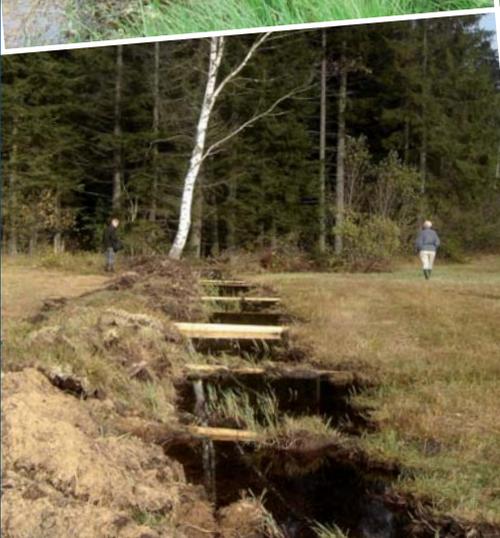
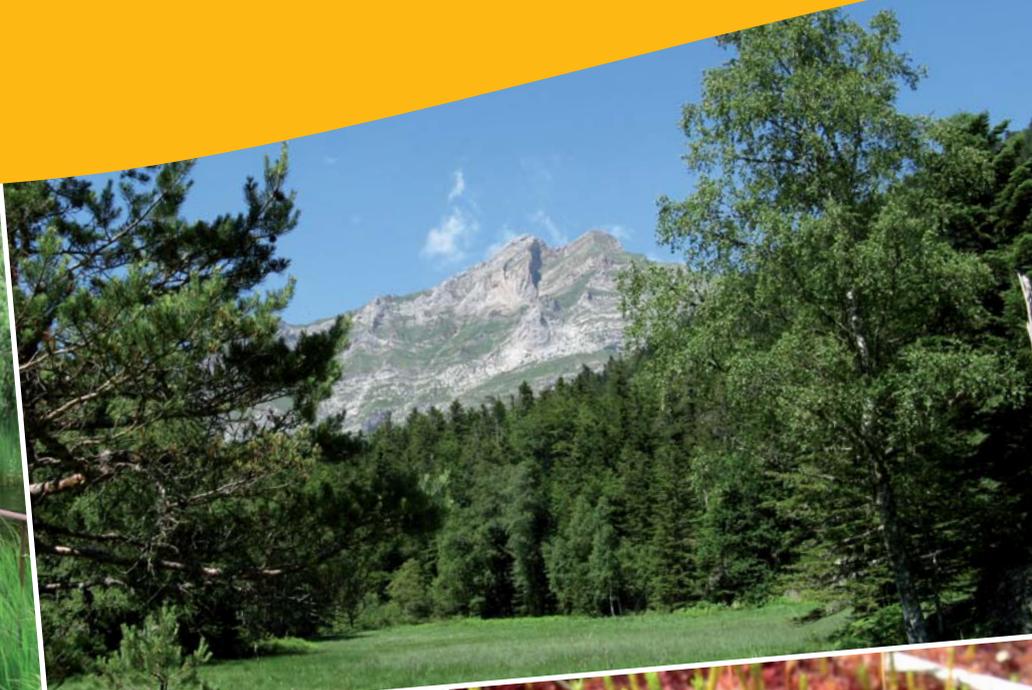




Tourbières des montagnes françaises



Nouveaux éléments de connaissance,
de réflexion & de gestion



La Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels rassemble, en 2010, 29 membres en France métropolitaine et sur l'île de la Réunion. Ils gèrent un réseau de 2054 sites couvrant près de 117000 ha. La Fédération assure l'animation du réseau et coordonne des programmes d'action internationaux, nationaux ou territoriaux.

Parmi ceux-ci, le Pôle-relais Tourbières a été créé en 2002 dans le cadre du Plan National d'Action pour les Zones Humides et après le succès d'un programme LIFE consacré aux tourbières de France. Ce Pôle-relais, comme les 3 autres (dédiés aux différents types de zones humides), a pour vocation de rassembler et diffuser l'information relative aux milieux qui le concernent, ainsi que de favoriser les bonnes pratiques de gestion.

Pôle-relais Tourbières

Maison de l'Environnement de Franche-Comté
7, rue Voirin
25000 Besançon
Tel. 03 81 81 78 64 / Fax. 03 81 81 57 32
contact@pole-tourbieres.org
<http://www.pole-tourbieres.org>

Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels

6, rue Jeanne d'Arc
45000 Orléans
Tel. 02 38 24 55 00 / Fax. 02 38 24 55 01
enf@enf-conservatoires.org
<http://www.enf-conservatoires.org>

Cet ouvrage a été réalisé en collaboration avec la Communauté de communes Frasne-Drugeon

3, rue de la Gare - BP 11
25560 Frasne
Tel. 03 81 49 88 84 / Fax. 03 81 49 82 06
syndicat-drugon@wanadoo.fr
<http://www.val-drugon.org>

CHOLET, J. ; MAGNON, G. (2010). *Tourbières des montagnes françaises - Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion*.
Pôle-relais Tourbières / Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, 188 p.
Ce document est téléchargeable gratuitement sur <http://www.pole-tourbieres.org>.
Photographies de première de couverture : Cholet J., Delorme S., Muller F.
ISBN : ISBN 978-2-9513-0986-4 / Date de dépôt légal : mars 2010 Pôle-Relais Tourbières 2010

TOURBIÈRES DES MONTAGNES FRANÇAISES - NOUVEAUX ÉLÉMENTS DE CONNAISSANCE, DE RÉFLEXION & DE GESTION

Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels - 2010

Jérémie CHOLET (Pôle-relais Tourbières/FCEN) et Geneviève MAGNON (Communauté de communes Frasne-Drugeon)

Directeur de publication : **Pascal VAUTIER** (FCEN)

Coordination : **Francis MULLER** (Pôle-relais tourbières/FCEN)

Le contenu de cet ouvrage a été discuté lors de quatre rencontres à Lyon (mai 2007) et Besançon (février 2008, janvier et juillet 2009). De nombreuses données et informations ont également été collectées lors de rencontres, colloques, séminaires ou sorties qui n'étaient pas uniquement dédiées à ce projet, mais au cours desquelles nous nous sommes efforcés d'orienter nos interventions afin de récolter un maximum de matière pour étoffer cet opus. De nombreux échanges ont aussi eu lieu par courrier ou mël. Le travail de rédaction a été réalisé avec l'aide de nombreuses personnes, et les textes ont ensuite été largement relus.

Un immense merci à toutes celles et ceux qui ont bien voulu – et pu ! – consacrer, d'une façon ou d'une autre, un peu de leur précieux temps à la réalisation de cet ouvrage...

Adam HÖLZER (Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe), Adeline FRANZONI (OPIE Franche-Comté), Adrien BERNACCHI (CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées), Aline CORBEAUX (PNR du Morvan), André EVETTE (CEMAGREF Grenoble), Anne CORNET (FCEN), Anne REMOND (CDSL), Anne VIGNOT (Université de Franche-Comté), Anne-Sophie VINCENT (PNR du Haut-Jura), Arlette LAPLACE-DOLONDE, Bruno TISSOT (RNN du lac de Remoray), Carole DESPLANQUE (ONF - RNN du lac Luitel), Caroline DRUESNE (PNR des Ballons des Vosges), Catherine BEAL (PNR du Pilat), Céline BALMAIN (AVENIR), Christian BRUNEEL (PNR du Haut-Jura), Claire CRASSOUS (Direction de l'Environnement et de l'Energie Rhône-Alpes), Cyril AGREIL (INRA Avignon), Dominique TESSEYRE (AE Adour-Garonne), Elodie FICK (stagiaire au Pôle-relais Tourbières), Emilie VALTON (CTOI Monange), Eric MEYNET (Vivre à Sommand), Eric PARENT (AE Rhône-Méditerranée & Corse), Erwan HENNEQUIN (CREN Limousin), Fabrice FRAPPA (CREN Rhône-Alpes), Fabrice GREGOIRE (ENS Lyon), Fatima LAGGOUN-DEFARGE (CNRS Orléans), Franck DUGUEPEROUX (PN des Cévennes), Franck Le Driant (FloreAlpes.com), François DEHONDT (CBN de Franche-Comté), François GAZELLE (CNRS Toulouse), François LEBOURGEOIS (AgroParisTech - ENGREF), Frédéric MORAT (OPIE Franche-Comté), Frédéric NERI (CREN Midi-Pyrénées), Gert-Jan VAN DUINEN (Radboud University Nijmegen), Hervé CUBIZOLLE (Université de St-Etienne), Hughes FRANÇOIS (Terriscope), Isabelle CIVETTE (PNR du Morvan), Jacques THOMAS (Scop SAGNE), Jean-Christophe RAGUÉ (CSL), Jean-François ETCHEPARE (ONF Pyrénées-Atlantiques), Jean-Jacques COLLICARD (CEMAGREF Grenoble), Jean-Luc GROSSI (AVENIR), Jean-Michel HENON (CRPF Lorraine-Alsace), Jérémie CATTEAU (CG 39), Jérôme PORTERET (CPNS), Julien GUYONNAUD (CBN de Franche-Comté), Karim GUERBAA (RNN des Duges), Laura JAMEAU (stagiaire au Pôle-relais Tourbières), Laurent PERRIER, Lionel QUELIN (CEEP), Lise WLERICK (ONF Savoie), Loïc DUCHAMP (SYCOPARC), Luc BETTINELLI (CREN Franche-Comté), Lucien MAMAN (AE Loire-Bretagne), Lydie LALLEMENT (ONF - RNN des Ballons Comtois), Marie LEMOINE, (AE Rhin-Meuse), Marie VOCCIA (PNR du Haut-Jura), Mario KLESCZEWSKI (CEN Languedoc-Roussillon), Mathieu JUTON (AVENIR), Mathieu MILLOT (CSL), Michel MEURET (INRA Avignon), Michel ROESCH (CG 39), Michel SAURET (Communauté de Communes Frasne-Drugeon), Michèle PLATA (FCEN), Nicolas CAYSSIOLS (CNASEA), Nicolas DUPIEUX (PNR des Monts d'Ardèche), Nicolas GORIUS (CREN Rhône-Alpes), Nicolas GREFF (CREN Rhône-Alpes), Olivier MANNEVILLE (Université Joseph-Fourier de Grenoble, Président du Conseil Scientifique du Pôle-relais Tourbières), Olivier VILLA (PNR de Millevaches-en-Limousin), Pascal COLLIN (CREN Franche-Comté), Philippe FREYDIER (CPNS), Philippe GROSVERNIER (LIN'eco), Pierre GOUBET (Sphagnum, Président du Groupe d'Etude des Tourbières), Pierre PACCARD (EDYTEM), Pierre-Arthur MOREAU (Université de Lille-2), Pierre-Emmanuel RECH (CREN Midi-Pyrénées), Roger MARCIAU (AVENIR), Sandra MALAVAL (CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées), Sébastien BARTHEL (CREN Rhône-Alpes), Sophie VILLARD (ARPE Midi-Pyrénées), Stéphanie BLAIS (Pôle-relais Tourbières), Stéphanie GAUCHERAND (CEMAGREF Grenoble), Steffen CASPARI, Sylvain MONCORGE (CREN Franche-Comté), Sylvie MARTINANT (CEPA), Sylvie RABOIN (Pôle-relais Tourbières), Tangi LE MOAL (CREN Aquitaine), Thierry LAPORTE (CREN Aquitaine), Thomas RIETHMULLER (DDEA 73), Vincent PORTERET (AE Rhône-Méditerranée & Corse), Xavier BERNIER (Université de Savoie), et nos excuses à celles et ceux que nous aurions pu omettre et qui se reconnaîtront !

Illustrations : **auteurs mentionnés à côté de chaque illustration.**

Conception, réalisation : **JC.AUGÉ**

Résumé

Cet ouvrage constitue un outil d'aide à la gestion des milieux tourbeux et associés. Il se base majoritairement sur des exemples et retours d'expérience issus des massifs montagneux de France métropolitaine ; cependant nombre des chapitres pourront également intéresser les gestionnaires des tourbières de plaine. En effet, après avoir d'abord abordé la problématique des choix de gestion, qui est aussi transversale que vitale pour optimiser les chances de succès dans la conservation des écosystèmes tourbeux, les auteurs ont choisi de s'intéresser à différents thèmes ayant émergé ou significativement évolué au cours des dix dernières années : les interactions entre tourbières et climats, la connaissance de l'hydrologie d'un site, la restauration fonctionnelle des tourbières, le pâturage et le boisement des tourbières de montagne, les interactions entre sports d'hiver et zones humides d'altitude, et enfin les suivis faunistiques et floristiques.

Abstract

Mountain peatlands in France - advances in knowledge, thoughts & management.

This book was designed as a tool to help improving the management of peatlands. It is mainly based on examples and management experiences feedbacks from mountain areas of metropolitan France ; nevertheless, most of the issues may also interest those who work on plain peatlands. A first chapter is dedicated to the question of management choices, which is both cross-disciplinary and vital to optimize the success of peatlands preservation. Then authors decided to focus on various issues which appeared to become essential or significantly evolved during the last ten years: interactions between peatlands and climates, knowledge about ecosystems hydrology, functional restoration of peatlands, grazing and afforestation in mountain peatlands, interactions between winter sports and mountain wetlands, and monitoring of flora and fauna.



Avant-Propos

Les Conservatoires d'Espaces Naturels poursuivent depuis 30 ans désormais leurs missions au service d'une meilleure prise en compte de la biodiversité dans notre pays. L'action du Pôle-relais Tourbières, porté par leur Fédération depuis sa création en 2001, en constitue une belle illustration. A la frontière des mondes institutionnels, scientifiques et techniques, le Pôle-relais fait circuler et rend accessible les nombreuses informations liées aux tourbières, restées éparses jusqu'alors. Thèses, rapports, études, mais aussi le vaste ensemble de la « littérature grise » que constituent les documents techniques comme les plans de gestion, autant de publications que le Pôle-relais rassemble et restitue, sous forme de synthèses thématiques ou territoriales autant que faire se peut. Par ailleurs, il développe également une action de conseil direct aux gestionnaires et d'incitation à la réalisation de programmes.

Ces interventions se placent dans la droite ligne du Plan National d'Action pour les Zones Humides, qui est à l'origine des différents Pôles-relais Zones humides ; malgré la fin de ce plan, notre volonté d'action reste vive aujourd'hui, dans un contexte différent et avec une modification du paysage de nos partenaires. La Fédération des Conservatoires, convaincue de l'utilité de cette démarche, fait son possible pour assurer ces missions. Gageons que le récent retour sur le devant de la scène d'une politique nationale pour les zones humides permettra de faciliter cet engagement.

Ce document vient étoffer et enrichir l'offre existante d'ouvrages consacrés à la gestion des zones humides, dans la droite ligne du précédent ouvrage consacré aux marais alcalins de France septentrionale. En nous focalisant sur les milieux tourbeux et associés des zones de montagne, nous avons fait le choix de rassembler les éléments concernant ces écosystèmes, plus étudiés à défaut d'être mieux connus, mais sur lesquels aucune synthèse récente n'avait été réalisée. Le lecteur trouvera donc de nouveaux éléments, dont certains précisent des usages bien établis à travers des exemples récents, tandis que d'autres ouvrent des voies de réflexion ou d'action jusque là ignorées. L'analyse d'expériences menées à l'étranger (Suisse, Allemagne, Canada, Fennoscandie) permet également une ouverture sur d'autres types d'approches, au sujet desquelles il est toujours intéressant de s'informer.

Les sujets traités et les territoires concernés reflètent la diversité des situations et des expériences, justifiant cette restitution des avancées récentes des connaissances sur les tourbières de montagne.

Je suis heureux de saluer la mobilisation d'une grande diversité d'acteurs autour de ce projet, dont les contributions croisées ont permis la rédaction des divers chapitres. Je les remercie vivement, tant leur aide s'est avérée essentielle pour mener à bien ce projet, aux côtés de l'équipe qui a remarquablement animé ces travaux.

Je tiens enfin à remercier les Agences de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse, Loire-Bretagne, Rhin-Meuse et Adour-Garonne qui, percevant dans cette publication une avancée dans leur politique liée aux zones humides, ont soutenu sa réalisation. Je salue également l'implication des Conseils Régionaux de Franche-Comté, du Limousin, de Languedoc-Roussillon et de Lorraine, dont le rôle dans la préservation de la biodiversité est sans cesse plus important, et qui ont vu dans l'ouvrage un outil pertinent pour accompagner les décideurs ; mes remerciements vont également à l'ONEMA et à la DIREN Franche-Comté pour leur soutien.

Pascal VAUTIER

Président de la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels



Préface

Depuis quelques années, les objectifs et le contexte concernant la gestion des tourbières en général, et donc celles de montagne dans le cas qui nous occupe ici, ont beaucoup changé. Les connaissances scientifiques et les techniques de suivi ont également beaucoup évolué, vers des échelles non envisagées auparavant et en utilisant des indicateurs nouveaux, parfois plus pertinents ou apportant des précisions complémentaires par rapport à des indicateurs évidents et plus anciens tels que la végétation vasculaire.

A cet égard, les deux derniers colloques sur les tourbières ayant eu lieu en France en juin 2008 à Bitche et en juin 2009 à Pau sont bien significatifs de cette tendance à s'approcher d'une connaissance, puis d'une gestion intégrées des tourbières.

Tout d'abord, on considère de plus en plus des réseaux d'écosystèmes tourbeux, et non plus des écosystèmes isolés les uns des autres ; ceci est à la fois le résultat des inventaires de zones humides ou de tourbières de plus en plus précis, mais aussi des objectifs de Natura 2000, qui sont justement la création d'un réseau d'aires protégées fonctionnelles, donc en communication les unes avec les autres. Si on y rajoute tout ce qui se fait actuellement (ou est en projet) tant pour les corridors écologiques que pour les trames verte et bleue, dont font partie les tourbières, on voit que cette notion devient fondamentale.

De plus en plus, on est aussi amené à raisonner à différentes échelles spatiales ou temporelles emboîtées, toutes aussi importantes les unes que les autres.

En ce qui concerne l'espace tout d'abord, le bassin versant doit, la plupart du temps, être considéré de manière approfondie, car il conditionne l'essentiel des apports en eau, y compris leurs qualités physico-chimiques. Naturellement, les activités humaines en amont et autour d'une tourbière doivent être prises en compte de façon presque aussi importante que celles subies directement par l'écosystème tourbeux ; ceci ne facilite pas le travail des gestionnaires, car les conflits d'usage risquent d'augmenter fortement ! Il faut assez souvent découper l'écosystème (ou plutôt l'écocomplexe) tourbeux en plusieurs unités fonctionnelles plus ou moins indépendantes (par exemple un haut-marais côtoyant un bas-marais, ou des bas-marais liés à deux cours d'eau parallèles et séparés) ; chaque unité fera l'objet d'un diagnostic, et éventuellement d'un plan d'actions particuliers. Enfin, dans chaque unité fonctionnelle, il faut le cas échéant s'intéresser de près à divers compartiments interdépendants mais de fonctionnement différent : acrotelme et catotelme, buttes et gouilles, tremblants et chenaux... Ces derniers constituent souvent les biotopes typiques de telle ou telle espèce animale ou végétale que l'on veut conserver au mieux. L'aspect dynamique de la tourbière, ainsi que la vitesse des évolutions, sont à intégrer de façon raisonnée car, surtout en montagne, ces écosystèmes évoluent de manière générale plutôt lentement (sauf événement catastrophique évident) : une tourbière bombée à sphaignes située à 1000 m d'altitude et en bon état n'a rien à voir de ce point de vue avec un marais eutrophe de vallée alluviale situé 100 m au-dessus du niveau de la mer. C'est sans doute pour cela que l'on assiste actuellement à diverses controverses, utiles, entre la gestion active automatique des habitats et la non-intervention absolue. La vérité est sans doute entre les deux et dépend, de plus, des sites considérés. Parfois, il paraît nécessaire d'attendre et d'observer sans rien faire, ce qui n'est peut-être pas valorisant pour les décideurs et financeurs, d'où la nécessité de justifier cette attitude. Enlever les arbres ou les buissons d'une tourbière brutalement n'est à l'inverse pas toujours très judicieux, et peut nuire à la préservation de tapis de sphaignes, qui meurent si elles se retrouvent soumises à une trop forte évapotranspiration.



Il faut ensuite se méfier de certaines évolutions apparentes et temporaires vers la dégradation, qui sont dues à une conjonction défavorable de divers facteurs. Ainsi, de 2003 à 2006 compris, les canicules et sécheresses ont contribué à la régression de certaines plantes vasculaires et bryophytes, mais une reprise de croissance importante a pu être observée dans de nombreux sites lors des années 2007 et 2008, plus fraîches et plus humides. Il faut donc évaluer les changements sur une série d'années représentatives avant de se précipiter sur telle ou telle action. On peut d'ailleurs rappeler que de telles fluctuations ont été notées dans les siècles passés par ceux qui ont analysé les indicateurs paléo-écologiques (grains de pollen, frustules de diatomées, macrorestes...) conservés dans les niveaux successifs de tourbe. Une certaine réversibilité des phénomènes est souvent possible.

Rappelons aussi que l'intérêt des tourbières ne se résume pas à leur biodiversité brute, c'est-à-dire au nombre d'espèces ou d'habitats présents sur le site. D'autres intérêts existent, et peuvent justifier de prendre des mesures de conservation de tourbières à faibles enjeux biologiques : fonctions hydrologiques locales, archivage paléo-écologique remarquable, potentiel de régénération, stockage d'importantes quantités de carbone... Dans certains cas, il vaut ainsi mieux ne pas modifier un écosystème ayant une biodiversité jugée faible, mais un bon fonctionnement hydrologique. Dans d'autres, la forte biodiversité peut indiquer des perturbations multiples et, en quelque sorte, « le drosera cache la tourbière », c'est-à-dire que l'on se focalise plus sur la présence de cette espèce protégée intéressante que sur l'état réel de la tourbière où elle vit.

Enfin un dernier aspect semble avoir émergé récemment : il s'agit de l'utilisation rationnelle des bons indicateurs, biologiques ou non, en fonction des problèmes à résoudre et de la précision demandée. Par exemple, certains groupes biologiques (bryophytes, algues unicellulaires et amibes à thèques) réagissent localement et rapidement, grâce à leur petite ou très petite taille, aux variations des paramètres de l'écosystème tourbière. Quand cela est possible techniquement, leur étude permet de faire un diagnostic précis de l'état du système, et parfois d'anticiper l'arrivée de perturbations auxquelles les végétaux vasculaires ou la faune vertébrée mettent plus de temps à réagir.

Pour conclure, il apparaît que la collectivité semble avoir pris la mesure de la complexité d'une tourbière. Une majorité de gestionnaires et de scientifiques ont désormais intégré le fait que, d'une part, on ne peut pas réduire une tourbière à une simple surface comportant ou non des plantes considérées comme "remarquables", et que d'autre part on ne peut pas étudier ou gérer une tourbière sans tenir compte du fait qu'elle n'est qu'une des composantes d'un système écologique plus vaste, au sein duquel les interactions sont nombreuses et dont la dynamique actuelle s'inscrit dans une histoire plurimillénaire. Cette prise de conscience de la complexité du réel, une idée chère à Edgar Morin, laisse espérer une évolution significative des modalités de gestion conservatoire des tourbières dans le sens d'une plus grande prudence dans les interventions sur le terrain et d'un développement des suivis scientifiques sur le moyen et le long termes.

Olivier MANNEVILLE

Ecologue, Maître de conférences, Université Joseph-Fourier, Grenoble, président du Conseil Scientifique du Pôle-relais Tourbières

Hervé CUBIZOLLE

Géographe, Professeur des Universités, Université Jean-Monnet, St-Etienne



Sommaire

> p.11 Introduction

> p.14 Chapitre 1 Comment gérer les milieux "naturels" ?

1. Introduction
2. La gestion conservatoire dans les relations homme/nature
 - 2.1. Influence de l'homme dans la création des milieux actuels
 - 2.2. Influence de l'homme sur le devenir des milieux
3. Approche de la gestion d'un site tourbeux
 - 3.1. Connaître le site
 - 3.2. Définition des modalités de gestion : la méthode PROMME
4. Pourquoi intervenir ? Choix de gestion dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57]
5. Bibliographie thématique

> p.36 Chapitre 2 Tourbières et climat

1. Les climats influencent les tourbières
 - 1.1. Le rôle du climat dans la répartition des tourbières
 - 1.2. L'influence du climat sur la répartition des différents types de tourbières
2. L'influence des tourbières sur le climat
 - 2.1. A l'échelle planétaire : les tourbières, de grandes accumulatrices de carbone...
 - 2.2. A l'échelle locale : les microclimats en tourbières
3. Quelle évolution pour le climat et les tourbières ?
 - 3.1. Un point sur le changement climatique
 - 3.2. Contribution des tourbières au changement climatique
 - 3.3. Conséquences du changement climatique sur les tourbières
 - 3.4. PEATWARM : un programme d'études des effets d'un réchauffement simulé sur le fonctionnement des tourbières
4. Bibliographie thématique

> p.52 Chapitre 3 Connaître l'hydrologie d'un site

1. Introduction
2. Rappels théoriques
 - 2.1. Typologies des tourbières
 - 2.2. L'hydrologie des tourbières
 - 2.3. Eléments sur la qualité de l'eau en tourbière
3. De quels éléments ai-je besoin pour aborder l'hydrologie d'une tourbière ?
 - 3.1. Phase descriptive
 - 3.2. Les mesures de terrain
 - 3.3. Eléments d'analyse et d'aide à la compréhension
4. Conclusion
5. Bibliographie thématique

> p.74 Chapitre 4 Tendre vers une restauration fonctionnelle des tourbières

1. Introduction
 - 1.1. Restauration ? Réhabilitation ? Régénération ? De quoi parle-t-on ?
 - 1.2. Comment intervenir ?
2. Le diagnostic fonctionnel
 - 2.1. Les outils de diagnostic utilisés par les gestionnaires
 - 2.2. La synthèse fonctionnelle
3. Les travaux de restauration fonctionnelle ou contributeurs à la régénération
 - 3.1. Les travaux de type barrage-seuils, comblement ou retenues d'eau
 - 3.2. La restauration du sol ayant pour objectif une relance de l'activité turfigène
4. Les enseignements à en tirer
5. Fiches d'expériences
6. Bibliographie thématique



> p.100 Chapitre 5 Faire pâturer les tourbières de montagne : pourquoi, comment ?

1. Introduction
2. Le gestionnaire et l'éleveur, vers un partenariat technique
 - 2.1. Des visions du pâturage radicalement différentes
 - 2.2. Un manque de références communes
3. Le pâturage en tourbière de montagne
 - 3.1. Les enjeux environnementaux
 - 3.2. Les enjeux agricoles
 - 3.3. Formuler des propositions crédibles
 - 3.4. Mise en place du pâturage conservatoire
 - 3.5. La conduite fine du troupeau dans l'espace et le temps
4. Quelques exemples de pâturage sur des tourbières de montagne
 - 4.1. Le Conservatoire Départemental des Sites Lozériens [48] (CDSL)
 - 4.2. La Communauté de communes de Frasné-Drugeon [25] (CFD)
 - 4.3. Le Pays basque français [64]
 - 4.4. Mesures Agro-Environnementales territorialisées : le CREN Rhône-Alpes et les Hautes Chaumes du Forez [42]
5. Conclusions
 - 5.1. La nécessité d'expérimentations en tourbières
 - 5.2. Des gestionnaires plus proches du monde agricole
 - 5.3. Vers une évolution des Mesures Agri-Environnementales
6. Bibliographie thématique

> p.128 Chapitre 6 Quelle place pour les arbres en tourbière ?

1. Introduction
2. Le boisement des tourbières : chance ou fatalité ?
 - 2.1. Modifications hydrologiques
 - 2.2. Un rôle de couvert protecteur
 - 2.3. Modification de l'histosol
 - 2.4. Impacts sur la géochimie de la zone humide
 - 2.5. Interception de la lumière
 - 2.6. Paysage
 - 2.7. Les tourbières boisées, des milieux et des espèces d'intérêt
3. Origine, signification et avenir du boisement
 - 3.1. La tourbière boisée, stade terminal ou phase transitoire ?
 - 3.2. Origine du boisement
 - 3.3. Avenir du boisement
4. Interventions sur des boisements tourbeux
 - 4.1. Pourquoi intervenir ?
 - 4.2. L'hydrologie, un levier d'intervention
 - 4.3. Techniques de déboisement
5. Bibliographie thématique



> **p.150 Chapitre 7**
**Zones humides et sports d'hiver :
prise en compte, impacts, solutions**

1. Introduction
2. Rappel historique : l'évolution des sports d'hiver
3. Des situations contrastées selon les massifs
 - 3.1. Alpes
 - 3.2. Pyrénées
 - 3.3. Massif central
 - 3.4. Jura
 - 3.5. Vosges
4. Impacts sur les zones humides
 - 4.1. Destruction directe d'habitats et/ou d'espèces
 - 4.2. Fragmentation des habitats
 - 4.3. Modification des sols
 - 4.4. Dérangement de la faune
 - 4.5. Modifications majeures des schémas de circulation des eaux
 - 4.6. Modification de la qualité des eaux d'alimentation
 - 4.7. Autres pollutions
 - 4.8. Perturbation des dynamiques sédimentaires
 - 4.9. Modification des communautés végétales
 - 4.10. Perturbations des dynamiques de population
5. Quelles solutions pour demain ?
 - 5.1. Prise en compte en amont
 - 5.2. Mise en place de solutions techniques alternatives
 - 5.3. Sensibilisation des pratiquants
6. Conclusion
7. Bibliographie thématique

> **p.170 Chapitre 8**
Vous avez dit "suivis" ?

1. Introduction
2. Les retours d'expérience de différents types de suivis
 - 2.1. Les suivis de type "surveillance"
 - 2.2. Les suivis de type "monitoring" avec évaluation
3. Les coûts
4. Conclusion
5. Bibliographie thématique

> **p.184 Conclusion**

> **p.186 Postface**

> **p.187 Table des sigles**

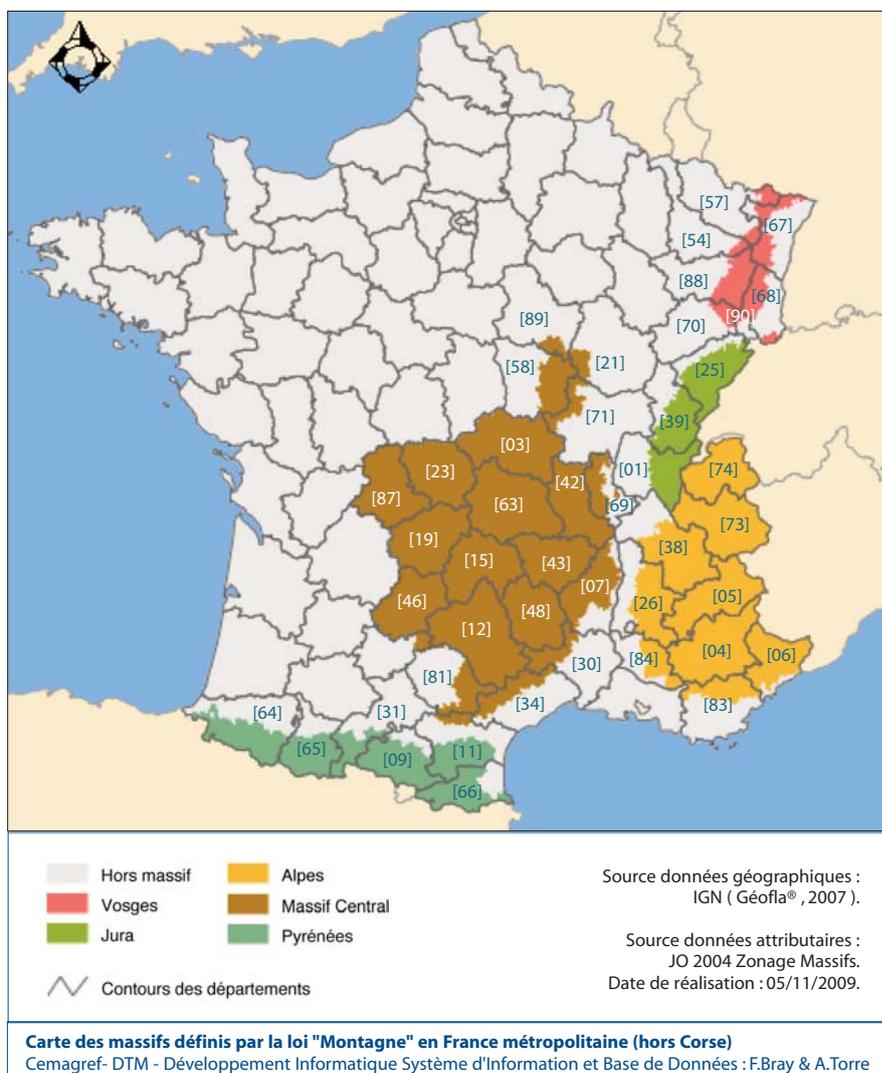




Tourbière du Peuil [38] / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

Introduction

La gestion conservatoire des tourbières de France (Dupieux, 1998) a été le premier ouvrage consacré par la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels aux tourbières et à leur gestion. Il est vrai que ces milieux uniques, aussi complexes que passionnants, figurent en bonne place parmi les sites gérés par le réseau (en 2009, 407 sites de tourbières et marais couvrant une superficie totale de 7518 ha). Cette référence technique a été suivie du *Guide de gestion [des] tourbières & marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale* (Crassous & Karas, 2007), centré comme son nom l'indique sur des concepts, pratiques et exemples spécifiques à ces tourbières basses, souvent négligées au profit des hauts-marais - qui représentent encore l'archétype de la tourbière dans l'esprit de bon nombre d'entre nous. Cet ouvrage vient poursuivre la série entamée il y a plus de dix ans déjà, en se focalisant sur un territoire que le premier défi a été de définir. En effet, si chacun croit connaître la notion de montagne, il est délicat d'en fournir une définition sur laquelle tous s'accordent. Guidés par leur domaine de compétence, le botaniste, le géographe, le législateur ne se pencheront pas sur les mêmes montagnes. De façon arbitraire, il a été décidé de prendre en compte dans cet ouvrage les massifs de France métropolitaine, hors Corse, délimités sur la base de la loi n°85-30 du 09 janvier 1985, dite « loi Montagne ». Cette vision de la montagne, qui n'est pas meilleure qu'une autre, présente cependant l'avantage d'être clairement définie (voir la carte ci-contre).





Marais du Bourget [05] / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Le lecteur retrouvera donc ici des exemples des Alpes, des Pyrénées, du Massif central, et des montagnes du Jura et des Vosges. Certains cas ont pu être recensés en-dehors de ces secteurs, en particulier chez nos voisins, dans le Jura ou les Alpes suisses, les Hautes Fagnes de Belgique et la Forêt-Noire. Après tout, ces massifs ne sont-ils pas des prolongements, ou pour la Forêt-Noire un « symétrique », de nos montagnes de France ? Dans le même esprit, certains éléments relatifs à des tourbières de plaine et/ou de pays où la littérature sur ces milieux s'avère plus abondante (Fennoscandie, Canada, Iles Britanniques) ont été rapportés à l'occasion, lorsque nous jugions leurs apports intéressants pour cet ouvrage. Nous estimons en effet qu'il aurait été dommage de se priver d'expériences originales, parfois inexistantes dans les montagnes de France, sur la seule base de découpages administratifs dont on sait le peu de poids en termes de milieux naturels. Pour plus de clarté, les sites mentionnés sont néanmoins localisés, le(s) numéro(s) de département(s) correspondant(s) étant indiqué(s) entre crochets.

La plupart des chapitres de cet ouvrage sont d'ailleurs transposables, pour tout ou partie, dans les tourbières de basse altitude ; nous espérons donc que les personnes en charge de leur gestion sauront avoir la curiosité suffisante pour dépasser un titre peut-être un peu réducteur, et venir parcourir ces pages.

Nous avons par ailleurs rapidement constaté que les « tourbières de montagne » ne constituent pas des milieux homogènes : des pelouses riveraines arctico-alpines à *Carex bicolor* des hautes altitudes aux tourbières bombées à sphaignes du Massif central, la diversité est grande. Elle déborde même par moments des définitions entendues pour le terme de tourbières, en particulier en haute montagne, où le critère souvent admis des 20 à 40 centimètres de tourbe n'est plus rempli. Mais est-il encore pertinent, dans de telles conditions de climat et de dynamique sédimentaire ? Nous avons jugé que non, et décidé de prendre en compte un peu plus que les tourbières *stricto sensu*, notamment pour les secteurs d'altitude. Ainsi le chapitre 7 constitue-t-il un état des lieux des interactions entre les zones humides de montagne et les sports d'hiver, la discrimination des tourbières nous ayant paru vaine dans ce contexte.

Nous remercions par avance le lecteur de bien vouloir se souvenir de ces éléments, et de les garder à l'esprit lorsqu'il parcourra cet ouvrage.

Pour revenir maintenant sur les aspects des tourbières de montagne abordés dans ce livre, il est évident que ce dernier ne prétend pas les traiter tous de façon monographique. Même en se limitant à la France métropolitaine, un tel travail - dont l'idée est au demeurant forte intéressante - demanderait bien plus de temps et de pages que ce projet ne pouvait lui en offrir.

L'objet du présent opus est d'apporter au gestionnaire, et plus largement à tous ceux qui s'intéressent au sujet, deux grands types d'informations.

Le premier concerne bien évidemment les retours d'expérience sur les plans de la connaissance et de la gestion des sites de montagne, avec tout ce qui fait leur spécificité : des conditions naturelles, des acteurs, des contextes socio-économiques particuliers. Outre des éléments explicitant ces aspects, des éléments techniques seront également développés à travers les chapitres. Ces derniers font partie des outils pouvant aussi s'avérer utiles en-dehors des zones de montagne telles que définies ici.

Précisons d'emblée que nous ne reviendrons pas sur les aspects restés inchangés depuis la sortie de l'ouvrage de référence de Dupieux (1998) ; ainsi le lecteur se reportera-t-il à celui-ci s'il souhaite trouver des conseils de réalisation de barrages-seuils ou de lutte contre les ligneux. Seuls les aspects ayant fortement évolué depuis ces douze années, ou des sujets qui n'étaient pas abordés alors, ont été sélectionnés pour cet ouvrage : les interrelations entre tourbières et climats, les nouveaux concepts liés au pâturage... Des cas particuliers de sites jugés représentatifs, ou au contraire présentant des particularités remarquables et potentiellement exemplaires, sont développés au fil des chapitres. Lorsque cela était possible, nous nous sommes aussi attachés à reprendre les sites apparaissant dans l'ouvrage de Dupieux, afin de permettre un retour sur les douze années de gestion qui séparent ces deux regards.

L'autre type d'informations constitue, du moins nous l'espérons, une des forces de ce projet : il s'agit d'une réflexion de fond sur ce que représente la gestion conservatoire des milieux tourbeux. En effet un certain nombre de postulats, de croyances, d'approches ont évolué récemment, et l'occasion était belle de faire ici écho à ces changements parfois profonds. Ainsi le premier chapitre, qui traite des choix de gestion fondamentaux, constitue-t-il un préalable indispensable à la lecture de cet ouvrage. Il a en effet pour ambition d'amener les gestionnaires à se poser quelques questions sur leur activité quotidienne, réflexions qui doivent aussi leur permettre de travailler plus efficacement, tout du moins à moyen terme. Nulle volonté moralisatrice de notre part, simplement un constat qu'une position d'observateurs privilégiés nous permet d'établir : contraints bien souvent de travailler dans l'urgence, certains gestionnaires entrent dans un processus presque mécanique qui risque de les induire en erreur. Un recul sur les enjeux et contraintes de leur métier, leur position dans les dynamiques naturelles, représente un « luxe nécessaire » que nous souhaitons les aider à aborder.

Pour en finir avec cette introduction, il faut encore que le lecteur sache que la rédaction de cet ouvrage n'a été possible que grâce à celles et ceux qui ont bien voulu donner un peu - et parfois beaucoup ! - de leur temps pour contribuer à cette vaste collecte d'avis, d'analyses, d'expériences, et globalement d'informations. Qu'ils en soient ici vivement remerciés.

D'autres, que nous n'aurons pas identifiés, ou qui n'auront pas trouvé ce temps précieux, auront des compléments, des visions différentes, de nouveaux exemples à nous apporter. Nous les invitons à nous contacter, car cet ouvrage n'est qu'un jalon sur la longue route de la connaissance et de la préservation des tourbières. Une page spéciale sera ainsi créée sur notre site Internet (<http://www.pole-tourbieres.org>), que nous alimenterons en compléments et autres nouveaux exemples qui n'auront pas pu figurer sur le papier de cet ouvrage.

