, doit libérer suffisamment de nutriments pour permettre la colonisation ligneuse, induisant en cascade une amélioration de litière sur les rehauts ombrotrophes et la colonisation ligneuse en retour. De ce fait, la résistance aux arbres des parties ombrotrophes sur le moyen terme nous semble impossible.
Les processus des marges sont de nature post-pastorale récente, car canchaies et cariçaies ne sont pas fortement colonisées par les ligneux.

Type fonctionnel:

Le complexe de la Roche Chélady est une tourbière de concentration des eaux de surface sur boue lacustre, post-pastorale, exploitée en fosses familiales, à cœurs ombrotrophes.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 191 p.
A.Poiraud (2020). Étude géomorphologique du plateau de Chastel-sur-Murat (15). Bureau d'études Inselberg. Rapport d'étude pour le PNR des Volcans d'Auvergne. 16 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Rocher de Laqueuille
Gestionnaire du site: Aucun
Statut du site: Aucun
Liens INPN ou PNRVA:
Surface concernée/totale: 1,8 ha / 1,8 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 1,8 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Prédiagnostic fonctionnel avec:
- 13 relevés d'unités fonctionnelles (2010);
- profils topographiques de surface et de sub-surface avec caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- cartographie des unités fonctionnelles.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

- 5-6 carottages pédo-paléoécologiques de terrain;
- analyse piézométrique sur 5-6 points.

Etat:

Le site du rocher de Laqueuille est un méta-complexe composé de 3 unités indépendantes, toutes insérées dans des dépressions d'un évent basaltique (entre dyke et neck).
L'entité haute s'insère dans une cuvette d'origine inconnue et de 9 m de profondeur au plus profond. Elle ne montre pas d'écoulement de surface visible. Elle est occupées par une mosaïque à replats à *Sphagnum magellanicum*, des buttes à *Sphagnum capillifolium*, des buttes à pleurocarpes et une ou deux mares à *Sphagnum cuspidatum*.
L'entité moyenne, en partie comparable à la précédente, mais en partie perturbée par des fosses de tourbage à *Carex rostrata* et *Juncus acutiflore* et cerclée d'une moliniaie à *Sphagnum centrale*.
Un exutoire temporaire est présent au nord-est.
Les épaisseurs de tourbe ne dépassent pas 6,5 m.
Une entité basse, petite, fortement hétérogène, boisée.

Etats passés:

En dehors des photographies aériennes anciennes qui montrent des fosses de tourbage, aucune donnée n'est disponibles sur les états passés des complexes.

Etats potentiels:

La nature des complexe, ombrotrophe, leur confère une certaine stabilité. Ceci-dit, le diagnostic est peu détaillé et la nature réelle de la tourbière reste inconnue, sont avenir aussi.

Modèle de fonctionnement:

L'interprétation fonctionnelle est difficile sans recul sur la dynamique réelle des unités, avec en particulier l'origine des communautés.
Le fonctionnement est probablement majoritairement dépendant de l'humidité atmosphérique, à l'exception des marges.
Les apports trophiques par ruissellement dans l'unité moyenne sont probablement négligeables en quantité mais peut-être importants en impact.

Type fonctionnel:

Tourbière ombrotrophe à l'origine inconnue, post-pastorale, à fosses familiales pour un des complexes.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2010). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Natures Régional des Volcans d'Auvergne. Étude de l'état fonctionnel de 11 tourbières du territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (Puy-de-Dôme et Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte), 46 p. Volume 2 (figures), 42 p. Volume 3 (fiches des UFE), 30 p. Volume 4 (fiches synthétiques de diagnostics), 11 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.1

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Greil-Rascoupet
Gestionnaire du site: Aucun en dehors de N2000 (PNRVA)
Statut du site: N2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale:

Auteur(s) de la fiche: Pierre Goubet (version 1.0; version 1.1)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.1)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha

(Méta)complexe: ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- MNT à 10 m du CRAIG (Goubet, 2017), sondages à la perche (Goubet, 2017);
- description sommaire des UF (Goubet, 2017);
- caractérisation pédologique de terrain du fond d'exploitation (Goubet, 2017).

- Volet transferts

- Volet diachronie

- Analyse des macrorestes ponctuelles sur une colonne (Goubet, 2017).

Données manquantes

- Datations radiocarbones du démarrage de la turfigenèse initiale et de celle de l'ériophoraie à *Eriophorum vaginatum*.

Etat:

Le site se décompose en deux unités majeures, une au sud, constituant un édifice épais de 3-4 m de type haut-marais sur la base des tourbes observés et une au nord, moins épaisse ou déjà fortement exploitée dans les année 1950, occupée par des canchaies ou des moliniaies, parfois sur substrat minéral. La photographie de 1956 montre que le complexe avait déjà été exploité soit de manière «familiale», avec des fosses en «table de ferme», soit de manière semi-industrielle, avec des caissons rectangulaires le long d'un cheminement propre. Une partie de ce chemin n'a pas été exploité et constitue une zone témoin de l'ancienne tourbière de cette partie sud. La partie sud de l'unité sud a été exploitée jusque les années 2010 par front de taille, la réhabilitation n'est pas achevée.

Etats passés:

Dans le secteur étudié, au sud-ouest de l'unité sud, l'édifice tourbeux de 3,70 m d'épaisseur est constitué pour les deux tiers d'une tourbe de base de bas-marais à phragmite et d'un tiers supérieur de tourbe de haut-marais à sphaigne marron.
Il existe un KTH probablement antérieur à des fosses d'extraction familiales.

Etats potentiels:

La dynamique actuelle est celle d'une tourbière haute à KTH minée de fosses familiales, mosaïque complexe et d'une carrière en fin d'exploitation (voir détail dans Goubet (2017).

Modèle de fonctionnement:

L'unité sud du complexe est un haut-marais à communautés de tourbière haute sur KTH fortement exploité en fosses familiales, pour une part, et en carrière de tourbe, pour une autre part.
Le fonctionnement actuel est donc très différent de celui lors de la turfigenèse du complexe qui s'est appuyé à l'origine sur la construction d'un édifice tourbeux par un bas-marais à phragmite grâce à un transfert de charge hydraulique permis par la diffusion d'une nappe à travers des dépôts glaciaires sablo-limoneux. Ce bas-marais a été ensuite remplacé par une tourbière haute à sphaigne marron (rare en France) qui a probablement cessé de fonctionner lors de la mise en place d'usages pastoraux.