Bonne lecture à toutes et tous !



Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières
Loïc Duchamp - SYCOPARC



CHAPITRE 1

Comment gérer les milieux "naturels" ?

- > **1. Introduction** **p.16**

- > **2. La gestion conservatoire dans les relations homme/nature** **p.17**
 - 2.1. *Influence de l'homme dans la création des milieux actuels* p.17
 - 2.2. *Influence de l'homme sur le devenir des milieux* p.18

- > **3. Approche de la gestion d'un site tourbeux** **p.19**
 - 3.1. *Connaître le site* p.19
 - 3.1.1. *Une approche pluridisciplinaire est nécessaire* p.19
 - 3.1.2. *Approche holistique* p.22
 - 3.1.3. *Approche à différentes échelles spatiales* p.22
 - 3.1.4. *Approche à différentes échelles temporelles* p.23
 - 3.2. *Définition des modalités de gestion : la méthode PROMME* p.25
 - 3.2.1. *Décisions* p.26
 - 3.2.2. *Explications des pièges* p.30

- > **4. Pourquoi intervenir ? Choix de gestion dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57]** **p.31**

- > **5. Bibliographie thématique** **p.35**

1. INTRODUCTION



Scientifiques et gestionnaires réfléchissent de concert sur la tourbière de Montbé [58] / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

Il est apparu important, au cours de la rédaction de cet ouvrage, de revenir sur l'idée même de gestion des milieux « naturels ». En effet notre cœur de métier, que l'habitude a pu rendre évident à nos yeux, ne va pas sans poser quelques questions, à divers degrés : certaines sont d'ordre pratique ou technique, d'autres, plus fondamentales, relèvent de la philosophie.

Ainsi, pour débiter ce chapitre, nous reviendrons brièvement sur les rapports unissant l'humain à la « nature » dans notre société ; en effet ce contexte pèse, parfois inconsciemment, sur les décisions des gestionnaires, et une prise de recul peut s'avérer intéressante et ouvrir de nouveaux horizons.

Par la suite, les aspects pratiques du processus de gestion seront développés, en énumérant les étapes successives qui - à nos yeux - devraient présider à sa mise en place. Ce cheminement (chrono)logique, à défaut d'être parfait ou toujours réalisable, constitue pour nous la meilleure méthode pour aboutir un processus cohérent, compris, accepté et évaluable... Mais l'efficacité n'est quant à elle pas garantie, tant il est vrai que le travail du gestionnaire est soumis à

nombre de paramètres extérieurs - écologiques, climatiques, financiers, politiques, etc. - qu'il ne maîtrise que peu ou pas.

Rappelons enfin que le propos n'est pas de fournir des recettes « clé en main » applicables de façon systématique. L'unicité de chaque site, de chaque contexte, de chaque gestionnaire ne le permettent pas. Néanmoins les pistes de réflexion présentées ici devraient permettre à chacun de se forger une opinion, et permettre d'éviter des erreurs parfois lourdes issues de choix trop rapides, partiels ou superficiels. L'important est que chacun, en mesurant le rôle qui lui est dévolu, puis en passant les éléments disponibles au crible des différentes contraintes qui s'imposent à lui - qu'elles soient humaines, budgétaires, législatives, sociétales, etc. - arrive au terme du processus au meilleur choix possible en accord avec la vision de la gestion qui est la sienne. Nous proposons ici aux gestionnaires une méthodologie qui nous semble prendre en compte l'ensemble des points essentiels. Qu'ils n'hésitent pas à nous faire part de leurs remarques sur le sujet !

2. LA GESTION CONSERVATOIRE DANS LES RELATIONS HOMME / NATURE

2.1. Influence de l'homme dans la création des milieux actuels

Avant de mettre en route une opération de préservation ou de restauration, il est intéressant de relativiser son rôle au sein des dynamiques naturelles.

En effet les espaces qu'ont en charge les gestionnaires n'ont, dans l'immense majorité des cas, de « naturels » que le nom. En France, plusieurs millénaires d'occupation humaine et d'aménagement du territoire plus ou moins intensifs ont façonné les paysages et les écosystèmes que nous connaissons.

Ainsi les paysages, habitats, et même espèces souvent pris comme référence de « bon état écologique » sont-ils très majoritairement issus de cette histoire, et tributaires d'activités agropastorales et d'itinéraires techniques traditionnels. Cet aspect est désormais relativement bien intégré, comme en témoignent différentes mesures de gestion - y compris contractuelles, dans le cadre de Natura 2000 par exemple - qui visent à pérenniser ou remettre en place des pratiques ancestrales sur les sites jugés intéressants.

Mais dans certains cas, la naissance même des tourbières est due, de façon indirecte, à l'action de l'homme sur son environnement, et en particulier sur les écoulements hydriques.

Dans le Massif central, l'université de St-Etienne a étudié ces milieux anthropogènes. Situés au cœur de l'étage agricole historique, à des altitudes comprises entre 665 m et 1200 m, ils apparaissent de taille très modeste (de quelques centaines à quelques milliers de m²). La végétation turfigène y est très peu abondante, ce qui indique la fin du processus d'accumulation de tourbe. *Sphagnum teres* est la seule sphaigne présente ; elle est accompagnée d'une hypnacée, *Aulacomnium palustre* et d'un jonc, *Juncus acutiflorus*. Quelques sites ne sont plus fonctionnels, comme celui des Amouillaux dans le Livradois [63], et présentent des végétations hygrophiles banales rendant nécessaire une caractérisation pédologique.

Une première typologie de ces milieux a été établie par Cubizolle (2004), qui distingue les

tourbières de barrage et les tourbières de bassin.

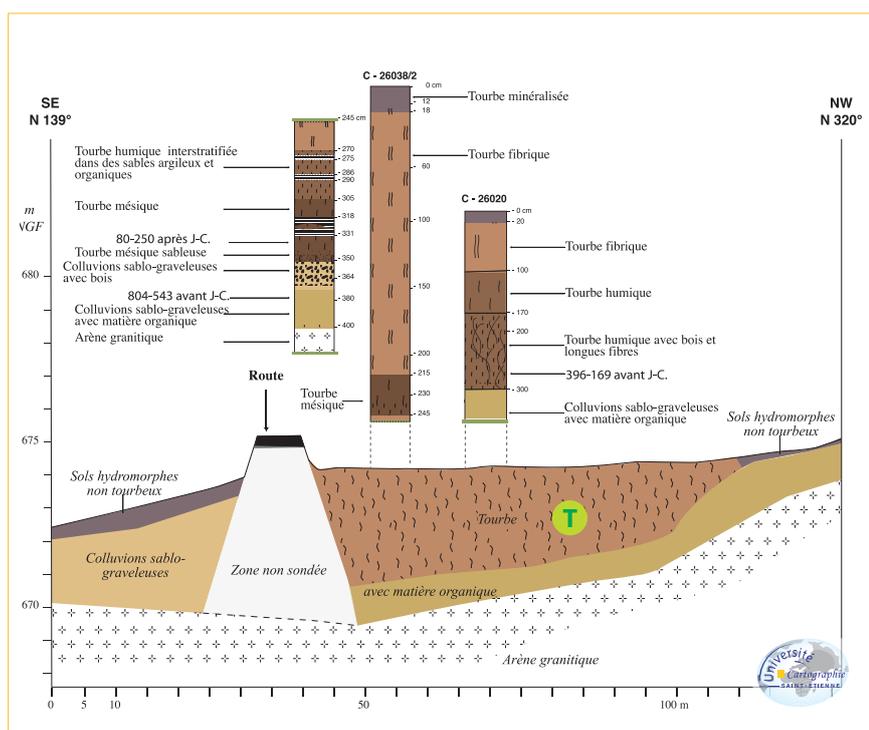
- Pour les premières, un ou plusieurs ouvrage(s) rectiligne(s) (barrage, levée de terre supportant un chemin) ont été érigés en tête de vallon. En gênant l'évacuation de l'eau vers l'aval, ils ont permis la mise en place d'un bilan hydrique positif, le développement d'une végétation turfigène et l'accumulation de tourbe. C'est le cas des tourbières de Sauvazoux et de la Plagnette [63].

- Le second type est lié à des bassins creusés par la main de l'homme au cours des temps historiques, d'utilisation plus ou moins connue, et qui ont ensuite été abandonnés et totalement ou partiellement comblés par de la tourbe. Dans le Massif central, les sites étudiés étaient les tourbières du Verdier et du Jas [63] ; mais on retrouve aussi de nombreuses tourbières de ce type dans le secteur des Mille Etangs [70]. Le même cas de figure se retrouve dans la Réserve Naturelle Nationale du Roc de Chère [74], où un ancien étang de pisciculture créé par les moines de l'abbaye de Talloires toute proche est aujourd'hui comblé par les sphaignes.

Le premier constat est donc que le gestionnaire est en charge d'un véritable patrimoine dans la genèse duquel la main de l'homme n'a que rarement été absente ou négligeable.



T zone tourbeuse



Tourbière du Verdier [42] : coupe schématique et vue depuis la digue aval / H. Cubizolle - Université de St-Etienne



Ancienne fosse de tourbage à Chaux-des-Prés [39] / P. Grosvernier

2.2. Influence de l'homme sur le devenir des milieux

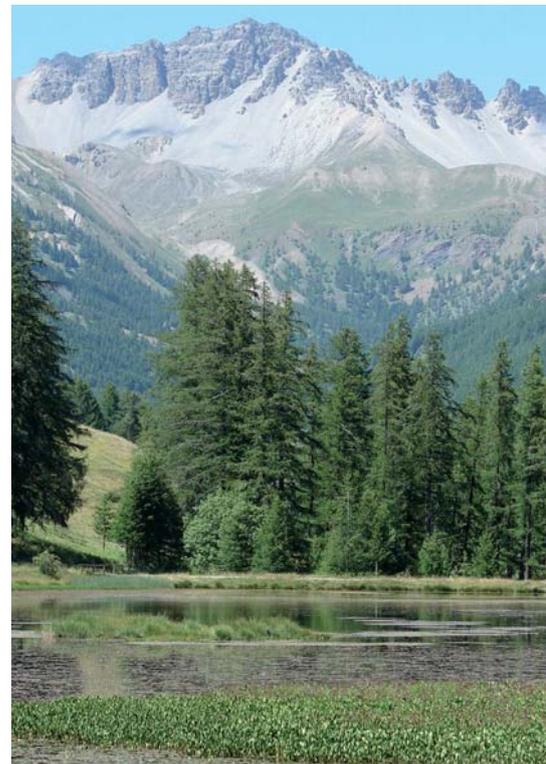
Barbault (2005) pose la question : « *Des écosystèmes ayant connu l'homme peuvent-ils s'en passer totalement ?* ». Comme souvent dans les métiers qui sont les nôtres, il n'est pas possible de proposer une seule réponse, nette, tranchée et définitive. Tout dépendra en premier lieu des sites considérés, chacun étant unique. Les convictions ou philosophies professionnelles des gestionnaires qui les ont en charge auront aussi leur importance : on ne rappellera jamais assez que « *gérer, c'est choisir* » ; et hormis certains cas (tourbières intactes, ou au contraire ayant subi une exploitation intensive mettant en péril de façon évidente l'écosystème), il faudra se décider, en connaissance de cause, pour une solution. Celle-ci ne sera pas parfaite, mais doit être assumée. Le gestionnaire devra ainsi pouvoir expliquer que maintenir un milieu ouvert pour favoriser des espèces héliophiles se fera au détriment d'autres taxons inféodés aux boisements tourbeux, ou que le respect de la dynamique naturelle de tel site amènera la disparition des zones de *Rhynchosporion*...

Il n'en reste pas moins que, dans l'imaginaire collectif, les milieux « naturels » restent des lieux privilégiés, connotés positivement à l'heure de la (supposée ?) mobilisation générale en faveur de la planète. Il n'est qu'à voir les nombreux dispositifs se réclamant de cette étiquette : les Conservatoires d'Espaces Naturels, Réserves Naturelles, Parcs Naturels Régionaux... se comptent par dizaines en France.

Sur ce sujet, et si ce n'est déjà fait, le lecteur gagnera à parcourir les réflexions sur les relations de l'Homme à son environnement proposées entre autres par William Cronon ou François Terrasson, ceci afin de resituer le cadre global de sa mission.

Les zones de montagne sont à ce titre exemplaires. Les paysages grandioses, les étendues perçues comme hostiles, les apparentes solitudes – fortement liés à la perception de la naturalité, la *wilderness* américaine, à rapprocher du courant romantique – ne sont vraisemblablement pas étrangers au fait que nombre des premiers secteurs préservés se trouvent en montagne.

Ainsi le premier Parc National a-t-il été instauré en Vanoise [73] le 6 juillet 1963, suivi des Pyrénées le 23 mars 1967 et des Cévennes le 2 septembre 1970. La première Réserve Naturelle terrestre n'est autre que celle du Lac Luitel [38], un site de lac-tourbière protégé depuis le 15 mars 1961 pour préserver le milieu et la flore. Enfin, sur les 43 Parcs Naturels Régionaux de France métropolitaine, 21 sont pour tout ou partie dans les zones définies par la loi « Montagne », sans compter les projets en cours (Ardennes, Pyrénées ariégeoises ou Aubrac par exemple).



Lac de Roue [05] : paysage grandiose et main de l'homme
On aperçoit la digue aval fermant le plan d'eau.
P. Bonnel - Holocène

Les « gestionnaires » jouent donc un rôle spécifique, à l'interface de la société et des phénomènes naturels, avec la lourde charge de les faire vivre ensemble autant que faire se peut. Cette position atypique, à la lisière de deux mondes souvent (rendus) contradictoires, peut s'avérer inconfortable en termes éthiques. La suite du chapitre vise à apporter les outils nécessaires pour optimiser cette conciliation.

3. APPROCHE DE LA GESTION D'UN SITE TOURBEUX

3.1. Connaître le site

Il s'agit d'un préalable indispensable, qui peut apparaître évident. Mais il est clair qu'en l'absence de bases solides, il sera difficile, voire inconsideré, d'engager plus avant les actions de gestion ou restauration d'un site, et notamment les interventions lourdes. En effet, en admettant qu'il parvienne à éviter des dégradations plus importantes à l'écosystème, le gestionnaire risque alors de se trouver réduit à traiter les symptômes du problème, et non ses causes. Il parviendra au mieux à maintenir l'état existant en attendant de pouvoir définir une véri-

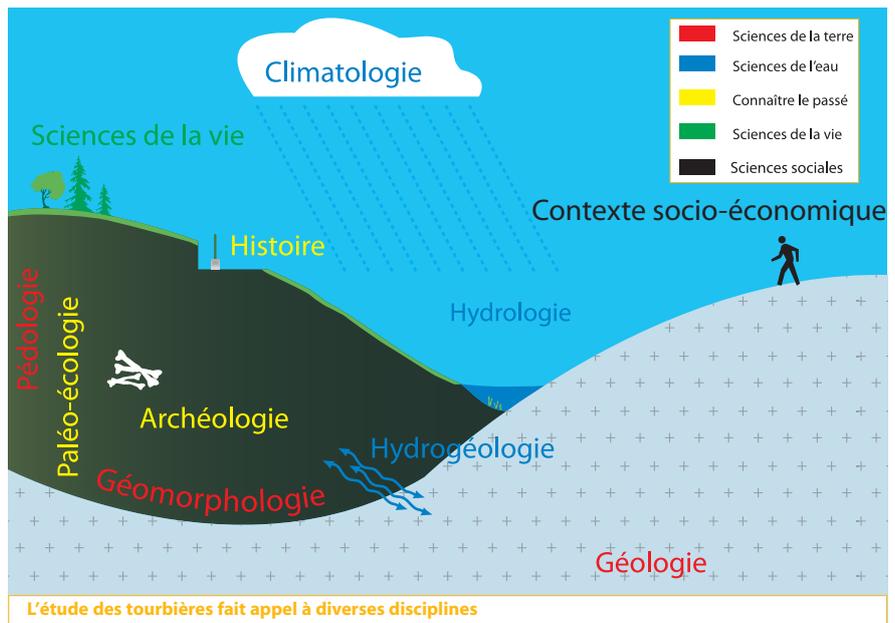
table stratégie de gestion ; cette démarche peut être valable, à condition d'être conscient de la portée de son action, de ses limites, et de ne pas la percevoir ni la présenter comme autre.

La gestion conservatoire des milieux, et en particulier des tourbières, demande des acquisitions de données dans des domaines et à des échelles très variables. Nous allons revenir ici sur les points à ne pas perdre de vue, même s'il est certain qu'en pratique tout ne pourra pas être exploré ou exploité, et moins encore de façon immédiate ; mais la première étape

du gestionnaire reste bien de rassembler dès que possible un maximum d'informations sur la/les tourbière(s) qu'il a en gestion. A ce titre, toute information est bonne à prendre, et aucune source ne saurait être négligée. L'objectif est de réaliser un état des lieux et d'identifier les manques. En hiérarchisant ces derniers, il pourra, en fonction également des opportunités (arrivée de compétences, programmes de recherche, financements disponibles...), lancer des campagnes visant à acquérir et interpréter les données nécessaires à une meilleure gestion du site.

3.1.1. Une approche pluridisciplinaire est nécessaire

Pour les tourbières plus encore que pour les autres écosystèmes, les sources d'informations potentiellement intéressantes sont extrêmement diversifiées. Le passé du site revêtant une importance particulière, des disciplines peu habituelles pour les naturalistes, comme la pédologie, la palynologie ou l'antracologie, pourront apporter des informations importantes au gestionnaire, en sus de celles plus habituelles, issues du domaine naturaliste ou liées aux sciences humaines. Or, pour ces domaines spécialisés, l'acquisition de données peut requérir des compétences et/ou du matériel spécifiques et difficilement disponibles. Les grands domaines à étudier sont résumés dans le schéma ci-contre, puis les points essentiels sont abordés ci-après.



Sciences de la terre : le contexte géologique du site est souvent connu dans les grandes lignes (carte géologique, éléments majeurs comme les pertes dans les secteurs calcaires, comme par exemple pour les tourbières de Fort-du-Plasne [39] ou du Peuil [38]) ; des informations complémentaires sur les roches ou entrées/sorties d'eau peuvent être décelées lors des études hydrologiques (voir chapitre 3). La pédologie et la géomorphologie permettent de comprendre la mise en place et l'évolution de la tourbière.

Sciences de la vie : il s'agit souvent d'un des « cœurs de métier » des ges-

tionnaires ; mais les connaissances ne sont souvent concentrées que sur certains groupes « traditionnels » (flore vasculaire, oiseaux, rhopalocères, odonates). Il faut bien garder à l'esprit que la biodiversité tant vantée comprend l'ensemble des taxons, y compris tous les groupes laissés de côté. D'ailleurs ces derniers comportent aussi des espèces rares/protégées/patrimoniales, ou même des espèces « clés de voûte », comme c'est le cas des sphaignes pour les hauts-marais. Enfin certains groupes, comme les communautés microbiennes des sphaignes, semblent constituer des indicateurs réactifs vis-à-

vis du fonctionnement de la tourbière, comme l'a présenté Daniel Gilbert (Université de Franche-Comté) lors du colloque de Pau, en juin 2009, consacré aux tourbières des Pyrénées.

La gestion et le suivi de la tourbière devront donc se faire en gardant à l'esprit ces lacunes dans la connaissance, et le fait que des secteurs jugés inintéressants peuvent s'avérer précieux si on les prospecte plus finement. La prudence et le principe de précaution doivent donc présider à la rédaction de ces documents, et le gestionnaire doit aussi pouvoir s'adapter si l'évolution des connaissances le requiert.

Ainsi, lorsque sur la tourbière de l'Herrétang [38], AVENIR (conservatoire départemental de l'Isère) a pu bénéficier entre 2000 et 2001 d'un inventaire mycologique, celui-ci a été riche d'enseignements. 238 espèces de champignons ont été recensées, dont près de 30% considérées comme rares ou d'intérêt patrimonial ; parmi elles, le Mycène de Kauffman (Hydropus kauffmanii) est une espèce décrite dans les forêts humides du nord-est des Etats-Unis, non revue depuis 1947 et signalée pour la première fois en Europe.

Près de la moitié des espèces recensées - dont les rares - se concentrent dans les massifs de vieux saules en boule, alors que les milieux ouverts n'offrent que peu d'intérêt pour les champignons. Ces apports ont conduit le gestionnaire à modifier son plan de gestion : le broyage prévu des saulaies abritant ces champignons, motivé par leur faible intérêt biologique a priori, n'a donc pas eu lieu.

Une des limites évidentes de cette amélioration de la connaissance est la difficulté à accéder aux connaissances requises pour étudier l'ensemble des taxons. En interne, les charges de travail ne permettent pas forcément l'acquisition de nouvelles compétences exigeantes ; d'autant que, on l'a vu, les disciplines sont variées, et requièrent parfois des matériels spécifiques et coûteux. L'offre de formation n'est pas non plus toujours suffisamment étoffée.

En externe, le recours à des experts n'est pas toujours aisé, entre le coût parfois difficile à intégrer dans un budget et le nombre réduits de spécialistes (en particuliers francophones) dans ces disciplines marginales.

Hydrologie : il s'agit d'un facteur crucial pour les écosystèmes tourbeux, les connaissances sur l'origine, la quantité, la qualité et les circulations de l'eau au sein du

site constituant des préalables incontournables pour la majorité des actions de gestion et, à plus forte raison, de restauration. Même si ces études sont complexes, longues et parfois coûteuses, leur prise en compte est déterminante en permettant de rationaliser les travaux (secteurs avec de réels enjeux, suivis de l'efficacité), et parfois d'éviter des dégâts importants aux milieux (inondation de secteurs acides avec de l'eau alcaline, ou de milieux oligotrophes avec des eaux riches en nutriments).

La démarche de connaissance hydrologique d'une tourbière est abordée dans le chapitre 3 ; quant à la restauration fonctionnelle des milieux tourbeux, elle est détaillée dans le chapitre 4.

Climatologie : l'élément peut s'avérer important, en particulier pour les tourbières bombées, où les précipitations

représentent la seule source d'alimentation en eau. Les connaissances sont donc à même d'influer sur des décisions de gestion. Ainsi dans certains sites, et particulièrement en limite d'aire de répartition des tourbières bombées, un couvert arboré permettrait de maintenir un microclimat favorable aux sphaignes. Si les données d'ensoleillement, de vents et de précipitations montrent que le climat local n'est pas favorable à la dynamique des sphaignes, le gestionnaire saura alors qu'il a intérêt à conserver les boisements afin de préserver ces bryophytes (voir chapitre 6).

Le lecteur trouvera aussi des éléments relatifs aux modalités et coûts d'équipement des sites en instruments météorologiques sur notre site Internet : www.pole-tourbieres.org.



Belvédère aménagé au-dessus du site de Cerin [01]
F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Contexte socio-économique : le gestionnaire intervient sur des sites qui font partie intégrante de l'environnement des locaux. Il est donc difficile, et fortement déconseillé, d'en faire abstraction.

Il ne faut pas négliger l'aspect communication envers les riverains d'une part, et les décideurs de l'autre. Différentes étapes peuvent se succéder : appréhender leurs perceptions et attentes, informer, sensibiliser, convaincre, et enfin - idéalement - faire s'approprier le site et la démarche.

Les interventions et supports varieront selon le public (âge, origine, catégories professionnelles...), les territoires et les éventuels précédents, qui dessinent des situations initiales contrastées. Ainsi les tourbières sont-elles depuis longtemps, et aujourd'hui encore, (re)connues dans la vallée du Drugeon [25] ; cet état de fait est à mettre en relation avec leur superficie importante dans la vallée, leur utilisation continue (extraction de tourbe, cueillette des myrtilles, grenouilles...), la reconnaissance ancienne de leur richesse naturelle (demande de classement en Réserve Naturelle Volontaire par le conseil municipal en 1984), et sa valorisation par la Communauté de Communes de Frasné-Drugeon (création de sentiers de découverte, expositions, fête de la tourbe, etc.). Mais, sur de nombreux sites, ces milieux restent méconnus et/ou mal aimés, avec une réputation tenace de lieux malsains, générateurs de

brouillards, de miasmes ou repaires de rats...

Une transparence et un volet pédagogique poussés s'avèrent alors nécessaires pour éviter d'abord que les habitants aient l'impression d'être dépossédés d'une partie de leur territoire, ce qui engendre inmanquablement des réactions d'indifférence ou d'hostilité, et pour qu'ils puissent ensuite appréhender les enjeux de la gestion, et si possible se les approprier, ce qui constitue un point important pour le succès de la démarche à long terme (démarches facilitées, soutiens populaires, comportements individuels adaptés).

Dans un registre un peu différent, l'appui des décideurs (élus locaux, partenaires financiers) est évidemment vital, puisqu'ils interviennent dans les procédures et financent les gestionnaires. Les sujets à aborder sont souvent autres que ceux touchant le « grand public » ; l'un des plus courants est évidemment la justifi-

cation du coût, en particulier pour des études préliminaires : le sentiment général est souvent qu'il y a eu suffisamment d'études, et qu'il convient de passer à l'action ; ce qui peut se révéler problématique dans le cas de manques d'informations importants et nécessitant des campagnes coûteuses (volet hydrologique avant une restauration par exemple), ou encore pour la mise en place de suivis à long terme (voir chapitre 8).

Les différences entre les échelles de temps des programmes d'action et des écosystèmes sont aussi souvent pointées du doigt. Pour une tourbière, les dynamiques s'étalent sur des centaines ou milliers d'années, alors que pour les gestionnaires (et ceux à qui ils doivent rendre des comptes), les plans de gestion et autres documents sont bâtis sur 5 ou 10 ans. Et il est difficile de justifier des travaux en disant que le résultat sera perceptible dans 10 siècles ! La

meilleure définition et la mise en avant d'indicateurs sur les modifications fonctionnelles des milieux tourbeux pourrait contribuer à améliorer cette situation, en montrant que le milieu est sur la voie d'une réhabilitation effective, même si les résultats plus visibles se font attendre ; en parallèle, un effort de sensibilisation auprès des décideurs et financeurs serait nécessaire pour qu'ils prennent en compte cette réalité et adaptent leurs demandes, attentes et indicateurs de suivi des programmes. Mais là encore, cette démarche prendra un temps certain.

Pour d'autres, en particuliers les élus locaux, les zonages de protection sont assimilés à une perte de contrôle d'une fraction de territoire, même dans le cas de dispositifs contractuels comme Natura 2000. Une présentation pédagogique est alors bienvenue, avec pourquoi pas des prises de contacts avec d'autres élus déjà engagés dans la démarche.



Fête de la tourbe à Frasne [25] / J.C. Ragué



A la découverte du marais du Cônois [21] / S. Caspari

3.1.2. Approche holistique

Il est utile de rappeler que l'écosystème est un tout, et que l'ensemble des compartiments, souvent étudiés de façon sectorielle, sont interconnectés par un ensemble de relations complexes, avec qui plus est des systèmes de rétroactions parfois mal connus. L'approche du gestionnaire doit donc être empreinte de prudence et de modestie, avec un éventail de connaissances aussi complet que possible, mais aussi une conscience des manques en la matière. Enfin, comme le rappellent Goubet & al. (2004), « toute stratégie de préservation d'espaces naturels doit s'appuyer sur

une meilleure connaissance scientifique de l'écosystème dans son intégrité. Il est donc particulièrement crucial pour le gestionnaire de disposer d'outil théorique synthétique proposant un modèle fonctionnel. En écologie, peut-être plus qu'ailleurs, les considérations théoriques ont des répercussions immédiates sur les stratégies de préservation et les actions de gestion. » Il est donc important de rapprocher les données acquises dans les divers champs énoncés précédemment des modèles théoriques appropriés. En effet des données sur les modes de fonctionnement du site à diverses échelles spatiales (depuis la dynamique

des buttes et tapis de sphaignes jusqu'à la connectivité avec les autres sites tourbeux de la vallée ou du massif) et temporelles (suivi diachronique des effets d'un rebouchage de drain ou de la remise en place du processus d'accumulation de tourbe et/ou de carbone) sont autant d'aides précieuses dans la définition des choix de gestion et leur évaluation.

Pour ce faire, la collaboration avec des spécialistes, sous quelque forme que ce soit (convention, contrat, etc.) pourra s'avérer nécessaire, et les coûts éventuels devraient être intégrés à l'amont des opérations de gestion.

3.1.3. Approche à différentes échelles spatiales

Le corollaire de cette nécessaire approche holistique est le fait que les études devront se faire, selon les compartiments étudiés, à des échelles différentes : tourbière *stricto sensu* (cartographie des habitats), bassin versant (hydrologie),

département (espèces protégées), bassin de vie (études sociologiques)...

Ces grandes variations des territoires d'études, ainsi que leurs délimitations parfois malaisées ou discontinues,

induisent bon nombre de difficultés. L'importance du bassin versant et de son approche sur le plan hydrologique est détaillée dans le chapitre chapitre 3.

3.1.4. Approche à différentes échelles temporelles

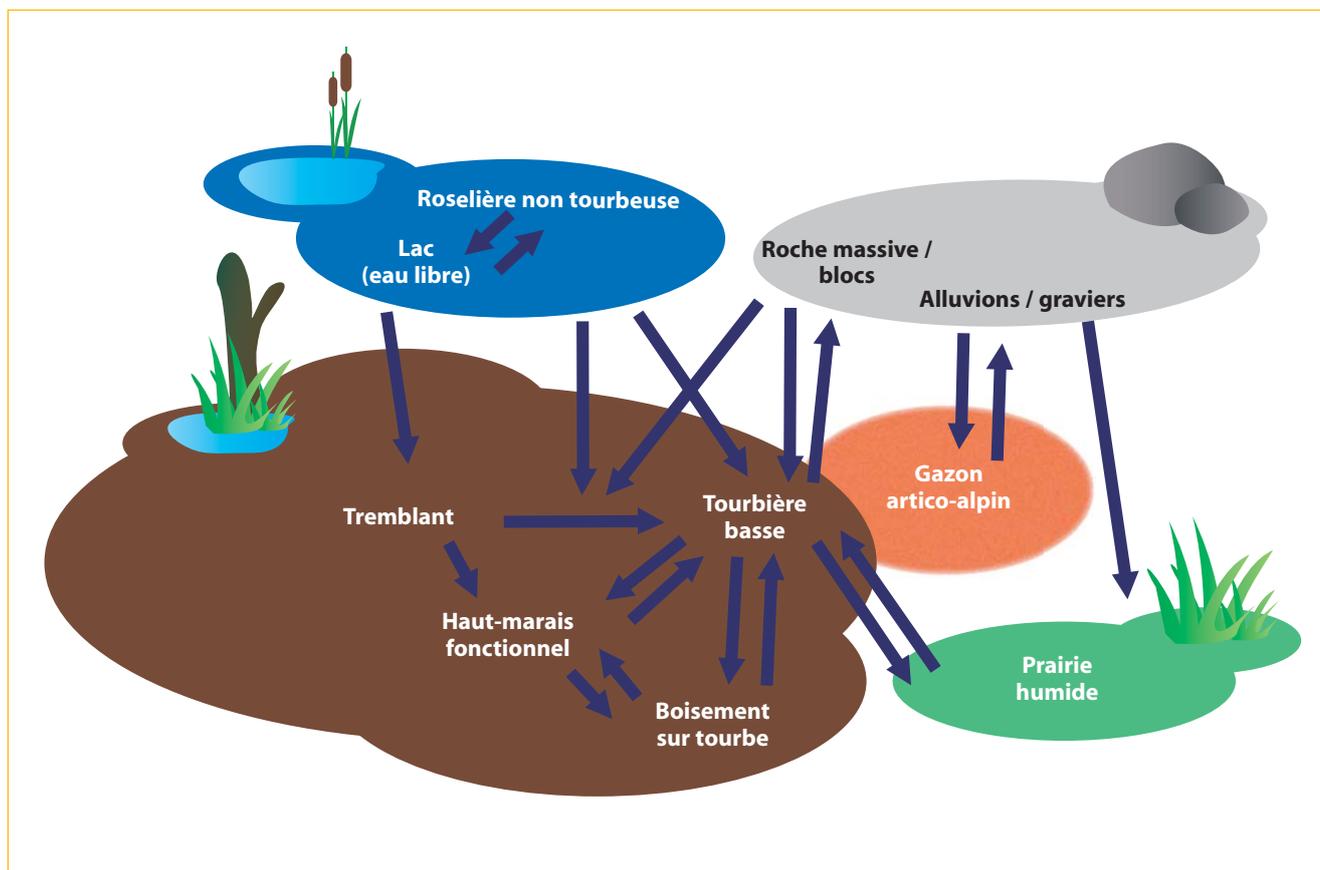
Différentes disciplines - paléosciences, pédologie, archéologie, histoire..., qui se distinguent notamment par les époques investiguées et les techniques utilisées, permettent de connaître le passé d'un site : mise en place, changements de faciès (passage d'un bas-marais à un haut-marais par exemple), arrêts et reprises de la turfigénèse, phases de boisement, drainages anciens, modification de l'environnement, occupation humaine, perturbations violentes...

Ce recul sur la vie de la tourbière permet

d'appréhender différents éléments pouvant s'avérer utiles au gestionnaire, comme la résilience de l'écosystème - notamment face à des phénomènes comme l'incendie, le pâturage ou le boisement du milieu. Il peut aussi permettre de le situer dans les grands modèles théoriques d'évolution des milieux et, sous réserve d'éléments complémentaires suffisants (connaissances scientifiques, prise en compte des éventuelles perturbations...), aider à mieux comprendre le fonctionnement actuel et anticiper les modifications à venir.

A noter toutefois que les tourbières ne suivent pas forcément un processus évolutif linéaire, mais peuvent très bien alterner entre différents états (cycles), subir des changements de trajectoire dynamique brutaux...

Ce passé du site, une fois connu, peut enfin constituer un atout valorisable auprès du public, permettant un retour sur les évolutions du secteur aux temps géologiques et/ou historiques.



Quelques exemples de trajectoires dynamiques impliquant des milieux tourbeux

Les flèches correspondent à des évolutions (n'ont pas été représentées les scénarii « catastrophiques » - par exemple l'enneigement qui ramènerait tout milieu à un lac).
 En bleu les milieux aquatiques, en marron les milieux tourbeux et associés, en gris les éléments minéraux purs.

L'exploitation de la tourbe, mise en place de façon plus ou moins intensive et durable sur de nombreuses tourbières de montagne, explique souvent pour les secteurs concernés la (micro)topographie, et indirectement la répartition des différents habitats et espèces...

Un exemple a été présenté lors du colloque international « Tourbe & tourbières » en 2007 à Lamoura [39]. Max André (Société Botanique de Franche-Comté) y rapporte ainsi que sur la Grande Tourbière de Pontarlier [25] « nous pouvons faire le constat que la très grande majorité des plantes patrimoniales présentes encore sur la tourbière occupe actuellement des secteurs ayant fait l'objet d'une extraction familiale ancienne de la tourbe. »

L'exploitation traditionnelle de la tourbe, dans un contexte hydrologique et climatique favorable, a généré durant plusieurs siècles des perturbations très importantes des formations végétales originelles, dont certaines peuvent être considérées comme positives au regard de la biodiversité :

- diversification des habitats tourbeux de transition, de grande valeur patrimoniale (cicatrisation des fosses d'exploitation) ;
- rajeunissement des tourbières sénescentes
- maintien de certains taxons lié à l'exploitation elle-même (*Sedum villosum*, *Minuartia stricta*).

Mais ce gain de biodiversité n'a certainement été possible que par l'importance du site tourbeux et les connexions possibles avec le réseau important des tourbières du bassin du Dugeon et, une fois encore, dans un contexte hydrologique et climatique favorable.

Et si le passé anthropique de ce site induit des effets considérés comme « positifs » sur le plan de la biodiversité, il ne faut pas perdre de vue que des pertes ont eu lieu en parallèle au niveau des milieux en place avant le début de l'exploitation : destruction de la végétation, des ensembles fonctionnels, des archives paléo-environnementales. De plus, le réseau de drainage existe toujours, et l'on peut supposer qu'il induit encore aujourd'hui de nombreux effets négatifs. Ainsi, si les actions de l'homme peuvent favoriser la biodiversité locale en perturbant les milieux, elles tendent à faire diminuer la biodiversité générale.



Secteur anciennement exploité sur la tourbière des Ponts-de-Martel (Suisse) / F. Muller - Pôle-relais Tourbières



Secteur anciennement exploité, puis remis en eau et planté en linaigrettes par le CREN Franche-Comté - tourbière de Frambouhans [25] P. Grosvernier

3.2. Définition des modalités de gestion : la méthode PROMME

Au vu des éléments acquis précédemment, le gestionnaire va ensuite être amené à définir la gestion du site. Une approche méthodologique structurée permet d'optimiser les chances de réussite, et en tout état de cause d'éviter de laisser de côté des éléments essentiels dans la définition de ces choix de gestion. C'est l'objet de la méthode PROMME, pré-

sentée ici, et développée dans le cadre d'un programme européen LIFE « *Dissemination of ecological knowledge and practical experiences for sound planning and management in raised bogs and sea dunes* ». Se basant sur les expériences de 130 gestionnaires et scientifiques de 13 pays européens, elle vise à optimiser les mesures de conservation et de restaura-

tion des écosystèmes. Elle propose à cette fin une liste des étapes à suivre, indiquant aussi les principaux « pièges ».

Nous reprenons ici le tableau synthétique avec ces 6 phases, et en regard les écueils majeurs à éviter ; cette trame est explicitée et éventuellement complétée par la suite du paragraphe.

ÉTAPE	DÉCISION (voir aussi pages suivantes)	PIÈGES (voir aussi pages suivantes)
Problem: <i>Problème</i> 	Description du problème en termes de changements de la flore, de la faune ou des conditions abiotiques sur certains secteurs, et conséquences de ces changements pour l'écosystème dans son ensemble.	1 - Situation de référence insuffisamment connue. 2 - Plusieurs situations de références mélangées. 3 - Des aspects importants facilement négligés ; changements notés pour seulement une partie des espèces caractéristiques.
Reason: <i>Raison</i> 	Identification des processus biologiques, hydrologiques, chimiques et physiques qui conduisent aux changements observés.	4 - Des processus-clés aisément négligés, et donc d'autres processus surévalués. 5 - Caractéristiques spécifiques du site non prises en compte ; les effets des processus-clés généraux dépendent des caractéristiques du site. 6 - Des recherches essentielles n'ont pas été effectuées. 7 - Les causes et effets des processus-clés perturbés s'étendent au-delà de la zone de la problématique.
Objective: <i>Objectif</i> 	Formulation d'un objectif de restauration, basé sur les possibilités actuelles et futures d'inverser les processus-clés qui ont abouti à la dégradation de l'écosystème.	8 - Limites actuelles et futures, objectif et récupération escomptée non correctement définis, excluant des parties importantes de l'écosystème ou des groupes d'espèces (mécanisme, degré, échelle, période, modèle, espèces).
Measures: <i>Mesures</i> 	Sélection de la combinaison optimale de mesures de restauration afin de restaurer l'écosystème selon l'objectif défini.	9 - Effets secondaires temporaires et/ou permanents pas ou mal pris en compte (déclin d'espèces non ciblées, perturbation du fonctionnement de l'écosystème). 10 - Combinaison, échelle, intensité ou période des mesures non ajustées aux caractéristiques du site ou aux espèces présentes.
Monitoring: <i>Suivis</i> 	Choix de paramètres (a)biotiques indiquant si l'écosystème a récupéré ou non, et choix de la fréquence et de la période du suivi ; début du suivi.	11 - Les paramètres n'indiquent pas le succès (ou l'échec) de la restauration. 12 - Situation initiale non étudiée. 13 - Période de suivi trop courte. 14 - Résultats non (immédiatement) utilisés pour rétroaction.
Execution: <i>Exécution</i> 	Application effective des mesures de restauration, suivi simultané et rétroaction.	15 - Exécutants inexpérimentés. 16 - Situations imprévues.

Restauration : parlons-en !

Les définitions suivantes avaient été proposées en préambule du colloque international de Lamoura (2007).

Réhabilitation : remise en état d'un terrain après son exploitation.

Restauration : opération visant à remettre dans un état proche de son état d'origine un écosystème terrestre ou aquatique altéré ou détruit généralement par l'action de l'homme. De l'avis général, une véritable restauration est extrêmement difficile, voire impossible. Le plus souvent, la remise en route de la turfigénèse aboutira à la mise en place d'une nouvelle tourbière, qui peut être extrêmement intéressante mais se superposera à l'ancienne sans en avoir l'ensemble des caractéristiques.

Réaffectation : dans certains cas, on ne peut ou ne veut concevoir l'avenir de la tourbière dans le sens d'une reprise de la formation de tourbe. Le choix peut alors être fait de viser un tout autre usage pour le site, par exemple :

- l'enneigement : création de plan d'eau pouvant présenter un intérêt ornithologique, mais constituant un écosystème moins original ;
- la création de prairies humides, parfois d'un intérêt botanique marqué - par exemple en Bavière (Allemagne) ,
- l'évolution vers des boisements (aulnaies ou autres) : voir chapitre 6.

Renaturation : terme issu de l'anglais, employé d'abord en biochimie pour désigner le retour à l'état d'origine d'une protéine, d'une molécule qui a été dénaturée. (Grand dictionnaire terminologique, Office québécois de la langue française).



La tourbière de Pédestarrès [64], anciennement exploitée, a été remise en eau de façon hâtive; le résultat de l'opération est incertain / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

3.2.1. Décisions

Problème

Un problème est défini au mieux comme le déclin d'espèces caractéristiques appartenant à la situation originelle. Cela inclut des situations où seule une partie de ces espèces décline, ou où un groupe en déclin est bien plus grand qu'un groupe

stable/en augmentation. Parfois une diminution attendue n'a pas encore eu lieu, ou il y a seulement un changement dans l'abondance relative entre les différentes espèces caractéristiques. Par exemple, un grand fossé de drainage a

été creusé dans une tourbière bombée intacte. La composition spécifique n'a pas encore changé, ou *Sphagnum magellanicum* est remplacé par des espèces plus tolérantes à la sécheresse comme *S. rubellum* ou *S. fuscum*.

Raison

Une compréhension approfondie des processus sous-tendant la diversité spécifique est essentielle à toute gestion active de la nature, et particulièrement à la restauration des écosystèmes. Mais quand cette compréhension est-elle suffisante ? Le système d'aide à la décision en ligne (<http://www.barger.science.ru.nl/life>, en anglais) aide à répondre à cette question pour les tourbières bombées (et les dunes). En général, il est préférable de ne pas agir, ou d'agir seulement localement - par le biais d'expérimentations - si vous sentez que vous ne maîtrisez pas suffisamment le problème. Consultez une équipe pluridisciplinaire de gestionnaires et scientifiques expérimentés.

Les problèmes peuvent être attribués à diverses causes dans les tourbières bombées :

- le drainage dans/autour de la tourbière ;
- l'extraction de tourbe : à petite échelle (exploitation artisanale), à grande échelle, dans les zones environnantes (avec influence sur l'hydrologie de la tourbière) ;
- le boisement ;

- l'agriculture, et particulièrement la mise en culture des secteurs environnants ;
- les constructions ;
- le feu ;
- le piétinement dû aux activités de loisirs ;
- le dépôt d'azote atmosphérique ;
- l'acidification ;
- une arrivée d'eau ;
- l'enneigement.

Des recherches peuvent s'avérer nécessaires pour trouver la ou les causes du problème. Mais que peut-on décider, suite à une simple visite de

terrain et à la connaissance disponible, sans recherche spécifique ? Il faut dans tous les cas une approche interdisciplinaire. Les experts de plusieurs disciplines peuvent s'entendre sur les raisons de la dégradation d'un site grâce à une visite et à l'information fournie. Si la situation est plus complexe et si trop peu d'information est disponible, des données complémentaires devront être recueillies (si le problème est clair, la recherche n'est pas nécessaire pour l'identifier, mais la récolte d'information supplémentaire peut l'être pour bien choisir l'objectif et les mesures).



Ce vaste fossé sur le site de Pédestarrès [64] est une raison facilement identifiable de la modification du milieu / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Objectif

La formulation d'un objectif de restauration comprend plusieurs étapes. Après la définition d'une situation de référence, les facteurs limitant l'étendue d'une possible restauration doivent être étudiés, comme les dépôts d'origine atmosphérique, le changement climatique global, ou des changements locaux. La seconde phase est la description du processus de restauration attendu. Quand, comment et dans quelle mesure les processus-clés, les conditions du site et la composition spécifique seront-ils restaurés ? Qu'en est-il des interactions avec d'autres zones ? Y a-t-il des effets secondaires ? Parfois ces attentes ne peuvent être établies qu'après le choix des mesures de restauration. Décrire les résultats attendus de manière aussi détaillée permet un suivi et une rétroaction efficaces.

Durant les ateliers mis en place pendant l'instauration de la démarche, il est apparu nettement qu'un objectif clair est un pas essentiel dans tout projet de conservation et de restauration. Si l'objectif n'est pas clair, la mesure elle-même peut devenir l'objectif, alors que ce ne devrait jamais être le cas. Trop souvent, aucun objectif clair n'ayant été défini, l'évaluation des mesures prises est impossible.

Les buts de conservation et de restauration de tourbières actives ou dégradées susceptibles de régénération naturelle incluent :

- la conservation et la restauration des structures majeures des tourbières bombées (centre et marges du bombement, marais de ceinture) ;
- le maintien ou le retour d'une microtopographie marquée (buttes, gouilles, replats) ;
- le maintien ou le retour de microtopes (zonage autour des eaux de surface par exemple) ;
- le maintien ou le retour d'une végétation turfigène (spécialement certaines espèces de *Sphagnum*) permettant d'espérer la (re)création d'une tourbière active ;
- l'absence d'indicateurs négatifs (d'eutrophisation, d'assèchement).

Rappelons que dans le choix des objectifs, il faut prendre en compte les différentes échelles spatio-temporelles.

Quels sont les objectifs à petite, moyenne et grande échelle spatiale ? Et aux diffé-



Exemple de dynamique apparente des sphaignes aux dépens de la callune -
tourbière de la Morte-Femme [88] / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

rentes échelles temporelles ? Il ne faut pas seulement considérer les conditions (et les mesures) à grande échelle (donc sur une zone plus restreinte), mais aussi les problèmes et opportunités à l'échelle régionale (avec par exemple les questions de bassin versant). Le problème peut être qu'il est impossible d'agir sur l'espace de fonctionnalité. Dans de tels cas, des objectifs devront être définis à courte et à longue échéance.

Autre aspect des variations temporelles : les actions ne sont pas toutes bénéfiques ou nuisibles immédiatement. D'ailleurs certaines ont selon le pas de temps considéré des aspects positifs ou négatifs : dans la Grande tourbière de Pontarlier [25] et bien d'autres sites du massif du Jura, les anciennes fosses d'exploitation constituent aujourd'hui des secteurs plus humides où subsistent des espèces plus hygrophiles ; mais à l'époque, leur création a nécessairement induit la destruction de la végétation en place. Il en va de même pour les grands secteurs de marais de transition de la vallée du Drugeon, site reconnu au niveau international (label Ramsar), qui correspondent à des zones exploitées durant des décennies.

Autre aspect : le stockage du carbone, qui peut constituer une fonction importante des tourbières (voir chapitre 2), ne

se rétablit sur un site dégradé qu'après plusieurs années, et même une phase d'émission accrue précédant le retour à une dynamique de puits de carbone.

Comme nous l'avons vu précédemment, différentes disciplines devraient être impliquées dans le processus de fixation de l'objectif. Il convient de considérer les divers objectifs et options de gestion possibles. Même si le problème est posé comme relevant d'une seule discipline, une approche pluridisciplinaire devrait toujours être utilisée pour des projets de conservation et de restauration. C'est important dans la mesure où les possibles effets (secondaires) des mesures envers toutes les composantes (abiotiques et biotiques) du système doivent être considérés. Les hydrologues et les écologues doivent travailler de concert.

Au marais de Cena, près de Riga (Lettonie), les recherches comprennent ainsi de la paléobotanique, des mesures de niveaux de pollution, des cartographies d'habitats, des études de la végétation et des corrélations avec les facteurs environnementaux, de la bryoflore, l'avifaune, ainsi que la détermination des menaces et la préparation d'un plan de conservation et de restauration.

Mais comment les résultats doivent-ils être utilisés pour formuler l'objectif, et comment les utiliser dans le choix des mesures ?

Tant une approche par espèce qu'une approche fonctionnelle peuvent être utilisées. Les deux sont à combiner pour la gestion, mais si l'approche fonctionnelle est choisie, il ne faut pas ignorer les très nombreuses espèces, ainsi que le contexte du site. Si la dégradation d'une tourbière bombée (et éventuellement les mesures de gestion) a conduit à former une zone hétérogène, ou un bas-marais de valeur à grande biodiversité, doit-on prendre des mesures pour hâter l'obtention d'une succession vers une végétation de tourbière bombée ? Lorsqu'on définit l'ob-

jectif, les possibilités de restauration d'un système complet de tourbière bombée (comprenant son bombement et sa marge, les marais de ceinture et de transition) doivent être étudiées. C'est important pour la conservation de la diversité des espèces végétales et animales. La combinaison de différents écotopes ou l'hétérogénéité à diverses échelles spatiales sont indispensables au maintien durable de nombreuses espèces animales. Les zones tampons - ou zones de protection hydrologiques - devraient être gérées de telle sorte qu'elles puissent fonctionner ainsi.

Enfin rappelons que différents objectifs peuvent s'avérer antagonistes, et que le gestionnaire devra effectuer des choix tranchés, assumés et exprimés.



Le *Liparis de Loesel (Liparis loeselii)* est une espèce rare qui peut constituer un enjeu clair pour la gestion d'un (réseau de) site(s)
S. Maillier - CSNP

Mesures

Il n'y a pas de moyen standardisé pour appliquer les mesures de restauration. Chaque zone à restaurer a des caractéristiques spécifiques qui doivent être incluses dans un processus d'ajustements fins. Le système d'aide à la décision peut aider les gestionnaires de sites à combiner et optimiser les mesures mais, ne contenant pas l'information spécifique au site, il ne peut donner de recette finale détaillée pour la restauration. Discutez d'approches alternatives avec une équipe pluridisciplinaire de gestionnaires et scientifiques expérimentés.

Dans presque toutes les tourbières bombées, le drainage est l'une des causes, voire la seule, de la dégradation d'au moins une partie du système tourbeux. Aussi la restauration hydrologique est-elle incluse dans presque tous les projets de conservation ou réhabilitation. Sur la base des recherches menées dans les tourbières irlandaises, des prévisions de potentiel de restauration peuvent être faites selon le niveau de dégradation de l'acrotelme. Dans de nombreux cas, les résultats de la remise en eau permettent de retrouver un couvert de sphaignes, mais pas forcément la restauration d'un acrotelme fonctionnel. Les expériences de rebouchage de fossés ou de création de barrages dans des reliquats de tourbières bombées sont légion. D'autres mesures appliquées dans les tourbières dégradées sont la coupe d'arbres, ou l'étrépage dans le cas d'enva-

hissement par la végétation herbeuse. Pour la restauration des marais de ceinture (fonctionnels), peu d'expériences et de connaissances sont disponibles. Cet aspect est détaillé dans le chapitre 4.

Dans le cas de tourbières exploitées, la profondeur minimale de tourbe requise pour maintenir des conditions propices à la restauration d'une végétation riche en sphaignes est une question importante. Elle dépend entre autre de la qualité et des propriétés hydrologiques de la couche de tourbe, de l'hydrologie du sous-sol minéral, et des quantités et répartitions des précipitations. De plus, la qualité de la tourbe et la chimie des eaux après remise en eau sont déterminantes pour le développement des sphaignes. A partir de la qualité de la tourbe restante et des caractères chimiques de l'eau, des prévisions peuvent être faites quant aux diverses options de restauration hydrique. Ces aspects devraient être étudiés avant que les mesures ne soient prises. De plus, dans de nombreux cas, les espèces souhaitées de sphaignes (turfigènes) ne s'installent pas dans les zones qui sont restaurées. L'introduction de sphaignes est réalisée à l'échelle expérimentale sur divers sites, tandis qu'elle est utilisée à grande échelle sur des tourbières exploitées par aspiration de tourbe au Canada.

Les mesures de restauration hydrologique peuvent avoir des effets positifs sur la

faune invertébrée (araignées...). Cependant, si les populations relictuelles d'espèces rares et caractéristiques d'invertébrés sont toujours présentes dans des tourbières bombées dégradées, une remise en eau rapide et à grande échelle doit être évitée. En préparant des mesures de restauration, les effets (secondaires) des mesures sur les espèces végétales et animales doivent être considérés, en utilisant les connaissances disponibles sur leur écologie.

D'autres éléments, non plus d'ordre scientifique, mais plutôt socio-économiques au sens large, viendront aussi influencer le choix des mesures retenues et fixer des limites pragmatiques aux actions du gestionnaire et/ou à leur étalement dans le temps ; on peut citer :

- les objectifs de la structure gestionnaire ;
- les demandes sociétales locales ;
- la réglementation en vigueur ;
- les moyens humains et disponibles financiers.

Un autre exemple de document conceptualisant un projet de restauration, de la conception à l'évaluation, est l' « Ecological Restoration Primer » mis au point par la Society for Ecological Restoration en 2004 ; une version traduite est disponible en ligne sur le site du Pôle-relais Tourbières : <http://www.pole-tourbieres.org>.

La non-intervention, un mode de gestion à part entière

Après analyse des données disponibles et des enjeux associés, le gestionnaire peut décider de ne pas intervenir sur le site.

La non-intervention revient à prendre acte de l'état actuel de l'écosystème, et à assumer que les dynamiques naturelles doivent être privilégiées au détriment de travaux qui, quels que soient leurs résultats, contribuent à artificialiser davantage encore le milieu.

Ce choix s'impose de lui-même pour des écosystèmes peu ou pas perturbés, qui plus est à évolution lente, comme peuvent l'être l'ensemble des tourbières situées à des altitudes limitant naturellement les dynamiques naturelles ; il faut cependant être vigilant sur le diagnostic, car la résilience des tourbières peut faire que l'on arrive à un état critique sans l'avoir vu venir, faute de suivis suffisants.

Ceci est particulièrement valable pour les phénomènes soumis à un effet-seuil.

Mais cette volonté peut aussi porter sur des sites dégradés - nous parlons ici d'un véritable choix, à ne pas confondre avec une solution par défaut liée dès le départ à des contraintes, de moyens par exemple.

Le problème est lié au fait que les dynamiques naturelles ne sont plus que partielles à l'échelle du territoire, et qu'il ne se crée plus à un endroit ce qui disparaît à un autre. Les enjeux « naturels » sont désormais cantonnés à des zones de « nature » désignées comme telles et gérées pour obtenir une diversité donnée, dictée entre autres par des contraintes réglementaires (listes d'espèces et d'habitats protégés dont la sauvegarde ouvre des droits juridiques et financiers). Ainsi les gestionnaires, pour conserver un état jugé intéressant, cherchent souvent à figer les écosystèmes à un stade et dans un lieu donné. Ils seront donc amenés à lutter de manière artificielle contre des dynamiques naturelles, et ce même si les sites ont été influencés par l'homme (par exemple à travers le drainage d'une tourbière, qui peut modifier ou accélérer son évolution). Et pour ce faire, ils devront peu ou prou répéter de façon artificielle des pratiques traditionnelles souvent disparues, car n'étant plus adaptées à la société actuelle : elles ont souvent été abandonnées à cause de la mutation sociétale/agricole, indépendante des gestionnaires et de leurs efforts.

On pourra prendre ici l'exemple de la fauche de la blache (foin de zone humide) dans les bas-marais. Longtemps activité traditionnelle, le produit de la fauche

était recherché en tant que litière pour les bêtes, voire fourrage en cas de nécessité. Aujourd'hui, cette pratique est localement perpétuée par des gestionnaires qui lui attribuent un rôle positif, en particulier en termes d'ouverture des milieux. Ils ne font alors que reproduire le processus qui a façonné des milieux qu'ils jugent intéressants, voire prioritaires. Dégagés d'obligations de production, tant quantitatives que qualitatives, ils obtiennent une latitude plus importante sur certains paramètres (hauteur de coupe, date de fauche...) permettant d'ajuster au mieux l'itinéraire technique par rapport aux connaissances des milieux ou espèces cibles.

Ils ont revanche à faire face à diverses contraintes nouvelles : bien souvent, l'agriculture délaissant les secteurs ingrats, il est difficile de trouver matériel et exploitants dans les environs pour intervenir.

Il faut alors se tourner vers des personnes et du matériel spécialisés (solution interne, autres gestionnaires, entreprises de travaux en milieux sensibles, d'insertion ou non) qui peuvent s'avérer peu disponibles, coûteux et, vu le caractère souvent répétitif de ce type d'action, difficiles à faire financer sur le long terme.

Mais il n'est pas infondé de considérer qu'en perpétuant une activité forte, même sur des milieux déjà modifiés par l'homme, (que se soit dans le sens de la diversification ou de la banalisation), on persiste à aller à l'encontre de processus dynamiques qui sont, eux, naturels.

Et que ces derniers seront à même, à terme, de créer de nouveaux milieux d'intérêt du fait même de leur histoire plus que des espèces ou habitats que l'on pourra y trouver (et dont on n'a d'ailleurs pas forcément idée).

Un autre argument est qu'au vu des incertitudes actuelles sur les changements globaux, en particulier au niveau climatique, il peut être dangereux de parquer la biodiversité sur des secteurs définis dont on ne peut prédire l'avenir ; et d'aucuns prédisent déjà que d'ici quelques années, les secteurs les plus intéressants ne seront pas forcément ceux qui ont été protégés et gérés. Difficile à prévoir, mais qui n'a jamais expérimenté le cas de figure épineux où les espèces-cibles se concentrent sur les terrains non pas dans, mais autour des parcelles gérées en leur faveur ?

Un exemple de choix de non-intervention est présenté en 4., tandis que les chapitres 4 et 5, notamment, abordent différents types d'interventions. Il est impossible de promouvoir d'avantage l'une ou l'autre vision des choses et il revient à chacun de faire ses choix en fonction de son site et de son analyse.

Suivis (voir aussi chapitre 8)

Les raisons pour effectuer un suivi d'un processus de restauration sont :

- 1) de voir si les mesures fonctionnent comme prévu ;
- 2) de rassembler des connaissances pouvant être applicables dans des situations semblables ;
- 3) de pouvoir ajuster les processus de restauration en cours. Les paramètres choisis, les espèces, ainsi que la fréquence et la densité des suivis doivent renseigner sur la reprise (ou l'absence de reprise) des processus-clés, les conditions du site, et permettre le cas échéant une rétroaction au niveau des objectifs et des mesures durant le processus de restauration.

Avant de prendre une quelconque mesure, un plan de suivi doit être établi, concernant tant les aspects abiotiques que biotiques de l'éco-

ystème. Le suivi doit apporter des réponses aux questions : les changements attendus de l'écosystème se produisent-ils ? La végétation et la faune répondent-elles comme prévu aux changements ? Des effets (secondaires) positifs ou négatifs non prévus apparaissent-ils ? De bons critères doivent être définis pour mesurer les aspects marquants de l'écosystème à suivre durant le processus de restauration.

Que suivre et comment le faire, à diverses échelles ? Le climat (température, pluie), les aspects hydrologiques, la qualité des eaux et du substrat, la végétation, la faune ? Durant quelle période ou intervalles ? Les variables choisies pour le suivi doivent être définies avant que les mesures ne soient prises. Dans le cas contraire, les changements ne pourront être évalués correctement, et le bilan du projet

de restauration restera impossible.

Cette phase d'évaluation est rendue possible par le cheminement précédent ; en l'absence d'objectifs clairs, difficile de savoir s'ils ont été atteints ou pas ! Outre les intérêts pour le gestionnaire (améliorer ses connaissances, valider son travail et/ou lancer de nouvelles pistes de recherche), une évaluation est également demandée par les décideurs et financeurs. La transmission du message, et en particulier les incertitudes liées à la complexité du monde vivant, sont parfois difficiles à faire passer. Il en va de même des impératifs de durée des suivis : ils sont trop souvent soumis à des validations de programmes annuelles, alors que pour être concluants les décennies se révèlent des échelles de temps plus appropriées...

Exécution

Les mesures mises au point peuvent ensuite être appliquées, bien que des ajustements puissent se révéler nécessaires suite à des événements inattendus, ou si les résultats du suivi mettent en évidence des rebondissements imprévus. Durant la phase d'exécution, une rétroac-

tion entre les résultats du suivi, l'objectif et les mesures prises doit s'exercer continuellement. Sur la base des données du suivi, le responsable du site ou du projet peut décider de continuer la mise en œuvre des mesures, de les modifier, ou de les annuler. Pour éviter des problèmes

durant la phase d'exécution, une bonne phase préparatoire et un bon suivi sont essentiels. Dans le même temps, les problèmes avec les communautés locales seront évités si de bons contacts ont été noués durant la phase préparatoire.

3.2.2. Explications des pièges (voir tableau page 25)

1) Si la situation de référence est insuffisamment connue, il se peut que l'objectif ne soit qu'une étape vers la restauration d'une situation antérieure, ou même la création d'une situation complètement nouvelle. L'étude d'écosystèmes similaires où la situation de référence est encore présente peut parfois permettre de combler ce manque de connaissance.

2) Si les situations de référence sont considérées en bloc ou entremêlées, le but peut être une situation qui n'a jamais existé auparavant. Soyez aussi conscient du fait que la situation de référence supposée peut n'être qu'une phase d'un déclin en cours. Ainsi, dans le cas d'un paysage de haut-marais se dégradant lentement (par exemple à cause d'un drainage ou d'une extraction de tourbe relativement modeste en périphérie du bombement), différentes étapes de cette dégradation peuvent être prises comme référence. Imaginons un complexe tourbeux de tourbière haute avec des mares, à l'origine minérotrophes, incluant une végétation

de bas-marais et des eaux libres. Suite à un drainage de la tourbière haute ayant débuté il y a plus d'un siècle, ces mares se sont lentement acidifiées. Au bout d'un certain temps, il y a 50 à 70 ans, un superbe tremblant abritant de nombreuses espèces de végétaux et d'insectes a pu se développer. Mais ces dernières années, la richesse spécifique de la végétation a diminué avec son évolution vers les cortèges de haut-marais. Votre référence sera-t-elle un complexe de mares minérotrophes avec une végétation de bas-marais et des eaux libres (il y a plus d'un siècle), ou le tremblant à un stade plus ou moins avancé de son évolution (notez qu'il s'agit ici d'une dynamique « naturelle » impulsée par une intervention humaine) ?

3) Pour obtenir une vision équilibrée d'un problème, il faut connaître les espèces ou groupes d'espèces les plus caractéristiques d'un écosystème, et une estimation grossière au moins des tendances au sein de ces espèces / groupes. Des tendances opposées peuvent se manifester pour des espèces / groupes différents.

4) Déterminer les processus-clés qui ont conduit au problème est peut-être la partie la plus difficile (et la plus sous-estimée) de la construction d'un projet de restauration. Beaucoup de processus-clés ont été découverts récemment, et des lacunes persistent dans la connaissance. On attend trop de mesures qui sont seulement basées sur des processus « classiques ». Par exemple, un niveau de nappe constamment élevé est considéré comme très important dans les écosystèmes humides, mais des résultats récents montrent que cela peut causer des dégâts importants à des forêts d'aulnes ou même à certains types de tourbières bombées.

5) La contribution quantitative des processus généraux dépend fortement des caractéristiques du site. Par exemple, le risque d'eutrophisation interne peut dépendre du type et de la quantité de matière organique en présence, du taux d'alcalinité et de sulfates de l'eau, du taux de fer du sol, de la fluctuation annuelle du niveau d'eau et de la quantité de phosphore lié aux composants du sol.

6) Dans de nombreux cas, il n'est pas possible de déterminer les processus-clés et leur contribution quantitative au problème. Sans recherches supplémentaires sur le site, la poursuite de la définition du projet de restauration devient hasardeuse. Cependant les recherches sont souvent mises de côté pour cause de surcoûts, de retard induit dans les processus de restauration prévus, ou de manque d'experts requis.

7) Durant l'analyse du problème, il apparaît souvent clairement que les causes principales sont situées hors du site, et que le problème lui-même peut aussi avoir des conséquences sur les zones adjacentes. Par exemple, l'influence des eaux souterraines dans une tourbière peut diminuer suite au drainage d'un secteur hors du site. En conséquence, le lag (périphérie du bombement) peut s'acidifier et voir diminuer son niveau trophique, ce qui peut entraîner des modifications qualitatives et/ou quantitatives des populations des plantes-hôtes de papillons rares typiques de ces milieux ; ou bien des espèces rares de sphaignes typiques de ces tourbières de transition peuvent disparaître.

8) Il est important de décrire non seulement l'objectif final, mais aussi la manière dont cette situation sera atteinte. Si le processus de restauration escompté est bien décrit, les gestionnaires du site peuvent détecter des aberrations et les corriger rapidement.

9) Un gestionnaire pourrait être tenté de mettre l'accent sur les effets bénéfiques des mesures de restauration prévues, et d'ignorer de possibles effets délétères. Cela peut être utile pour des raisons politiques, mais ne devrait jamais arriver dans cette méthode. Les gestionnaires doivent aussi être conscients que la littérature se rapportant à certaines mesures peut être influencée de la même manière.

10) Les pièges les plus courants sont que des mesures sont appliquées trop brusquement (par exemple la montée soudaine d'une nappe), à trop grande échelle (coupe, feu), et avec trop de soin (on fauche chaque recoin). Si les effets bénéfiques peuvent augmenter pour une partie du système ou des espèces, les effets délétères augmentent souvent davantage encore. Par exemple, le gestionnaire d'une tourbière décide de combler un fossé de drainage. Cependant, ce fossé peut être une circulation d'eau naturelle qui a été agrandie, ou avoir lui-même développé une faune et une flore remarquables. De plus, le comblement du fossé peut aussi causer des flux d'eau indésirables vers d'autres parties de la tourbière, et certaines espèces ne pourront pas faire face à l'ampleur ou à la vitesse de la remontée des eaux.

11) Ce piège peut apparaître si l'objectif n'est pas soigneusement décrit.

12) La plupart des programmes de suivi s'étendent sur des années, la mémoire de la

situation initiale se dilue alors, et des discussions sur des points cruciaux se font jour. Ceci rend l'évaluation des mesures difficile.

13) Ce piège se présente si les attentes et les itinéraires ne sont pas soigneusement décrits dans les objectifs. Il peut aussi être tentant d'arrêter le suivi après que ces derniers aient été atteints. Par exemple, si des espèces végétales cibles réapparaissent souvent l'année qui suit la restauration, elles peuvent ensuite disparaître si la qualité de l'eau est insuffisante.

14) Certains événements peuvent faire basculer une évolution positive vers un désastre. Si les résultats du suivi ne sont pas évalués fréquemment, il risque d'être trop tard pour réagir en ajustant les mesures de restauration (type, durée, échelle spatiale).

15) Même si la tâche est décrite en détail, des incompréhensions apparaissent. Par exemple, les conducteurs de matériels de chantier sont fiers de réaliser un travail net et précis. Cette manière de travailler diminue l'hétérogénéité du site.

16) La pratique montre que les événements prennent souvent une tournure inattendue : conditions climatiques ou de terrain extrêmes, présence d'espèces non prévues, enjeux archéologiques. Les exécutants devraient être capables de faire face sur le terrain à ces situations.

4. POURQUOI INTERVENIR ? CHOIX DE GESTION DANS LA RÉSERVE NATURELLE DES ROCHERS ET TOURBIÈRES DU PAYS DE BITCHE [57]

Cette réserve naturelle de 355 ha est éclatée en 26 sites différents, dont la moitié possède des habitats tourbeux ou paratourbeux. Lors de l'élaboration du premier plan de gestion (2004), et au regard de nos connaissances tant sur la composition de la biocénose que sur le fonctionnement des écosystèmes, nous avons défini les 4 objectifs de conservation à long terme suivant :

1) Préserver et restaurer, le cas échéant, la fonctionnalité et l'évolution naturelle des habitats humides, tourbeux et paratourbeux, ainsi que leur cortège d'espèces remarquables.

2) Préserver l'intégrité et la tranquillité des falaises rocheuses, de leurs dalles sommitales et du souterrain du Ramstein.

3) Augmenter le degré de naturalité des forêts.

4) Préserver une bonne qualité de l'eau et le continuum hydrologique pour les biocénoses aquatiques et amphibiens.



Ce chablis permettra l'installation d'espèces héliophiles au cœur de la pineraie / L. Duchamp - SYCOPARC



Butte de sphaignes ombrotrophes en pineraie
L. Duchamp – SYCOPARC

Concernant les milieux tourbeux, nous avons une assez bonne connaissance des communautés végétales phanérogamiques (Muller, 1987 ; 1988 ; 2002 ; 2005), quelques connaissances sur les odonates (Jacquemin & Boudot, 2002) et les amphibiens grâce à des travaux antérieurs, des connaissances sur le passé historique des sites, mais nous n'avons aucune connaissance sur leur fonctionnement : aucune donnée hydrologique, topographique ni stratigraphique, et peu d'informations d'ordre pédologique, bref très peu d'information sur les conditions abiotiques locales. Bien entendu, nous avons notre lot d'espèces remarquables, avec des espèces et habitats « rares » considérés comme relictuels d'un passé climatique boréal, et d'autres à affinité océanique, en limite d'aire de répartition dans notre région. Bref, un beau « casse-tête » d'ordre climatologique perturbé par les incertitudes engendrées par les différents scénarii pessimistes liés au changement climatique.

Si vous interprétez bien notre objectif de conservation à long terme des milieux tourbeux, vous comprenez que nous avons voulu conserver la plus grande plasticité d'actions possibles tout en privilégiant clairement l'évolution naturelle, pour peu qu'elle soit cohérente avec l'écosystème considéré. Les mots ont aussi été pesés. Nous avons choisi le terme « préserver » plutôt que « conserver », qui nous paraît trop fixiste, et nous avons ouvert une voie pour des travaux de restauration si cela s'avérait nécessaire. Nous axons principalement notre objectif sur la notion de fonctionnalité, bien que nous n'ayons pas eu beaucoup

d'information à ce sujet au démarrage du premier plan de gestion et, enfin, nous souhaitons préserver, dans la mesure du possible et si cela ne va pas à l'encontre de l'évolution naturelle d'une tourbière fonctionnelle, le cortège connu d'espèces remarquables, sans objectif quantitatif.

Contexte

Pour bien comprendre notre démarche, il faut aussi connaître notre contexte.

Comme beaucoup d'autres régions françaises, les milieux naturels des Vosges du Nord ont subi d'importantes perturbations. Nous dirons que toute l'hydrologie des vallées a été modifiée du Moyen-Âge à nos jours, du fait de créations de barrages (plans d'eau, chemins, pistes et routes), de nombreux drainages à vocation agricole puis sylvicole, de rectification de cours d'eau, de remblaiements... Par ailleurs, une des spécificités des Vosges du Nord est d'être une région fortement boisée, tout au moins dans sa partie gréseuse et très faiblement agricole. La quasi-totalité des boisements sont au mieux semi-naturels, au pire totalement artificiels et composés d'espèces exotiques. Il en va de même dans la Réserve Naturelle, hormis quelques zones à boisement spontané - notamment sur tourbe ou en périphérie de nos tourbières, mais aussi sur nos crêtes rocheuses. Cependant, depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale, une mutation importante de la société s'est amorcée. Les hommes ont progressivement abandonné l'exploitation agricole des fonds de vallée, endroits ingrats et faiblement productifs.

En l'absence de gestion, des friches humides se sont mises en place. Ces dernières sont souvent mal perçues par les habitants, pourtant à l'origine de leur apparition puisqu'ayant cessé d'exploiter ces secteurs. Les arbres, principalement des saules, des bouleaux et des aulnes, mais aussi des Pins sylvestres en fonction de la richesse et de l'hygrométrie du sol, se sont développés non pas alignés, ordonnés et contraints, mais spontanément, laissant parfois des espaces qui peuvent surprendre ceux qui n'ont jamais visité de « vrais » milieux naturels comme il peut en exister dans certains Parcs ou certaines réserves de l'est de l'Europe. Parallèlement, en l'absence d'entretien, des fossés se comblent progressivement. Ainsi, localement, les nappes d'eau remontent. Des zones marécageuses se forment et dans certains secteurs, encore assez pauvres en nutriments, des tourbières acides à sphaignes se développent (tourbières minérotrophes pauvres). En tête de bassin, nos cours d'eau naturellement très faiblement minéralisés et légèrement acides ont été assez peu enrichis par les activités humaines.

Dans certains secteurs de la réserve, nous relevons des tourbières dont la végétation est à rapprocher des tourbières hautes, et ce à moins de 250 m d'altitude. Celles-ci sont souvent connectées à des étangs-tourbières, anciens de plusieurs siècles, mais dont les berges à pentes

très douces ont vu se développer des communautés végétales apparentées aux tremblants ou aux tourbières de transition. Parfois, des buttes ombrotrophes se forment aussi en périphérie des tourbières, sous des pineraies spontanées, là où certains gestionnaires auraient pu faire le choix de couper les arbres pour « ouvrir » le milieu et contenir les arbres accusés de faire régresser les espèces héliophiles ou pionnières, nombreuses parmi les espèces remarquables.

Principes de base

- Tant que nous n'avons pas conçu de raison objective d'intervenir sur les milieux, pourquoi intervenir ?

De fait, nous intervenons très peu dans la réserve. Quelques exceptions concernent les étangs-tourbières et une tourbière très fortement dégradée, sur laquelle un petit étrépage a été réalisé en guise de test expérimental. Les étangs, au nombre de cinq, sont très anciens (au moins 300 ans pour la plupart), et ont été édifiés en barrage sur d'anciens vallons tourbeux. Une nouvelle dynamique s'est mise en place depuis ce temps et, pour la préserver, il faut conserver les étangs, aussi artificiels soient-ils à l'origine. Ainsi, nous réparons les digues ou les moines si nécessaire. De plus, ces étangs sont considérés par les habitants du territoire comme des éléments de notre patrimoine culturel.

En fait, nous ne concevons pas la naturalité comme un retour à un état passé, souvent très hypothétique et lié à un contexte qui a complètement changé, mais comme un processus dynamique tourné vers le futur.

- Nous n'avons pas d'objectif quantitatif concernant les espèces remarquables.
- Nos premières mesures ont donc été naturellement de chercher à améliorer nos connaissances du fonctionnement et de l'origine de nos complexes tourbeux, et de suivre certaines évolutions.

Nous cherchons aussi à mieux appréhender l'écologie des taxons remarquables, pas toujours si bien connus du monde naturaliste.

Résultats et perspectives

Grâce au parcours historique de certains sites comme le complexe tourbeux du Grafenweiher (Bonnell & Tholozan, 2007 ; Duchamp & al., 2007), qui a été laissé à lui-même pendant près de 70 ans après des travaux militaires d'envergure sur un ancien complexe tourbeux déjà modifié depuis plusieurs siècles, nous avons pu hériter, au début du XXI^e siècle, d'un site riche en habitats et espèces remarquables, et aussi en enseignements.

Pourtant, en suivant la progression des boisements grâce aux photos aériennes depuis les années 1950, et avec en tête l'idée que « progression des arbres » égale « régression de la biodiversité », un gestionnaire d'espaces « naturels » se serait inquiété. Mais, parallèlement à cette colonisation arborescente, les sphaignes ont été actives et une paludification s'est mise en place. Les fossés qui avaient été creusés dans l'axe de la vallée principale se trouvent être perpendiculaires aux écoulements oligotrophes laté-

raux. Une grande hétérogénéité se développe sur le site, liée aux gradients d'hydromorphie et au gradient trophique selon la distance à la rivière. Les pins, qui ont connu une période de croissance importante dans les 40 à 50 premières années de leur colonisation, ont vu leur croissance fortement ralentir depuis 20 à 30 ans (analyse à partir de carottages). Les chablis sont de plus en plus nombreux, et le dépérissement de plus en plus important.

Grâce au suivi d'une placette dendrométrique mise en place en 2000 et relevée de nouveau en 2008, nous avons pu constater que 48% des pins vivants lors du premier passage étaient morts en 2008.

Les sphaignes qui progressent sous le boisement de plus en plus clairsemé ont très bien réagi malgré la canicule de 2003 et la sécheresse qui a suivi (de 2004 à 2006) grâce à l'hygrométrie élevée dans le sous-bois.

A l'inverse, la moliniaie sur tourbe contiguë, qui est en voie de colonisation par les sphaignes et *Eriophorum angustifolium* se trouve en plein soleil.

Un suivi thermo-hygrométrique comparé est en cours, mais nous avons constaté sur le terrain que les mêmes espèces de sphaignes y ont beaucoup plus souffert, et que leur progression a pu être ralentie.

Au sein de la zone de boisement spontané, au niveau d'un écoulement d'eau latéral en bordure d'un thalweg, une zone d'un peu plus de 1000 m² (certainement étrépee au moment des travaux militaires dans les années 1930) n'est toujours pas boisée. On y observe des dépressions de surface variable mais d'une dizaine de centimètres de profondeur maximum, peut-être créées - mais assurément entretenues - par les sangliers. L'eau y affleure, mais ces dépressions connaissent un assèchement temporaire estival selon la pluviométrie. C'est le domaine des communautés végétales du *Rhynchosporion* avec entre autres *Drosera intermedia* et *Lycopodiella inundata* pour la flore, et des odonates comme *Somatochlora arctica*, *Orthetrum coerulescens*, *Libellula quadrimaculata*, et depuis peu *S. flavomaculata*. Les sphaignes (*Sphagnum papillosum*, *Sphagnum rubellum*,...) y sont très dynamiques mais irrégulièrement étrépees, et les pins ne parviennent pas à s'y développer. Voilà un exemple de zone « ouverte » qui s'entretient naturellement depuis plusieurs décennies.

Nous avons d'autres exemples qu'il serait intéressant de présenter, comme cet ancien étang dont le moine a lâché en 1999, mais que nous avons décidé de ne pas réparer, en l'absence de raison objective de le remettre en eau. Nous avons suivi la recolonisation spontanée du fond de l'étang à sec par la végétation. Aujourd'hui, une forêt d'aulnes mêlée de bouleaux et de Pins sylvestres se développe. Au bout de 10 ans, certains arbres atteignent déjà 5 à 6 m de haut et pourtant, sur la rive gauche du ruisseau, chargé de *Potamogeton polygonifolius*, qui a récupéré son lit d'origine, au niveau d'un suintement permanent, aucun arbre ne réussit vraiment à se développer sur 300 à 400 m².

Nous observons depuis 2001 une communauté végétale très intéressante riche en *Carex demissa*, mais accompagné de *Eleocharis multicaulis* et *Rhynchospora fusca*, deux espèces rares et protégées en Lorraine, qui se maintiennent très bien pour le moment sans gestion particulière.

Au cours de ce premier plan de gestion, essentiellement non interventionniste, nous pouvons affirmer qu'aucune espèce remarquable identifiée lors de l'état initial n'a disparu. La plupart ont même augmenté leurs effectifs et leur recouvrement.

Références bibliographiques citées dans le paragraphe

BONNEL, P. ; THOLOZAN, A. (2007). *Genèse et développement des tourbières du Pays de Bitche dans les Vosges du Nord.* In : *Origine, fonctionnement et conservation des tourbières, actes du colloque de Goutelas*, CRENAM, Université de Saint-Etienne, pp. 145-167.

DUCHAMP, L. ; SCHNITZLER, A. ; GRANDMOUGIN, L. (2007). *Histoire et dynamique actuelle d'un complexe tourbeux sur grès : l'exemple de la tourbière du Grafenweiher dans le Pays de Bitche (Vosges du Nord).* In : *Origine, fonctionnement et conservation des tourbières, actes du colloque de Goutelas*, CRENAM, Université de Saint-Etienne, pp. 169-181

JACQUEMIN, G. ; BOUDOT, J.P. (2002). *Les Odonates (Libellules) de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord : Originalité du peuplement.* Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald 10, pp. 145-158.

MULLER, S. (1985). *La flore vasculaire du Pays de Bitche. Mise au point sur les espèces les plus remarquables. Evolution de leur distribution depuis les temps de F.W. SCHULTZ. Les actions de protection entreprises.* Bull. Ass. Phil. Als. Lorr. 21, pp. 129-156.

MULLER, S. (1987). *La végétation du Pays de Bitche (Vosges du Nord). Analyse phytosociologique. Application à l'étude synchronique des successions végétales.* Thèse, Université Paris-Sud (Orsay), 299 p.

MULLER, S. (1988). *Affinités biogéographiques de la végétation des milieux tourbeux du Pays de Bitche (Vosges du Nord). Modalités de gestion conservatoire des milieux secondaires.* Actes du 15^e coll. intern. Phytosociologie : « *Phytosociologie et Conservation de la Nature* », Strasbourg, 1987, Ed. J.M. Géhu, pp. 441-452.

MULLER, S. (2002). *Les habitats naturels d'intérêt communautaire (Directive européenne 92/43) présents dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. Intérêt biogéographique, état de conservation, mesures de gestion et de restauration à promouvoir.* Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald 10, pp. 45-59.