Type fonctionnel:

Le type fonctionnel de l'unité sud du complexe est celui du haut-marais à KTH fortement exploité pour la tourbe.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2018) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Mise en place d'un suivi à moyen et long terme de secteurs types du fond d'exploitation de la carrière de tourbe de Greil-Rascoupet à Landeyrat (Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 11 p.

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Analyse des potentialités de restauration de l'ancienne tourbière haute de Greil-Rascoupet (Landeyrat, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 19 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Taphanel
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301060
Surface concernée/totale: 16 ha / 16 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic:

Entité diagnostiquée: ha



(Méta)complexe: 16 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

Diagnostic fonctionnel avec:
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- 4 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier dont 3 du sol au socle, 19 prélèvements étudiés en laboratoire;
- MNT GEODIS à 5 m du CRAIG;
- cartographie des unités fonctionnelles.

- Volet transferts

- Volet diachronie

- 4 sondages pédopaléoécologiques de terrain au carottier dont 3 du sol au socle, 19 prélèvements étudiés en laboratoire;
- photos aériennes anciennes.

Données manquantes

Etat:

Le complexe de la Taphanel se tient sur le socle métamorphique du Cantal et appartiendrait à ce titre à l'Artense géologique. Cependant, il est bordé de reliefs constitués de brèches et de basaltes du volcan du Cantal et reste dans le domaine traditionnel des Monts du Cantal.
Il est constitué de plusieurs sous-unités sises dans des surcreusements glaciaires différents.
Les épaisseurs de sédiments meubles ne sont connues que par 9 sondages à la perche et dépassent les 7 m, sans que la profondeur réelle ne soit connue.
Le complexe principal, constitué de deux unités majeures séparées par une butte minérale est particulièrement diversifié. Les «centres» sont occupés par des mosaïques à callune, trichophore et *Sphagnum capifollium* avec au sud une unité de ré-humectation complexe où les moliniaies-cariçaies de pseudo-tremblants sont présentes.
Les marges sont occupées par des canchaies, nardaies, Jonçaies à *Juncus effusus* dans les secteurs pâturés et des mégaphorbaies, moliniaies et saulaies ailleurs.

Etats passés:

Les tourbes observées ont été édifiées par des communautés à phragmite, saules et bouleaux, des cariçaies et des sphaignes de Magellan et leurs compagnes.
Les KTH sont typiques.

Etats potentiels:

Les états potentiels sont divers et s'inscrivent dans les logiques typiques pastorales et post-pastorales.

Modèle de fonctionnement:

Les grands processus en cours sur les tourbières de la Taphanel sont classiques de l'Artense, du Cézallier et de leurs marges.
Ils s'inscrivent dans le pastoralisme et le post-pastoralisme, avec l'originalité d'une ré-humection d'une partie du complexe.
Les secteurs post-pastoraux du nord montrent un parfait gradient moliniaies-mégaphorbiaies-saulaies-boulaies.
Les milieux pastoraux illustrent un gradient de pression pastorale couplé à la nature plus ou moins tourbeuse du substrat avec: sur tourbes épaisses les communautés de tourbières hautes et les nardaies et canchaies sur tourbes fines ou sols organo-minéraux.
La partie ré-humectée montre une certaine originalité par rapport aux classique moliniaie-cariçaies à *Carex lasiocarpa* de ce type de contexte.

Type fonctionnel:

Le complexe de la Taphanel est une tourbière de concentration des eaux de surface, partiellement lacustre, localement ombrotrophe, pastorale et post-pastorale suivant les secteurs, ré-humectée en partie.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Volet «structure» du diagnostic fonctionnel des tourbières de La Taphanel (Riom-ès-Montagnes) et de Grand-Combe (Apchon). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 34 p.

Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Le Jolan
Gestionnaire du site: PNRVA
Statut du site: RNR AURA, Natura 2000
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/espace/protege/FR9300185
Surface concernée/totale: 54 ha / 54 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre GOUBET (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 54 ha

Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- 10 relevés d'unités fonctionnelles (2010);
- cartographie des unités fonctionnelles (2010);
- caractérisation des épaisseurs de tourbe à la perche métallique;
- analyse géologique et géomorphologique du bassin versant;
- analyse pédologique du bassin versant;
- cartographie des bio-indicateurs trophiques;
- Lidar à 50 cm avec MNT, MNS et MNC;
- données géologiques disponibles sur le site Infoterre du BRGM.

- Volet diachronie

- Photos aériennes anciennes;
- un sondage carotté de 4 m;
- cartographie diachronique de l'occupation des sols du bassin versant.

- Volet transferts

- analyse piézomètrique sur 10 points lors de la mise en assec de 2012-2013 et en 2018-2019;
- 14 prélèvements et analyses d'eau sur le BV;
- cartographie des bio-indicateurs trophiques.

Données manquantes

- cartographie des épaisseurs de sédiments meubles;
- caractérisation pédo-paléoécologique de terrain sur 15-25 points.

Etat:

Le complexe du Jolan se tient dans le fond d'un grand replat situé au sein d'empilements basaltiques encore mal caractérisés, de chaque côté d'un banc sableux formant un îlot.
Les épaisseurs de tourbe ne sont pas bien connues, mais elles dépassent les 9 m dans la partie sud.
La tourbière à été fortement exploitée en fosse familiales, parfois en grandes fosses artisanales, et elle est partiellement inondée à la suite d'un endiguement à vocation cynégétique.
Le complexe se compose de nombreuses unités fonctionnelles: des tremblants récents à prêle, ményanthe, comaret, massette; des saulaies; des phragmitaies, des cariçaies diverses souvent tremblantes, des moliniaies, une tourbière haute à sphaigne de Magellan, des canchaies, des mégaphorbiaies et même des prairies de fauche dans la partie sud.

Etats passés:

Les états passés du complexe ne sont connus qu'à travers un unique carottage de 4 m de profondeur réalisé dans l'unité sud.
Il montre la présence d'une boue lacustre, d'une tourbe à phragmite, d'une autre à carex.
Il est difficile de définir un KTH.