MULLER, S. (2005). *Les phytocénoses d'indigénat du Pin sylvestre (Pinus sylvestris L.) sur les affleurements de grès du Pays de Bitche (Vosges du Nord).* Ferrantia 44, pp. 119-122.



Boisement sur tourbe en Finlande / P.Goubet



5. BIBLIOGRAPHIE THÉMATIQUE

AVENIR (2007). *Les tourbières de l'Herrétang - 10 ans de gestion conservatoire.* AVENIR, 24 p.

COMITÉ FRANÇAIS DE L'UICN (2005). *1985-2005. 20 ans de loi Montagne - Bilan et propositions.* Communiqué de presse, [en ligne]. URL : http://www.uicn.fr/IMG/pdf/Communique_de_presse_UICN_Bilan_Loi_Montagne.pdf

CUBIZOLLE, H. ; GEORGES, V. ; LATOUR, C. ; ARGANT, J. ; SERIEYSSOL, K. (2004). *La turfignèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif central oriental granitique (France) : une manifestation de l'action humaine ?* Quaternaire, 15,(4), [en ligne]. URL : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/quate_1142-2904_2004_num_15_4_1780

CUBIZOLLE, H. ; SACCA, C. (2004). *La conservation des tourbières. Enjeux patrimoniaux, modalités de gestion et jeux d'acteurs.* Géocarrefour, Vol. 79/4, [en ligne]. URL : <http://geocarrefour.revues.org/index791.html>

CUBIZOLLE, H. ; SACCA, C. (2004). *Quel mode de gestion conservatoire pour les tourbières ? L'approche interventionniste en question.* Géocarrefour, Vol. 79/4, [en ligne]. URL : <http://geocarrefour.revues.org/index4162.html>

GOUBET, P. ; THEBAUT, G. ; PETEL, G. (2004). *Les modèles théoriques de développement des hauts-marais : un outil pour la gestion conservatoire des tourbières.* Géocarrefour, Vol. 79/4, [en ligne]. URL : <http://geocarrefour.revues.org/index827.html>

LECOMTE, J. (1999). *Réflexion sur la naturalité.* Courrier de l'environnement de l'INRA, n°37, [en ligne]. URL : <http://www.inra.fr/dpenv/lecomc37.htm>

LODE, E. (1999). *Wetland restoration: a survey of options for restoring peatlands.* Studia Forestalia Suecica, n°205, [en ligne]. URL : <http://epsilon.slu.se/studia/SFS205.pdf>

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration.* [en ligne]. URL : http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp

COMMUNICATIONS ORALES - RÉSUMÉS, SUPPORTS

ANDRE, M. (2007). *Intérêt de l'approche historique pour la réhabilitation des tourbières : exemple de la Grande tourbière de Pontarlier (Doubs).* Colloque « *Tourbe et tourbières 2007* », 8-11 octobre 2007. URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

BARBAULT, R. (2005). *Naturalité et conservation de la biodiversité.* Premières rencontres MAB France/RNF, 19-20 avril 2005. URL : http://www.mab-france.org/fr/publi/naturalite_territoires/BARBAULT.htm

CUBIZOLLE, H. ; PORTERET, J. ; RUSSIAS, L. ; FRAPPA, F. (2007). *La restauration des tourbières affectées par l'extraction de tourbe et les reboisements : les exemples du système tourbeux de Gourgon et de la tourbière bombée de Vérines dans les Monts du Forez (Massif Central, France).* Colloque « *Tourbe et tourbières 2007* », 8-11 octobre 2007. URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

FAUGERE, E. (2005). *Un regard d'anthropologue sur la naturalité.* Premières rencontres MAB France/RNF, 19-20 avril 2005. URL : http://www.mab-france.org/fr/publi/naturalite_territoires/FAUGERE.htm

GENOT, J.C. ; DUCHAMP, L. ; MORELLE, S. (2005). *Place de la naturalité dans le Parc naturel régional des Vosges du Nord, Réserve de Biosphère.* Premières rencontres MAB France/RNF, 19-20 avril 2005. URL : http://www.mab-france.org/fr/publi/naturalite_territoires/GENOTetal.htm

GILBERT, D. (2009). *Les communautés microbiennes des sphaignes.* 6^e séminaire « *Tourbières des Pyrénées* », 17-19 juin 2009. URL : <http://www.pole-tourbieres.org/pau.htm>

GREGOIRE, F. (2007). *La tourbière de Sagne Redonde (Lanarce, Ardèche), des choix pour la réhabilitation.* Colloque « *Tourbe et tourbières 2007* », 8-11 octobre 2007. URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

MONCORGE, S. (2007). *Réhabilitation de la tourbière de « Sur les Seignes » (Frambouhans & Les Ecorces, Doubs, France) : l'approche d'un gestionnaire de site.* Colloque « *Tourbe et tourbières 2007* », 8-11 octobre 2007. URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

ROCHFORT, L. (2007). *La réhabilitation des tourbières en France par l'approche de la restauration à sec : possibilités et limites.* Colloque « *Tourbe et tourbières 2007* », 8-11 octobre 2007. URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

VAN DUINEN, G.J. (2007). *Optimizing nature management by using the PROMME-checklist, based on current ecological knowledge and practical experiences.* Colloque « *Tourbe et tourbières 2007* », 8-11 octobre 2007. URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

Tourbières des montagnes françaises
Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion

ERRATUM – version du 31/03/2010

Chapitre 3 – Connaître l’hydrologie d’un site

Complément bibliographique : ce chapitre a été réalisé en se basant notamment sur les travaux préparatoires d’Arlette Laplace-Dolonde et Fabrice Grégoire pour la rédaction d’un Cahier Scientifique & Technique du Pôle-relais Tourbières consacré à l’hydrologie des tourbières (*inédit*).

Chapitre 5 – Faire pâturer les tourbières de montagne : pourquoi, comment ?

p.100

Rédaction : Jérémie Cholet – Pôle-relais Tourbières

Laura Jameau – Pôle-relais Tourbières

p.118 / 4.1. Le Conservatoire Départemental des Sites Lozériens

Dans le tableau, il faut lire :

Site 7: pressions pastorales de 100 à 110 jours.bovin/ha

Site 8 : pressions pastorales de 100 à 110 jours.bovin/ha

Site 9 (La Tioule) : Tourbières (non dégradées) et prairies humides

A photograph of a mountain landscape. In the foreground, there is a wooden walkway and several wooden benches. The ground is covered with green grass and small plants. In the background, there is a dense forest of trees, including evergreens and deciduous trees. The sky is clear and blue.

Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières
Hervé Cubizolle - Université de Saint-Etienne
Fatima Laggoun-Défarge - CNRS Orléans



CHAPITRE 2

Tourbières et climat

- 
- > **1. Les climats influencent les tourbières** **p.38**
 - 1.1. *Le rôle du climat dans la répartition des tourbières*
 - 1.1.1. *A l'échelle planétaire* p.38
 - 1.1.2. *A une échelle régionale* p.39
 - 1.2. *L'influence du climat sur la répartition des différents types de tourbières*
 - 1.2.1. *A l'échelle planétaire* p.39
 - 1.2.2. *Deux exemples dans le Massif central oriental* p.40

 - > **2. L'influence des tourbières sur le climat** **p.43**
 - 2.1. *A l'échelle planétaire : les tourbières, de grandes accumulatrices de carbone...* p.43
 - 2.2. *A l'échelle locale : les microclimats en tourbières* p.43

 - > **3. Quelle évolution pour le climat et les tourbières ?** **p.45**
 - 3.1. *Un point sur le changement climatique* p.45
 - 3.2. *Contribution des tourbières au changement climatique* p.46
 - 3.3. *Conséquences du changement climatique sur les tourbières* p.47
 - 3.4. *PEATWARM : un programme d'études des effets d'un réchauffement simulé sur le fonctionnement des tourbières* p.48

 - > **4. Bibliographie thématique** **p.51**

> 6



Effet d'un réchauffement climatique simulé sur la tourbière du Forbonnet [25] / F. Laggoun-Défarge - CNRS Orléans

1. LES CLIMATS INFLUENT LES TOURBIÈRES

1.1. Le rôle du climat dans la répartition des tourbières

La répartition géographique des tourbières est le résultat d'une combinaison de facteurs assez complexe, qui varie selon l'échelle spatiale à laquelle la question est abordée. Ainsi, au même titre que la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie et l'intervention des sociétés humaines, le rôle du climat est très variable, quoique toujours important, tant est fondamentale la place de l'eau dans la genèse et la pérennité de ces écosystèmes.

Il faut toutefois garder à l'esprit que les climats ont évolué au cours des milliers, voire des dizaines de milliers d'années d'existence des tourbières. En conséquence, les climats qui ont permis le démarrage de la turfigénèse ne sont pas nécessairement ceux sous lesquels la tourbe continue de s'accumuler au XXI^e siècle. C'est pourquoi vouloir expliquer la répartition actuelle d'écosystèmes aussi vieux au moyen du seul facteur climatique serait une erreur,

car s'il est inconcevable qu'une tourbière continue à se développer sous un climat devenu désertique - hormis certains cas particuliers de sites minérotrophes alimentés en permanence depuis des siècles plus arrosés, il est tout à fait envisageable qu'elle démarre et connaisse un premier développement dans des conditions hyperocéaniques, puis qu'elle se maintienne des millénaires durant sous un climat continental subhumide.

1.1.1. A l'échelle planétaire

La distribution géographique des tourbières correspond assez bien aux deux ceintures de basses pressions qui entourent la Terre aux moyennes et basses latitudes. Ce phénomène s'observe de façon très nette dans la région intertropicale, où les tourbières sont principalement localisées dans la zone de balancement saisonnier de la convergence intertropicale (CIT).

Les alizés se rencontrent au niveau de ces zones de basses pressions proches de l'équateur, et y font converger des masses d'air chaudes et humides provenant des tropiques qui subissent de très puissantes ascendances, entraînant à leur tour de fortes précipitations.

La relation est moins nette dans l'hémisphère nord, où l'on rencontre de vastes zones tourbeuses au cœur de régions moyennement à faiblement arrosées, bien que soumises une bonne partie de l'année à l'influence des basses pressions. Cela est dû à l'immensité de ces masses continentales, ainsi qu'à l'éloignement - qui en découle - des océans où naissent les perturbations. Ainsi le Centre-Nord du Canada, les plaines de Sibérie occidentale et les plateaux de Sibérie orientale, des régions particulièrement bien pourvues en tourbières, reçoivent entre 200 mm et 1000 mm de précipitations annuelles selon leur plus ou moins grande distance aux masses océaniques.

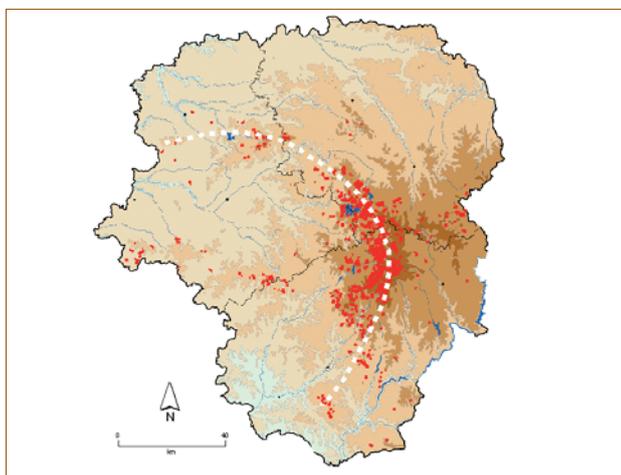
La température est un autre facteur à prendre en considération, puisqu'elle se combine avec les précipitations pour déterminer l'évapotranspiration (qui est définie comme l'eau transférée vers l'atmosphère par le biais à la fois de la transpiration des végétaux et de l'évaporation - voir chapitre 5). Ainsi, la répartition des tourbières dépend davantage de l'équilibre entre les précipitations et l'évapotranspiration que des seules tranches d'eau précipitées. Cela explique que les régions équatoriales très chaudes mais très arrosées, tout comme les régions continentales de l'hémisphère nord, peu arrosées mais froides, soient riches en tourbières.

1.1.2. A une échelle régionale

Les données du problème sont ici différentes, et deux cas de figure sont à considérer :

- soit les conditions climatiques sont relativement homogènes, et il faut alors faire appel à d'autres facteurs que le climat pour expliquer la répartition des tourbières ; c'est le cas dans les régions à la topographie monotone, sans reliefs notables qui influent sur la météorologie locale ;
- soit les conditions climatiques connaissent de fortes variations sur de faibles distances et le climat, ou plutôt les conditions météorologiques locales, jouent un rôle important au côté des autres facteurs géographiques ; c'est le cas en montagne, où l'altitude et l'exposition des versants influent considérablement sur les variables météorologiques.

La montagne est à ce titre un secteur privilégié du fait des modifications climatiques entraînées par les reliefs : diminution des températures (la raréfaction de l'air limitant l'absorption des radiations solaires) et augmentation des fréquences et intensités des précipitations jusqu'à l'altitude dite optimale (l'ascendance des masses d'air se traduit par un refroidissement, qui entraîne la condensation de la vapeur d'eau et donc la création de nuages). Même si ces généralités doivent être nuancées par les organisations et orientations des reliefs, induisant une forte variabilité selon les versants (adret/ubac, au vent/sous le vent) ou les vallées et bassins (climat d'abri ou pas), on comprend qu'un climat globalement plus frais et humide soit favorable à la mise en place de milieux tourbeux ; à noter que les plus hautes altitudes ne sont pas concernées du fait des conditions extrêmes qui y règnent (froid, neige...), et limitent notamment le développement de la végétation. Les modelés glaciaires ou périglaciaires qui abondent en montagne constituent un autre facteur favorable.



Répartition « en arc » des sites tourbeux (en rouge) en région Limousin
CREN Limousin

Un bel exemple est celui des Andes, où les tourbières se concentrent sur le versant pacifique, l'une des régions les plus arrosées du monde, alors que le versant argentin en est presque dépourvu, sauf dans le secteur d'Ushuaia où la ligne de crête s'abaisse considérablement et s'oriente ouest/est, ce qui concentre les précipitations au sud de la Terre de Feu.

Plus près de nous, la répartition des tourbières en Limousin montre que la majorité des sites se concentre sur les reliefs occidentaux, qui sont la première barrière pour les flux issus de l'Atlantique ; l'importance des précipitations orographiques sur ces secteurs, combinée aux autres paramètres évoqués précédemment, explique la concentration de milieux tourbeux que l'on y rencontre.

1.2. L'influence du climat sur la répartition des différents types de tourbières

1.2.1. A l'échelle planétaire

Les tourbières ombrotrophes, et en particulier les tourbières bombées, se rencontrent principalement dans les régions où les bilans de l'eau sont les plus favorables tout au long de l'année, c'est-à-dire là où les précipitations sont abondantes ou très abondantes et les températures modestes, ce qui limite l'évapotranspiration. Tous les secteurs au climat hyperocéanique des moyennes latitudes accueillent ainsi de vastes et magnifiques tourbières bombées à sphaignes : Grande-Bretagne et Irlande, Fennoscandie, Andes chiliennes, sud de la Terre de Feu, Nouvelle-Zélande, sud de l'Alaska ...

Les tourbières basses, quant à elles, se retrouvent sous un panel de climats variés, tant du point de vue des températures que des précipitations ; en effet, elles dépendent

moins directement des conditions météorologiques.

Même si des relations, parfois nettes, existent entre les principales aires biogéographiques et les types de tourbières, les secteurs de montagne présentent la particularité de constituer des biomes azonaux (déconnectés des grandes ceintures influencées en particulier par la latitude). Les conditions locales de climat quand on monte en altitude (voir 1.1.2.) ont en effet des conséquences relativement similaires à celles rencontrées lorsqu'on se dirige vers les hautes latitudes ; ainsi dans le modèle de Holdridge, qui classe les grandes « zones de vie » selon divers facteurs (évapotranspiration potentielle, précipitations), retrouve-t-on en parallèle des correspondances entre régions latitudinales et ceintures altitudinales.



Tourbières inondées dans la presqu'île Mitre
(Terre de Feu - Argentine) / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

1.2.2. Deux exemples dans le Massif central oriental

En France, les tourbières se trouvent en limite sud de leur répartition principale dans l'hémisphère Nord ; le climat n'est que l'un des nombreux facteurs qui interviennent pour expliquer leur distribution.

Deux exemples pris dans le Massif central oriental vont nous permettre d'illustrer cette complexité.

L'étagement des tourbières le long du versant oriental des Monts du Forez



Tourbière de la Palissade [42] - 821 m / Université de Saint-Etienne

• A l'étage montagnard inférieur, entre 900 m et 1100 m, au cœur des terroirs agricoles historiques, les tourbières minérotrophes apparaissent. Le pH fluctue entre 5,5 et 6,5 et la végétation se compose principalement de *Sphagnum teres*, *Aulacomnium palustre*, *Carum verticillatum* et *Salix repens*. Il s'agit ici de tourbières anthropiques qui ne doivent leur existence qu'à des obstacles en pierres ou en terre, bâtis par les Hommes au fil des trois derniers millénaires pour contrôler les écoulements de fonds de vallon, créer des pièces d'eau ou marquer des limites de parcelles (voir chapitre 1). Les épaisseurs de tourbe varient de 1 à 4 m selon la configuration du terrain et la nature de l'aménagement.



Tourbière de Sauvazoux [42] - 930 m / Université de Saint-Etienne



Tourbière de la Prénarde [42] - 1125 m / Université de Saint-Etienne

• Entre 1100 m et 1250 m d'altitude, au sein de l'étage montagnard médian actuellement très largement couvert par la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus* sur sol ocre podzolique, se développent des écosystèmes tourbeux complexes et typologiquement très variés. Ils sont installés dans les fonds de vallées, souvent en tête de réseau hydrographique, où ils constituent des clairières plus ou moins arborées d'une superficie de 2 à 13 hectares au cœur des sapinières. D'un point de vue phytoécologique, on observe une mosaïque de tourbières ombrotrophes à sphaignes (*Sphagnum magellanicum*, *S. capillifolium*, *S. rubellum*), plus ou moins dégradées et souvent boisées en *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens*, et de tourbières minérotrophes à *Juncus acutiflorus*, *Sphagnum teres*, *S. flexuosum*, *S. angustifolium*, *S. squarrosum* et *Betula pubescens*. Sur certains sites, on note une évolution de la boulaie à sphaignes vers la sapinière à bouleaux climacique (*Betulo-Abietetum* Lemée ex-Thébaud 2006). Les datations montrent des âges très variables pour les couches basales : la plus ancienne de ces tourbières s'est mise en place au Préboréal, soit entre 10100 et 8200 avant J-C., tandis que la plus récente démarrait au milieu du Subboréal, soit autour de 2100 avant J-C. La présence des tourbières est ici plus difficile à expliquer : le facteur climatique intervient, puisque les températures s'abaissent à ces altitudes, tandis que les précipitations augmentent. Mais l'intensité de l'activité agro-pastorale historique permet également d'expliquer - en partie du moins - la diversité actuelle de ces tourbières, certaines ayant été intensément pâturées, tandis que sur d'autres la pression a été beaucoup plus faible. Par ailleurs, quelques sites ont fait l'objet de tentatives de drainage, qui ont vraisemblablement eu un impact sur la dynamique turfigène.

- Entre 1250 m et 1450 m, au sein de l'étage montagnard supérieur, on voit apparaître les grandes tourbières ombrotrophes, souvent bombées, à *Sphagnum magellanicum*, *S. rubellum*, *S. capillifolium*, mais aussi *S. fuscum* pour celles situées au nord du massif. Elles sont souvent incorporées à de vastes systèmes tourbeux de plusieurs dizaines d'hectares, qui se prolongent dans l'axe des vallées fluviales par des couloirs de tourbières minérotrophes. Les bombements sont situés en tête de vallée, et beaucoup sont associés aux modelés glaciaires (cirques glaciaires, barrages de moraines), mais aussi à des cirques de névés. La topographie en dôme est marquée et les épaisseurs de tourbe varient entre 3 m et 6,5 m. Elles sont réparties au sein des landes à *Calluna vulgaris* et *Vaccinium myrtillus*, de la hêtraie, de la sapinière ou des groupements à *Sorbus aria* ou *Sorbus aucuparia*. Toutes ces tourbières se sont mises en place dans la première moitié de l'Holocène, principalement au Boréal et à l'Atlantique ancien, soit entre 8200 avant J-C. et 4800 avant J-C. La présence des grandes tourbières bombées s'explique fondamentalement par la combinaison de conditions climatiques, géomorphologiques et topographiques très favorables. Le climat à ces altitudes prend en effet un caractère résolument montagnard, avec des précipitations bien réparties sur l'année et comprises en moyenne entre 1200 mm et 1400 mm. L'enneigement est également plus abondant et plus persis-



Tourbière de Gourgon [42] - 1360 m / Université de Saint-Etienne

tant, engorgeant les sols et les formations superficielles jusqu'au début de l'été dans les années 1970, puis moins longuement, quoiqu'encore jusqu'au cœur du printemps, depuis le début des années 1980. Enfin la topographie de ces plateaux comprend de nombreuses surfaces en pente douce et des modelés en creux glaciaires et périglaciaires : têtes de vallées, cirques glaciaires, cirques de névés, niches de nivation, bourrelets morainiques.



Tourbière de Corniche en Cœur [42] - 1540 m / Université de Saint-Etienne

- Au dessus de 1450 m enfin, on entre dans l'étage subalpin inférieur où on ne trouve plus que de petites tourbières de moins de 1 ha disséminées au sein des landes asylvatiques à *Vaccinium uliginosum*, *Calluna vulgaris*, *Alchemilla saxatilis*, *Luzula devauxii*, *Festuca rubra* ssp. *rubra* ... Les tourbières, peu nombreuses, sont installées dans des cirques de névés ou des niches de nivation, jusqu'à 1570 m d'altitude - soit une soixantaine de mètres sous les sommets. Il s'agit autant de tourbières ombrotrophes que minérotrophes, qui n'offrent que très ponctuellement des épaisseurs de tourbe supérieures au mètre. Pour trois d'entre elles, qui couvrent quelques centaines de m² de sommets d'interfluve, on a pu démontrer une origine ombrogène. Les datations réalisées montrent une origine remontant principalement au Subatlantique, secondairement au Subboréal et très exceptionnellement à l'Atlantique récent. A cette altitude, les conditions climatiques sont moins favorables, malgré des précipitations qui atteignent fréquemment 1600 mm par an. L'accumulation de tourbe est ralentie du fait de la réduction considérable de la saison végétative, qui limite la production de biomasse. Par ailleurs les surfaces en pente douce et les modelés en creux sont rares car le massif de Pierre-sur-Haute, qui rassemble l'essentiel des zones concernées, émergeait de la calotte glaciaire au Würm et n'a donc pas été englacé. Les seuls modelés favorables à la turfigenèse se rencontrent sur son flanc est, et il s'agit de quelques cirques de névés et de niches de nivation.

La répartition des tourbières bombées dans le Massif central oriental

Concernant maintenant plus spécialement les tourbières bombées, on les retrouve principalement dans les secteurs de moyennes montagnes bien arrosées comme le Massif central, les Vosges et le Jura. Dans le Massif central oriental, des études ont montré comment la typologie des tourbières variait sur une distance d'environ 200 km, des monts de la Madeleine au nord au sommet du Tanargue au sud.

- Dans les Monts de la Madeleine, les précipitations sur les plus hautes surfaces, entre 900 et 1287 m d'altitude, dépassent partout les 1200 mm annuels, et peuvent exceptionnellement atteindre les 1700 mm. Les tourbières bombées, qui apparaissent dès 900 m, ont alors des convexités très marquées et les épaisseurs de tourbe atteignent près de 6 m.

- Dans le nord des Monts du Forez, les précipitations sont tout aussi abondantes sur le versant auvergnat, à l'ouest, mais la vigueur des dénivelés empêche le développement des tourbières en favorisant l'écoulement des eaux. La retombée orientale du massif, en revanche, est beaucoup plus favorable du point de vue de la topographie si bien que, malgré des précipitations moins abondantes du fait de la position d'abri par rapport aux vents



Tourbière dans la brume / M. Dalliet

pluvieux venus de l'ouest, les tourbières bombées sont encore nombreuses. Les convexités sont toutefois plus écrasées alors que les épaisseurs de tourbe restent fortes (jusqu'à 6,45 m).

- En allant vers le sud du massif, l'ombrotrophie est plus localisée, circonscrite aux plus hautes terres, les mieux arrosées. Les tourbières sont de moins en moins bombées, moins vastes, les épaisseurs souvent comprises entre 2 et 3 mètres.

- Plus au sud encore, les tourbières ombrotrophes sont cantonnées dans des contextes topographiques bien particuliers : les cratères de volcans, essentiellement les maars du plateau volcanique du Velay.

- Partout ailleurs, on ne trouve plus que des tourbières basses et minérotrophes, de faible superficie, nichées sur le haut des versants du Mézenc et du Tanargue.

Ces quelques développements montrent bien que seule la combinaison des facteurs climatique, hydrologique, géomorphologique et anthropique est en mesure d'expliquer dans le détail la répartition des tourbières. Le facteur climatique est certes primordial, car sans précipitations il n'y a pas d'accumulation de tourbe possible. Mais la hauteur d'eau annuelle nécessaire à la turfigenèse peut varier considérablement selon le contexte géomorphologique.

On constate par ailleurs l'importance du facteur humain, fondamental dans les régions de vieille civilisation agro-pastorale puis agricole, comme l'Europe occidentale en général et la France en particulier.

Une conséquence majeure, en termes de gestion conservatoire, de cette multiplicité des facteurs impliqués dans la répartition des tourbières est que les menaces qui pèsent sur ces écosystèmes sont nombreuses et souvent insidieuses. On peut en identifier trois catégories :

- celles bien connues de tous, comme le drainage ou l'extraction ;
- celles fortement suspectées mais encore mal caractérisées, comme le changement climatique en cours, dont les impacts sur les tourbières d'Europe occidentale semblent très variables selon les contextes ;
- celles méconnues des gestionnaires, comme l'arrêt de l'entretien des aménagements à l'origine du maintien des conditions hydrologiques favorables à la turfigenèse dans de nombreuses petites tourbières anthropiques, corollaire de l'abandon des terroirs agricoles de montagne.

2. L'INFLUENCE DES TOURBIÈRES SUR LE CLIMAT

Les interactions entre tourbières et climats se font dans les deux sens : si le climat agit sur la genèse et l'évolution des tourbières, ces dernières, par leurs fonctions de puits ou de sources de carbone, pourraient jouer un rôle non négligeable dans les changements climatiques futurs. En effet, les tourbières sont souvent évoquées comme des milieux abritant une biodiversité originale, rare et menacée ; à l'inverse, l'importance de leur fonction de grandes accumulatrices de carbone sous forme de tourbe a longtemps été négligée. A l'heure actuelle, où le dérèglement climatique dû à un excès d'émission de gaz à effet de serre (comme le CO₂ et le CH₄) dans l'atmosphère se fait de plus en plus alarmant, les tourbières revêtent donc une importance toute particulière du fait de leur rôle - à l'échelle mondiale et pour les sites non dégradés - de « puits » de carbone, qui contribue à réguler naturellement le climat. L'inverse est également vrai, puisque les secteurs dégradés constituent des sources importantes de gaz à effets de serre

2.1. A l'échelle planétaire : les tourbières, de grandes accumulatrices de carbone...

Les tourbières sont des écosystèmes pour le développement desquels le facteur indispensable est un bilan hydrique positif ou nul, obtenu lorsque la somme des apports en eau est supérieure ou égale aux pertes.

Dans de telles conditions d'engorgement permanent, associées à de faibles températures et une faible diffusion de l'oxygène dans l'eau (10 000 fois moins que dans l'air), l'activité microbienne se trouve fortement limitée. Ceci implique une faible décomposition et une forte accumulation de matières organiques dont la dynamique débouche sur la formation de la tourbe. Celle-ci contient entre 70 et 100% (en masse sèche) de matière organique (MO) et entre 70 et 90 % d'eau, par opposition à un sol minéral dont les teneurs en matière organique n'excèdent pas 10 à 15% (Heathwaite & al., 1993).

A l'échelle mondiale, les tourbières représentent près de 3 % de la surface des terres émergées (Lappalainen, 1996), avec une superficie d'environ 400 millions d'hectares

(plus de 7 fois la France métropolitaine), soit 62 % des zones humides terrestres. Elles se développent sous toutes les latitudes, exception faite des zones arides ou très froides. 90% des tourbières à sphaignes se trouvent dans les zones sub-boréales à boréales de l'hémisphère nord. Plus de 43 % de la surface mondiale des tourbières se rencontrent sur le continent nord-américain (28% au Canada et 15% aux USA), couvrant ainsi environ 8% de son territoire. Un autre territoire qui abrite de grandes étendues de tourbières est la Russie (14% de la surface mondiale). Même si la Finlande n'abrite que 3% de la surface mondiale, 34% de son territoire est occupé par des tourbières (Pfadenhauer & al., 1993).

En France, les inventaires restent incomplets et disparates, en particulier en ce qui concerne la taille des sites répertoriés (de nombreuses campagnes ont en effet fixé des seuils minimaux de superficie en dessous desquels les tourbières et zones humides n'étaient pas nécessairement pris en compte), leur délimitation, ou même

leur nature (selon les critères utilisés, pédologiques ou de végétation, l'épaisseur minimale de tourbe, etc.). Les estimations varient ainsi de 100 000 ha (France métropolitaine, critères de végétation) à plus de 300 000 ha (dont 160 000 en Guyane) sur l'ensemble du territoire national, avec des critères pédologiques (Joosten, 2009).

C'est ainsi que, depuis la dernière déglaciation, environ 450 Pg (1 Pg = 10¹⁵g = 1 Gt) de carbone auraient été accumulés dans les tourbières boréales (Clymo, 1983; Gorham, 1991 ; Laine & al., 1996), et qui correspondraient à une masse de tourbe de 5 à 6 000 Gt. Ce stock de carbone représenterait près d'un tiers de celui contenu dans l'ensemble des sols mondiaux (Lappalainen, 1996) et serait équivalent aux 3/4 du carbone atmosphérique (Falkowski & al., 2000). Joosten (2009) estime quant à lui que le stock global de carbone en tourbières était de 453 Gt en 1990, et de 446 Gt en 2008 ; il donne un stock de carbone contenu dans les tourbières de France métropolitaine de 150 Mt en 1990, contre 137 Mt en 2008.

2.2. A l'échelle locale : les microclimats en tourbières

Différentes observations montrent la présence de microclimats en tourbière, caractérisés notamment par des amplitudes thermiques plus importantes que dans les secteurs environnants.

Edom (2001) rappelle que les tourbières sont au premier chef dépendantes du climat régional et local dominant ; c'est seulement en second lieu qu'elles interviennent rétroactivement sur le climat régional, au niveau des variations de température et de l'humidité (l'humidité issue de l'évapotranspiration en tourbière va augmenter la saturation de l'air,

ce qui limitera ensuite l'évapotranspiration). Ainsi les différences entre le climat de la tourbière et le climat des zones environnantes sont-elles d'autant plus faibles que le climat régional est plus humide et plus froid, et d'autant plus grandes qu'il est plus sec et plus chaud.

Les effets susnommés se manifestent par de l'advection, c'est-à-dire des échanges horizontaux de masses d'air (vent) ; comme l'évapotranspiration des tourbières est souvent plus importante que celle de leurs alentours, il se crée un effet d'oasis, c'est-à-dire que le niveau

d'évapotranspiration est d'autant plus grand que la zone humide est petite et est située dans un environnement sec. Ainsi, Romanov (*in* Edom, 2001) démontre dans la zone des forêts boréales de Russie du Nord et de la Baltique que l'influence de l'advection sur l'évapotranspiration de grandes surfaces de tourbières est significativement faible ; à l'opposé, Bavina (*in* Edom, 2001) montre dans la zone des steppes boisées de Biélorussie un net effet de l'advection (causée ici par un assèchement des bas-marais avoisinants) sur l'augmentation de l'évapotranspiration des tourbières.

Des résultats similaires ont été obtenus en Allemagne. Ainsi, Eggelsmann & Blankenburg (*in* Edom, 2001) interprètent les déficits du bilan hydrique de petites surfaces en eau d'une zone expérimentale de réhabilitation comme étant en partie liés à l'effet d'oasis ; Behrendt (*in* Edom, 2001) a lui montré qu'un lysimètre placé dans une roselière d'une zone remise en eau indiquait une évaporation de 15 à 20% moindre qu'un lysimètre placé dans un environnement plus sec.

Si un vent en provenance d'une zone à évaporation relativement faible (par exemple un sol arable minéral) passe au-dessus d'une zone plus humide (comme une tourbière), la plus forte disponibilité en eau permettra brusquement la satisfaction d'une partie plus importante des exigences d'évapotranspiration de l'air. L'évapotranspiration ainsi accrue conduit à un accroissement de l'humidité de l'air et, du fait de la consommation d'énergie qui y est liée, à un refroidissement de l'air qui surplombe la tourbière. Ceci à son tour cause une réduction de l'évapotranspiration potentielle : l'évapotranspiration dans la tourbière diminue avec un accroissement de la force du vent, jusqu'à atteindre un nouvel état d'équilibre, non soumis à l'advection.

L'impact du vent est souvent négligé, ce qui induit sur de larges surfaces des erreurs dans la détermination des bilans hydriques. Or la variabilité de ces impacts est importante :

- en l'absence de vent, la tourbière évapore peu, par exemple lors des étages ;
- si la tourbière est insérée dans un environnement humide ou dans des climats globalement humides (atlantiques) ou frais, la réduction d'énergie d'advection (= évapotranspiration liée au vent) est très faible ou inexistante ;
- si la tourbière est très grande, les effets d'advection agissent surtout en bordure, c'est à dire que les grandes tourbières sont moins soumises au climat environnant ;
- en conditions continentales et relativement sèches (steppe, steppe boisée, paysages agricoles), les effets d'advection sont particulièrement forts au printemps et en automne, quand la tourbière



Tourbière des Dauges [87] / L. Jameau - Pôle-relais Tourbières

est saturée d'eau (Bavina, *in* Edom, 2001) ; ils sont souvent sous la limite de mesurabilité, mais entrent tout de même dans les pertes de bilan hydrique.

- si une tourbière est environnée de forêts ou d'autres obstacles à la progression du vent (par exemples des montagnes), ou si elle est située dans une vallée profonde protégée du vent, l'effet de l'advection est minimal : un environnement boisé limite le pouvoir évaporant au-dessus de la tourbière, d'une part par son effet de protection contre le vent, et d'autre part par sa propre évapotranspiration, qui enrichit l'air en humidité. Aussi Leick (*in* Edom, 2001) vit-il déjà la cause de l'existence de la petite tourbière de Kieshof, dans le climat par ailleurs relativement sec de Greifswald (Allemagne), dans la présence d'un environnement boisé et dans l'embroussaillage des landes, qui constituent par leur irrégularité de surface un frein à la vitesse du vent. C'est aussi ainsi que peuvent s'expliquer les conditions de forte croissance de la tourbe des tourbières de chaudrons glaciaires. Les vents de foehn des montagnes déclenchent, en survolant les tourbières qui s'y trouvent, une augmentation de l'évapotranspiration par advection.

Un effet inverse (advection négative) est constaté dans les terrains en pente, induit par les courants d'air froid (par

exemple sur les tourbières en situation de pente ou de vallée) durant les nuits à fort rayonnement et les mois d'hiver, ce qui conduit à la formation de nappes d'air froid dans les vallées et les replis de terrain. Elles favorisent la formation de brouillards et de rosée et ralentit le réchauffement durant les heures du jour, ce qui diminue le pouvoir évaporant atmosphérique en début de journée.

L'effet rétroactif des tourbières sur les conditions d'humidité atmosphérique se manifeste par un microclimat frais et humide aux abords de la tourbière dans les paysages riches en tourbières ; les effets d'advection et le pouvoir évaporant en est diminué. L'assèchement de tourbières dans de vastes complexes paysagers conduit du fait d'une évaporation diminuée dans ces tourbières asséchées, à un pouvoir évaporant accru, donc à une augmentation des effets d'advection dans les tourbières qui auront été maintenues à l'état naturel. Des remises en eau à grande échelle ont des effets inverses.

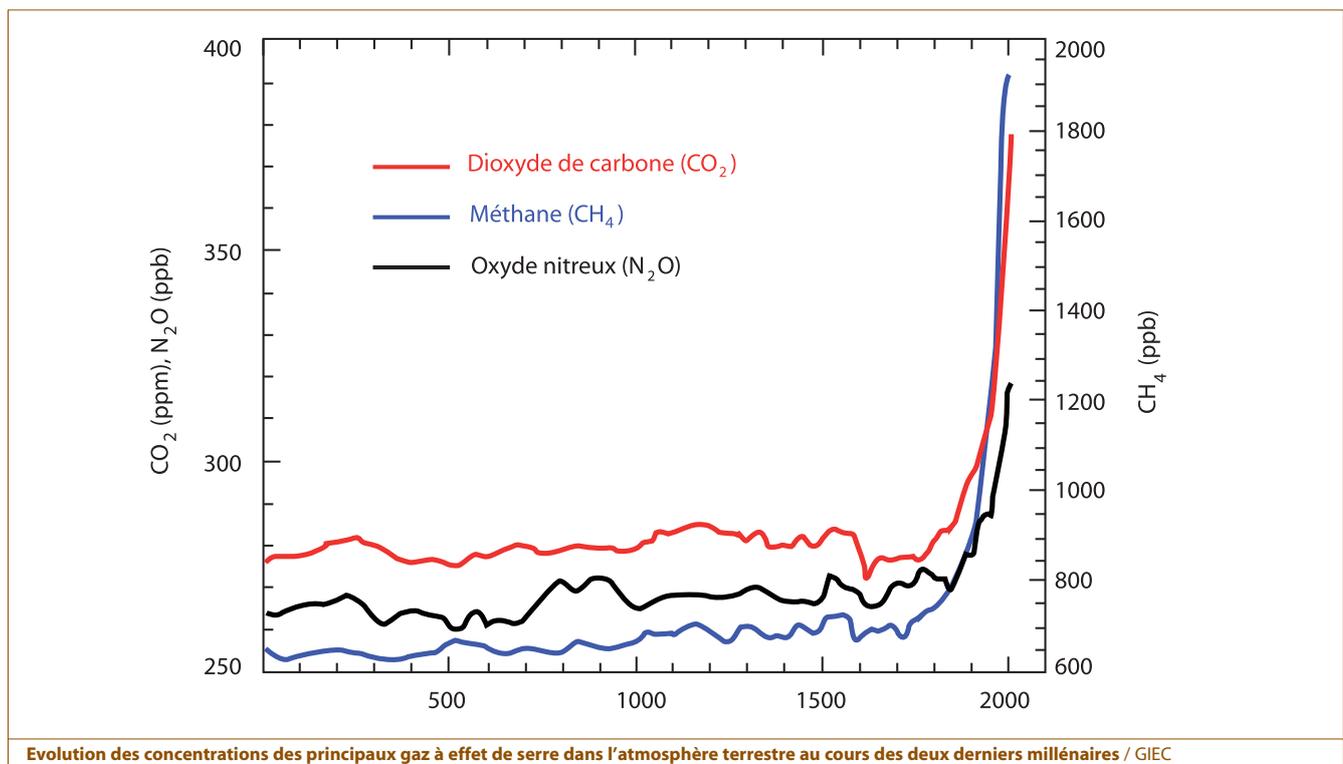
L'étude climatique sur la tourbière des Dauges [87] confirme la singularité du microclimat sur la tourbière, ainsi que le fait que celle-ci constitue un creux à gel, avec des influences locales marquées de la végétation (Vilks, 1998).

3. QUELLE ÉVOLUTION POUR LE CLIMAT ET LES TOURBIÈRES ?

3.1. Un point sur le changement climatique

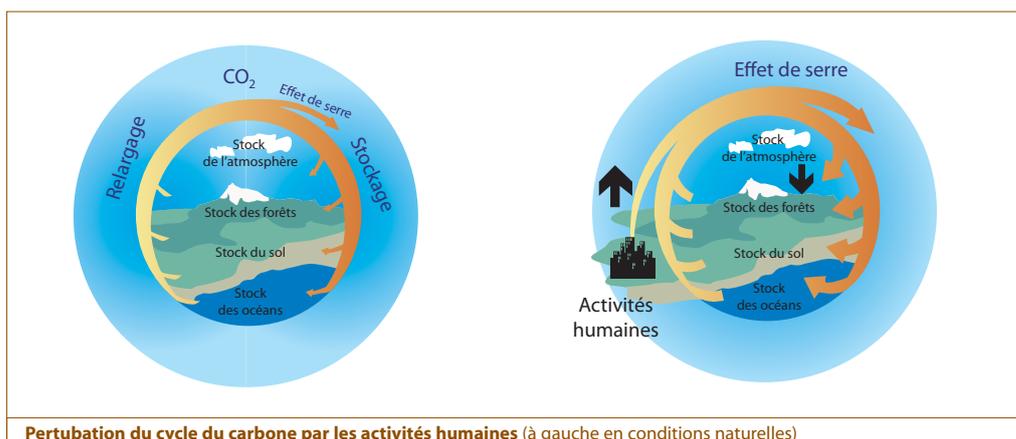
Rappelons d'abord que les climats ont déjà connu de fortes variations par le passé (exemple des glaciations), mises en évidence notamment par les reconstitutions paléoenvironnementales à partir des enregistrements contenus dans les archives naturelles des tourbières (pollens, macrorestes).

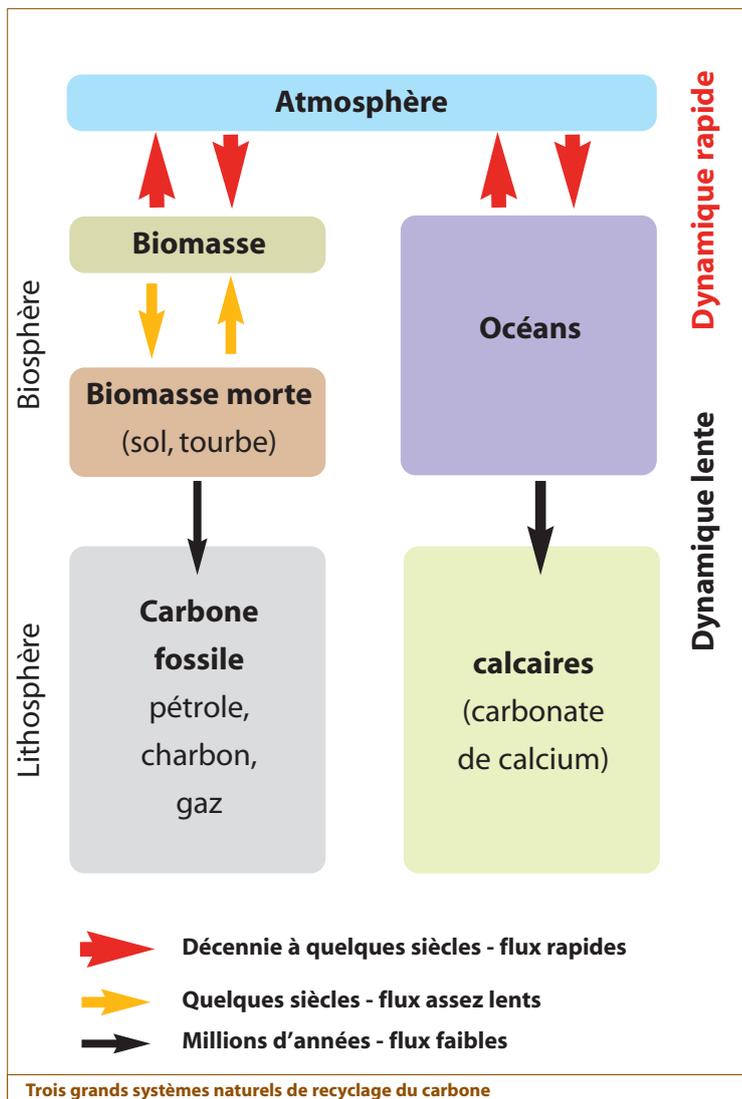
Depuis la révolution industrielle, suite à la combustion massive de matières carbonées fossiles, des dizaines de milliards de tonnes de carbone et, d'une manière générale, de gaz dits « à effet de serre » (CO_2 , CH_4 , N_2O ...) ont été rejetées dans l'atmosphère, modifiant ainsi les quantités impliquées dans le cycle global du carbone. Les concentrations de ces gaz dans l'atmosphère terrestre au cours des derniers siècles ont donc nettement augmenté.



Or ces gaz "bloquent" les émissions radiatives terrestres, provoquant ainsi une hausse des températures. Ce phénomène est naturel et nécessaire à la vie, puisqu'en gardant une partie de l'énergie radiative de la Terre, il a permis à l'origine d'obtenir les gammes de températures sous lesquelles se sont développés les êtres vivants sur Terre.

Jusqu'ici, les compartiments de la planète, et en particulier la biosphère et les océans, ont pu absorber en partie le surplus récent de gaz et, par cette fonction de « puits de carbone », ont contribué à réguler le cycle global du carbone.





Mais aujourd'hui le réchauffement climatique réduit le rôle compensatoire de ces puits, comme le montre le ralentissement de la précipitation des carbonates de calcium dans les océans (voir entre autres Sabine & al., 2004). Ce processus, unique dans l'histoire de la Terre de par sa célérité, a notamment conduit à une hausse moyenne des températures de 0,6°C au cours du XXe siècle et devrait, selon les modèles prédictifs du climat, mener à une hausse moyenne des températures allant de 2 à 6°C d'ici la fin du XXIe siècle (GIEC, 2007). Les incertitudes sur les émissions réelles de gaz à effet de serre, le fonctionnement du système climatique et les modèles utilisés ne permettent pas de prédire exactement les changements à venir, et encore moins à un niveau local ; mais les différents scénarii élaborés convergent vers un réchauffement global, qui pourra se traduire localement par des modifications - hausses ou baisses - des températures et des précipitations. Les impacts sur le cycle du carbone et les réponses des systèmes-puits (océans et biosphère) demeurent alors inconnus. Ainsi, si de nombreux effets "directs" d'un tel changement ont été démontrés ou directement observés (fonte des glaciers, hausse moyenne des précipitations dans certaines régions, fréquence des catastrophes météorologiques...), certains effets "indirects" dus principalement aux rétroactions demeurent méconnus. Ces dernières sont définies comme étant la réponse amplificatrice ou atténuatrice d'un écosystème en retour au facteur déclencheur de cette réponse ; ainsi, les modifications subies par un écosystème, suite à un changement climatique, ont des répercussions sur ce même climat. Lorsqu'il y a augmentation de l'intensité du facteur déclencheur, il est question de rétroaction positive : l'effet de serre nourrit l'effet de serre. Au contraire, quand le facteur déclencheur est atténué, la rétroaction est négative : l'ensemble du système s'autorégule.

Comprendre l'impact des perturbations climatiques sur le fonctionnement des tourbières est primordial, car leur réponse pourrait soit accélérer (rétroaction positive), soit atténuer (rétroaction négative) les changements engendrés par ces perturbations.

En pratique, savoir comment une tourbière va réagir aux perturbations climatiques permet d'orienter son mode de gestion : assurer la pérennité d'une tourbière réagissant avec une rétroaction négative par des mesures de gestion conservatoire ou, inversement, pratiquer des mesures de gestion appropriées et adéquates pour tenter de modifier la réponse d'une tourbière réagissant avec une rétroaction positive.

3.2. Contribution des tourbières au changement climatique

Dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄) sont deux des principaux gaz à effets de serre impliqués dans le changement climatique actuel ; le CO₂, avec une durée de vie moyenne dans l'atmosphère de 125 ans (contre 12 pour le méthane), et émis en quantités supérieures, contribuerait, malgré un pouvoir de réchauffement 23 fois inférieur

que celui du méthane, à 55% à l'effet de serre global, contre 15% pour le méthane. Les tourbières dégradées (notamment par drainage pour exploitation ou transformation en terres agricoles) relâchent d'une manière accrue ces gaz, notamment le CO₂, et contribuent donc au changement climatique. Joosten (2009) estime que les quelques 426 000 km² de

tourbières dégradées à travers le monde ont émis en 2008 l'équivalent de 1300 Mt de CO₂ ! Pour la France métropolitaine, les émissions sont estimées à 2,7 Mt pour 2008 pour 1120 km² de tourbières dégradées, avec des émissions potentielles de 450 Mt dans le futur.

3.3. Conséquences du changement climatique sur les tourbières

Actuellement, parmi les écosystèmes continentaux, les sols et leur stock de carbone retiennent de plus en plus l'attention de la communauté scientifique ; le débat portant sur les effets du changement climatique sur ces stocks de carbone est de plus en plus vif, puisqu'en fonction notamment de la sensibilité de ces écosystèmes à la température, il est possible d'avoir des rétroactions positives ou négatives sur le stockage du carbone (Davidson & Janssens, 2006).

Les modèles biogéochimiques de décomposition de la matière organique (MO) ont jusqu'à présent été essentiellement établis pour des sols à teneur en MO moyenne à faible (par exemple McGuire & al., 2001 ; Smith & al., 1997), et très peu de données sont disponibles concernant les tourbières. Pourtant, ces écosystèmes sont reconnus pour être les plus efficaces pour le stockage du carbone à l'échelle du globe (voir 2.1.). Dès lors, il devient primordial de prendre en compte dans les modèles de prévision climatique les variations du stockage du carbone par les tourbières en réponse au réchauffement climatique ; en témoignent les recommandations émises récemment par Davidson & Janssens (2006) dans le journal « *Nature* » (traduites ici par nos soins) :

« Indépendamment des approches expérimentales et de modélisation utilisées, le débat à propos de la sensibilité à la température de la décomposition devrait être élargi au-delà des sols minéraux pour inclure en particulier les zones humides, les tourbières et le pergélisol. Ces milieux sont, de manière évidente, ceux pour lesquels les contraintes actuelles de décomposition sont susceptibles de changer en réponse au bouleversement climatique, exposant potentiellement de vastes stocks de carbone à une décomposition accrue durant les quelques décennies à venir. Un axe de recherche prioritaire devrait être de savoir dans ces environnements quels facteurs limitant la décomposition sont sensibles à la température. »

Dans cette perspective de changement climatique, l'intérêt qui doit être porté aux tourbières, du point de vue de leur vulnérabilité face aux changements climatiques se justifie à plus d'un titre :

- les tourbières sont en partie alimentées en eau par les précipitations ; le système hydrologique dépend donc des conditions atmosphériques, et ce de façon directe et totale pour les tourbières ombrotrophes ;

- ces écosystèmes se situent majoritairement dans les zones boréales et subboréales de l'hémisphère nord (voir 2.1.), justement là où le réchauffement le plus important est attendu pour les décennies à venir (une hausse de température annuelle moyenne de 7-8°C à la fin du XXI^e siècle selon les prévisions établies par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) dans son rapport 2007. Avec un tel scénario, non seulement les tourbières pourraient cesser de fixer le carbone par le biais de la production photosynthétique, et donc d'accumuler de la matière organique, mais leur fonction de puits de carbone pourrait s'inverser, et ce stock de carbone indispensable à la stabilité de notre climat pourrait se « volatiliser » sous l'effet du réchauffement planétaire attendu.

- ces milieux ont une grande capacité de stockage de carbone (voir 2.1.) ; ce fort potentiel d'accumulation de carbone, en particulier des tourbières ombrotrophes, est dû à plusieurs facteurs : d'abord, la végétation spécifique (mousses, essentiellement des sphaignes) de ces milieux est formatrice de tourbe qui s'accumule avec un taux (1 mm/an en moyenne) nettement supérieur à celui des sédiments lacustres ou marins ; ensuite, la préservation de la matière organique, y compris les biopolymères comme les polysaccharides (Comont & al., 2006), connus pour être facilement dégradables dans les sols (Pancost & al., 2002). Ceci est dû à l'engorgement du milieu qui, combiné aux faibles températures, contribue à limiter fortement l'activité microbienne, et donc la décomposition de ladite matière organique (voir 2.1.) (Thormann & al., 1999).

Peu de recherches ont été menées jusqu'à présent sur l'impact du fonctionnement des tourbières sur le cycle global du carbone dans un cadre de changement climatique, et leur rétroaction - positive ou négative - n'est pas encore connue. Il est cependant reconnu qu'une hausse seule des températures signifie une évapotranspiration accélérée, un abaissement du niveau de la nappe d'eau et une disponibilité accrue en oxygène dans le sol, paramètres favorables à un dégagement de CO₂. Dans le même temps, cette hausse de température a également pour conséquence une forte fixation du carbone par photosynthèse. D'autre part, si une hausse des précipitations, associée à celle des tem-

pératures, devrait être à l'origine d'une augmentation de la fixation du carbone par l'activité photosynthétique, le maintien, voire l'accentuation, des conditions anoxiques dans le sol devrait être aussi favorable à une production accrue de CH₄. Par exemple, dans certaines tourbières de Sibérie occidentale, des travaux récents ont d'ores et déjà relevé des émissions accrues de CH₄, même si celles-ci sont en grande partie liées à la fonte du pergélisol suite au réchauffement enregistré (Wille & al., 2008).

Ainsi, quels que soient les scénarii climatiques envisagés, les bilans globaux de carbone absorbé et/ou relargué par les tourbières ne sont à l'heure actuelle pas précisément établis. Les recherches visant aujourd'hui à réduire les incertitudes sur la quantification de ces bilans et à prévoir les éventuelles rétroactions des tourbières face aux changements climatiques sont nombreuses. Aussi, la prise en compte de ces données dans les modèles de prévision climatique devient-elle primordiale.

La stratégie pour gérer la « crise » climatique consiste en deux points :

- **diminuer les gaz à effet de serre (GES) provenant des systèmes sources (naturels, et surtout anthropiques) ;**

- **améliorer l'étendue et le fonctionnement des puits et réservoirs de GES.**

Sachant que les tourbières intactes sont des puits de carbone, séquestré durablement dans l'histosol, mais qu'une fois perturbées elles deviennent sources de carbone, relarguant le carbone « fossile » contenu dans la tourbe qui se minéralise, on voit l'intérêt nouveau que prend la préservation durable de ces écosystèmes (préservation d'une de leurs fonctionnalités) dans un cadre global dépassant la seule biodiversité.

3.4. PEATWARM : un programme d'études des effets d'un réchauffement simulé sur le fonctionnement des tourbières

C'est dans ce contexte qu'une trentaine de chercheurs de 7 laboratoires français et suisse mènent conjointement un projet de recherche, PEATWARM (<http://peatwarm.cnrs-orleans.fr>), soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche, pour tenter d'apporter des éléments de réponse à ces questions. L'objectif est d'utiliser les tourbières comme modèles et d'analyser leur vulnérabilité dans un contexte de réchauffement climatique simulé *in situ*.

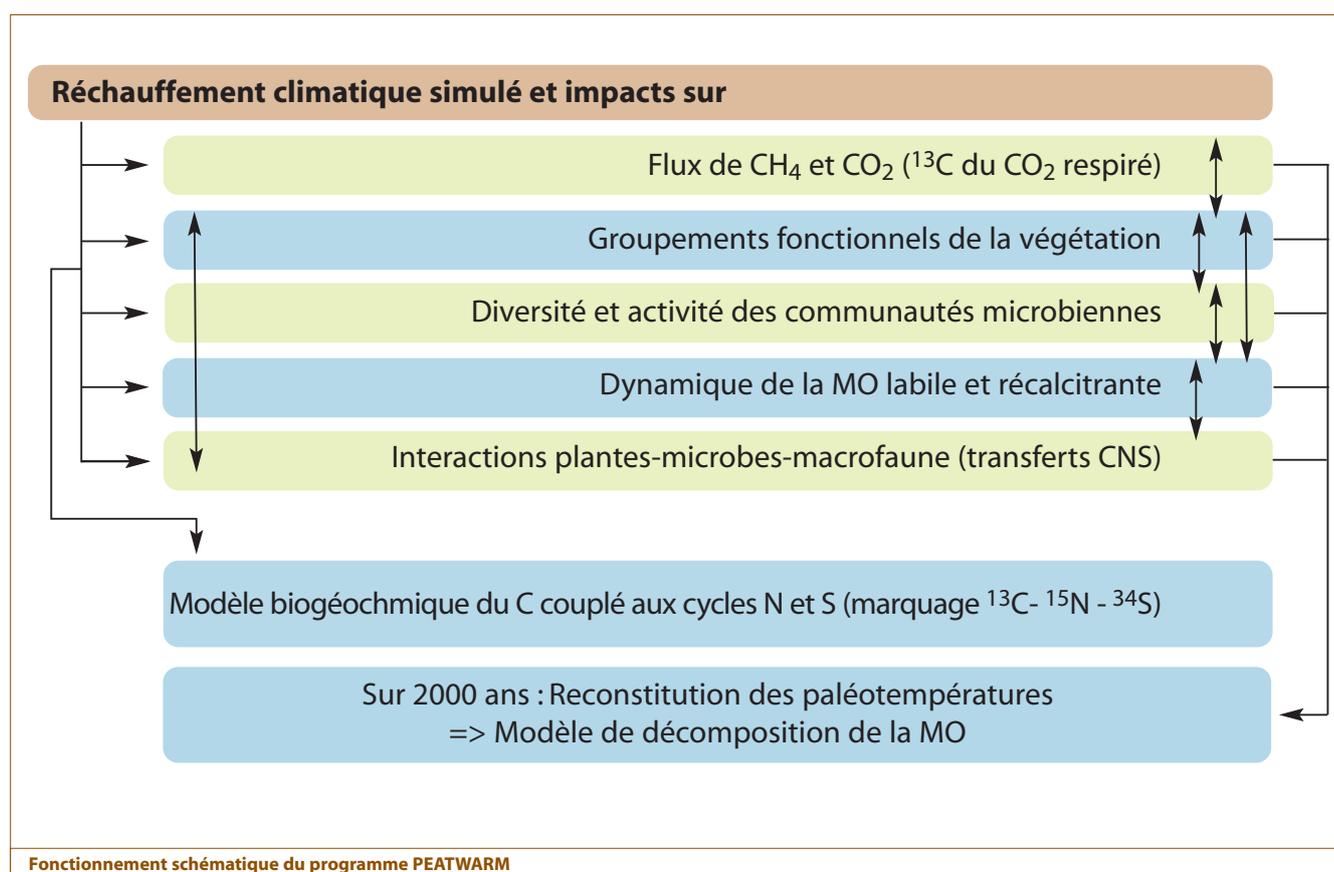
Prenant en compte les modèles d'évolution climatique du GIECC, la question posée est de savoir si une hausse modérée de la température moyenne (+2°C environ) peut

modifier, et dans quelles proportions, la fonction de puits de carbone des tourbières à sphaignes dans les régions tempérées. Plus précisément, le projet se propose d'évaluer les effets de ce réchauffement sur les compartiments-clés des tourbières, à savoir :

- 1) le bilan des émissions de CO₂ et de CH₄ en surface et en profondeur (notamment à travers la signature isotopique du CO₂ respiré par les microorganismes) ;
- 2) la biodiversité et l'activité microbiennes dans les sphaignes et dans la tourbe ;
- 3) la structure des communautés végétales

et la production primaire ;
 4) les interactions plantes/microbes/macrofaune et le cycle du carbone ;
 5) la dynamique des MO labiles (= biochimiquement instables et sensibles aux changements des conditions environnementales) et récalcitrantes (= non labiles) du substrat tourbeux.

In fine, l'objectif est l'élaboration d'un modèle biogéochimique du devenir du carbone dans les tourbières, couplé aux cycles de l'azote et du soufre, prenant en compte les interactions entre ces différents facteurs et visant à extrapoler l'évolution du système sur les deux prochaines décennies.



Pratiquement, le réchauffement climatique est simulé *in situ* grâce à un dispositif expérimental suivant un protocole standardisé ITEX (International Tundra EXperiment), basé sur la mise en place de mini-chambres à toit ouvert (Open-Top Chambers = OTC), soit des hexagones transparents en polycarbonate, dans lesquels l'évolution de la température et de l'humidité est contrôlée.



Détail des OTC sur la tourbière du Forbonnet [25] / F. Laggoun-Défarge - CNRS

En fonction des hypothèses formulées, les principaux résultats attendus sont comme suit :

- Modélisation de l'évolution de la température et de l'humidité dans la tourbe en fonction de la température de l'air.
- Analyse de l'influence du couvert végétal et des modifications de la végétation.
- Détermination de l'impact du réchauffement sur l'abondance, la diversité et la structure des communautés microbiennes à la surface de la tourbière et dans la tourbe.
- Evaluation des flux de CO_2 , de CH_4 et de N_2O à la surface de la tourbière en fonction de la température. Identification de l'origine du CO_2 respiré par l'analyse du ^{13}C .
- Détermination de l'effet du réchauffement sur la dynamique des matières organiques du substrat tourbeux, notamment par l'identification des signatures isotopiques du carbone dans les composés organiques hydrosolubles individuels.
- Identification et calibration des proxies (= indicateurs biologiques, géochimiques ou sédimentaires permettant de quantifier empiriquement les paramètres climatiques et environnementaux utilisés pour les reconstitutions climatiques) les plus pertinents du réchauffement, et validation en paléocéologie.
- Elaboration d'un modèle biogéochimique du carbone intégrant la réponse à la perturbation « Température » des différents compartiments sus-cités. L'élaboration d'un modèle plus « complexe » des émissions C-N-S sera égale-

ment tenté. L'étude des interactions biotiques et des transferts C-N-S sera conduite via un triple marquage ^{13}C - ^{15}N - ^{34}S .

C'est la tourbière du Forbonnet (commune de Frasnay [25]) qui a été choisie comme site d'étude, en raison de ses caractéristiques de tourbière peu perturbée et vraisemblablement accumulatrice de carbone.

La surface totale d'emprise au sol de la station avoisine 100 m². Un ponton en robinier et en chêne avec plusieurs ramifications pour accéder aux placettes de suivi a en premier lieu été mis en place. 6 placettes témoins et 6 placettes équipées d'OTCs ont été disposées dans 2 zones de la tourbière à gradient d'humidité croissant : une zone de haut-marais à tendance sèche avec présence de *S. magellanicum*, et une zone de

marais de transition en situation plus humide. Chacune des 12 placettes a été équipée :

- de 4 thermocouples (2 placettes témoins et 2 OTCs), 2 en surface (-2 et -7 cm) et 2 en profondeur (-20 cm et -50 cm), pour suivre l'évolution de la température du sol ;
- d'enregistreurs automatiques du niveau de la nappe d'eau ;
- de 4 piézomètres (1 piézomètre «classique» pour la mesure de la hauteur de la nappe d'eau et 3 piézomètres sélectifs pour récupérer l'eau à 3 profondeurs : 15, 25 et 40 cm) ;
- d'un cadre de suivi de végétation et de «cranked wires» (échelles graduées) pour le suivi de croissance des mousses ;
- d'anneaux pour réceptionner les cloches de mesure de CO₂ et CH₄.

Le suivi automatique des variations de température et du niveau d'eau dans les placettes ainsi que la mesure des paramètres météorologiques (PAR, rayonnement global, vent, hygrométrie, température de l'air, pluviométrie) sont assurés par une station météorologique, alimentée par batteries connectées à un panneau solaire. La transmission des données est assurée par GSM.



Vus d'ensemble du dispositif sur la tourbière du Forbonnet [25] / F. Laggoun-Défarge - CNRS

Evaluer la vulnérabilité des tourbières face aux changements globaux nécessite obligatoirement le suivi spatio-temporel de bio-indicateurs et de paramètres environnementaux sur le moyen, voire le long terme. Dans la plupart des cas, cette durée doit par conséquent être supérieure à la durée des projets de recherche habituellement financés sur 3 à 4 ans. Le cas de la station expérimentale de PEATWARM en est une parfaite illustration. Des moyens importants ayant été investis dans l'instrumentation du site, l'objectif est de pérenniser ces dispositifs expérimentaux au-delà de la durée du projet (2008 - 2011). Ainsi, l'obtention pour la tourbière du Forbonnet du label « Site instrumenté » par les tutelles constituerait une reconnaissance de qualité destinée à pérenniser ces moyens sur la durée d'observation envisagée (au minimum les deux prochaines décennies). Cela permettrait en outre d'y accueillir d'autres projets nationaux ou internationaux à venir et de produire des données qualifiées mises à la disposition de la communauté scientifique, des décideurs et gestionnaires des milieux naturels, et des partenaires socio-économiques en général.



4. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

- BLANT, M. (2001).** *Le Jura. Les paysages, la vie sauvage, les terroirs.* Delachaux & Niestle, 351p.
- BRIOT, M. (2004).** *Restauration des capacités biogènes des tourbières : étude hydrogéologique, hydrologique et pédologique d'une zone sous influence d'un drain dans la Réserve naturelle de Frasne (Doubs, France).* Mémoire de DEA « Environnement, Santé, Société », Université de Franche-Comté, 30 p.
- CLYMO, R.S. (1983).** *Peat.* In : GORE, A.J.P. (Ed.), *Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor.* General studies, Ecosystems of the World 4A, Elsevier, pp.159-224.
- COMONT, L. ; LAGGOUN-DÉFARGE, L. ; DISNAR, J.R. (2006).** *Evolution of organic matter indicators in response to major environmental changes: the case of a formerly cut-over peatbog (Le Russey, Jura Mountains, France).* *Organic Geochemistry*, 37, pp. 1736-1751.
- DAVIDSON, E.A. ; JANSSENS, I.A. (2006).** *Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change.* *Nature* 440, pp. 165-173.
- EDOM, F. (2001).** *Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht (chorische Betrachtung).* In : SUCCOW, M. ; JOOSTEN, H. (Eds.), *Landschaftsökologische Moorkunde*, ed. Schweizerbart, pp. 200-201.
- FALKOWSKI, P. ; SCHOLE, R. J. ; BOYLE, E. ; CANADELL, J. ; CANFIELD, D. ; ELSER, J. ; GRUBER, N. ; HIBBARD, K. ; HÖGGER, P. ; LINDER, S. ; MACKENZIE, F.T. ; MOORE III, B. ; PEDERSEN, T. ; ROSENTHAL, Y. ; SEITZINGER, S. ; SMETACEK, V. ; STEFFEN, W. (2000).** *The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System.* *Science* 290, pp. 291-296.
- GIEC/IPCC (2007).** *Climate Change 2007.* [en ligne]
URL : http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm
- GORHAM, E. (1991).** *Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming.* *Ecol. Appl.* 1, pp. 182-195.
- GROSVERNIER, P. (2005).** *Expertise hydroécologique de la tourbière du Forbonnet (Commune de Frasne).* Rapport interne (Communauté de Communes du Plateau de Frasne - Val du Dugeon ; Conseil régional de Franche-Comté ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse), 18 p.
- HEATHWAITE, A.L. ; GÖTTLICH, K.H. ; BURMEISTER, E.G. ; KAULE, G. ; GROSPIETCH, T. (1993).** *Mires: definitions and form.* In: HEATHWAITE, A.L. ; GÖTTLICH, K. (Eds.), *Mires : Process, Exploitation and Conservation*, Wiley, pp. 1-75.
- LAINE, J. ; SILVOLA, J. ; TOLONEN, K. ; AIM, J. ; NYKÄNEN, H. ; VASANDER, H. ; SALLANTAUS, T. ; SAVOLAINEN, I. ; SINISALO, J. ; MARTIKAINEN, P.J. (1996).** *Effect of water-level draw-down on global climatic warming: northern peatlands.* *Ambio* 25, pp. 179-184.
- LAPPALAINEN, E. (1996).** *General review on world peatland and peat resources.* In: LAPPALAINEN, E. (Ed.), *Global peat resources*, UNESCO, IPS, Geol. Survey of Finl, pp. 53-56.
- MCGUIRE, A. D. ; SITCH, S. ; CLEIN, J. S. ; DARGAVILLE, R. ; ESSER, G. ; FOLEY, J. ; HEIMANN, M. ; JOOS, F. ; KAPLAN, J. ; KICKLIGHTER, D. W. ; MEIER, R. A. ; MELILLO, J. M. ; MOORE III, B. ; PRENTICE, I. C. ; RAMANKUTTY, N. ; REICHENAU, T. ; SCHLOSS, A. ; TIAN, H. ; WILLIAMS, L. J. ; WITTENBERG, U. (2001).** *Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: analyses of CO₂, climate and land-use effects with four process-based ecosystem models.* *Global Biogeochem. Cycles*, 15, pp. 183-206.
- PANCOST, R.D. ; BAAS, M. ; VAN GEEL, B. ; SINNINGHE DAMSTE, J.S. (2002).** *Biomarkers as proxies for plant inputs to peats: an example from a sub-boreal ombrotrophic bog.* *Organic Geochemistry* 33, pp. 675-690.
- PFADENHAUER, J. ; SCHNEEKLOTH, H. ; SCHNEIDER, R. ; SCHNEIDER, S. (1993).** *Mire distribution.* In : HEATHWAITE, A.L. ; GÖTTLICH, K. (Eds.), *Mires: Process, Exploitation and Conservation*, Wiley, pp. 77-121.
- SABINE, C.L. ; FEELY, R.A. ; GRUBER, N. ; KEY, R.M. ; LEE, K. ; BULLISTER, J.L. ; WANNINKHOF, R. ; WONG, C.S. ; WALLACE, D.W.R. ; TILBROOK, B. ; MILLERO, F.J. ; PENG, T.H. ; KOZYR, A. ; ONO, R. ; RIOS, A.F. (2004).** *The oceanic sink for anthropogenic CO₂.* *Science* 305, pp. 367-371.
- SMITH, P. ; POWLSON, D.S. ; GLENDINING, M.J. ; SMITH, J.U. (1997).** *Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments.* *Global Change Biol.*, 3, pp. 67-79.
- THORMANN, M.N. ; SZUMIGALSKI, A.R. ; BAYLEY, S.E. (1999).** *Aboveground peat and carbon accumulation potentials along a bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada.* *Wetlands* 19, pp. 305-317.
- VILKS, A. (1998).** *Le climat de la tourbière des Dauges et de sa région.* In : *Annales Scientifiques du Limousin*, n° spécial, 1998, pp. 15-24.
- WILLE, C. ; KUTZBACH, L. ; SACHS, T. ; WAGNER, D. ; PFEIFFER, E.M. (2008).** *Methane emission from Siberian arctic polygonal tundra : Eddy covariance measurements and modeling.* *Global Change Biology*, Vol. 14(6), pp. 1395-1408.

COMMUNICATIONS ORALES - RÉSUMÉS, SUPPORTS

- JOOSTEN, H. (2009).** *The Global Peatland CO₂ Picture - Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world.* UN-FCCC conference of Copenhagen, December 2009
URL : http://www.imcg.net/docum/09/joosten_2009.pdf

SITES INTERNET

<http://www.futura-sciences.com>



Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières
Laura Jameau - Pôle-relais Tourbières



CHAPITRE 3

Connaître l'hydrologie d'un site

> 1.	Introduction	p.54
> 2.	Rappels théoriques	p.55
	2.1. <i>Typologies des tourbières</i>	p.55
	2.2. <i>L'hydrologie des tourbières</i>	p.56
	2.2.1. <i>L'eau dans la tourbe</i>	p.56
	2.2.2. <i>Hydrologie de surface</i>	p.56
	2.2.3. <i>Les circulations internes au sein du complexe tourbeux</i>	p.57
	2.2.4. <i>Quelques exemples de la complexité des nappes en systèmes tourbeux</i>	p.58
	2.3. <i>Eléments sur la qualité de l'eau en tourbière</i>	p.59
	2.3.1. <i>L'eutrophisation interne</i>	p.59
	2.3.2. <i>Les apports atmosphériques d'azote</i>	p.60
> 3.	De quels éléments ai-je besoin pour aborder l'hydrologie d'une tourbière ?	p.61
	3.1. <i>Phase descriptive</i>	p.61
	3.1.1. <i>Le bassin versant de la tourbière, un secteur d'importance</i>	p.63
	3.1.2. <i>Le complexe tourbeux</i>	p.64
	3.2. <i>Les mesures de terrain</i>	p.67
	3.2.1. <i>Les mesures de débit</i>	p.67
	3.2.2. <i>Les mesures piézométriques</i>	p.68
	3.2.3. <i>Le chimisme des eaux</i>	p.69
	3.3. <i>Eléments d'analyse et d'aide à la compréhension</i>	p.70
	3.3.1. <i>Aspects quantitatifs : le bilan hydrologique</i>	p.70
	3.3.2. <i>Aspects qualitatifs</i>	p.71
> 4.	Conclusion	p.72
> 5.	Bibliographie thématique	p.73

1. INTRODUCTION



Ruisseau des Dauges, traversant la tourbière du même nom [87] / L. Jameau

L'eau constitue par définition un élément vital pour les tourbières, comme pour toutes les zones humides. Sa quantité, sa qualité - pH, minéralisation, richesse en éléments nutritifs, etc., ainsi que leurs variations dans le temps et l'espace, influent sur la création, l'évolution, et l'éventuelle disparition des milieux tourbeux. Les circulations internes au sein des complexes tourbeux, en surface et en profondeur, sont variables selon les sites et parfois très complexes, mais constituent dans tous les cas un autre paramètre vital lié à l'évolution temporelle et spatiale de la tourbière.

Si tout cela peut sembler évident, peu de gestionnaires ont en réalité des données suffisantes pour appréhender correctement l'hydrologie de leur site ; or la méconnaissance équivaut bien souvent à travailler « à l'aveuglette », tant l'importance de ce facteur est grande. Un changement dans la qualité ou la quantité d'eau alimentant un site pourra ainsi réduire à néant, et parfois rapidement, les années de travaux entrepris pour restaurer le milieu...

La connaissance de l'hydrologie d'un site est donc vitale pour être à même de protéger ou, en cas de dysfonctionnement identifié, d'intervenir sur les secteurs à enjeux, y compris à l'échelle du bassin versant de la tourbière.

Ce chapitre a pour ambition de synthétiser les éléments que le gestionnaire doit avoir

en mémoire lorsqu'il aborde l'hydrologie de « sa » tourbière. Quels paramètres mesurer, où, avec quelle fréquence, comment mettre en place un suivi ... autant de questions auxquelles nous tâcherons d'apporter des réponses - ou éléments de réponse. Le gestionnaire pourra en effet facilement acquérir un certain nombre de données lui permettant une première approche qui peut s'avérer suffisante. Si le besoin se fait sentir d'aller plus loin, suite à la constatation d'un dysfonctionnement par exemple, la complexité de l'approche hydrologique rend incontournable le recours à des spécialistes. Mais là encore le gestionnaire devra être à même de pouvoir formuler une demande précise pour la rédaction du cahier des charges, d'analyser le rendu et sa qualité, et d'en tirer des conclusions en termes de gestion. Bien souvent, il lui faudra aussi assister des hydrologues sans expérience dans ces sites particuliers, qui pourraient être tentés d'utiliser des méthodes standardisées qui ne s'appliquent pas forcément en tourbières, et n'apporteront au final que peu d'informations fiables et utiles au gestionnaire.

Rappelons en préambule qu'une connaissance fine et poussée d'un système tourbeux est toujours intéressante, souvent complexe et exigeante en temps et moyens, et jamais facile. A chacun d'adapter les moyens mis en œuvre au contexte du site et aux objectifs de connaissance et de gestion fixés.

2. RAPPELS THÉORIQUES

2.1. Typologies des tourbières

Les classifications des tourbières peuvent se faire selon de nombreux critères, qui ont été détaillés notamment par Manneville dans son ouvrage (2006). L'une d'entre elles, qui correspond le mieux à l'approche hydrologique, est basée sur la nature de l'alimentation hydrique actuelle du site, et permet de distinguer deux grands types de tourbières :

- Si les eaux proviennent d'une nappe ou d'un cours d'eau, elles ont eu le temps de se minéraliser au contact des roches du substratum ; on parlera alors de tourbières minérotrophes, dites aussi tourbières basses (fens anglais). Selon la nature des zones traversées au préalable par l'eau d'alimentation (géologie, apports anthropiques...), il est possible d'avoir des tourbières basses acides ou basiques, et de niveaux trophiques variables. Cette variabilité se retrouve dans la vaste gamme des végétations correspondantes.

Trois types d'écoulements alimentent potentiellement ce type de site :

- l'écoulement superficiel peut être organisé (réseau hydrographique) ou diffus (ruissellement) ; le premier est constitué par le regroupement des eaux de ruissellement et de source aboutissant à une circulation visible. Les eaux de ruissellement résultent d'un écoulement de surface, au-dessus du sol, et dépendent prioritairement de la puissance des épisodes pluvieux (en lien avec la capacité d'infiltration des sols), des pentes et de l'occupation des sols (en particulier de la structure de la végétation) ;



Tourbière de Grande Pile [70] : écoulement superficiel dans une zone de gouilles / L.Bettinelli - CREN Franche-Comté

- l'écoulement hypodermique, qui se définit comme un écoulement de subsurface (dans le sol au sens pédologique du terme), et qui dépend de la nature granulométrique des sols et de leur état de saturation ;

- l'écoulement souterrain, plus profond, qui se trouve au niveau du substratum et qui correspond à des échanges parfois importants avec les aquifères locaux ou régionaux. Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont notamment liées à la nature minérale du substratum.

Les « bas-marais » correspondent à un éventail de milieux plus large que les seules tourbières basses : certains peuvent être tourbeux ou paratourbeux (moins de 20 à 40 cm de tourbe), d'autres ne présenteront aucune trace de tourbe.

- Si l'alimentation se fait uniquement par les précipitations (pluie, neige, brouillard), on parlera d'ombrotrophie ; dans ce cas, les eaux sont peu minéralisées (oligotrophes) et acides (pH < 5). Les milieux qui en résultent sont appelés tourbières hautes ou hauts-marais (bogs anglais), en raison des bombements qui peuvent survenir par croissance différenciée des sphaignes, bryophytes caractéristiques des tourbières hautes. Les niveaux d'eau sont en moyenne plus stables et plus profonds dans les tourbières ombrotrophes (Porteret, 2008).

Les tourbières hautes peuvent se développer directement sur des terrains minéraux propices, en particulier des secteurs très acides et pauvres en éléments nutritifs comme les grès des Vosges ; mais ils peuvent aussi apparaître au sein de bas-marais, selon un processus qui fait aujourd'hui encore l'objet de nombreux débats.

La réalité du terrain est comme toujours complexe. Ainsi le gestionnaire se retrouvera souvent confronté à des mosaïques de milieux, comme dans le cas des tourbières mixtes, complexes tourbeux qui par leur topographie de surface associent des secteurs ombrotrophes et des secteurs minérotrophes connectés aux versants. On peut alors s'interroger sur les dynamiques des différentes entités : un type de tourbière est-il en train de se développer au détriment de l'autre, ou est-on en présence de deux tourbières contiguës dont l'état est stationnaire ?

La répartition géographique de certains éléments hydrologiques et pédologiques, l'étude des cortèges végétaux et de l'organisation des phytocénoses, ainsi que la mise en perspective temporelle de la tourbière permettent d'avancer dans la connaissance de fonctionnement et de l'évolution de ces écosystèmes complexes.



Zones humides dans le secteur du Néouvielle [65]
F. Muller - Pôle-relais Tourbières

2.2. L'hydrologie des tourbières

Un petit point de sémantique

Nous allons ici traiter d'hydrologie, science qui s'intéresse au cycle de l'eau et inclut les échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre, le sol et le sous-sol. Il faut la distinguer de l'hydraulique, qui ne traite que des écoulements liquides (science utilisée par exemple lors des calculs de conceptions de digues ou de seuils - voir chapitre 4).

De même il faudra bien distinguer les différents types d'action entrepris pour agir sur l'eau dans la tourbière : la création d'un barrage-seuil constitue une restauration topographique et hydraulique, mais l'hydrologie de la tourbière ne sera elle pas restaurée : le comportement de l'eau libre dans le drain ne sera pas le même que dans le corps de tourbe initial !

Des modèles relativement solides ont été élaborés pour les tourbières hautes, étudiées de longue date et avec des moyens importants, en particulier en Amérique du Nord, en Fennoscandie, dans les Iles Britanniques et en ex-URSS, où elles recouvrent des superficies importantes (modèle diplotelmique d'Ingram, séparant acrotelme et catotelme - voir par exemple Porteret, 2008).

Le cas des tourbières basses, plus complexe car tributaire des apports de surface et souterrains, a fait l'objet de moins d'études. Les données générées par les gestionnaires pourront constituer un apport intéressant, pour peu qu'elles soient exploitables (fréquences et lieux d'échantillonnages pertinents).

Quel que soit le type de site concerné, ces modèles ne doivent cependant pas être considérés comme acquis : chaque complexe tourbeux possède son originalité propre, avec souvent des nuances importantes.

2.2.1. L'eau dans la tourbe

On distingue traditionnellement trois états de l'eau dans le sol :

- L'eau libre est celle qui circule entre les particules grâce à la porosité plus ou moins importante du sédiment. C'est l'eau mesurée lors de sondage à la tarière ou dans les piézomètres.