Etats potentiels:

Le complexe est très diversifié, rendant difficile la définition d'états potentiels. Ceci-dit, les tremblants dépendant du lac ont vocation à se boiser de saules tandis que la tourbière ombrotrophe semble fonctionnelle, turfigène.

Modèle de fonctionnement:

Les modalités fonctionnelles du complexe du Jolan dépendent du lieu.
Quatre grandes logiques sont présentes.
La première est celle que l'étang impose, par la nature tremblante d'unités récentes, pseudo-tremblante de réhumectation ou de décollement, et par l'enrichissement trophique induit par la mise en eau et les deux assecs qui ont eu lieu depuis. La colonisation des saules est importante, en lien avec la richesse trophique.
La deuxième est une logique post-pastorale classique, ou conjointe à l'extraction de tourbe, indépendante des eaux de l'étang. Ici, c'est la logique turfigène oligotrophe qui domine, soit dans les fosses, par tremblants à ményanthe, comaret, prêle, sphaignes et linaigrette engainante, soit par buttes de tourbière haute à *Sphagnum capillifolium* ou *S. magellanium*. Aux marges, les processus sont ceux des moliniaies sur tourbe, ou des canchaies, sur sols organo-minéraux.
La troisième est une logique d'émergence d'eau riche en bases qui permet l'expression de communautés à basophiles ou de phragmitaie, probablement où l'eau est différente.
La quatrième logique est celle du pastoralisme et concerne des secteurs au sud, fauchés.

Type fonctionnel:

Le complexe du Jolan est une tourbière minérotrophe lacustre ou d'émergence, post-pastorale, à KTH, à communautés ombrotrophes, ré-humectée ou ennoyée-décollée, à fosses familiales, partiellement boisiée.

Documents de référence:

Poiraud A., Morel J.-M., Gomendy-Genevoix V., Martin C. et Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Étude du bassin versant de la tourbière du Jolan (Ségur les Villas, 15) en vue de caractériser les flux de nutriments et d'eau. Inselberg, Marvejols, 95 p.

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Analyse piézométrique du complexe du Jolan lors de la mise en assec de l'hiver 2012-2013, Ségur-les-Villas, Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 12 p.

Goubet P. (2010). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Natures Régional des Volcans d'Auvergne. Etude de l'état fonctionnel de 11 tourbières du territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (Puy-de-Dôme et Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte), 46 p. Volume 2 (figures), 42 p. Volume 3 (fiches des UFE), 30 p. Volume 4 (fiches synthétiques de diagnostics), 11 p.

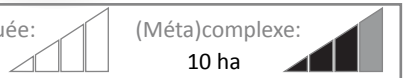
Fiche synthétique de diagnostic fonctionnel d'écosystème tourbeux

Version 1.0

Nom de l'entité:
Nom du site/métacomplexe: Chandroux
Gestionnaire du site: Aucun en dehors de N2000 (PNRVA)
Statut du site: Inclut dans N2000 FR8301056
Liens INPN ou PNRVA: https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301056
Surface concernée/totale: 10 ha / 10 ha (100 %)

Auteur(s) de la fiche: Pierre Goubet (version 1.0)
Dates de la fiche: Décembre 2020 (version 1.0)

Niveau de diagnostic: Entité diagnostiquée: ha (Méta)complexe: 10 ha



Outils du diagnostic utilisés - Données disponibles

- Volet structure

- MNT à 5 m du CRAIG;
- évaluation des épaisseurs de tourbe;
- caractérisation des unités fonctionnelles;
- caractérisation pédologique et paléoécologique de terrain;
- caractérisation géomorphologique.

- Volet transferts

- Suivi piézométrique à pas de temps court sur 10 points;
- analyse chimique des eaux d'émergence sur 8 points et 3 campagnes.

- Volet diachronie

- Caractérisation paléoécologique de terrain.

Données manquantes

- Caractérisation précise de la composition et de la structure floristique de certaines unités écologiques.

Etat:

Les tourbières de Chandroux se tiennent au pied sud du versant d'un massif constitué de coulées basaltiques pouvant être considérées comme sub-horizontales, elles s'intègrent dans les deux coulées inférieures, la basale étant fortement altérée.
Les 4 unités majeures observées sont:
- L'étang, occupé au tiers par une tourbe décollée à typhaies, saulaies et cariçaies;
- L'unité ouest, occupée par une mosaïque hybride de tourbière haute à fosses familiales et de prêlaies-cariçaies de réhumectation;
- Les émergences nord-est, à décharge constante, occupées par des jonçaies acutiflores et des cariçaies à *Carex rostrata*;
- Les émergences ouest, à décharge hivernale, sont le lieu d'expression des canchaies et des cariçaies à *Carex vesicaria*.

Etats passés:

L'étang a été créé sur une tourbière qui s'est partiellement décollée-détendue dont l'origine reste inconnue. L'unité ouest est un ancien lac rempli de tourbe à roseau. Les systèmes d'émergence sont d'états passés inconnus.

Etats potentiels:

L'étang est en phase d'eutrophisation et s'oriente vers le comblement. Dans l'unité ouest, la colonisation ligneuse encore localisée devrait s'intensifier à terme. Les deux autres unités, systèmes d'émergence, sont stables dans un contexte hydrogéologique et un pâturage stables.

Modèle de fonctionnement:

Les 4 unités sont caractérisées par 4 logiques fonctionnelles distinctes.
Les tourbières de l'étang s'insèrent dans une logique d'ennoiement-décollement et dans une logique de colonisation d'eau libre.
L'eutrophisation est marquée, mais son origine reste imprécise (degré d'autochtonie).
L'unité ouest est en rééquilibrage post-pastoral, post-drainage et post-extraction. Là encore, l'eutrophisation est visible et son degré d'autochtonie inconnu.
Les unités d'émergence répondent au modèle pastoral classique, variant ici en fonction du régime de la décharge hydro(géo)logique.

Type fonctionnel:

Étang = tourbière de concentration des eaux de surface, inondée, partiellement décollée.
Unité ouest = tourbière de concentration des eaux de surface, d'origine lacustre, à contribution hydrogéologique, à tourbe à roseau, à KTH et fosses familiales, réhumectée.
Émergences nord-est = tourbières d'émergence à décharge constante, pâturées.
Émergences ouest = zones humides d'émergence à décharge hivernale, pâturées.