- L'eau liée est celle qui gravite autour de chaque particule granulométrique et qui est retenue à celle-ci par les forces statiques. On distingue l'eau retenue (qui constitue la réserve utile pour les plantes) et l'eau fortement retenue, contenue dans les micropores, les pores fermés et/ou les structures cellulaires végétales mal décomposées de la tourbe, et qui n'est pas mobilisable (300 à 400% du poids de la matrice solide de la tourbe - Porteret, 2008).

- L'eau de constitution est l'eau contenue énergiquement dans les particules. C'est l'eau résiduelle après séchage au four à 105°C d'un échantillon de sol. Dans les sols minéraux, elle est en relation étroite avec les différentes familles d'argiles. Ces minéraux ont en effet une structure qui leur permet de « piéger » des molécules d'eau entre leurs feuillets.

Si la distinction entre les trois états de l'eau reste valable pour les histosols, elle se fait cependant dans des proportions bien différentes. Le squelette du sol est formé par les macrorestes et fibres des végétaux produisant la tourbe ; l'eau retenue entoure comme une gaine l'ensemble des éléments : racines, brindilles, feuilles ou restes de tiges. Une pellicule continue reste collée aux structures du squelette. On peut considérer que l'eau de constitution est celle contenue à l'intérieur des cellules végétales, et qu'il y a très peu de continuité d'une cellule à l'autre et peu d'osmose de l'intérieur à l'extérieur des cellules. Les tourbes sapriques (très décomposées, sans restes végétaux facilement identifiables) peuvent être assimilées à des limons fins, où chaque fraction colloïdale est entourée d'une pellicule d'eau. Ainsi, l'eau fortement liée y sera plus importante que dans une tourbe fibrique (peu décomposée).

La part des différentes eaux dans un volume donné de sol dépend essentiellement de la granulométrie ; en tourbière, le facteur essentiel est le type de tourbe considéré, puisque la porosité de ce matériau est principalement liée à la structure de la matrice, qui dépend elle-même des végétaux d'origine et de son niveau de décomposition et de compaction (Porteret, 2008).

Pour finir cet aperçu de la complexité du sujet, sachez qu'il a été montré que la porosité de la tourbe varie sur des périodes relativement brèves selon la pression (y compris atmosphérique !) appliquée sur l'histosol. La teneur en eau de la tourbe peut aussi

varier dans le temps et entraîner des phénomènes de gonflement/rétraction de la surface de la tourbière (modification des propriétés de la tourbe selon qu'elle soit saturée - ou pas - en eau).



Tourbière de Lac-des-Rouges-Truites [39]
J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

2.2.2. Hydrologie de surface

La tourbière peut être située en amont d'un réseau hydrographique, l'exutoire de la tourbière étant le point de départ d'un écoulement organisé ; c'est le cas le plus fréquent dans les tourbières de pente.

A l'inverse, certaines tourbières sont traversées par un (ou plusieurs) cours d'eau ; c'est le cas le plus fréquent pour les tourbières de vallée. Selon la saison, l'importance et le sens des flux d'eau qui sont échangés entre le cours d'eau et la tourbière varient ; ils drainent la tourbière, l'alimentent, ou la traversent simplement, sans échanges d'eau. Selon le niveau de la nappe dans la tourbière, un ruisseau peut donc apporter de l'eau à l'écosystème durant une partie de l'année, et le drainer pendant une autre période.

Au sein d'une tourbière haute bombée, le réseau hydrographique est rarement individualisé ; on considère qu'il y a un écoulement latéral, par effet topographique, du sommet du bombement vers sa périphérie. Cet écoulement se fait majoritairement dans la partie supérieure de l'acrotelme. On peut aussi trouver, en marge de l'édifice tourbeux, à l'interface avec le bassin versant, une zone de dépression appelée lag, occupée par une végétation minérotophe et qui joue un rôle de tampon par rapport aux écoulements de versant. La présence de végétation minérotophe peut s'expliquer par une alimentation mixte de ce secteur bas (apports latéraux d'eaux de source ou de surface), mais il faut noter que la minéralisation des eaux météoriques transitant par un haut-marais a été régulièrement constatée, et peut donc suffire à cette coexistence proche de végétations différenciées.



Tourbière de la ferme des Aurochs [39] : cours d'eau bordant le bas-marais
C. Peillon - CREN Franche-Comté

2.2.3. Les circulations internes au sein du complexe tourbeux

Les écoulements dans la masse de tourbe se font selon deux modes principaux :

- dans les macropores, principalement dans les horizons supérieurs peu humifiés et où le degré de saturation en eau varie ; des études ont conclu que, pour les cas étudiés, 98% des écoulements internes se faisaient dans les 5 premiers centimètres de l'histosol ; cette partie hydrologiquement active de la tourbière correspond à la partie supérieure de l'acrotelme, qui se termine lui avec le niveau d'abaissement maximal de la nappe, mais ne constitue pas une couche uniforme – la conductivité hydraulique y est divisée par 4 dans les 50 premiers centimètres (Porteret, 2008);
- dans les éventuels conduits souterrains, dont la mise en place est en lien avec la fissuration de la masse de tourbe lors d'épisodes secs ; les diamètres et longueur peuvent être importants, et relier divers secteurs de la tourbière ; ces écoulements profonds, parfois importants, peuvent fournir jusqu'à 30% de l'écoulement, avec une valeur moyenne de 10% (Porteret, 2008).

Le niveau des nappes est un équilibre complexe impliquant les apports d'eau et pertes d'eau, ainsi que les mouvements de celle-ci dans la tourbe (Porteret, 2008).

Pour plus de détails sur le fonctionnement des nappes de tourbière et leurs relations avec les nappes de versant, le lecteur se reportera avec profit aux différentes publications existantes, dont la thèse de Porteret (2008).

Par la suite, selon les besoins (dysfonctionnement hydrologique avéré ou supposé) et les moyens dont il dispose, le gestionnaire pourra affiner le diagnostic, en particulier par la pose de piézomètres dont la profondeur d'implantation s'appuiera sur l'analyse de la colonne de tourbe.



La connaissance de la structure de l'histosol, comme ici par sondages pédologiques, apportera de précieux renseignements au gestionnaire (voir 3.1.2.) / C. Crassous - Pôle-relais Tourbières

2.2.4. Quelques exemples de la complexité des nappes en systèmes tourbeux

Les écoulements successifs de la tourbière des Pradeaux [63]

Ce premier exemple concerne une petite tourbière des monts du Forez, au lieu-dit des Pradeaux, sur la commune de St-Anthème [63]. Afin de compléter les connaissances sur le site acquises depuis les années 90, l'étude de son fonctionnement hydro-pédologique a été entreprise en 2000 dans le cadre du programme PNRZH (Barboiron, 2000). Le suivi d'une douzaine de piézomètres pendant et après les épisodes pluvieux, couplé à des mesures de conductivité, a montré la succession de deux types de fonctionnement hydrique dans la tourbière.

En amont, en position sub-horizontale, à la faveur d'un niveau argileux reposant sur le granite, s'est développée une petite tourbière acide, en grande partie ombrotrophe si l'on en juge par les nombreuses buttes à sphaignes oligotrophes et Ericacées dominant les gouilles. L'eau qui s'écoule à la base de cette tourbière circule ensuite dans une moliniaie ; cependant cette eau change brutalement de chimisme, et l'histosol fibrique à sphaignes fait alors place à un histosol noir, racinaire et herbacé, dans lequel le ruisseau s'incise parfois profondément.

Cette modification brutale traduit la présence de deux tourbières distinctes, avec une différence d'alimentation hydrique entre un secteur amont principalement alimenté par l'eau des précipitations, faiblement minéralisée, et un secteur aval recevant les eaux plus riches d'un petit aquifère local (formations superficielles arénacées accumulées dans ce qui ressemble à une niche de nivation).

Les écoulements inverses du marais de Chirens [38]

Ce site se trouve en Rhône-Alpes, dans l'avant-pays de la Chartreuse, à l'amont du val d'Ainan. Cette région est profondément marquée par les phases successives de glaciation-déglaciation concernant, en l'occurrence, le glacier du Rhône. La glaciation a provoqué un profond creusement dans le substrat de molasses tertiaire. La vallée a été ensui-

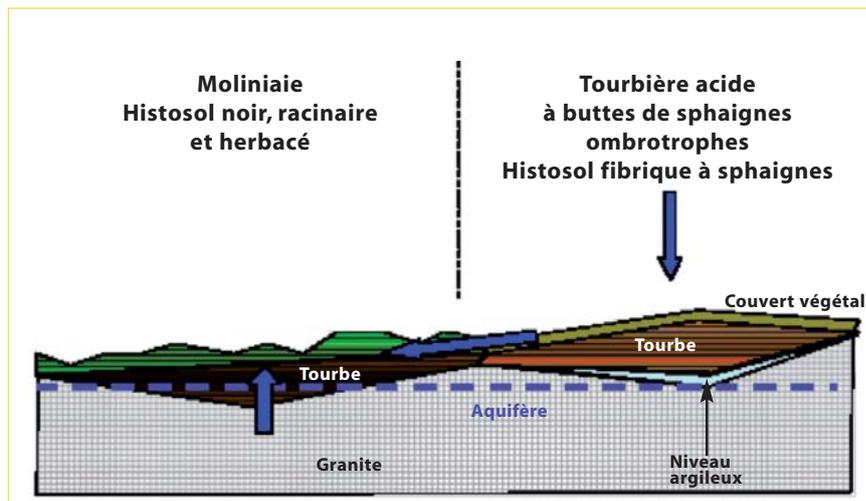


Schéma simplifié des écoulements successifs de la tourbière des Pradeaux [63]

L. Jameau - Pôle-relais Tourbières

te en partie comblée par des sédiments fluvioglaciers, et la dernière glaciation a laissé un amphithéâtre morainique au pied duquel naissent de nombreuses sources. Le marais de Chirens [38] contient trois nappes superposées : la nappe de la tourbe (2 à 3 m) et la nappe des formations fluvioglaciers sous-jacentes (25 à 45 m) circulent dans le même sens, vers l'est, tandis que la nappe contenue dans les formations glaciaires plus anciennes va dans le sens inverse, vers l'ouest, en suivant la pente du substratum. Les relations entre les différentes nappes ne sont pas connues à l'heure actuelle, mais leur étude est envisagée - en particulier pour mesurer l'impact d'un pompage en eau potable dans le secteur.

Les battements de la nappe superficielle de la tourbe : exemple du rythme saisonnier de la tourbière de la Palette [73]

Dans le massif du Beaufortin, au nord-est de la station de ski des Saisies, à 1718m d'altitude se trouve une petite tourbière de 0,33 ha qui occupe le fond d'une dépression de forme ovale.

Le site se caractérise par :

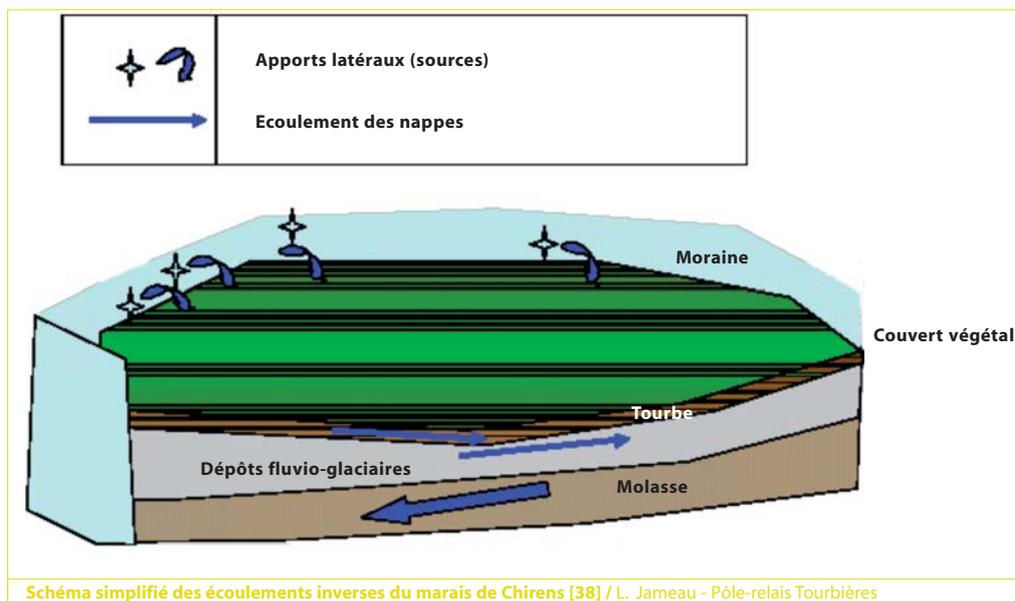
- un climat rigoureux d'altitude, marqué par le gel et l'abondance de la neige pendant 6 mois de l'année, et la régularité des pluies et brouillards d'été ;

- un substrat géologique acide (micachistes et gneiss) ;

- un petit bassin versant topographique (occupé à 50% par la tourbière) dont les sols sous pessières (rankers, podzols) renforcent l'ambiance acide.

La tourbière se présente comme une cuvette entourée de bourrelet schisteux, qui possède deux exutoires à son extrémité sud. Le fond de la cuvette est tapissé d'un niveau de gley qui s'est développé aux dépens des argiles d'altération des micachistes ; l'ensemble du bassin versant est saturé sur une épaisseur variable dépendant de la foliation du substrat et de la topographie. La transition entre les horizons tourbeux et le gley se manifeste par une zone de tourbe très décomposée, compacte. Ces deux niveaux complètent la qualité imperméable du substrat gneissique. On retrouve aussi dans le profil une poche d'eau d'une quarantaine de centimètres d'épaisseur, surmontée par un radeau fibrique (10 à 20 cm) constitué de racines de laïches colonisées ponctuellement par des sphaignes (Collectif, 2005). Une série de mesures piézométriques, de débits et de qualités des eaux ont été réalisées par l'Université de Savoie (Morin & Diemert, 1997).

Un effet de chasse d'eau suit les périodes pluvieuses : en période estivale sans pluie, le débit à l'exutoire est nul, et l'alimentation des plantes réduite à l'importante rosée matinale. Pendant les épisodes pluvieux, et suivant leur intensité, une partie des pluies pénètre dans le radeau poreux et chasse l'eau plus ancienne, plus chaude, qui s'évacue par un seuil comme le goulot d'une cuvette. Il y a donc renouvellement régulier de l'eau de la poche.



2.3. Éléments sur la qualité de l'eau en tourbière

2.3.1. L'eutrophisation interne

Il apparaît également que des processus chimiques complexes au sein même de la tourbière peuvent conduire à une évolution indirecte mais importante du milieu, et notamment de sa richesse en nutriments, suite à des modifications des eaux d'alimentation de la tourbière.

Ainsi Koerselman & al. (1993) ont mis en évidence qu'aux Pays-Bas, les tourbières alimentées par des eaux de rivières polluées sont toujours eutrophes, alors que les tourbières alimentées par des eaux souterraines riches en calcium sont toujours méso-trophes, sans corrélation avec la charge en nutriments de l'eau d'alimentation.

L'étude a en fait mis en évidence des phénomènes d'eutrophisation interne par relargage des nutriments au sein de la tourbière. De même, lors d'une étude sur la disponibilité en azote minéral d'un groupement à *Carex rostrata* dans le marais de Limagne [43], Loiseau (2000) a montré que le centre de la tourbière n'était pas le plus riche, ce qui va à l'encontre des hypothèses d'apports liés aux alimentations en eau des versants, influencés par les activités humaines (agriculture).

Trois facteurs sont déterminants en ce qui concerne la propension au relargage des nutriments : le type de sol, la physico-chimie et le niveau de l'eau.

L'étude de différents sites de Hollande a montré que les eaux de rivières stimulent le relargage de phosphore par la tourbe, et ce plus notablement pour la tourbe à sphaignes que pour la tourbe à Cypéracées. Le relargage de phosphore est au contraire minimal lorsque le sol est incubé dans une eau souterraine calcique mais pauvre en sulfates. C'est donc la concentration de ces éléments qui serait le facteur déterminant, davantage que les teneurs importantes en calcium. Le relargage net du sol en ammonium, potassium et phosphates augmente également avec la hausse de la température.

Sapek & al. (2007) ont étudié les comportements des nitrates, des ions ammonium, des phosphates et du carbone organique dissous dans les eaux d'un complexe tourbeux, qu'elles soient souterraines (dans l'horizon tourbeux et l'horizon minéral) ou de surface (dans les fossés de drainage). La zone d'étude fait partie de la tourbière Kuwasy, située dans le bassin versant de la Biebrza dans le nord-est de la Pologne.

Ils concluent que le principal facteur influençant les concentrations en phosphates et ammonium, aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines, est la variation du niveau de la nappe. L'abaissement de la nappe en fin d'été entraîne la mobilisation de ces molécules dans les eaux souterraines (forte minéralisa-

tion de la matière organique). Ils se retrouvent ensuite, après un certain délai, dans les couches profondes des eaux souterraines, mais aussi dans les fossés de drainage. La fin de l'été et le début de l'automne sont donc les périodes où ces éléments peuvent être relargués dans les histosols.

Le comportement des ions ammonium et des phosphates est donc corrélé aux niveaux des nappes, eux-mêmes souvent variables selon les saisons. A noter que les phosphates sont moins retenus dans les sols organiques que dans les sols minéraux.

Ces résultats apportent un éclairage intéressant dans un contexte de stratégies de conservation des tourbières en milieu agricole ou périurbain par gestion hydrologique. Ils montrent aussi que de nombreux mécanismes, complexes et corrélés, sont à l'œuvre au sein des tourbières, et qu'une bonne connaissance théorique du fonctionnement de ces écosystèmes s'avère essentielle avant d'envisager des travaux de préservation, renaturation ou restauration.

Ainsi le choix de la remise en eau d'un site par reconnection des anciennes arrivées d'eau devra prendre en considération les évolutions de pratiques, qui peuvent modifier la qualité des eaux alimentant la tourbière (et pas seulement en termes d'éléments nutritifs directement assimilables par les végétaux).

2.3.2. Les apports atmosphériques d'azote

Il a été montré que des quantités parfois importantes de composés azotés, sous diverses formes, étaient déposées en tourbière après avoir transité dans l'atmosphère. Ces dépôts peuvent se faire sous forme sèche (particules) ou humide (liée aux précipitations).

En France, ce phénomène n'a pas été particulièrement étudié pour les tourbières de montagne. Croisé & al. (2002) observent cependant une quantité de dépôts d'azote atmosphérique plus importante sur les reliefs, l'effet "altitude" jouant sans doute un rôle. Les estimations ne sont valides que pour des altitudes inférieures à 1700 m (maximum des stations de mesures). C'est sans doute la raison pour laquelle les dépôts estimés dans les Alpes semblent faibles, et probablement sous-estimés. En effet, en première approximation les dépôts sont dépendants des précipitations, elles-mêmes liées à l'altitude.

Les retombées sont différentes selon la forme de l'azote, qui dépend à la fois de leur origine (combustion d'énergie fossile pour les oxydes d'azotes, activités agricoles pour les émissions d'ammoniac), de la répartition géographique de ces sources d'émission (émissions locales et également à longue distance), mais aussi de la chimie de l'atmosphère spécifique à chacune des formes d'azote. A ce sujet, des programmes de recherche comme PRIMEQUAL (Programme de Recherche Interorganismes pour une MEilleure QUalité de l'Air à l'échelle Locale) contribuent à mieux connaître ces phénomènes complexes.

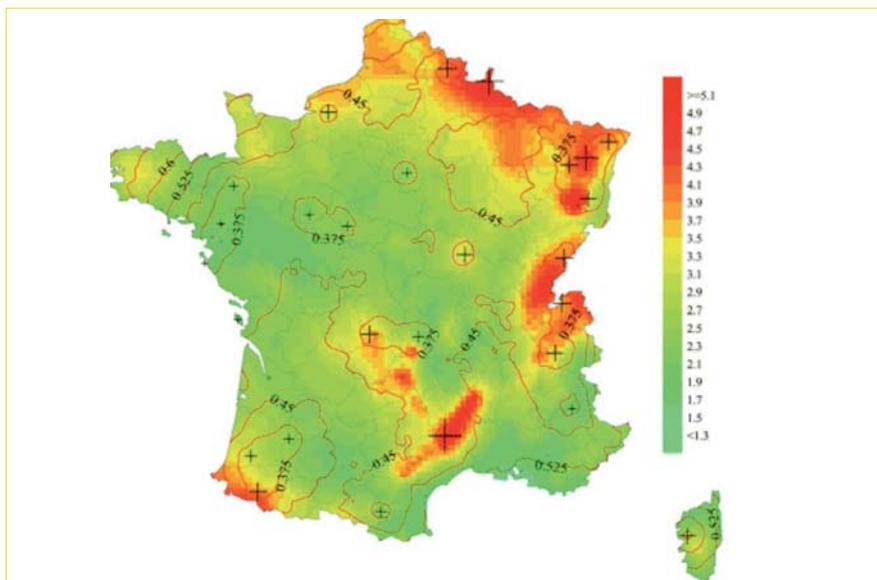
A noter que les écosystèmes dominés par les bryophytes sont potentiellement très sensibles à l'augmentation de ces dépôts azotés, puisque ces dernières dépendent fortement des nutriments du milieu, et que leurs pousses sont dépourvues de cuticule. Des études portant sur l'effet de l'enrichissement en NH_4^+ comme unique source d'azote pour les bryophytes montrent que les effets négatifs visibles de l'exposition à de forts taux de NH_4^+ exogènes sont souvent instantanés, et peuvent entraîner une augmentation de la mortalité (notamment à travers une diminution des capacités photosynthétiques et une fragilisation de la membrane et des racines), conduisant à une diminution du recouvrement des espèces sensibles à long terme.

Des essais sous serre menés sur des bryophytes de bas-marais ont montré qu'on pouvait nettement classer les espèces en fonction de leur sensibilité à l'augmentation du niveau de NH_4^+ dans l'environnement. Les espèces ectohydriques (à circulation d'eau externe ou de surface) telles que *Scorpidium scorpioides*, *Calliergonella cuspidata* et autres mousses brunes typiques des bas-marais alcalins de Hollande (également présentes en France) sont très sensibles aux forts taux de NH_4^+ dans les pluies. Au contraire, les espèces acidophiles à fort taux de croissance comme *Sphagnum squarrosum*, et l'espèce endohydrique (à circulation d'eau interne) *Polytrichum commune* y sont insensibles. *Sphagnum contortum* (tolérante aux bases) montrent une réponse intermédiaire (Paulissen, 2004).

Francez & Loiseau (1999) ont mené sur une tourbière oligotrophe des Monts du Forez [63] à *Sphagnum fallax* et *Carex rostrata* une expérimentation par marquage isotopique de l'azote. L'objectif était de caractériser le devenir de l'azote issu des dépôts atmosphériques à deux époques de l'année, la première en juin, lorsque les plantes absorbent le plus de composés azotés, et la seconde en août, lorsque l'activité microbienne peut être renforcée en raison de l'abaissement du niveau de la nappe d'eau. Le bilan des apports réalisés, en juin et en août, montre que l'azote apporté par les précipitations migre peu en profondeur. Le rôle de *Sphagnum fallax* apparaît déterminant pour éviter les pertes d'azote par l'écosystème. Cette capture et le stockage de l'azote donneraient un avantage considérable à ces végétaux et défavoriseraient *Carex rostrata* dont les racines se développent plus en profondeur, dans la tourbe. Toutefois, ce fonctionnement pourrait être modifié par une réduction de la fonction de « puits » des sphaignes si les quantités d'azote entrant dans l'écosystème (dépôts atmosphériques par exemple) augmentaient. Des recherches complémentaires sont nécessaires en ce qui concerne la nature de l'azote des tapis de sphaignes : est-il retenu mécaniquement ou réellement assimilé par les plantes ?

Les éléments nutritifs, et notamment l'azote, peuvent donc provenir des eaux d'alimentation (de surface, souterraine ou météoriques), de l'atmosphère (dépôts secs) ou de la minéralisation de la tourbe, en lien avec des processus internes influencés par les conditions de l'environnement (température, pH, apports d'éléments chimiques divers, oxygénation) et liés entre eux par des boucles de rétroactions complexes. Selon le caractère limitant des nutriments dans l'écosystème original, ces apports pourront favoriser plus ou moins directement le développement de certaines espèces en modifiant les conditions du milieu et les performances relatives des taxons en compétition.

Il a ainsi été démontré que de forts taux de déposition de NH_4^+ , aux Pays-Bas, étaient partiellement responsables de la réduction de croissance des arbres en forêts, de l'invasion d'espèces compétitives dans les landes et tourbières perchées, et du déclin de plantes vasculaires typiques des habitats périodiquement inondés.



Dépôts atmosphériques totaux (hors couvert forestier) d'azote (N-NO₃, kg/ha/an) interpolés par cokrigage / Croisé & al.

3. DE QUELS ÉLÉMENTS AI-JE BESOIN POUR ABORDER L'HYDROLOGIE D'UNE TOURBIÈRE ?

Le recueil de certaines données est indispensable pour comprendre le fonctionnement hydrologique d'un site. Cette partie est consacrée à l'étude des éléments participant à l'alimentation en eau de la zone humide, ainsi qu'aux mouvements, au stockage et aux pertes de cette eau dans la tourbière. Elle vise à orienter le gestionnaire sur les manières de recueillir et d'organiser la collecte des données pour comprendre l'extension et l'organisation spatiale de certains éléments, que nous pouvons définir comme des indicateurs de fonctionnement hydrologique de la tourbière. La méthodologie suivante est proposée :

A/ Phase descriptive (voir 3.1.)

- Repérage cartographique : géologie, hydrologie, topographie...
 - délimitation du bassin versant topographique ;
 - repérage de l'origine des cours d'eau ;
 - positionnement de l'exutoire.
- Repérage de terrain : vérification des données cartographiques, repérage des réseaux, repérage des recouvrements floristiques (non nécessité à cette étape d'un inventaire détaillé).
- Témoignages : événements exceptionnels (crues, perturbations (drainage)...) ;
- Données météorologiques (précipitations, vents, insolation...) auprès de partenaires les plus proches possibles, si le site lui-même n'est pas équipé ; éventuellement, correction des données selon divers paramètres (altitude, effet d'abri...).

B/ Première analyse (« Que constate-t-on ? ») et définition des objectifs (« Que veut-on faire ? ») (voir 3.3.)

Questions

- D'où vient l'eau ? = évaluation visuelle, mesures de débits, traçage
- Quelle qualité ? = mesures pH, conductivité, autres...
- Quelle stabilité ? = piézomètres
- Quels secteurs semblent atypiques ?

Objectifs approfondis

- Compréhension du fonctionnement hydrologique global du site
- Compréhension d'un dysfonctionnement identifié
- Mise en place d'aménagements.

C/ Mesures de terrain (voir 3.2.)

Que mesurer, où, quand, à quelle fréquence ? Toutes ces questions doivent avoir été résolues lors de l'étape précédente ; des adaptations en cours de route sont cependant à prévoir, au vu des premiers résultats.

D/ Analyse des résultats (voir 3.3.)

3.1. Phase descriptive

D'emblée, trois échelles de travail sont à considérer : l'échelle du territoire (pour l'homme), l'échelle du bassin versant (pour l'eau) et l'échelle de la tourbière *sensu stricto* (pour l'écosystème). Nous nous concentrons ici sur les deux dernières, pertinentes pour étudier l'hydrologie.

Il faut encore distinguer deux choses : les échelles de travail et les échelles de rendu. Les échelles de travail sont toujours plus petites que les échelles de rendu. Elles dépendent en priorité des documents existants ;

il faut donc toujours commencer par faire le point sur les documents de références spatiales.

Documents de références spatiales.

- Pour les versions papiers :
 - les documents cadastraux à l'échelle du 1/2500°, 1/1000° ou du 1/500°, qui se trouvent en mairie ;
 - les cartes topographiques au 1/25 000°, fournies par l'IGN (attention, celles-ci ne

sont pas remises à jour automatiquement ; il faut bien distinguer la date de réédition de la date de levés) ;

- les cartes géologiques au 1/50 000°, fournies par le BRGM, utiles pour l'étude du bassin versant, mais souvent peu renseignées pour la tourb(ièr)e elle-même (la France ne bénéficie pas d'une couverture géologique complète au 1/50 000° ; dans certains secteurs, seuls sont disponibles des cartes au 1/80 000° avec un fonds ancien en hachures, difficiles à lire) ;

- les photos aériennes, qui ne sont pas à une échelle bien définie et qu'il faudra donc recalculer ;

- les cartes pédologiques : il existe trois échelles de cartes, la carte de France au 1/1 000 000^e, la carte de l'Île de France au 1/250 000^e, plusieurs couvertures au 1/100 000^e (comme celle de Brive en Corrèze) ; le département de l'Aisne dispose d'une carte au 1/25 000^e. Ces cartes sont accompagnées de notices explicatives mais, là encore, souvent peu détaillées pour les zones tourbeuses, qui n'intéressent guère, puisqu'elle est considérée comme un « mauvais sol » par les agronomes (Grégoire, *comm.pers.*).

Pour savoir si une carte géologique ou pédologique est intéressante et fiable, il est intéressant de consulter la notice et son niveau de détail dans le domaine de la tourbe ; il est aussi bon de comparer, sur un site connu, les données affichées par la carte et ses propres connaissances.

● Pour les versions informatiques :

- la BD carto est disponible au 1/25 000^e ;

- La carte géologique de la France au 1/1 000 000^e est maintenant géoréférencée (version 2003) ;

- localement, dans les Agences de l'eau, les conseils généraux, vous trouverez d'autres fonds cartographiques à utiliser ;

- le site Infoterre (<http://infoterre.brgm.fr/>), du BRGM, permet de visualiser des cartes géologiques à différentes échelles ; il contient également des données sur les eaux souterraines (qualitomètres, piézomètres...), ainsi qu'une banque du sous-sol (BSS) qui recense entre autres les forages effectués sur le territoire français ; sont indiqués la localisation exacte, la profondeur et le log géologique. En l'absence de document informatique, les références des documents papier sont indiquées. Les informations peuvent être obtenues, en dehors de la consultation du site, au centre national de consultation du BRGM à Paris, et dans chaque service géologique régional où des experts sont à disposition ;

- certaines cartes pédologiques existent sous forme SIG (exemple de la carte du département de l'Aisne au 1/25 000^e) ;

- les bases de données pédologiques (par exemple le Service Sol Info Rhône-Alpes, hébergé par la Chambre Régionale d'Agriculture).

*L'approche historique ne doit pas être négligée : connaître le passé du site peut permettre de comprendre ou d'expliquer de nombreuses choses concernant le fonctionnement actuel du complexe tourbeux et ses éventuels problèmes. Au Luitel [38], le gestionnaire a ainsi pu mettre en évidence que les travaux de construction d'une route avaient détourné le ruisseau qui alimentait à l'origine la tourbière (Desplanque, *comm.pers.*).*

Le gestionnaire n'étant pas historien, il lui sera souvent difficile de se plonger dans les archives, notamment les plus anciennes ; en revanche un certain nombre de documents sont d'une utilisation relativement aisée, et peuvent s'avérer riches d'enseignements. Ils recourent quatre domaines majeurs : le foncier, les routes, l'extraction de tourbe et la police de l'eau.

Liste non exhaustive des sources à étudier :

● *les photos aériennes permettent de reconstituer les pratiques agricoles sur et autour de la tourbière au cours des dernières décennies ; un constat d'abandon, de modification d'utilisation ou de plus grande pression en découle fréquemment. Ces constats autorisent souvent à faire des rapprochements avec l'évolution récente de la tourbière par rapport à un drainage, des boisements ou une fermeture du milieu, sans oublier toutefois que ces modifications peuvent n'être que transitoires, et sont ponctuelles à l'échelle de temps de la tourbière ;*

● *les documents relatifs à la police de l'eau. Les curages et autres redressements de rivière sont soumis à règlement ; il est possible, dans les documents afférents, de recueillir des informations précieuses, accompagnées de croquis de localisation et de plan d'ouvrages, qui peuvent être importantes au moment de réfléchir sur le rôle hydraulique de certains usages ou ouvrages ;*

● *les archives communales (éventuellement déposées aux archives départementales) : si le marais appartient à une communauté religieuse ou à un domaine nobiliaire, et/ou à un domaine communal après la Révolution, on peut trouver des traces des modes de gestion, spécialement dans le dernier cas où la gestion communale faisait l'objet de discussions au conseil municipal ;*

● *suivant les régions, on peut également trouver des descriptions par canton, réalisées à la fin du XIX^e siècle, et/ou des monographies, effectuées par les curés sur leurs paroisses et les instituteurs sur leurs communes ;*

● *on peut enfin trouver des renseignements précieux sur les pratiques en zones humides dans les codes ruraux, en particulier pour tout ce qui a trait à l'irrigation, le drainage, la largeur des fossés, les dates de curage, etc.*

Il peut aussi être utile et profitable de se rapprocher d'associations ou d'historiens locaux, à même d'apporter des données sérieuses ; signalons dans ce domaine, à l'échelle nationale, l'existence d'un Groupe d'Histoire des Zones Humides (<http://ghzh.free.fr/>).

Les cartes de l'inventaire des tourbières mené par le service des Mines (1949) dans un but d'exploitation, indiquant notamment les épaisseurs relevées, sont par ailleurs disponibles au Pôle-relais Tourbières.

3.1.1. Le bassin versant de la tourbière, un secteur d'importance

En ce qui concerne l'hydrologie, il convient de réfléchir à l'échelle du bassin versant, qui constitue l'unité spatiale de référence. Par bassin versant, il faut ici entendre la surface en amont de la tourbière, des lignes de crête à l'exutoire, qui participe à l'alimentation en eau de la tourbière sous ses différentes formes. Pour les tourbières ombrotrophes, les délimitations du bassin versant et de la tourbière sont confondues. Pour les tourbières minérotrophes, cette échelle d'analyse permet de bien prendre en compte l'ensemble des flux d'eau (en quantité et qualité) qui alimente le site.

C'est également une échelle d'analyse qui permet de prendre en compte les impacts anthropiques en amont qui peuvent influencer, parfois de manière brutale, sur la dynamique de l'écosystème (modifications de l'occupation du sol, travaux hydrauliques, etc.).

Délimitation du bassin versant

La première étape consiste à définir le bassin versant topographique à partir des courbes de niveau (carte IGN 1/25000) : c'est l'aire d'alimentation supposée de la tourbière, dans laquelle on peut imaginer que toute goutte d'eau finira par arriver dans le système tourbeux par ruissellement (diffus ou organisé en cours d'eau).

Ce bassin versant topographique est une approche simplifiée qui ne prend pas en compte les éventuelles circulations souterraines : ainsi dans les secteurs karstiques, l'eau peut s'infiltrer et ressortir en dehors du bassin versant topographique, sans influence sur l'écosystème tourbeux. Lorsqu'il existe des alimentations souterraines, il sera nécessaire de surveiller la quantité et la qualité de cette eau, qui peut avoir des caractéristiques physico-chimiques très différentes de l'eau précipitée *in situ*.

Par la suite, et selon notamment les résultats des études hydrologiques et les problèmes décelés, il pourra donc s'avérer intéressant d'entamer des recherches plus poussées - et parfois compliquées - sur le bassin versant hydrogéologique de la tourbière, qui constitue en fait le bassin versant réel.

Géologie du bassin versant

La carte géologique locale permettra de connaître les roches du substratum ; ne pas oublier de consulter la notice détaillée de la carte, souvent riche d'enseignements, notamment pour la rubrique « Hydrogéologie ».

Il est intéressant de positionner à l'intérieur du périmètre du bassin versant les éléments suivants :

- les différents affleurements du substratum ;
- la nature des différentes formations superficielles ;
- la nature des roches (acides/calcaires, sédimentaires/métamorphiques/volcaniques) qui a une influence directe sur le chimisme des eaux ;
- leur degré d'altération (roches massives, fissurées, fracturées), qui a une influence directe sur le parcours de l'eau (perméabilité du socle, en grand ou en petit) ;
- les accidents tectoniques (failles et regards, présumés ou clairement identifiés), qui influencent la capacité d'emmagasinement des roches et peuvent jouer un rôle dans la formation de la tourbière et/ou dans son fonctionnement actuel (zones préférentielles de circulation des eaux souterraines).

Positionnement de la tourbière dans le bassin versant topographique

La position de la tourbière dans le bassin versant est un élément fondamental de la compréhension de sa dynamique hydrologique. Il convient de repérer précisément le complexe tourbeux sur la carte, en intégrant d'éventuels milieux annexes, humides mais non tourbeux.

Les limites supérieures et inférieures du complexe sont importantes, puisqu'elles constituent un premier élément d'appréciation sur son intégration dans le bassin versant topographique. Le seuil (= point le plus bas de la couche imperméable) et le ou les exutoire(s) de la tourbière, qui souvent leur correspondent, sont d'autres points à considérer, au même titre que leurs altitudes relatives. Ils conditionnent en effet le stockage d'eau à l'amont. La superficie et l'épaisseur de la tourbière pourront aussi être des facteurs importants.

Deux éléments peuvent déjà être analysés :

- l'importance de la tourbière dans son bassin versant :
en règle générale, plus la tourbière est proche de l'interfluve (ligne de crête), plus elle occupe une large place au sein de son bassin versant, le cas le plus extrême étant celui de la tourbière sommitale, installée souvent au bénéfice d'un replat ou d'un léger surcreusement. A l'opposé, une tourbière de vallée occupe une part plus faible d'un bassin versant qui peut couvrir des centaines d'hectares. On suppose que plus la tourbière occupe une part importante du bassin versant, plus sa liaison avec la pluviométrie sera importante. A l'inverse, plus la part est petite et plus la tourbière (minérotrophe) sera tributaire des apports du bassin versant.

Mais, sauf situation extrême (position sommitale), il ne faut pas considérer a priori qu'une tourbière est alimentée par une seule voie. C'est peut-être la multiplicité des arrivées qui a provoqué la saturation à l'origine de la tourbification.



La tourbière de Vaux-et-Chantegruet [25] est située en tête de bassin versant / L. Jameau - Pôle-relais Tourbières

- l'implantation de la tourbière dans le bassin versant et la forme du site : les tourbières en réelle position sommitale sont rares, et l'existence de tourbières de couverture en France n'a à notre connaissance pas été démontrée, même si certains sites posent question (Hautes Vosges, Monts d'Arrée, Monts du Forez, Pyrénées) ; deux catégories principales sont donc distinguées par les études hydrologiques :

- les tourbières de pente, où la tendance est à l'étiement altitudinal de la zone humide au sein du bassin versant, soit de manière concentrée (comme aux Pradeaux [63]), soit de manière dispersée (comme aux Saisies [73]) ; ces tourbières peuvent être ombrotrophes ou minérotrophes (voir notamment Cubizolle, 2005) ;

- les tourbières de vallée, qui peuvent être centrées dans le bassin ou totalement décalées vers le pied d'un versant ; dans le cas d'une topographie de cuvette, la zone humide peut se présenter comme un bloc

ramassé (exemple de la tourbière de Machais [88]), ou comme un ensemble de digitations (exemple d'Issanlas [07]). Cubizolle (2005) propose pour le Massif central oriental granitique une typologie plus fine, basée entre autres sur l'origine de la vallée ou le type d'alimentation hydrique (rus individualisés ou non). Dans certains cas, il est pratiquement impossible de distinguer les limites du bassin versant de la tourbière et de la rivière (exemple de Lavours [01]). Ce type de milieux se retrouve dans des vallées de tailles variées, y compris en montagne, où les modelés (péri)glaciaires peuvent favoriser localement une rétention d'eau propice à la turfigénèse.

A noter : une tourbière peut aussi constituer un obstacle aux écoulements issus du versant : la topographie bombée des hauts-marais détourne les écoulements de surface, qui peuvent de plus être stockés dans le lagg (exemple de la tourbière haute de l'Étui [63]) ; la masse de tourbe, peu perméable, peut aussi, en fonction de sa posi-

tion, influencer sur l'écoulement des nappes de versant, en ralentissant leur vidange et en maintenant un niveau d'eau constant en bas de versant (exemple de la Prénarde [42]) (Porteret, 2008).

La présence cumulée de tourbières, hautes ou basses, dans un bassin versant a une influence hydrologique non négligeable :

- augmentation des pertes d'eau liées à la forte évapotranspiration ;

- stockage de l'eau et modification des écoulements, à court terme (acrotelme, microtopographie de surface), moyen terme (corps de tourbe peu perméable limitant la vidange des nappes de versant) ou (très) long terme (catotelme), selon les types de tourbe, la superficie, la géométrie, le contexte géographique et le volume des complexes tourbeux impliqués ;

- au final, une influence sur les hydrogrammes.