Remarques complémentaires:

Documents de référence:

Poiraud A. (2020). Étude géomorphologique du bassin versant de la tourbière de Chandroux. 14 p.
Goubet P. (2020). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières de Chandroux (Vernols, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 52 p.

VI. Bibliographie



Adriaens A. (1993). Influence de quelques facteurs du milieu sur la dynamique de Salix aurita dans la réserve naturelle des Hautes-Fagnes (Belgique). Belgian Journal of Botany, 71-80.

Athos Environnement (2018). Suivi de la qualité des eaux et des sédiments de la tourbière de Pierrefitte (15) - Méthode de la diagnose rapide: 31 p.

Atkinson, M. D. (1992). *Betula pendula* Roth (B. verrucosa Ehrh.) and B. pubescens Ehrh. Journal of Ecology, 80(4), 837-870.

Beauger A. (2018). Lot 1 : Étude diatomées de la tourbière de Pierrefite. GEOLAB, Université Clermont Auvergne: 47 p. + annexes.

Bertrand, G. (2009). De la pluie à l'eau souterraine. Apport du traçage naturel (ions majeurs, isotopes) à l'étude du fonctionnement des aquifères volcaniques. (Bassin d'Argnat, Auvergne, France) (Doctoral dissertation).

Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J. M., & Hunkeler, D. (2012). From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. Hydrogeology Journal, 20(1), 5-25.

Bernard C.-E., Thébaud G., & Skrzypczak R. (2014). Tourbière de Pierrefitte (Marchastel, 15). Profil socio-écologique topo-stationnel et suivi permanent de la végétation. UNIVERGE. Clermont-Ferrand. Non paginé.

Beauregard, P., Lavoie, M. & Pellerin, S. Wetlands (2019). https://doi.org/10.1007/s13157-019-01186-3.

Bourgault, M. A., Larocque, M., & Garneau, M. (2019). How do hydrogeological setting and meteorological conditions influence water table depth and fluctuations in ombrotrophic peatlands?. Journal of Hydrology X, 100032.

Boulaine J. (1995). Quatre siècles de fertilisation. Étude de la gestion des sols, 2(3), 201-208.

Boulaine J. (2006). Histoire de la fertilisation phosphatée. Étude et gestion des sols, 13(2), 129-137.

Bünemann, E. K., Keller, B., Hoop, D., Jud, K., Boivin, P., & Frossard, E. (2013). Increased availability of phosphorus after drying and rewetting of a grassland soil: processes and plant use. Plant and soil, 370(1-2), 511-526.

Clymo, R. S., & Hayward, P. M. (1982). The ecology of Sphagnum. In Bryophyte ecology (pp. 229-289). Springer, Dordrecht.

Cubizolle H. et Sacca C. (2010). Les définitions des tourbières et des marais revisitées. Pour une approche pédologique des zones humides. Regards sur les tourbières, les vallées alluviales, les peupleraies et les pâturages. NaturaAgora, Laon, France: 204-214.

Cubizolle, H., Thébaud, G., Porteret, J., & Tourman, A. (2009). Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif central oriental (France) au cours du XXe siècle. Ecologie et protection des tourbières-Ökologie und Schutz der Moore. Annales Scientifiques de la Réserve de Biosphère Transfrontalière, Vosges du Nord-Pfälzerwald, 13, 140-170.

Dieleman, C. M., Branfireun, B. A., McLaughlin, J. W., & Lindo, Z. (2014). Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: implications for ecosystem function and stability. Global change biology, 21(1), 388-395.

Eckstein, J., Leuschner, H. H., & Bauerochse, A. (2011). Mid-Holocene pine woodland phases and mire development–significance of dendroecological data from subfossil trees from northwest Germany. Journal of Vegetation Science, 22(5), 781-794.

Edvardsson, J., Šimanauskienė, R., Taminskas, J., Baužienė, I., & Stoffel, M. (2015). Increased tree establishment in Lithuanian peat bogs—Insights from field and remotely sensed approaches. Science of the Total Environment, 505, 113-120.

Francez, A.-J. (1991). Production primaire et accumulation de matière organique dans les tourbières à sphaignes des Monts du Forez (Puy-de-Dôme). Influence des activités humaines sur leur fonctionnement et leur évolution. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6. 320 p.

Freléchoux, F., Buttler, A., Schweingruber, F. H., & Gobat, J. M. (2000). Stand structure, invasion, and growth dynamics of bog pine (Pinus uncinata var. rotundata) in relation to peat cutting and drainage in the Jura Mountains, Switzerland. Canadian Journal of Forest Research, 30(7), 1114-1126.

Glaser, P. H., Bennett, P. C., Siegel, D. I., & Romanowicz, E. A. (1996). Palaeo-reversals in groundwater flow and peatland development at Lost River, Minnesota, USA. The Holocene, 6(4), 413-421.

Gunnarsson, U. (2000). Vegetation changes on Swedish mires: Effects of raised temperature and increased nitrogen and sulphur influx (Doctoral dissertation, Acta Universitatis Upsaliensis).

Gobat, J. M., Aragno, M., & Mattey, W. (2003). Le sol vivant, 2e édition revue et complétée. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 319 p.

Goubet, P., Thebaut, G., & Petel, G. (2004). Les modèles théoriques de développement des hauts-marais: un outil pour la gestion conservatoire des tourbières. Géocarrefour, 79(4), 303-315.

Goubet P. (2005) - Compte rendu d'expertise. Diagnostic écologique. Tourbière de Jouvion. Saint-Donat, Puy-de-Dôme. Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand, 13 p. Commande Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne.

Goubet P. (2006) - Compte rendu de visite. Tourbière du Lac d'en Bas, la Godivelle, Puy-de-Dôme. Cabinet d'expertise Pierre Goubet, 8 p. A destination du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne.

Goubet, P., Thebaut, G., & Petel, G. (2006). La dynamique des hauts-marais et les paramètres écologiques qui la contrôlent: Proposition d'un schéma fonctionnel et applications à la conservation. Revue d'écologie.

Goubet, P. (2007). Végétations et fonctionnement écologique des tourbières de montagne Bourbonnaise (Allier, France) (Doctoral dissertation).

Goubet P. (2008) - Compte-rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Protocole pour la réalisation et le suivi de milieux pionniers sur la tourbière de Jouvion (Saint-Donat, 63). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 5 p.

Goubet P. (2008) - Compte-rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Profils topographiques de surface et de subsurface complémentaires de la tourbières de Jouvion à Saint-Donat (Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 5 p.

Goubet, P. (2008) - Compte-rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Éléments de diagnostic et de suivi fonctionnel du complexe tourbeux de la Godivelle (Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 22 p.

Goubet, P. (2010a) - Compte-rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord. Diagnostic partiel des sites tourbeux de la réserve naturelle des rochers et tourbières du Pays de Bitche. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte) 50 p. Volume 2 (Figures), 27 p. Volume 3 (fiches), 60 p.

Goubet, P. (2010) - Compte-rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux de la Godivelle (Puy-de-Dôme) : campagne 2009. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte) 24 p. Volume 2 (figures), 21 p.

Goubet P. (2010) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Suivis des végétations et des mares nouvellement crées sur la tourbière de Jouvion (Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet. Jenzat. 8 p.

Goubet P. & Petit S. (2010) - Compte rendu d'expertise commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme. Diagnostic écologique du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet. Jenzat. Volume 1 (texte), 29 p. Volume 2 (figures), 34 p.

Goubet P. (2010). Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Natures Régional des Volcans d'Auvergne. Etude de l'état fonctionnel de 11 tourbières du territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (Puy-de-Dôme et Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1 (texte), 46 p. Volume 2 (figures), 42 p. Volume 3 (fiches des UFE), 30 p. Volume 4 (fiches synthétiques de diagnostics), 11 p.

Goubet P. (2011a). Compte rendu d'expertise commandée par le Conservatoire Régionale d'Espaces Naturels Rhône-Alpes. Caractérisation paléoécologique du complexe tourbeux de La Béroude (Les Neyrolles, Ain, France). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 12 p.

Goubet P. (2011b). Compte rendu d'expertise commandée par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin Versant de l'Albarine. Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux du Montoux (Brénod, Ain, France). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat Volume 1 (texte), 25 p. Volume 2 (figures), 35 p.

Goubet P. (2011) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Campagne 2011 des suivis des végétations et des mares créés en 2009 sur la tourbière de Jouvion (Saint-Donat, Puy-de-Dôme, France). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 10 p.

Goubet P. (2011) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux du Lac d'en Bas, unités amont et intermédiaire (partie ouest) (La Godivelle, Puy-de-Dôme, France). Cabinet Pierre GOUBET, Jenzat Volume 1 (texte), 28 p. Volume 2 (figures), 43 p.

Goubet P. (2012) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Caractérisation et cartographie des unités fonctionnelles du complexe tourbeux de la Coualle-Basse (La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat Volume 1 (texte), 9 p. Volume 2 (figures), 19 p.

Goubet P. (2012) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière du puy de Paillaret (Réserve Naturelle Nationale de Chastreix-Sancy). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 38 p.

Goubet P. (2012): note de visite de prédiagnostics commandée pas le Conservatoire d'espaces naturels d'Auvergne. Prédiagnostics de terrain de la tourbière des Combes (Champ-sur-Tarentaine-Marchal, 15) et de la tourbière à l'aval du barage de Pallut (Egliseneuve-d'Entraigues, 63), 13 p.

Goubet P. (2012) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Campagne 2012 et synthèse des campagnes 2008 - 2012 des suivis des végétations et des mares créés en 2009 sur la tourbière de Jouvion (Saint-Donat, Puy-de-Dôme, France). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 21 p.

Goubet P. (2012) - Note de visite de prédiagnostics commandée par le Conservatoire des Espaces Naturels d'Auvergne. Prédiagnostics de terrain de la tourbière des Combes (Champ-sur-Tarentaine-Marchal, 15) et de la tourbière à l'aval du barrage de Pallut (Egliseneuve-d'Entraigues,63). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 13 p.

Goubet P. (2013a). Compte rendu d'étude commandée par le CEN Rhône-Alpes. Pourquoi, à la suite de quelques fauches, les moliniaies de l'étang de Brénod (Ain) régressent au profit des cariçaies ? Le rôle de l'eau et du phosphore. Chroniques piézométrique 2012-2013 et conclusion de l'étude. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 16 p.

Goubet P. (2013) - Compte rendu d'expertise commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Etat des lieux pour un suivi des ligneux hauts des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 11 p.

Goubet P. (2013) - Compte rendu d'expertise commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Variations du niveau d'eau, hypothèses sur l'origine de l'eau et conséquences pour le fonctionnement des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 11 p.

Goubet P. (2013a) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne dans le cadre du contrat territorial des lacs de la tête de bassin de la Couze Pavin. Diagnostic fonctionnel des zones humides du bassin versant de la Gazelle, affluent de la Couze Pavin (Besse-et-St-Anastaise et Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1, 101 p., Volume II, 47 p.

Goubet P. (2013b) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Analyse des macrorestes sur deux profils du complexe du Lac d'en Bas (La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 17 p.

Goubet P. (2013c) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel partiel de la tourbière de Sougeat-la-Souze, Egliseneuve-d'Entraigues, Puy-de-Dôme. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat ,18 p.

Goubet P. (2013d) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne dans le cadre du contrat territorial des lacs de la tête de bassin de la Couze Pavin. Diagnostic fonctionnel des zones humides du bassin versant de la Gazelle, affluent de la Couze Pavin (Besse-et-St-Anastaise et Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat. Volume 1, 101 p., Volume II, 47 p.

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostic fonctionnel de la tourbière de Vassivière (Besse-et-Saint-Anastaise, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 12 p.

Goubet P. (2014). Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme. Diagnostic fonctionnel et mise en place d'un plan de suivi des zones humides de la pessière de la montagne du Mont (Réserve naturelle de Chastreix-Sancy, Chastreix, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre GOUBET, Jenzat, 23 p.

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Caractérisation des propriétés physico-chimiques des eaux du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 11 p.

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cartographie de la flore patrimoniale des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 3 p.

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Analyse piézométrique du complexe du Jolan lors de la mise en assec de l'hiver 2012-2013, Ségur-les-Villas, Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Jenzat, 12 p.

Goubet P. (2014) - Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la parcelle YP-2 du complexe tourbeux de Bourdouze est (Besse et Saint-Anastaise, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 17 p.

Goubet, P., & Darinot, F. (2014). L'histoire de la tourbière de la Réserve naturelle nationale du Marais de Lavours: ce que nous révèlent les macrorestes. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 3(1), 17-29.

Goubet P. (2015a) - Compte rendu d'expertise commandée par le Parc naturel régional Scarpe-Escaut. Diagnostic fonctionnel du complexe tourbeux de la Réserve naturelle régionale de la Tourbière de Vred (Nord). Phase 2. Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 71 p.

Goubet P. (2015). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière de La Pignole (Champs-sur-Tarentaine-Marchal, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 37p.

Goubet P. (2015) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Général du Puy-de-Dôme et coordonnée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cartographie des buttes à Sphagnum magellanicum et complément d'étude de la flore patrimoniale des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 3 p

Goubet P. (2015). Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels Auvergne. Diagnostic fonctionnel partiel de la tourbière de Crespy-Greloux, Bagnols, Puy-de-Dôme. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 25 p.

Goubet P. & Poiraud A. (2016) - Diagnostic hydrologique et fonctionnel du bassin versant du Lac d'en Bas en vue de la mise en œuvre d'un programme d'actions pour la préservation des zones humides et milieux aquatiques. Rapport d'étude Cabinet Pierre Goubet/Inselberg. PNR des Volcans d'Auvergne, RNN des Sagnes de la Godivelle. 65 p.

Goubet P. (2016a) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional du Haut-Jura. Prédiagnostic fonctionnel de la tourbière des prés de Valfin (Saint Claude, Jura). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 15 p.

Goubet P. & Goubet C. (2017a). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Suivi des zones à forts enjeux patrimoniaux des tourbières du Lac d'En Bas à La Godivelle (Puy-de-Dôme). Évaluation de l'état de conservation. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 20 p.

Goubet P. (2017b) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. Analyse paléoécologique de la tourbière de Jouvion (Saint Donat, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 19 p.

Goubet P. (2017c) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Analyse des potentialités de restauration de l'ancienne tourbière haute de Greil-Rascoupet (Landeyrat, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 19 p.

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. Profils de structures et de suivis du complexe de Jouvion (Saint Donat, Puy-de-Dôme). Description précise de la flore des unités écologiques. Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 10 p.

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Prédiagnostics fonctionnels préalables à des actions de gestion visant à favoriser la faune aquatique sur des sites choisis par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 38 p.

Goubet P. (2017). Compte rendu d'étude commandée par le Syndicat mixte du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Suivi écologique et cartographique 3D des végétations de la tourbière du Paillaret 5 années après sa mise en exclos (retrait du pâturage) (Réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy, Auvergne, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 13 p.

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Volet «structure» du diagnostic fonctionnel des tourbières de La Taphanel (Riom-ès-Montagnes) et de Grand-Combe (Apchon). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 34 p.

Goubet P. (2017) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière de la Plaine-Jacquot (La Godivelle, Saint-Alyre-Es-Montagne et Compains, Puy-De-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes, 38 p.

Goubet P. (2018) - Compte rendu d'étude commandée par le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. Analyse hydrologique et trophique de la tourbière de Jouvion (Saint Donat, Puy-de-Dôme).Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 28 p.

Goubet P. (2018) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Suivi floristique des effets de la fauche de secteurs humides du Lac d'en Bas à La Godivelle (Puy-de-Dôme). Etat zéro 2017. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 16 p.

Goubet P. (2018) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Mise en place d'un suivi à moyen et long terme de secteurs types du fond d'exploitation de la carrière de tourbe de Greil-Rascoupet à Landeyrat (Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 11 p.

Goubet P. (2018) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Analyse des potentialités de restauration de l'ancienne tourbière de Couderc (Landeyrat, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 16 p.

Goubet, P., Tourman, A. (2018). Compte rendu d'étude commandée par le Syndicat mixte des milieux aquatiques du Haut-Doubs. Diagnostic fonctionnel de la tourbière du lieu-dit «Les Tourbières» ou «Le Frambourg» à La-Cluse-et-Mijoux, Doubs. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 37p.

Goubet P. (2019) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Contribution au diagnostic fonctionnel de la tourbière de Pierrefitte (Marchastel, St Amandin, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze. 29 p.

Goubet P. (2019). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Suivi floristique des effets de la fauche de la tourbière du Lac d'en Bas à La Godivelle (Puy-de-Dôme). Analyse deux ans après la mise en place de la fauche. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 13 p.

Goubet P. (2019) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Étude piézométrique de la tourbière du Lac d'en Bas, La Godivelle (Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 33 p.

Goubet P. (2019). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Quels sont les processus à l'origine de la colonisation ligneuse des tourbières du Lac d'en Bas à La Godivelle (Puy-de-Dôme)?. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 22 p.

Goubet, P. (2020a) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel de la tourbière des Chastelets (La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 42 p.

Goubet, P. (2020b). Compte rendu d'étude commandée par le Conservatoire d'espaces naturels Rhone-Alpes. Caractérisation de l'état de la tourbière de Colliard (Les Neyrolles, Ain) – Bilan du décapage et analyses complémentaires. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 13 p.

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Diagnostic écologique et fonctionnel des tourbières et zones humides de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy (Auvergne, Puy-de-Dôme) Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze.

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Chastel sur Murat, Chavagnac, Dienne, Saint Cirgues; Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - Tourbières et zones humides du Nord Cantal. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze.

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Mise à jour de la cartographie des unités fonctionnelles, des bio-indicateurs et des formes érosives et synthèse des connaissances sur le fonctionnement des tourbières du Lac d'en Bas à La Godivelle (RNN des Sagnes de La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze.

Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Etude hydraulique de la tourbière du Lac d'en Bas – Réserve naturelle nationale des Sagnes de la Godivelle.(La Godivelle, Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze.

Goubet P. (2020). Compte rendu d'études commandées par le Conseil départemental du Puy-de-Dôme et coordonnées par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Suivi cartographique de la flore patrimoniale des tourbières du lac des Bordes (Compains, Puy-de-Dôme). Campagne 2019. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 7 p.

Goubet P. (2020). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières de Chandroux (Vernols, Cantal). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 52 p.

Goubet P. & Goubet C. (2020). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Analyse des macrorestes de deux colonnes de tourbe du Lac-d'en-Bas à la Godivelle (Puy-de-Dôme). Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze.

Guenet P. & Reille M. (1988). Analyse pollinique du lac-tourbière de Chambedaze (Massif-Central, France) et datation de l'explosion des plus jeunes volcans d'Auvergne. Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire, 25(4), 175-194.

Hayward, P. M., & Clymo, R. S. (1983). The growth of Sphagnum: experiments on, and simulation of, some effects of light flux and water-table depth. The Journal of Ecology, 845-863.

Heijmans, M. M., van der Knaap, Y. A., Holmgren, M., & Limpens, J. (2013). Persistent versus transient tree encroachment of temperate peat bogs: effects of climate warming and drought events. Global Change Biology, 19(7), 2240-2250.

Holmgren, M., Lin, C. Y., Murillo, J. E., Nieuwenhuis, A., Penninkhof, J., Sanders, N., ... & Limpens, J. (2015). Positive shrub–tree interactions facilitate woody encroachment in boreal peatlands. Journal of Ecology, 103(1), 58-66.

Iremonger, S. F., & Kelly, D. L. (1988). The responses of four Irish wetland tree species to raised soil water levels. New Phytologist, 109(4), 491-497.

Jassey, V. E., & Signarbieux, C. (2019). Effects of climate warming on Sphagnum photosynthesis in peatlands depend on peat moisture and species-specific anatomical traits. Global change biology, 25(11), 3859-3870.

Josten, H., & Clarke, D. (2002). Wise use of mires and peatlands: Background and principles including a framework for decision making. International Mire Conservation Group. International Peat Society, Jyväskylä, 304, 304.

Jordan, S., Velty, S., & Zeitz, J. (2007). The influence of degree of peat decomposition on phosphorus binding forms in fens. Mires and peat, 2(7), 1-10.

Kaštovská, E., Straková, P., Edwards, K. et al. Ecosystems (2018) 21: 443. https://doi.org/10.1007/s10021-017-0159-3.

Keuper, F., Dorrepaal, E., Van Bodegom, P. M., Aerts, R., Van Logtestijn, R. S., Callaghan, T. V., & Cornelissen, J. H. (2011). A Race for Space? How Sphagnum fuscum stabilizes vegetation composition during long-term climate manipulations. Global Change Biology, 17(6), 2162-2171.

Kieckbusch, J. J., & Schrautzer, J. (2007). Nitrogen and phosphorus dynamics of a rewetted shallow-flooded peatland. Science of the Total Environment, 380(1), 3-12.

Kinsman-Costello, L. E., O'Brien, J., & Hamilton, S. K. (2014). Re-flooding a historically drained wetland leads to rapid sediment phosphorus release. Ecosystems, 17(4), 641-656.

Lachassagne P., Dewandel B., & Wyns R. (2014). The conceptual model of weathered hard rock aquifers and its practical applications. Fractured Rock Hydrogeology, (20), 13-46.

Lamentowicz, M., Gałka, M., Marcisz, K., Słowiński, M., Kajukało-Drygalska, K., Dayras, M. D., & Jassey, V. E. (2019). Unveiling tipping points in long-term ecological records from Sphagnum-dominated peatlands. Biology letters, 15(4), 20190043.

Lanta V, Hazukova I (2005) Growth response of downy birch (Betula pubescens) to moisture treatment at a cut-over peat bog in the Šumava Mts., Czech Republic. Annales Botanica Fenici 42:247–256.

Leduc V.& L. Pont (2012). Suivi de l'évolution des boisements sur la tourbière du Lac d'en Bas. Réserve naturelle nationale des Sagnes de La Godivelle: 33 p. + Annexes.

Leuschner, C., & Rode, M. W. (1999). The role of plant resources in forest succession: changes in radiation, water and nutrient fluxes, and plant productivity over a 300-yr-long chronosequence in NW-Germany. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2(1), 103-147.

Lindsay, R., Campus, S., & Lane, W. (2010). Peatbogs and carbon: a critical synthesis to inform policy development in oceanic peat bog conservation and restoration in the context of climate change. RSPB Scotland, 315.

Limpens, J., Holmgren, M., Jacobs, C. M., Van der Zee, S. E., Karofeld, E., & Berendse, F. (2014). How does tree density affect water loss of peatlands? A mesocosm experiment. PloS one, 9(3).

Loeb, R., Lamers, L. P., & Roelofs, J. G. (2008). Prediction of phosphorus mobilisation in inundated floodplain soils. Environmental Pollution, 156(2), 325-331.

Loos M., Roux C., Delcoigne A. & Thébaud G. 2019 - Cartographie de la végétation et étude flore/bryoflore de la Réserve Naturelle Régionale des Tourbières du Jolan et de la Gazelle (Ségur-les-Villas, 15)

Manning, P., Putwain, P. D., & Webb, N. R. (2004). Identifying and modelling the determinants of woody plant invasion of lowland heath. Journal of Ecology, 92(5), 868-881.

Mikolajczak A. & Darinot F. (2015). Évolution de la végétation du marais de Lavours (Ain, France) à quarante-cinq ans d'intervalle (1967-2012). Les Cahiers de RNF 5: 61-76.

Mitchell, R. J., Campbell, C. D., Chapman, S. J., Osler, G. H., Vanbergen, A. J., Ross, L. C., ... & Cole, L. (2007). The cascading effects of birch on heather moorland: a test for the top-down control of an ecosystem engineer. Journal of Ecology, 95(3), 540-554.

Miles, J. (1981). Effect of birch on moorlands. Institute of Terrestrial Ecology. 18 p.

Mollet A. M., Francez A. J., Gillet F. & Schumacker R. (1985). Contribution à la connaissance des tourbières d'Auvergne. Végétation et physico-chimie des sites de Chambedaze et de la Godivelle (Puy-de-Dôme). Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne, 51(1-2-3-4), 51-59.

Nijp, J. J., Limpens, J., Metselaar, K., van der Zee, S. E., Berendse, F., & Robroek, B. J. (2014). Can frequent precipitation moderate the impact of drought on peatmoss carbon uptake in northern peatlands?. New Phytologist, 203(1), 70-80.

Parker, R. E. (1962). Factors limiting tree growth on peat soils-an investigation into the nutrient status of two peatland plantations. Irish Forestry.

Poiraud, A. (2020) - Le changement climatique sur le Cézallier : point bibliographique. Rapport

Poiraud A, Goubet P, Pont L. 2016. Écoulements et flux de nutriments dans la Réserve naturelle nationale des Sagnes de La Godivelle: peut-on conserver une tourbière sans comprendre le fonctionnement de son bassin versant ? Saint-Brisson, France [online] Available from: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01963633 (Accessed 21 December 2018)

Poiraud A., Genevois-Gomendy V., Goubet P., Martin C., Morel J-M (2020). Étude du bassin versant de la tourbière du Jolan (Ségur les Villas, 15) en vue de caractériser les flux de nutriments et d'eau. Rapport d'étude, Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, 94 p.

Poiraud A. (2020). Étude géomorphologique du bassin versant de la tourbière de Chandroux. 14 p.

Poiraud A., Morel J.-M., Gomendy-Genevoix V., Martin C. et Goubet P. (2020) - Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Étude du bassin versant de la tourbière du Jolan (Ségur les Villas, 15) en vue de caractériser les flux de nutriments et d'eau. Inselberg, Marvejols, 95 p.

Rode, M. W. (1999a). Influence of forest growth on former heathland on nutrient input and its consequences for nutrition and management of heath and forest. Forest Ecology and Management, 114(1), 31-43.

Rode, M. W. (1999b). The interaction between organic layer and forest growth and forest development on former heathland. Forest ecology and management, 114(1), 117-127.

Sagot, C., & Rochefort, L. (1996). Tolérance des sphaignes à la dessiccation. Cryptogamie, Bryologie et Lichénologie, 17(3), 7-183.

Schmidt, A.M., H. Piórkowski and H. Bartoszuk, 2000. Remote Sensing Techniques and Geographic Information Systems for Wetland Conservation and Management: Monitoring scrub encroachment in Biebrza National Park. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-rapport 174. 100 blz. 11 fig.;14 tab.; 25 ref.

Siegel, D. I., & Glaser, P. H. (1987). Groundwater flow in a bog-fen complex, Lost River Peatland, northern Minnesota. The Journal of Ecology, 743-754.

Sikström, U., Almquist, C., & Jansson, G. (2010). Growth of Pinus sylvestris after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. Silva Fennica, 44(3), 411-425.

Sjögren, P., Van der Knaap, W. O., Van Leeuwen, J. F. N., Andrič, M., & Grünig, A. (2007). The occurrence of an upper decomposed peat layer, or "kultureller Trockenhorizont", in the Alps and Jura Mountains. Mires and Peat, 2(5), 1-14.

Soukupovà L. (1992) - Calamagrostis canescens : Population biology of a clonal grass invading wetlands. Oikos, 63(3): 395-401.

Stępniewska, Z., Borkowska, A., & Kotowska, U. (2006). Phosphorus release from peat soils under flooded conditions of the Łęczyńsko-Włodawskie Lake District. Int. Agrophysics, 20, 237-243.

Straková P, Penttila T, Laine J, Laiho R. 2012. Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition: consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands. Glob Change Biol 18:322–35.

Tomassen, H. B., Smolders, A. J., Limpens, J., Lamers, L. P., & Roelofs, J. G. (2004). Expansion of invasive species on ombrotrophic bogs: desiccation or high N deposition?. Journal of applied Ecology, 41(1), 139-150.

Tóth J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. Journal of Geophysical Research, 68(16), 4795-4812.

Waddington, J. M., Morris, P. J., Kettridge, N., Granath, G., Thompson, D. K., & Moore, P. A. (2015). Hydrological feedbacks in northern peatlands. Ecohydrology, 8(1), 113-127.

Wastiaux, C. (2008). Les tourbières sont elles des éponges régularisant l'écoulement. Bulletin de la Société géographique de Liège, 50(2008), 57-66.

Wertebach, T.-M., Hölzel, N. and Kleinebecker, T. (2014). Birch encroachment affects the base cation chemistry in a restored bog. Ecohydrol., 7: 1163-1171. doi:10.1002/eco.1447

Wilson, K. A., & Fitter, A. H. (1984). The role of phosphorus in vegetational differentiation in a small valley mire. The Journal of Ecology, 463-473.

Zhaojuna, B., Joosten, H., Hongkai, L., Gaolin, Z, Xingxing, Z, Jinze, M., Jing, Z. (2011). The response of peatlands to climate warming: A review. Acta Ecologica Sinica, 31(3), 157-162.



Pour résumer...

Les tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges mont-doriennes ou cantaliennes constituent un ensemble exceptionnel, autant par leur nombre et leur diversité que par les services écosystémiques qu'elles rendent aux humains.

Depuis une vingtaine d'années, parallèlement à un effort de recherche international inédit et conséquent, le fonctionnement de ces tourbières a été étudié dans une optique de conservation, sous la forme de nombreux diagnostics fonctionnels plus ou moins approfondis.

L'important volume de connaissances accumulé constitue un outil et un patrimoine scientifique rare en France, qui méritait d'être valorisé et rendu disponible aux acteurs locaux impliqués dans la vie des tourbières et dans leur conservation.

Ce document répond à cet objectif. Il constitue à la fois (1) une synthèse de l'état des connaissances, sous forme de fiches pour une cinquantaine de complexes tourbeux, (2) une présentation des outils de diagnostic qui ont permis l'acquisition des données utiles à la compréhension du fonctionnement des complexes, (3) un recueil de notions essentielles à connaitre pour comprendre les fonctionnement des tourbières pour mieux les conserver, et (4) la première proposition d'une typologie scientifique des tourbières du Cézallier, de l'Artense et de leurs marges qui vaut également pour de nombreuses autres régions de France.

GOUBET P. (2020). Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Le fonctionnement des tourbières du Cézallier et de l'Artense. Approche théorique, outils de diagnostic et typologie fonctionnelle. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 155 p.

Expertise des Écosystèmes - Cabinet Pierre GOUBET
9, rue de la Petite Côte - 63 420 Ardes-sur-Couze
Téléphone : 09 67 45 69 53 - Mobile : 06 09 84 96 11
pierre.goubet@sphagnum.fr - Siret : 49539019700020