3.1.2. Le complexe tourbeux

Éléments cartographiques

Selon les sites, des renseignements préliminaires intéressants peuvent être tirés des différents documents existants (voir 3.1.) :

- cartes topographiques : éléments de pente moyenne de la tourbière, première approche du réseau hydrographique ;

- photographies aériennes : détermination de grands secteurs homogènes, visualisation d'écoulements (chenaux, drains), d'anomalies sur les contours du site (remblais...) ou à l'intérieur (par exemple des limites rectilignes entre zones : sur la tourbière de Lac-des-Rouges-Truites [39], une structure linéaire, peut-être une ancienne levée supportant un chemin, sépare ainsi clairement un haut-marais sénéscent d'une partie plus humide - voir ci-dessous) ;



Vue aérienne de la tourbière de Lac-des-Rouges-Truites [39] / ©IGN 2010-Licence étendue n°9576 attribuée au Conseil Général du Jura ©Reproduction interdite

- cartes de végétation : détermination de secteurs plus ou moins humides, ou alimentés par des eaux de nature chimique différente, indiquant des fonctionnements hydrologiques potentiellement différents ;
- cadastre : pourra être utile par la suite pour identifier le nombre et (idéalement, le parcellaire étant souvent complexe) le nom des propriétaires à contacter pour pénétrer sur le site et/ou y mener des actions de gestion ;

- autres : documents anciens permettant de retracer l'histoire du site, notamment s'il a été utilisé (exploitation de tourbe, pâturage...).

A ce stade, un certain nombre d'hypothèses peuvent déjà être formulées ; elles sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Fiche décrivant l'importance de la tourbière dans le bassin versant (d'après A. Laplace-Dolonde)

Données	Renseignements
Superficie du BV (km ²)	Après croisement avec les données climatiques, quantité (approximative) d'eau météorique (précipitations et ruissellement) alimentant la tourbière.
Périmètre de la tourbière (km)	Importance des zones de contacts avec les ruissellements issus du bassin versant.
Altitudes mini/maxi du BV (m)	Climatiques : influence sur les précipitations, températures... Vitesses estimées de circulation des écoulements.
Altitudes mini/maxi de la tourbière (m) et pente moyenne	Vitesses estimées de circulation des écoulements.
Rapport de surfaces tourbière/bassin versant	Importance supposée de la liaison avec l'aquifère.

Approche de terrain

C'est une phase importante de la connaissance du site. Généralement, les prospections floristiques visant à établir les listes d'espèces ont lieu au printemps et au début de l'été. C'est l'occasion idéale pour commencer à observer l'état de surface du sol et les écoulements, sans aller plus loin. Par la suite, la cartographie des habitats et les observations complémentaires serviront de base à l'élaboration du plan de sondages, qui pourra être suivi du recueil des données hydrologiques, à moins que celui-ci ne puisse être mené en parallèle. La fin de l'été (ou d'une période d'étiage importante dans le cas d'été pluvieux) est un bon moment pour réaliser les sondages pédologiques. Le but recherché est de connaître le fonctionnement hydrologique au moment où la nappe superficielle est la plus basse, et ainsi permettre un diagnostic sur l'état fonctionnel du marais à un moment critique qui peut révéler des dysfonctionnements et fragilités. Il en est de même des mesures hydrologiques, pour lesquelles les éventuelles distinctions nappe superficielle/nappe profonde sont facilitées par l'importance relative des écoulements, mais également par des mesures simples comme la conductivité et la température. Mais ces observations et mesures doivent être menées en complément de l'analyse et de la cartographie des eaux libres, à réaliser prioritairement.

- Cartographie et typologie des eaux libres
Il s'agit de repérer, de cartographier et de caractériser l'ensemble des eaux libres, c'est-à-dire les rivières, ruisseaux, fossés et plans d'eau, quelle que soit leur origine. C'est une étape incontournable qui passe par une mission de terrain sérieuse allant de l'amont à l'aval. Elle permettra ensuite de déterminer le choix des sites de mesures de débits, quelle que soit la technique choisie.

- Réseau hydrographique

Dans de nombreux sites, l'homme est inter-

venu en rectifiant les cours d'eau naturels et en drainant des terrains. L'analyse historique peut précéder l'analyse du comportement du réseau hydrographique.

Que l'on sache avant l'étude ou après l'étude que les écoulements sont naturels ou artificiels ne change rien à l'approche sur la dynamique et le rôle des écoulements ; au contraire, cette considération permet peut-être d'être le plus juste dans l'évaluation du rôle actuel réel de chacun des composants de l'hydrosystème au sein de la tourbière.



Drain dans la tourbière du Verne à Fort-du-Plasne [39] / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Dans tous les cas, il s'agit d'apprécier l'influence des ruisseaux, des rivières et des fossés sur le fonctionnement hydrologique de la tourbière : apport d'eau, drainage ou fonctionnement alternatif saisonnier. Pour cela, il est nécessaire de décrire et de cartographier :

- la morphologie des ruisseaux et fossés : largeur, profondeur et pente longitudinale. Il est très intéressant de procéder à l'élaboration du profil en long du fossé ou du cours d'eau quand on se questionne sur le rôle de celui-ci dans la tourbière ; il est en effet fréquent que ces profils soient totale-

ment différents à la fois de la topographie du plancher de la tourbe et de la topographie de surface.

Il est également important de noter si un fossé atteint le substratum ou pas, le drainage d'un fossé étant souvent plus efficace lorsqu'il dépasse la couche tourbeuse, qui a un fort pouvoir tampon.

- les circulations d'eau, en notant si possible les éventuelles variations du sens de circulation ou les assèchements temporaires.

A noter que les différents types de végétation qui colonisent parfois les ruisseaux et fossés en tourbière peuvent avoir un impact

hydraulique considérable, notamment sur les vitesses d'écoulement.

Ce travail peut être gourmand en temps ; il est cependant indispensable comme base de réflexion pour le gestionnaire, mais aussi pour d'éventuelles études complémentaires permettant d'approfondir les données. Ces opérations restent facilement réalisables sans équipements particuliers, et permettront par la suite de référencer les données prospectées et de les situer pour une poursuite des investigations, afin qu'elles restent exploitables par les éventuels échantillonneurs suivants.



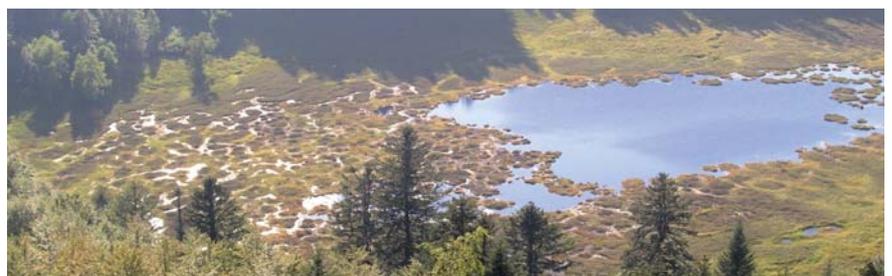
Tourbière de Cerin [01] : vue depuis le belvédère / M. Voccia - PNR du Haut-Jura

- Plans d'eau

La présence de plan d'eau n'est pas systématique en tourbière. Différentes terminologies sont utilisées pour décrire les plans d'eau, dont certaines se retrouvent dans la toponymie (lac, étang...) (Grégoire & Laplace-Dolonde, 2005). L'origine (naturelle ou artificielle) est importante à connaître : les données historiques seront ici précieuses. En effet, si en règle générale un plan d'eau naturel correspond à des conditions hydrologiques favorables à la tourbification, il est possible qu'un plan d'eau artificiel contribue à drainer la tourbière en collectant les eaux et en entraînant une évaporation importante au niveau de la surface d'eau libre.

Les plans d'eau naturels ne sont pas forcément en liaison avec le réseau hydrographique organisé dans la tourbière. Ils ne sont pas non plus toujours dans la zone la plus basse. Ils témoignent d'un surplus hydrique localisé en relation avec une arrivée d'eau dont l'écoulement est freiné. Au Grand-Lemps [38], les plans d'eau correspondent à la résurgence des sources limnocrènes dont l'écoulement est freiné par d'autres arrivées d'eau encore plus importantes à l'aval. A Cerin [01], l'« œil » de la tourbière se situe dans sa partie sommitale. Sa position, qui a été révélée par le levé topographique du fil de l'eau en avril 2005, provient de l'addition des eaux de pluie et de l'ensemble des sources échelonnées à la base des moraines glaciaires.

Les plans d'eau artificiels fonctionnent différemment suivant leur usage (loisirs nautiques, chasse, pêche, extraction de tourbe...). La fonction détermine en effet la morphologie et la nature des bordures. La présence de nombreux plans d'eau d'allure géométrique est souvent synonyme d'extractions anciennes. Le fonctionnement hydrologique est différent selon que les



Tourbière de Machais [88] / J.C. Ragué - CSL

fosses de tourbage sont reliées à un réseau de fossés de drainage ou que les plans d'eau sont fermés.

Il est important de savoir si, le cas échéant, l'eau est pompée, et quels sont les volumes prélevés ; il s'agit en effet d'une tendance actuelle dans les tourbières, considérées comme des réservoirs dans lesquels il est possible de puiser sans conséquences notables (par exemple pour alimenter des abreuvoirs). Le pompage peut en effet engendrer des perturbations hydrologiques conséquentes.

Dans le cas de tourbières appartenant à des collectivités, la recherche de la « renatura-

tion » est mise en avant, souvent pour les oiseaux, mais également pour les poissons. Dans les deux cas, les aspects morphométriques sont indispensables à connaître pour initialiser ou favoriser la reconquête du fond et des bordures par la végétation. Il convient de rester méfiant sur ce type d'objectif, qui ne doit être choisi qu'après mûre réflexion ; en effet ils sont plus facilement valorisables et visibles qu'une restauration fonctionnelle du site, mais peuvent paradoxalement s'avérer nuisibles à son maintien à moyen ou long terme.

Mais il faut aussi se souvenir que nombre de tourbières sont issues de plans d'eaux artificiels (voir chapitre 1).

Le problème des pompages d'eau potable

On trouve sur le territoire français nombre de pompages dans ou à proximité des tourbières ; ils ne visent pas directement l'eau contenue dans la tourbe, mais celle des aquifères sous-jacents. Ceux-ci peuvent néanmoins être en relation avec l'écosystème tourbeux, et le pompage peut donc indirectement modifier l'alimentation hydrique de celui-ci. Plusieurs mécanismes provoquent des modifications dans le système. La pérennité de tourbières peut être remise en cause, notamment lorsque l'aquifère dans lequel a lieu le prélèvement est en relation avec la tourbière. Le risque existe alors de voir le rabattement se répercuter directement vers la nappe de la tourbe, avec différentes conséquences possibles (selon les cas) :

- **abaissement du niveau piézométrique de la nappe de la tourbe, tourbe qui risque de se dégrader, se minéraliser et voir sa structure se modifier suite à la perte en eau progressive.**

- **modification de l'importance et de la direction des flux entre les différents aquifères en jeu et conséquences. Par exemple, en cas d'inversion des flux entre une nappe et un cours d'eau, ce dernier pourra ne plus jouer plus son rôle de drainage de la zone humide, mais au contraire l'alimenter. Même si les débits sont faibles, la qualité de l'eau peut être toute autre (forte charge trophique ou calcique) et entraîner des conséquences radicales sur l'hydrochimie du milieu.**

Ces effets peuvent qui plus est se cumuler avec les effets de sécheresses, comme cela a pu être le cas en 2003-2004. Sachant que les déficits hydriques risquent de revenir assez fréquemment dans les années à venir, les conclusions d'une modélisation hydrogéologique menées sur plusieurs tourbières (A. Laplace-Dolonde, comm.pers.) faisant l'objet d'un pompage laissent à réfléchir.

- Stratigraphie de l'histosol

Il ne faut pas oublier qu'une tourbière est un système en trois dimensions. Pour espérer comprendre le fonctionnement d'un site, il est important d'avoir une idée de sa structuration verticale : que trouve-t-on au fond de la tourbière ? Quelles sont les différentes couches présentes (minérales et organiques) ? Pour ce faire, le carottage (à la tarière ou, mieux, à la sonde russe) constitue une étape incontournable. En effet, même si en règle générale les circulations d'eau verticales sont considérées comme faibles, des hétérogénéités structurelles peuvent changer la donne.

On considère généralement que les circulations horizontales sont plus rapides, notamment dans les horizons de tourbe proches de la surface, relativement peu humifiés.

Le carottage permet donc d'apporter des éléments de connaissance sur les différents niveaux constituant la colonne de tourbe. Hormis la mesure de l'épaisseur totale de l'histosol (qui peut varier très rapidement d'un point à un autre), l'idée est de déceler prioritairement les niveaux pouvant induire une hétérogénéité hydrologique. Selon le type de tourbe et son

niveau de décomposition, la perméabilité est très variable ; il en va de même pour les éventuelles passées minérales, qui pourront constituer des horizons imperméables (argiles) ou au contraire drainants (arènes granitiques).

Par la suite, selon les besoins (dysfonctionnement hydrologique avéré ou supposé) et les moyens dont il dispose, le gestionnaire pourra affiner le diagnostic, en particulier par la pose de piézomètres dont la profondeur d'implantation s'appuiera sur l'analyse de la colonne de tourbe, ou faire appel à un spécialiste.

3.2. Les mesures de terrain

Cette partie doit servir au gestionnaire à identifier les informations qu'il peut récolter lui-même pour se faire une idée du fonctionnement de son milieu, tout en sachant que les données obtenues n'auront aucune valeur scientifique et décisive. Il existe donc des techniques relativement simples d'acquisition de la donnée, mais l'une des principales questions qui se pose est de savoir où et quand échantillonner.

Où échantillonner ?

Si l'amont et l'aval de la tourbière sont bien identifiés, il est intéressant de procéder à l'échantillonnage sur ces deux points, permettant une comparaison en première approche des eaux qui entrent et sortent de la tourbière. D'autres comparaisons peuvent être faites entre l'eau de surface et l'eau profonde (dans un piézomètre), ou entre différents secteurs, lorsque les variations de végétation suggèrent des types de fonctionnement différents. Le choix des points de prélèvements doit donc être une des conséquences des observations hydrologiques et pédologiques de terrain.

3.2.1. Les mesures de débits

Il ne s'agit pas dans ce document d'entrer dans le détail de toutes les techniques et matériels à utiliser pour obtenir une quantification des volumes d'eau. Le premier problème à résoudre est une fois de plus de préciser l'objectif recherché afin d'adapter les moyens utilisés. Il faut en priorité se poser la question du (des) site(s) et des dates des mesures. Tout dépend également de la longueur de l'étude et du suivi à réaliser. Mais pour avoir un minimum de connaissance sur la quantification des flux d'eau dans une tourbière, il convient de travailler sur les débits.

Le débit (Q) est le volume d'eau passant à travers une section d'un cours d'eau pendant une unité de temps :

$$Q \text{ (en m}^3\text{/s ou l/s)} = \text{volume d'eau } V \text{ (en m}^3 \text{ ou l)} / \text{temps } t \text{ (en sec)}$$

Les différents moyens de mesurer les débits qui transitent à un point sont, pour aller du plus simple au plus compliqué, la mesure au seau (s'il existe une chute d'eau), le moulinet, le déversoir et la sonde à pression.

Il est aussi possible de mettre en place un suivi des niveaux d'eau (utilisation des limnimètres). Ce dernier peut contribuer au suivi des débits si on a pris soin d'établir une courbe de tarage (abaque reprenant des mesures ponctuelles associant une hauteur d'eau à un débit). Sa réalisation nécessite un minimum de 10 mesures, réparties entre hautes et basses eaux et, en toute logique, sa qualité augmente avec le nombre de points utilisés pour la tracer (Porteret, 2008). A noter qu'il convient pour la pose des limnimètres de choisir une section d'écoulement

la plus stable possible, la géométrie du lit pouvant fortement varier en cas de crue ; en tourbières, l'exercice est rendu difficile du fait des faibles pentes et de la variabilité des végétations qui colonisent souvent les écoulements (Grégoire, *comm. pers.*).

Les écoulements souterrains et le ruissellement diffus sont eux difficiles à quantifier ; Holden (2003, *in* Porteret 2008) estime que pour une tourbière de couverture, 2% de l'écoulement s'effectue dans la tourbe en profondeur, 17% dans l'acrotelme et les conduits souterrains, et 81% par ruissellement. Mais là encore, chaque site ayant son fonctionnement propre, cet ordre d'idée ne peut être généralisé, en particulier pour les tourbières minérotrophes.



Mesure de débit au seau / ADREE

3.2.2. Les mesures piézométriques

L'installation de piézomètres (tubes perforés implantés dans le corps de tourbe) permet de mesurer les fluctuations de la nappe superficielle d'eau libre.

Nous ne reviendrons guère sur les aspects techniques, très bien traités par ailleurs, notamment par Dupieux (1998), la principale question est : quelle est la densité de piézomètres optimale ? Tout dépend de la finalité du suivi et des caractéristiques du site. Rappelons simplement que Porteret (2008) considère que des perforations inférieures à

10 mm rendent inutile le recours à un géotextile pour empêcher le matériel du sol de rentrer dans le tube, et qu'il est vital de penser à marquer le niveau 0 (contact avec le sol) par un repère (par exemple une tige métallique traversante) permettant de vérifier que le piézomètre ne bouge pas, sous peine de ne pouvoir utiliser les données (voir fiche d'expérience de la Sénégrière, chapitre 4).

En Angleterre et en France (Porteret, 2008), des travaux récents confirment l'importan-

ce du suivi du battement de nappe pour le diagnostic sur le comportement hydrologique en termes de liaison de la tourbière avec son impluvium, de réponse à la pluviométrie et d'évaluation de l'évapotranspiration. L'interprétation des courbes piézométriques dépend essentiellement de la régularité des mesures et du pas de temps de celles-ci.

L'installation de piézomètres et l'organisation des prises de mesures s'effectuent naturellement en fonction de l'objectif recherché.



Codeur limnimétrique Thalimèdes et piézomètre
F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Où implanter les piézomètres ? Avec quelle densité ? A quelle profondeur ?

En première approche, on peut selon la conformation du site imaginer un transect suivant la plus grande dimension de la tourbière (longueur), avec un ou plusieurs autres

transects en largeur. Des piézomètres peuvent aussi être installés sur les secteurs où l'on soupçonne un fonctionnement différent : à proximité de circulations de surface, sur des secteurs où la végétation est atypique...

La densité de piézomètres va varier selon le budget de l'opération, et surtout les modalités de relevés (voir ci-dessous). Une règle générale est que le suivi sera d'autant moins lourd qu'il durera longtemps.

En effet, eu égard au coût élevé des enregistreurs automatiques (voir ci-dessous), la plupart des piézomètres installés sont à relevés manuels, ce qui entraîne une grosse charge de travail qui n'est pas supportable sur la longue durée. Aussi le nombre de piézomètres, comme la fréquence des relevés, sera avant tout proportionnel à la durée du suivi.

Il est possible d'enlever des appareils lorsqu'une bonne compréhension du site aura été acquise et/ou qu'un éventuel réajustement de la nappe après des opérations de restauration sera terminé, et que le suivi se poursuivra en routine.

Si la tourbe est constituée de niveaux de structure différente, cela se traduit par des temps de circulation et de résidence de l'eau dans l'histosol variables. A des niveaux de tourbe imperméable peuvent se superposer des niveaux très perméables représentant des zones superposées de circulation préférentielle de l'eau. Dans ce cas, il faut prévoir plusieurs piézomètres installés aux différents niveaux de circulation. Le choix de la profondeur des piézomètres se fera notamment au vu des analyses du profil pédologique de la tourbière (voir 3.1.2.).

A quel rythme dois-je relever mes piézomètres ?

Le rythme du suivi reste un point crucial. Il dépend essentiellement de ce qu'on attend des mesures, mais également de la taille du terrain et des possibilités en investissement humain ou matériel (enregistrement automatique). De toute façon, ce qui est payant, c'est la régularité.

Pour des relevés manuels, le rythme décadaire paraît bien adapté. Entre une tournée mensuelle qui n'apporte que des ordres d'idée sur les amplitudes de variation et des mesures journalières inutiles en période hivernale et irréalisables en période végétative, tout au moins avec des relevés manuels sont manuels, ce rythme constitue une solution intermédiaire qui permet la mise en relation avec les données pluviométriques.

Toutefois, il est souhaitable de procéder à des mesures journalières pendant une ou deux décades représentatives (l'une en période de ressuyage, l'autre en période d'étiage) : la mise en relation des niveaux piézométriques avec les données climatiques (précipitations et ETP) peut alors être effectuée avec plus de sûreté.

Le relevé des piézomètres peut aussi être délégué à des personnes-relais régulièrement présentes sur le site ou à proximité : utilisateurs du site (pêcheurs, chasseurs), personnel de collectivité locale, naturaliste... Relever un piézomètre ne demande en effet aucune connaissance technique particulière, et l'implication des locaux aide à l'appropriation du site.

Une autre option est celle d'un capteur automatique, qui va effectuer des relevés selon une

fréquence préalablement définie (une mesure par heure pendant 6 ans pour la thèse de Jérôme Porteret !). Différents modèles existent, la principale variable étant le fait que les données sont stockées sur place (on doit passer les relever, mais à une fréquence bien moindre que dans le cas de suivi manuel des piézomètres) ou télétransmises (sondes plus complexes donc plus fragiles, et plus chères). Les relevés fréquents permettent, en l'absence de soucis techniques, une bonne mise en relation avec les données météorologiques (plus rigoureuse qu'avec les relevés décadaires). La fiabilité de ces matériels a été globalement éprouvée. Le coût n'est pas négligeable (environ 1500 euros pour un codeur limnimétrique de type Thalimèdes), et réserve ce matériel aux secteurs névralgiques du site ; mais les avantages sont importants, et l'opportunité d'acquisition doit être étudiée au cas par cas.

Sur les sites étudiés par l'université de St-Etienne, la démarche est la suivante (Cubizolle, comm. pers.) :

- installation de piézomètres à relevés manuels (diamètre 5 cm) dans des secteurs clefs définis soit à partir des données sur la végétation lorsqu'elles existent, soit à partir d'une première expertise géomorphologique du site ;
- une fréquence de relevés moyenne bimensuelle pendant un an ;
- l'installation de piézomètres complémentaires après un bilan des données sur la première année.

3.2.3. Le chimisme des eaux

Les analyses d'eau viennent en soutien de l'analyse sur les flux et sur les rythmes hydriques. Sur le terrain, on peut utiliser une sonde manuelle multiparamètres. Les plus simples mesurent la température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous. L'essentiel réside en trois points :

- étalonnage régulier avant d'aller sur le terrain ;
- choix approprié des sites de mesures ;
- choix approprié des moments de mesures .

Concernant les résultats, deux cas peuvent se présenter : soit on se trouve dans une configuration de substrat acide (type granite), et il sera difficile de faire la part des eaux de pluie et des eaux de nappe du point de vue du pH ainsi que de la conductivité, soit on se trouve dans un environnement plus alcalin et des différences peuvent être perceptibles sur ces paramètres.

Les moments de mesure seront aussi importants : une mesure après des précipitations importantes pourra être très différente d'une autre réalisée au même endroit mais en période d'étiage. Une mesure seule ne peut être considérée comme « définitive » ; à l'inverse, une série de mesures pourra par



Mesure de qualité de l'eau à l'aide d'une sonde multiparamètres / N.Cottin

exemple renseigner le gestionnaire sur le sens des flux d'eaux minéralisées (souterraines ou de surface) au sein de la tourbière. Il est bon de procéder - au minimum - à deux prélèvements, l'un en hautes eaux, l'autre en basses eaux.

De même le choix des lieux d'échantillonnage est important, et le gestionnaire gagnera à s'appuyer sur des hypothèses fonctionnelles pour le conforter ou le réfuter. Une série de mesure « au hasard » aura peu de valeur, sinon éventuellement permettre de

tester des hypothèses quant au fonctionnement de la tourbière, notamment sur les alimentations éventuelles en eaux souterraines ou de surface (plus minéralisées).

Des mesures plus régulières ou plus complètes, par exemple en laboratoire, pourront permettre de vérifier les hypothèses issues de ces mesures de terrain.

Des éléments d'analyse du chimisme des eaux sont développés en 3.3.2.

3.3. Eléments d'analyse et d'aide à la compréhension

3.3.1. Aspects quantitatifs : le bilan hydrologique

Il se base sur un principe simple : toute l'eau qui rentre dans la tourbière en sort ou y est stockée. On peut l'écrire sous cette forme :

$$Q(\text{entrant}) + \text{précipitations} = Q(\text{sortant}) + \text{ETP} + \text{stockage}$$

Nous avons vu précédemment comment il était possible de mesurer les débits entrant et sortant, tout du moins pour les écoulements individualisés de surface. A noter que l'importance de l'alimentation par le ruissellement de surface est souvent difficile à déterminer, notamment parce que ce dernier varie fortement dans l'espace et le temps (Porteret, 2008).

Pour ce qui est des précipitations, si la gestionnaire du site ne dispose pas des appareils de mesure nécessaires sur place (voir www.pole-tourbieres.org pour des éléments concernant l'équipement des sites), il pourra utiliser les données de la station de mesures la plus proche (Météo France, Agences de l'Eau, DREAL...). Diverses méthodes d'extrapolation pourront le cas échéant permettre d'essayer d'affiner les données de stations lointaines ou situées dans des conditions (versant, altitude...) clairement différentes. Cette première approche chiffrée pourra permettre de réfléchir à une cohérence du bilan et, par exemple, mieux apprécier la surface réelle

du bassin versant hydrogéologique (voir ci-dessous).

Les données météorologiques seront également utiles pour estimer l'ETP. Différents paramètres influent en effet sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère (voir aussi chapitre 6). La température, l'humidité de l'air et la vitesse du vent sont des facteurs importants ; le type de végétation, le stade phénologique et l'état sanitaire des plantes ont aussi une influence, mais l'efficacité de l'évapotranspiration est avant tout conditionnée par la disponibilité en eau du sol pour la végétation, ou la présence de nappes d'eau libre (Porteret, 2008). L'évaporation réelle est difficile, sinon impossible à déterminer : elle nécessite en effet des appareillages complexes, intrusifs et coûteux (lysimètres...), et varie dans le temps avec l'humidité édaphique (cycles journaliers liés à l'activité photosynthétique, et saisonniers liés aux précipitations) et dans l'espace (selon la topographie de surface et le type de végétation).

Il est en revanche possible de calculer l'évapotranspiration potentielle (= ETP maxima-

le, pour un couvert végétal type gazon, en pleine croissance et bien alimenté en eau), qui ne dépend que de facteurs climatiques, à l'aide de diverses formules (non reproduites ici) qui nécessitent des données de type et de précision variables. Les disponibilités de ces paramètres sont le premier critère de choix ; pour le reste, les gestionnaires pourront s'intéresser aux avantages et limites de chacune à travers la vaste bibliographie existante sur le sujet.

Le stockage concerne essentiellement l'acrotelme (zone où fluctue le niveau de la nappe) ; en effet le catotelme, s'il peut stocker de l'eau grâce notamment à l'épaisseur qu'il représente, le fait à long terme, avec un temps de renouvellement très long. La capacité de stockage varie selon le type de tourbe, ainsi que les évolutions du niveau de la nappe, et celles de la superficie de la tourbière liées aux modifications physique du volume de tourbe non saturé. Un stockage important peut aussi se faire en surface, au niveau des dépressions topographiques (Porteret, 2008).

A partir de cette formule, on pourra par exemple travailler :

- sur la comparaison débit sortant/débit entrant ;
- sur la réaction entre les débits sortants et le bilan hydrique (P-ETP) ;
- sur la connaissance du bassin versant.

Ainsi la comparaison à un jour J entre le volume entré et le volume sorti peut permettre un bilan instantané. Cette méthode a l'avantage d'être simple, et permet de formuler des hypothèses sur le fait que la tourbière semble être seulement traversée par le cours d'eau, retenir l'eau, ou si on peut au contraire envisager un apport d'eau entre l'amont et l'aval.

Lorsque l'on observe une diminution du débit de cours d'eau entre l'amont et l'aval, cela peut indiquer qu'il alimente la tourbière. A l'inverse, les mesures effectuées par C. Néel dans la tourbière de la

Ferrière [19] montraient que les quantités d'eau drainée en aval étaient toujours supérieures à l'alimentation amont par ruissellement, tant pour les débits les plus forts que pour les plus faibles :

Débits les plus forts
(07/03/2000)
amont : 360 m³/h - aval : 420 m³/h

Débits les plus faibles
(01/09/1999)
amont : 11 m³/h - aval : 17 m³/h

On peut donc en déduire que dans ce cas la tourbière est drainée ; une étude approfondie a en effet montré que les arènes granitiques qui se trouvent sous la tourbière drainent naturellement le bassin versant de la tourbière et évacuent le trop-plein.

Enfin, si la somme du débit entrant et des précipitations reste très inférieure au débit sortant, et que le ruissellement ne semble pas pouvoir expliquer le différentiel (bassin versant de petite taille par exemple), il faudra soupçonner une alimentation souterraine de la tourbière.

Illustration de l'utilisation des données

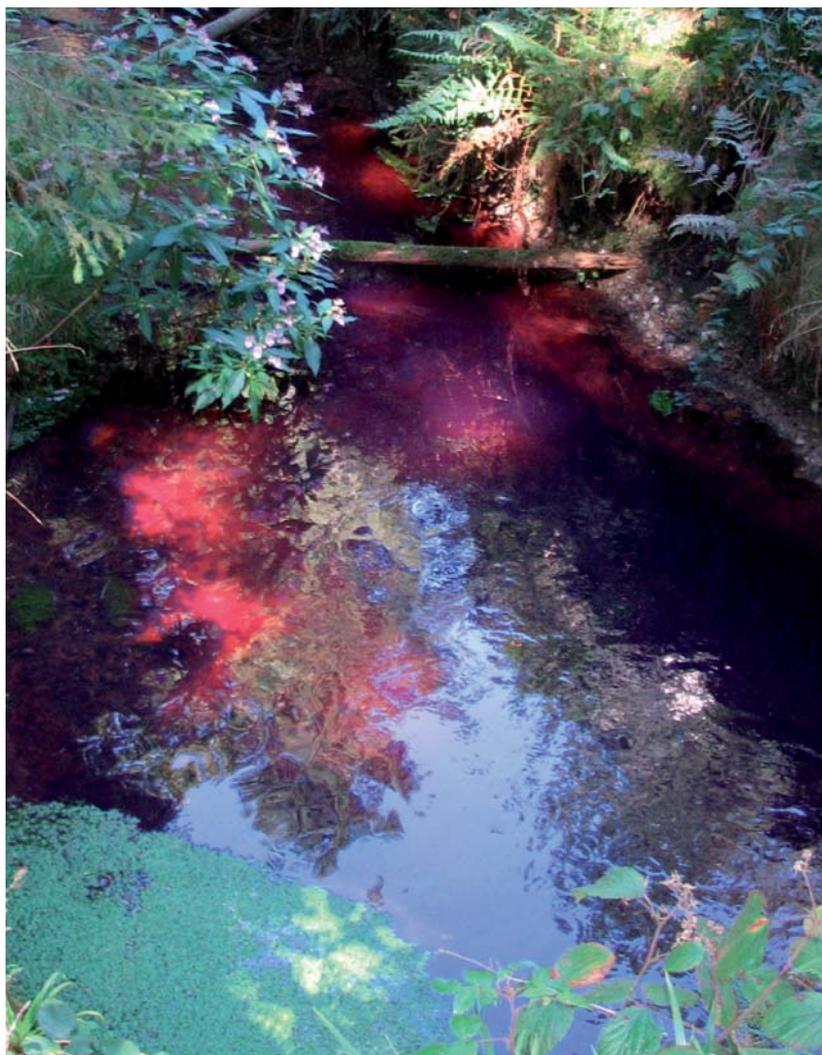
Nicolas Cayssiols (*inédit*), sous la direction de François Gazelle de l'Université du Mirail à Toulouse, a travaillé sur les zones humides du Levezou [12]. Il a imaginé un couplage des courbes de mesures du débit, des précipitations et des hauteurs piézométriques, ce qui permet d'avoir une idée des réactions du bassin versant et de ses unités hydrologiques aux précipitations. Ceci peut notamment générer des hypothèses sur le mode d'alimentation de la tourbière, la vitesse de cheminement des eaux à travers cette dernière (par étude du temps de réponse des débits ou des hauteurs d'eau), ainsi que sur les relations entre la tourbière et le cours d'eau et entre la nappe et les précipitations.

D'autres travaux existent, comme ceux de Martin et Didont-Lescaux (2007) en Lozère, ou la thèse de Jérôme Porteret (2008) dans la Loire.

Sur la tourbière du Grand-Lemps [38], le calcul des bilans hydrologiques annuels, réalisés selon des formules classiques à partir des données de stations météorologiques proches, a permis de formuler l'hypothèse d'une alimentation occulte (Dzikowski & al., 2000).

Le bassin versant topographique de la tourbière occupe une surface de 7,5 km². La tourbière est principalement alimentée par des sources limnocrènes arrivant d'un niveau aquifère de moraines gravo-sableuses. Le suivi en continu du niveau d'eau, de la tempéra-

ture et de la conductivité a été réalisé sur l'exutoire de la tourbière, en même temps que sur la sortie principale du plan d'eau situé à l'amont (aux deux tiers de la tourbière). La comparaison des mesures montrait une grande différence de débits. L'existence d'un sous-bassin versant aval a été démontrée par les différentes mesures de débits, de conductivité et de température (plus faibles, donc indiquant des arrivées d'eau profonde moins sensibles aux variations des températures extérieures ; les habitants du secteur avaient d'ailleurs remarqué que certains trous d'eau, des résurgences en fait, ne gèlent pas en hiver, et avaient attribué ce « miracle » à une ancienne chapelle engloutie).



Tourbière du Bas-Beillard [88] : ruisseau pollué par des azurants / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

3.3.2. Aspects qualitatifs

Sur le terrain, on a suggéré de mesurer la conductivité électrique, le pH et la température. Cette dernière est primordiale pour permettre une bonne interprétation des résultats, puisque déterminante dans de nombreux processus. Au laboratoire, ces analyses pourront être complétées par d'autres analyses plus poussées.

Les mesures les plus généralement pratiquées sont : les matières en suspension, le carbone organique dissous, les teneurs en hydrogencarbonates (HCO_3^-), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), orthophosphates (PO_4^{3-}), azote ammoniacal (NH_4^+) et calcium. Les procédures et calculs liés à ces analyses correspondent à des normes AFNOR permettant de standardiser les résultats, donc de les comparer.



Algues vertes se développant dans une zone dégradée de la tourbière de la Grande Pile [70]
L. Bettinelli - CREN Franche-Comté

Éléments mesurés, normes de procédure et éléments d'analyse

pH
Unité pH
NF T 90.008

Le pH va bien sûr renseigner sur l'état d'acidité ou de basicité du milieu ; mais il est aussi déterminant pour de nombreux mécanismes chimiques, et va interférer sur les processus d'absorption ou d'adsorption de nombreux nutriments. Les mesures de terrain, facilement réalisables, sont préférables, car les variations de la pression de CO₂ et O₂ entre le prélèvement et l'analyse peuvent modifier le pH (Porteret, 2008).

Conductivité électrique
Siemens/cm
NF EN ISO 27 888

La conductivité électrique donne une indication sur la minéralisation globale d'une eau, puisqu'elle est directement proportionnelle à sa teneur en ions (magnésium, sulfates, chlorures, calcium). Cette dernière est elle-même liée à l'importance des contacts de l'eau avec les substances organiques ou minérales du (sous-)sol. Elle constitue un bon traceur des eaux, qui permet ensuite de déterminer leur provenance et leur temps de circulation dans le bassin versant (une eau de pluie aura une conductivité très faible, inférieure à 50 µSiemens/cm).

Matières en suspension
mg/l
NF EN 872

Les matières en suspension totales (MST) comprennent des particules organiques et minérales transportées dans la colonne d'eau. Elles sont étroitement liées à l'érosion des terres et à l'érosion du lit des cours d'eau. Leur concentration va fortement influencer sur les mécanismes d'absorption/adsorption des métaux, d'autres composés tels que les orthophosphates, mais aussi sur le colmatage des substrats.

Carbone organique dissous
mg/l
NF EN 1484

Le carbone organique trouvé dans les eaux naturelles est composé en majeure partie de substances humiques, de matériaux végétaux et animaux partiellement dégradés, ainsi que de substances organiques provenant de divers effluents municipaux et industriels.

Hydrogénocarbonates HCO₃⁻
mg/l - NF EN ISO 9963

Sa concentration massique peut varier suivant l'origine de l'eau, et influe directement sur le pH (sur lequel il a un effet tampon) et le titre alcalimétrique. C'est également un traceur des eaux souterraines, puisque il provient de l'érosion des roches.

Azote ammoniacal NH₄⁺
mg/l
NF T 90 015.2

L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. C'est un élément essentiel de la photosynthèse, qui permet la transformation de la matière minérale en tissu végétal. L'atmosphère est constituée à près de 80% de diazote gazeux N₂, mais la plupart des plantes ne peuvent pas l'utiliser sous cette forme inerte. Les plantes absorbent seulement les formes ioniques solubles dans l'eau : nitrate (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺), et une très faible quantité d'urée.

Nitrate NO₃⁻
mg/l - NF EN ISO 13395

Lorsque l'azote est apporté sous forme ammoniacale (NH₄⁺ ou NH₃), en milieu aérobie, la nitrification est assez rapide : oxydation de NO₃⁻ en NO₂⁻, puis de NO₂⁻ à NO₃⁻.

Nitrite NO₂⁻
mg/l - NF EN 2677

Si la forme ammoniacale (NH₄⁺) peut être adsorbée dans le sol, la forme nitrique (NO₃⁻) est quant à elle est très soluble, et ne peut donc pas être retenue par le sol.

Orthophosphates PO₄³⁻
mg/l - NF EN 1189

Ce composé étant principalement exogène dans les milieux aquatiques, cette mesure permet de mettre en évidence une pollution des eaux ; les orthophosphates constituent en conditions naturelles le facteur limitant pour le développement de la plupart des végétaux aquatiques.

Calcium
mg/l - potentiométrie

La teneur en calcium (liée au titre hydrotimétrique et à la dureté de l'eau) va dépendre de la nature des roches traversées par l'eau que l'on échantillonne. Elle influence diverses réactions chimiques et le type de végétation hygrophile.

Fer total
mg/l - NF T 90.017

Le fer est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe²⁺ (bleu pâle, soluble), le fer ferrique Fe³⁺ (rouge rouille, insoluble) et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, taniques...) et minérales (silicates, phosphates...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique, qui précipite sous forme d'hydroxyde Fe(OH)₃. Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution

Fer dissous
mg/l - NF T 90.017

Éléments identifiés

Une fois les éléments identifiés et quantifiés, s'il apparaît que leur origine ne semble pas naturelle, il s'agit d'émettre une hypothèse sur leur provenance, et d'en évaluer les conséquences sur le milieu, ceci afin de considérer au mieux, lors des actions de gestion entreprises (notamment la reconnexion d'une arrivée d'eau) les conséquences positives, mais aussi les aspects négatifs qui pourraient entraîner des modifications plus profondes que celles que l'on veut corriger.

4. CONCLUSION

Nous avons vu que l'approche hydrologique d'une tourbière est complexe. La diversité des échelles d'étude et des sciences impliquées, l'unicité de chaque site, les lacunes des spécialistes sur certains phénomènes rendent la tâche du gestionnaire, sinon impossible, du moins ardue.

Or l'eau est un élément essentiel pour les milieux tourbeux, et il est illusoire de vouloir le dissocier du fonctionnement des autres compartiments ou, pire, d'essayer de l'éviter ou de l'ignorer.

Face à ce constat, il est important de savoir rester lucide. Faute de tout connaître tout de suite, le gestionnaire - comme il en a l'habitude sur de nombreux points - devra progresser avec le temps. La génération de données n'est pas difficile, mais pour lui donner du sens et la rendre utile, il faut pouvoir définir clairement à chaque étape quels sont les objectifs à atteindre, et quels sont, a priori, les moyens néces-

saires pour ce faire. Il sera toujours temps par la suite d'adapter sa méthodologie si elle s'avère inappropriée... ou, en cas de succès, d'envisager d'aller plus loin. Une démarche itérative de questions ou hypothèses/réponses permettra d'améliorer la connaissance du fonctionnement des écosystèmes tourbeux, à l'échelle du site mais aussi de façon plus générale. Ce chapitre ne prétend bien évidemment pas faire de vous des hydrologues, mais plus modestement vous donner des clés de compréhension permettant d'améliorer la prise en compte de l'hydrologie sur vos sites. Il peut également vous servir à cerner les dysfonctionnements, et obtenir des pistes de réflexion avant une étude plus poussée des mécanismes. Tout ceci n'évitera pas le cas échéant le recours à un spécialiste pour mener une étude complète et poussée, nécessitant des outils adaptés et des protocoles normalisés, mais devrait répondre à une demande croissante des gestionnaires de tourbières.



5. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

ADREE (inédit). *Hydrologie des tourbières*. Cahier technique.

BARBOIRON, A. (2000). *La tourbière des Pradeaux : approche hydrologique et pédologique*. Mémoire de MST « Montagne », Université de Savoie, 65 p.

CARACO, N.F. ; COLE, J.J. ; LIKENS, G.E. (1984). *Evidence for sulphate-controlled phosphorus release from sediments of aquatic systems*. *Nature*, v. 341, pp. 316-318.

CARACO, N.F. ; COLE, J. ; LIKENS, G.E. (1990). *A comparison of phosphorus immobilization in sediments of freshwater and coastal marine systems*. *Biogeochemistry* 9, pp. 277-290.

COLLECTIF (2005). *Elaboration de nouveaux outils de diagnostic, de gestion et de suivi des tourbières - Actes de la table ronde de Lyon, septembre 2002*. Cahiers scientifiques et techniques du Pôle-relais Tourbières, N°4, 240 p.

COLLECTIF (2005). *Tourbières : le point pour leur gestion*. *Espaces naturels*, n°11, pp.7-20 & 38-39.

COSANDEY, C. ; ROBISON, M. (2000). *Hydrologie continentale*. Editions A.Colin, 360 p.

CROISE, L. & AL. (2002). *Dépôts atmosphériques totaux hors couvert forestier de nitrate (N-NO₃, kg/ha/an) interpolés par cokriegage*. Travaux menés par l'ONF sur les données du réseau RENECOFOR (sous-réseau CATEANAT).

CROISE, L. ; ULRICH, E. ; DUPLAT, P. ; JAQUET, O. (2005). *Le suivi des dépôts atmosphériques dans les écosystèmes forestiers en France*. Rendez-vous techniques de l'ONF, n°7, pp.4 -10.

CROISE, L. ; ULRICH, E. ; DUPLAT, P. ; JAQUET, O. (2005). *Two independent methods for mapping bulk deposition in France*. *Atmospheric Environment* 39/21, pp.3923 - 3941.

CUBIZOLLE, H. (2005). *Paléoenvironnement et turfigenèse : l'apport de l'étude des tourbières à la connaissance de l'évolution holocène des milieux montagnards du Massif central oriental granitique*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Limoges, 750 p.

DZIKOWSKI, M. ; LAPLACE-DOLONDE, A. ; NICOU, G. ; POINT, M. (2000). *Fonctionnement hydrologique de la Tourbière du Grand Lemps (Isère, France)*. In : *L'eau de la cellule au paysage*, Elsevier, pp.125-142.

FRANCEZ, A.J. ; LOISEAU, P. (1999). *Devenir de l'azote minéral dans une tourbière à Sphagnum fallax Klinggr. et Carex rostrata Stokes du Massif Central*. *Journal Botanique Canadien* n°77, pp. 1136-1143.

GREGOIRE, F. ; LAPLACE-DOLONDE, A. (2005). *La dialectique de l'étang et de la tourbière*. [en ligne].
URL : <http://ghzh.free.fr/pdf/LAPLACE-DELONDE.pdf>

KOERSELMAN, W. ; VAN KERKHOVEN, M.B. ; VERHOEVEN, J.T. (1993). *Release of inorganic N, P and K in peat soils; effect of temperature, water chemistry and water level*. *Biogeochemistry* 20, pp. 63-81.

KOERSELMAN, W. ; VERHOEVEN, J.T.A. (1995). *Eutrophication of fen ecosystems: external and internal sources and restoration strategies*. In: WHEELER, B.D. ; SHAW, S.C. FOJT, W.J. ; ROBERTSON, R.A. (Eds.), *Restoration of temperate wetlands*, pp. 91-112.

LARBALETRIER, A. (1901). *La tourbe et les tourbières*. Masson, 190 p.

LOISEAU, P. (2000). *Diagnostic de la disponibilité en azote minéral dans un groupement à Carex rostrata par la morphologie et la teneur en azote des limbes*. Document relatif au site Natura 2000 n°FR 8301077 Marais de Limagne.

MANNEVILLE, O. ; VERGNE, V. ; VILLEPOUX, O. (2006). *Le monde des tourbières et des marais - France, Suisse, Belgique, Luxembourg*. Ed. Delachaux et Niestlé, 302 p.

MARTIN, C. ; DIDON-LESCOT, J.F. (2002). *Etude du fonctionnement hydrologique des zones humides du Mont-Lozère : l'exemple de la tourbière des Sagnes*. *Etudes de Géographie Physique*, n°29, pp. 27-41.

MORIN, C. ; DIEMERT, M. (1997). *Etudes hydrologique, pédologique et floristique de la tourbière de la Palette - Les Saïsiés (73)*. Mémoire de MST « Montagne », Université de Savoie, 72 p.

OBERLIN, G. (2000). *Le contrôle des crues*. In : FUSTEC, E. ; LEFEUVRE, J.C. & coll., *Fonctions et valeurs des zones humides*, Ed. Dunod, pp. 83-105.

PAULISSEN, M. (2004). *Effects of nitrogen enrichment on bryophytes in fens*. Thèse, Université Utrecht, 134 p.

PORTERET, J. (2008). *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central*. Doctorat « Interface Nature / société », Université Jean-Monnet de St-Etienne, 405 p.

PREVOST, A. ; PLAMONDON, A.P. ; BELLEAU, P. (1999). *Effects of drainage of a forested peatland on water quality and quantity*. *Journal of Hydrology*, vol. 214, pp. 130-143.

ROBINSON, M. ; MOORE, R.E. ; NISBET, T.R. ; BMACKIE, J.R. (1998). *Moorland to forest : the Coalburn Catchment*. Report n°133, Institute of Hydrology, Wallingford, 64p.

ROMANEIX, C. (2000 & 2002). *Résultats de l'étude sur la qualité des eaux de la tourbière de Mathon*. Rapport pour le CPIE du Cotentin et l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

SAPEK, A. ; SAPEK, B. ; CHRZANOWSKI, S. ; JASZCZYNSKI, J. (2007). *Mobilization of substances in peat soils and their transfer within the groundwater and into surface water*. *Agronomy Research* 5(2), pp. 155-163.

SJOGREN, P. ; VAN DER KNAAP, W.O. ; VAN LEEUWEN, J.F.N. ; ANDRIÈ, 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, pp. 1-14.

WASTIAUX, C. (2000). *Facteurs hydrologiques de la dégradation des tourbières hautes à sphaignes des Hautes-Fagnes (Belgique)*. Mémoire de thèse, Université de Liège, 223p.



Rédaction

Geneviève Magnon - Communauté de communes de Frasne - Drugeon



CHAPITRE 4

Tendre vers une restauration fonctionnelle des tourbières

> 1.	Introduction	p.76
	1.1. <i>Restauration ? Réhabilitation ? Régénération ? De quoi parle-t-on ?</i>	p.76
	1.2. <i>Comment intervenir ?</i>	p.76
> 2.	Le diagnostic fonctionnel	p.77
	2.1. <i>Les outils de diagnostic utilisés par les gestionnaires</i>	p.79
	2.1.1. <i>Le dispositif piézométrique</i>	p.79
	2.1.2. <i>Physico-chimie de l'eau</i>	p.80
	2.1.3. <i>La végétation</i>	p.80
	2.1.4. <i>La topographie de surface</i>	p.80
	2.1.5. <i>La géomorphologie et la topographie de subsurface (= du substratum)</i>	p.81
	2.1.6. <i>Les nouveaux outils d'aide au diagnostic de fonctionnement d'une tourbière : les modèles numériques de terrain (MNT)</i>	p.81
	2.2. <i>La synthèse fonctionnelle</i>	p.82
> 3.	Les travaux de restauration fonctionnelle ou contributeurs à la régénération	p.82
	3.1. <i>Les travaux de type barrage-seuils, comblement ou retenues d'eau</i>	p.82
	3.2. <i>La restauration du sol ayant pour objectif une relance de l'activité turfigène</i>	p.85
> 4.	Les enseignements à en tirer	p.85
> 5.	Fiches d'expériences	p.86
> 6.	Bibliographie thématique	p.99

1. INTRODUCTION

1.1. Restauration ? Réhabilitation ? Régénération ? De quoi parle-t-on ?

La question du « Faut-il restaurer ? Pourquoi restaurer ? » a été traitée dans le chapitre 1, et n'est pas développée à nouveau dans celui-ci. Cependant, il est nécessaire de rappeler que tout gestionnaire de tourbière doit avoir bien identifié l'objectif de restauration avant de se lancer dans un tel projet. Sans entrer dans des discussions de sémantique pure, certains spécialistes préfèrent parler de restauration plutôt que régénération, car souvent est recréée artificiellement une situation favorable à la dynamique d'une tourbière, dynamique qui n'existait plus, et facilite la recolonisation d'un milieu nouvellement mis à disposition. Buttler & al. (1996) préfèrent le terme de « remplacement », plutôt que celui de régénération, pour décrire les successions secondaires de communautés végétales et animales des hauts-marais après exploitation (Grosvernier, 1996).

La synthèse du colloque international de Lamoura (2007) définit les diverses notions relatives à la « restauration » de sites (voir chapitre 1). N'oublions pas que l'action du gestionnaire, qui est d'intervenir pour favoriser et accélérer une dynamique naturelle de reconstruction d'un acrotelme par-dessus les ruines d'une tourbière momentanément inactive, doit également se replacer dans une perspective temporelle élargie, depuis la formation de la tourbière. A cette échelle de temps, ces définitions ont finalement moins d'importance, l'homme ayant



Complexe tourbeux du Varot [25] (bassin du Drugeon) / CFD

souvent laissé son empreinte sur les milieux tourbeux, parfois depuis le Néolithique. Les carottages à la tourbière de Picherande dans le Massif Central (Ragué, *com.per.*), ou les études de Goubet couplées aux études palynologiques de l'Université de Franche-Comté (thèse de Jouffroy) sur les tourbières du Morvan, montrent des perturbations anthropogènes très anciennes. L'action du gestionnaire n'est donc qu'un bref épisode dans une longue séquence de cycles de « perturbations/reconstructions ».

Il est illusoire de vouloir restaurer l'écosystème originel tel qu'il était avant des activités d'extraction de tourbe dans le cas d'un

haut-marais, et de renouveler la ressource tourbeuse qui a été extraite (Rochefort, 2007).

Il doit être admis par tous les lecteurs que le présent chapitre s'attache à décrire des expériences de gestionnaires qui ont tenté, selon eux, une « réhabilitation », qui visait à relancer une nouvelle activité de turfigénèse intégrant une nouvelle dynamique du milieu, parce que la précédente était soit perturbée, soit avait cessé. Il s'agit bien de recréer les conditions favorables au développement d'une nouvelle tourbière, en se rapprochant, si possible, au maximum des modèles fonctionnels validés par la communauté scientifique.

1.2. Comment intervenir ?



Carotte de tourbe (haut-marais actif de Frasne [25]) / F. Laggoun-Défarge - CNRS Orléans

La grande variété des milieux tourbeux est liée en premier lieu au type d'alimentation en eau et à la quantité de nutriments disponible. Puis, la variabilité des sols tourbeux va également conditionner le type de fonctionnement. Donc tout projet de restauration doit bien intégrer l'ensemble des propriétés du milieu, pour être adapté à l'objectif poursuivi.

Différents spécialistes des milieux tourbeux ont pu ces dernières années affiner des méthodes de travail intégrant cette pluridisciplinarité de haute compétence. Pierre Goubet utilise la méthode du diagnostic fonctionnel pour aboutir à une synthèse fonctionnelle, nécessitant la prise en compte des plantes, de l'eau, des éléments minéraux et du sol. Cette synthèse fonctionnelle ne peut s'appuyer que sur une grande polyvalence, une compétence transversale en botanique (incluant la bryologie), physiologie, biologie végétale, pédologie des sols tourbeux, hydrogéologie et géomorphologie.

Les cahiers d'habitats Natura 2000 (Tome 3 - Habitats humides-2002) rappellent bien que « la restauration des tourbières hautes dégradées doit s'envisager selon une triple approche à la fois hydrique, pédologique et végétale. Chacun de ces compartiments peut se voir perturbé à des degrés divers par l'assèchement : la nappe qui connaît un rabattement et/ou des fluctuations importantes, le sol, qui en s'asséchant, s'oxyde, se minéralise, perd sa capacité de rétention de l'eau, se tasse, la végétation dont les espèces les plus hygrophiles et turfigènes régressent ou disparaissent au profit d'espèces mieux adaptées à l'assèchement et à l'enrichissement trophique du sol (et qui parfois elles-mêmes accentuent les perturbations). La restauration de la végétation des tourbières hautes dégradées ne saurait se limiter à celle de l'un de ces compartiments si chacun d'eux se trouve perturbé... **Mais la première tâche du gestionnaire consistera à identifier les causes responsables de la dégradation de l'habitat afin d'étudier ses possibilités de restauration.** »

Les connaissances accumulées ont aussi permis à P. Goubet de démontrer que la tourbe minéralisée devient quasi-imperméable, ce qui offre aussi au gestionnaire des opportunités pour favoriser une circulation hydrique en

nappe par-dessus une tourbière dégradée, ou pour inonder un culot de tourbage (cas observés suite à gestion hydraulique des tourbières de la Bouyère à Jussarupt [88], de Jemnaufaing à Rochesson [88], du Grand Etang à Gérardmer [88]).

« Pour les tourbières basses alcalines (type Code Natura 7230), il est rappelé qu'une attention particulière devra être portée au fonctionnement hydrique du site qui, s'il se révélait perturbé (par exemple travaux de drainage), devrait impérativement faire l'objet d'interventions préalablement à toute autre action à but conservatoire. Les techniques à mettre en œuvre (bouchage et blocage de drains) sont les mêmes qu'en tourbière haute... »

Il apparaît nécessaire d'apporter un complément animal à l'intérêt végétal que comportent les tourbières. Ces dernières abritent des cortèges très originaux, en particuliers de rhopalocères et d'odonates (mais pas uniquement), dont la richesse et la survie ne s'expriment pas seulement à l'échelle d'un site de tourbière, mais par leur caractéristique d'insectes volants, à l'échelle d'un réseau régional de tourbières.



Cuivré de la bistorte (*Lycena helle*) / B. Cotte

2. LE DIAGNOSTIC FONCTIONNEL

Dupieux (1998) présente fort bien les éléments descriptifs des travaux. A travers l'expérience des gestionnaires, il convient de compléter cela par le préalable à la phase travaux, la phase diagnostic-élaboration du projet. Les gestionnaires s'interrogent souvent sur le niveau d'étude à lancer, ni trop (manque de moyens, « usine à gaz »), ni trop peu (efficacité de l'étude).

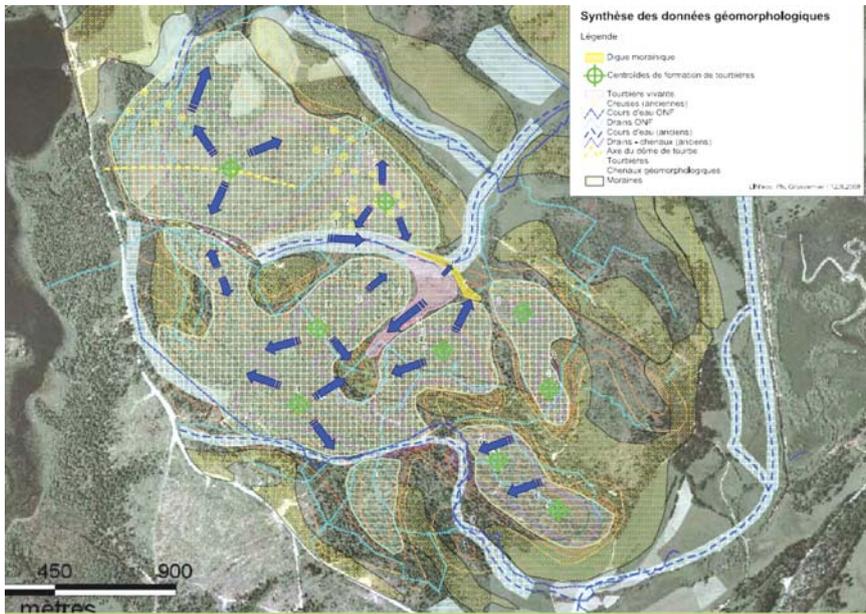
Pour restaurer une tourbière, perturbée par un drainage le plus souvent, il est indispensable de bien comprendre son fonctionnement, et l'état de sa dynamique évolutive à un instant t. Or, trop peu de gestionnaires se sont encore lancés dans ce genre d'études, compte tenu de leur complexité, de leur coût et du caractère scientifique qu'elles recouvrent. Elles sont souvent menées par des équipes de scientifiques, ce qui est le cas notamment sur la tourbière des Dauges (CREN Limousin/Laboratoire Rhodanien de géographie de l'environnement), la

tourbière de la Sénégrière (PNN Cévennes/CNRS et Université de Nice-Sophia-Antipolis), les tourbières du nord-est du Massif central (Université Jean-Monet/CRENAM de Saint-Etienne), la tourbière de la Ferrière (CREN Limousin/Université de Limoges).

Néanmoins, conscients de la grande complexité de ces milieux, les gestionnaires sont de plus en plus nombreux à solliciter de la part des experts scientifiques, un diagnostic pour une meilleure compréhension de la fonctionnalité des systèmes tourbeux, de façon à intervenir de façon efficace sur le milieu : étang de Machais, complexe tourbeux de l'étang noir (PNR des Ballons des Vosges), complexe tourbeux du Tanet (Conservatoire des sites Lorrains), tourbière de la Rixouse (Conservatoire Régional de Franche-Comté), tourbières de Frasne (Communauté de communes Frasne-Drugeon), tourbière du Crossat (RNN du lac de Remoray)... Le gestionnaire n'a que trop souvent pris en compte la seule partie superficielle de la

tourbière, qu'il connaît mieux, et dont l'un des révélateurs de la perturbation est la végétation. Le fonctionnement des flux d'eau sous-jacents est souvent plus complexe à interpréter ; toutefois sa compréhension s'avère indispensable pour tenter de remédier à une perturbation.

Sur la tourbière du Forbonnet (Frasne-Drugeon), le complexe de haut-marais tourbeux représente une surface de l'ordre de 200 ha, et a subi au cours du temps, l'exploitation de la tourbe (et le drainage inhérent), des incendies, l'exploitation forestière (plantations, coupes et drainage), et se trouve « coincé » entre moraines et pertes karstiques, ce qui rend la partie diagnostic particulièrement importante. Elle est indispensable pour une bonne compréhension, d'une part des évolutions à travers le temps (géologique et humain), et d'autre part de la dynamique actuelle des groupements tourbeux subsistant aujourd'hui, pour faire les bons choix de gestion.



Synthèse hydrogéomorphologique d'une tourbière de Frasne [25] / P. Grosvernier - LIN'eco

Coût des diagnostics fonctionnels : ce type d'étude peut varier d'environ 6 000 € à 12 000 € pour une petite tourbière (de 5 à 20 ha), relevés topographiques inclus, et dépasser les 30 000 € pour des grandes tourbières (incluant la topographie méthode LIDAR par voie aéroportée).

Les projets « bricolés », sans un minimum d'études préalables, sont presque toujours sources de problèmes, en inadéquation avec l'objectif de restauration fixé, et nécessitent souvent de réinvestir pour « réparer » les erreurs. Aussi, parmi les paramètres à étudier, les études hydrologique et topographique sont incontournables. Elles permettent non seulement de caractériser les écoulements, mais également de faire des choix adaptés lorsque les moyens sont limités pour la restauration. Il faut une vue d'ensemble du fonctionnement de la tourbière pour définir ce qui est prioritaire.

Le diagnostic de la tourbière ne doit pas non plus oublier le rôle de la tourbière en tant que contributrice au réseau de biodiversité animale, mais aussi élément structurant pour cette dernière (et notamment pour les invertébrés). Il peut s'agir parfois de favoriser la biodiversité animale à une échelle restreinte quand le réseau global des tourbières a été fortement mis à mal, ou bien de favoriser un réseau à l'échelle de plusieurs tourbières, lorsqu'il subsiste.

Le chargé d'études devrait donc intégrer, dans l'idéal, plusieurs échelles de travail au moment du diagnostic, et éventuellement disposer d'une connaissance des autres sites tourbeux périphériques pour optimiser le potentiel de biodiversité (étangs-relais et gouilles de haut-marais) (Grosvernier, 2008). Il faut reconnaître que ce diagnostic idéal n'est pas toujours possible : soit la tourbière en question n'est qu'une relique plus ou moins bien conservée à laquelle on affecte une priorité de restauration, soit elle est l'élément unique sous la responsabilité d'un gestionnaire. Certains Parcs Naturels Régionaux, Conservatoires Régionaux d'Espaces Naturels, ou encore certains grands sites tourbeux comme le bassin du Dugeon ont la chance de pouvoir intégrer cette dimension micro-régionale de réseaux de tourbières.

Face à la diversité et à la complexité des paramètres à étudier, le gestionnaire se trouve rapidement face à une tâche difficile :

- il doit disposer de tous les éléments du diagnostic, et être capable de les analyser : végétation, fonctionnement hydrique, topographie, état

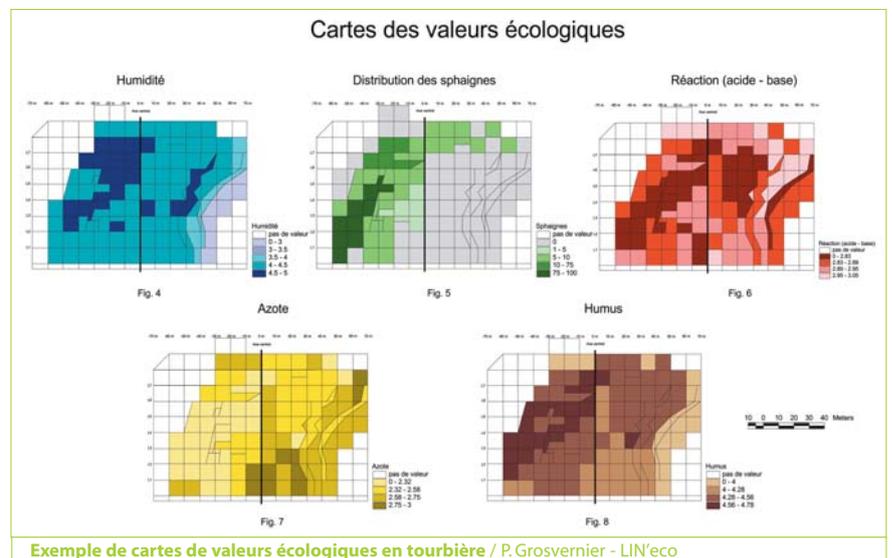
pédologique, géomorphologie, richesse et diversité faunistique intrinsèque et « micro-régionale », éléments historiques si nécessaires ;

- sa capacité d'expertise de la situation peut être limitée : moyens humains et financiers ;
- il doit être capable de proposer un projet technique adapté à la situation : rapport coût/efficacité adapté.

Force est de constater que le gestionnaire ne dispose que rarement de tous les moyens humains, financiers, temporels et techniques pour une étude de connaissance détaillée de la tourbière. En revanche, il peut s'appuyer sur les paramètres les plus pertinents pour mener à bien le diagnostic fonctionnel, et pour cela bénéficier des

compétences pluridisciplinaires de spécialistes de cet écosystème et de groupements de scientifiques. Il est sans doute à regretter que ces spécialistes soient encore trop peu nombreux pour répondre à l'ensemble des sollicitations de tous les gestionnaires, mais ils sont d'un apport technique considérable.

Selon Pierre Goubet, le diagnostic doit générer une image virtuelle du site de qualité suffisante pour permettre d'une part l'analyse fonctionnelle immédiate, et d'autre part une comparaison avec un état futur. La description doit donc se concentrer sur des marqueurs fonctionnels à forte valeur explicative, et être bien étudiée pour permettre une reproductibilité future.



2.1. Les outils de diagnostic utilisés par les gestionnaires

Le gestionnaire est toujours à même de pouvoir engager certaines opérations, qui ne nécessitent ni de moyens matériels, ni de technicité particulière. Il ne doit cependant pas sous-estimer le temps à y consacrer.

2.1.1. Le dispositif piézométrique

Presque tous les sites qui ont expérimenté une fermeture de fossés, partielle ou totale, ont mis en place au minimum un dispositif de suivi piézométrique, qui leur a permis non seulement de situer le niveau moyen de la nappe superficielle en situation perturbée, mais également d'identifier les amplitudes de battement de nappe, et parfois de caractériser les types d'alimentation.

Ces piézomètres sont utiles également pour évaluer l'impact des travaux sur le niveau de la nappe.

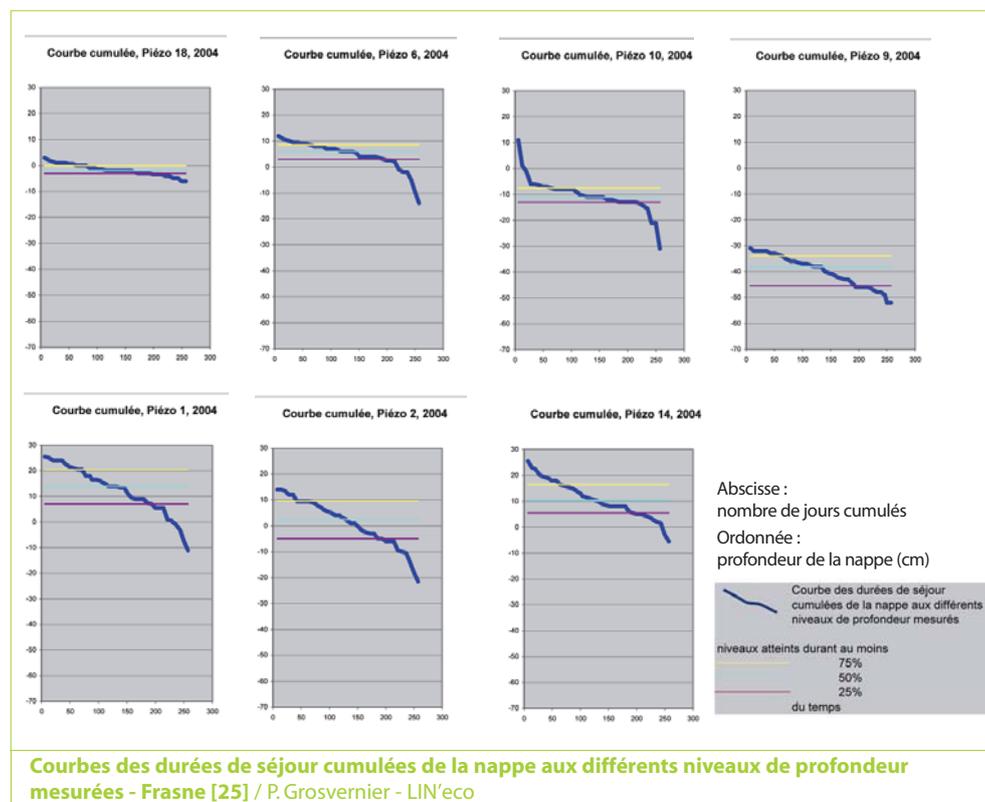
Quel que soit le type de piézomètres installés (manuel ou enregistreurs), ils nécessitent tous un minimum de maintenance.

Les piézomètres manuels (tubes en PVC percés - voir Dupieux, 1998, p.126) sont le plus souvent utilisés, mais ils nécessitent des passages réguliers, la contrainte de temps, de disponibilité pour les relevés est donc importante. Le PN des Cévennes, sur le site de la Sénégrière, a également utilisé une centrale d'acquisition de données pluviométriques et piézométriques. Une grande quantité de données exploitables a ainsi été acquise, mais le dispositif nécessite toutefois de vérifier régulièrement son bon état de fonctionnement.



Relevé de données d'un piézomètre enregistreur sur la tourbière de la Sénégrière [48] / F. Duguépéroux - PN des Cévennes

Le Parc National des Cévennes a également constaté un soulèvement des piézomètres manuels, qui n'a pas permis de rendre exploitables l'ensemble des données. Le manque de disponibilité du personnel n'a pas permis de réaliser les relevés en août 2002-2004-2005, ce qui n'a pas permis d'affiner les conclusions.



Jacques Thomas, de la Scop SAGNE, a pu expérimenter les 2 systèmes de piézomètres (relevés manuel et automatique) : outre la différence de coût (équipement automatique plus onéreux, mais coût d'exploitation faible), l'exploitation manuelle (1997/1998) avait surtout indiqué les tendances saisonnières, alors que l'enregistrement quotidien (2007) a révélé des micro variations de la nappe sur quelques jours en réponse aux précipitations. Ceci a notamment permis de corriger les estimations de contribution au soutien d'étiage, et de les multiplier par un facteur 2. Des variations cumulées de la nappe non négligeables en saison de hautes eaux ont également été mises en évidence par ce suivi plus fin, ce qui n'était évident auparavant qu'en période de basses eaux.

Philippe Grosvernier exploite les données piézométriques par des courbes cumulatives des niveaux d'eau dans le temps. Le niveau de l'eau 50% du temps est mis en relation avec la nature de la végétation,

et montre s'il y a concordance, ou si au contraire, le milieu risque d'évoluer. Les niveaux à 25% et 75% du temps donnent une indication sur l'amplitude de la nappe sur une période d'une année, révélatrice d'un niveau de perturbation d'autant plus grand que l'amplitude sera importante.

Sur la tourbière de Frasne [25], un piézomètre enregistreur avait été installé, pour une étude conduite par un étudiant. Après les travaux de l'étudiant, le gestionnaire n'est pas venu relever les données au terme du stage, et depuis, la centrale d'acquisition a disparu !

2.1.2. Physico-chimie de l'eau

Sur des milieux très perturbés, l'origine de l'eau a une grande importance dans un projet de restauration de la tourbière, il est donc bon de s'assurer de la qualité des flux d'eau.

Des mesures de conductivité des flux d'eau issus d'une partie de la tourbière de Frasnne ont permis de confirmer l'interprétation de la végétation, à savoir un flux minérotrophe qui transite dans une zone de bas-marais drainé, jouxtant des secteurs acides et ombrotrophes, avec de l'eau issue d'une pessière de haut-marais et d'une tourbière vivante. Le projet de fermeture de drain et de remontée du niveau de l'eau doit tenir compte de ce paramètre indispensable, et ne doit pas rendre inondable le secteur à tendance acide et ombrotrophe par les eaux minérotrophes. Ce paramètre, dans un contexte calcaire particulier a été pris en compte, grâce également à la connaissance des niveaux piézométriques.

2.1.3. La végétation

La cartographie de la végétation à travers les groupements phytosociologiques a été utilisée sur tous les sites de tourbière ou presque. La végétation est un bon intégrateur des paramètres physiques du milieu (climat, hydrologie, minérotrophie...) et ce sur plusieurs années, alors que les études hydrologiques sont souvent ponctuelles, et directement liées aux conditions climatiques saisonnières. Son utilisation s'est révélée d'autant plus indispensable que les tourbières sont grandes, et peuvent se révéler plus complexes.

Grosvernier utilise la valeur écologique de la composition botanique (acidité, humidité, fertilité, ensoleillement,...) pour réaliser de façon simple et rapide le diagnostic d'une station. Cette valeur peut ensuite être complétée par la piézométrie, sur des endroits ciblés, pour vérifier des hypothèses de travail (zone drainée ou non ?) (voir p.78).

2.1.4. La topographie de surface

ce paramètre renseigne sur la circulation superficielle de l'eau, permet de réaliser une image en trois dimensions du relief du complexe, et est indispensable au calage des éventuels ouvrages du projet.

La topographie n'est malheureusement pas utilisée systématiquement par les gestionnaires :

- Lorsqu'elle n'est pas utilisée, le calage des barrages-seuils se fait de manière empirique :



Seuil contourné par un écoulement en tourbière / PNR du Haut-Jura

- Tourbière de la Grande Seigne (CFD) : barrages insuffisants, contournés, inefficaces sur la remontée de nappe.

- Tourbière de Frambouhans (CREN Franche-Comté) : calage empirique des seuils, qui a nécessité des ajustements au fil du temps.

- Tourbière de Rougemont (CREN Rhône-Alpes) : contournement des seuils mal ajustés, nouveaux travaux à envisager.

- Lorsqu'elle est utilisée, la topographie permet de caler au mieux l'emplacement et le nombre de barrage-seuils en fonction de la pente :

- Tourbière de Frasnne (CFD) : un point fixe de blocage tous les 2 m pour 24 m de fossé à boucher ;

- Tourbière de la Ferrière (CREN Limousin) : 78 bouchons de tourbe + barrage seuils de blocage pour neutraliser 4 500 m de fossés (voir fiche expérience p.87) ;

- Tourbière de la Ségrière (PN des Cévennes) : 145 seuils pour neutraliser 1944 m de fossés (voir fiche d'expérience p.90).

Ce paramètre important n'est pas à

négliger. Pour la méthode des barrages-seuils, il est nécessaire de rappeler qu'on ne peut espérer être efficace que pour des fossés ne dépassant pas 2% de pente, un mètre de profondeur et 2 mètres de largeur. La topographie d'un fossé se réalise très simplement sur le terrain à deux personnes, avec une lunette à visée et une mire, sans nécessairement un géomètre, sauf pour une campagne de relevés très importante.

Il faut retenir que quelles que soient les méthodes d'investigation préalables à l'installation de l'ouvrage, un barrage-seuil nécessite obligatoirement de l'entretien ; un ajustement au fil du temps doit aussi être envisagé.

Pour le comblement total du fossé de la tourbière de Frasnne, la topographie a permis de caler le nombre de points de blocage du fossé (panneaux), avant le remplissage de tourbe.



Bouchage d'un fossé à Frasnne [25] / G. Magnon - CFD

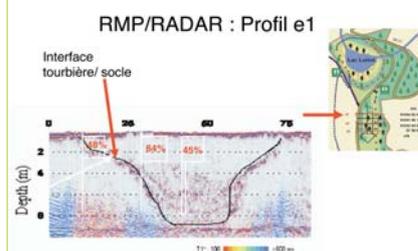
2.1.5. La géomorphologie et la topographie de subsurface (= du substratum)

ce paramètre met en évidence les formes et la nature du substratum géologique, qui ont conditionné la formation de la tourbière et conditionnent probablement encore les écoulements, même très lents, de l'eau en profondeur.

En combinant les informations géomorphologiques et topographiques, il est possible de définir le type de tourbière étudiée : topogène, ombrogène, soligène... Il est ensuite possible de formuler des hypo-

thèses sur la circulation générale de l'eau, et ce pour toute la tourbière, ce qui est indispensable à tout projet d'intervention. La tourbière du Luitel [38] a ainsi fait l'objet de protocoles de mesures géophysiques : méthode géophysique par radar géologique, méthode de résonance magnétique protonique, et méthode de tomographie de résistivité électrique. Des méthodes plus simples à la perche de sondage (tige filetée...) permettent de donner des indications sur la puissance (= épaisseur) de tourbe, et donc sur le niveau du substratum.

Comparaison des méthodes



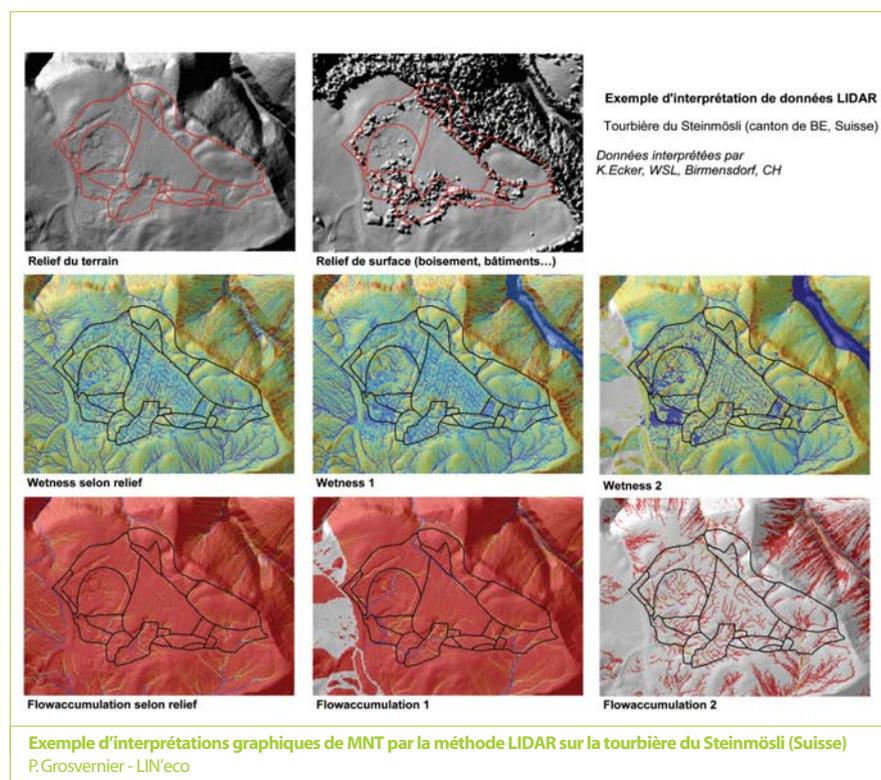
Résultat d'analyse par les méthodes de résonance magnétique protonique et radar géologique du fond de cuvette tourbeuse de la tourbière du Luitel [38] / C.Desplanque - ONF

2.1.6. Les nouveaux outils d'aide au diagnostic de fonctionnement d'une tourbière : les modèles numériques de terrain (MNT)

Le modèle numérique de terrain permet d'obtenir une vue en trois dimensions de la tourbière, dessinant ainsi les microtopographies des sites tourbeux parfois complexes, apportant même des éléments fins sur les petits écoulements, souvent peu visibles sur le terrain, et les secteurs les plus humides. Couplé à la carte de végétation, il est une aide précieuse pour débiter l'interprétation fonctionnelle. Il existe différentes méthodes :

- LIDAR (Light Detection And Ranging) : sur la tourbière de Steinmösli (Alpes Suisse-LIN'eco), l'Institut fédéral suisse pour la recherche sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a interprété les données (x, y, z) relevées par un scanner aéroporté (campagne nationale de l'équivalent de l'institut géographique Suisse), à une précision de 0,5-1,5m, et une densité de points de 0,5/m². L'interprétation des données permet de cartographier en trois dimensions : le relief de terrain, le relief de surface (boisements, bâtiments), le gradient d'humidité du sol, les flux d'eau (même les plus minimes). Le coût de la mission, dans ce cas, est celui de l'interprétation des données, les coordonnées des points ayant été transmises gratuitement, ce qui n'est pas le cas en France. Cette méthodologie est programmée sur la tourbière de Frasné à l'automne 2009, compte-tenu de la taille du complexe tourbeux (environ 200 ha) et de sa complexité (moraines, dolines, drainage, exploitation ancienne, incendie, plantations...), pour un coût prévisionnel de 18 000 € HT (incluant la mission aéroportée de levée des points et la transformation des coordonnées en vue de l'établissement du MNT).

- GPS : sur la tourbière de la Rixouse (CRENFrache-Comté), l'utilisation de deux GPS différentiels a permis de générer une image 3D de la topographie de surface du



site, avec en moyenne un point (coordonnées x, y, z) tous les 8 m² (Goubet, 2008). Couplée à la cartographie de la végétation, cette mission de topographie montre bien la corrélation entre ces deux approches, sur une tourbière qui a subi du drainage couplé à de l'exploitation de tourbe. Ce travail constitue un état zéro (année N) de qualité exceptionnelle, sans procéder à des investigations plus complexes concernant l'hydrologie, la trophie, la qualité minérale, pour affiner dans 5 ans les éléments concernant la dynamique de ce site. Seules des éliminations d'arbres et arbustes sont proposées à court terme, la dynamique qui sera mise en évidence l'année N+5 permettra d'identifier les nécessaires travaux de restauration à entreprendre. Ce travail ne permet cependant pas de répondre à toutes les ques-

tions sur le fonctionnement complexe de ce site. Cette palette d'outils, dont les gestionnaires disposent maintenant pour définir leurs choix de gestion puis leur projet de restauration, doit également les aider à travailler sur l'efficacité attendue du projet (rapport coût/efficacité) : les moyens doivent être proportionnés au gain attendu. Inutile de vouloir faire un énorme barrage pour remonter seulement 15 cm d'eau, lorsqu'il faudrait 1 mètre (Grosvernier, *comm. pers.*).

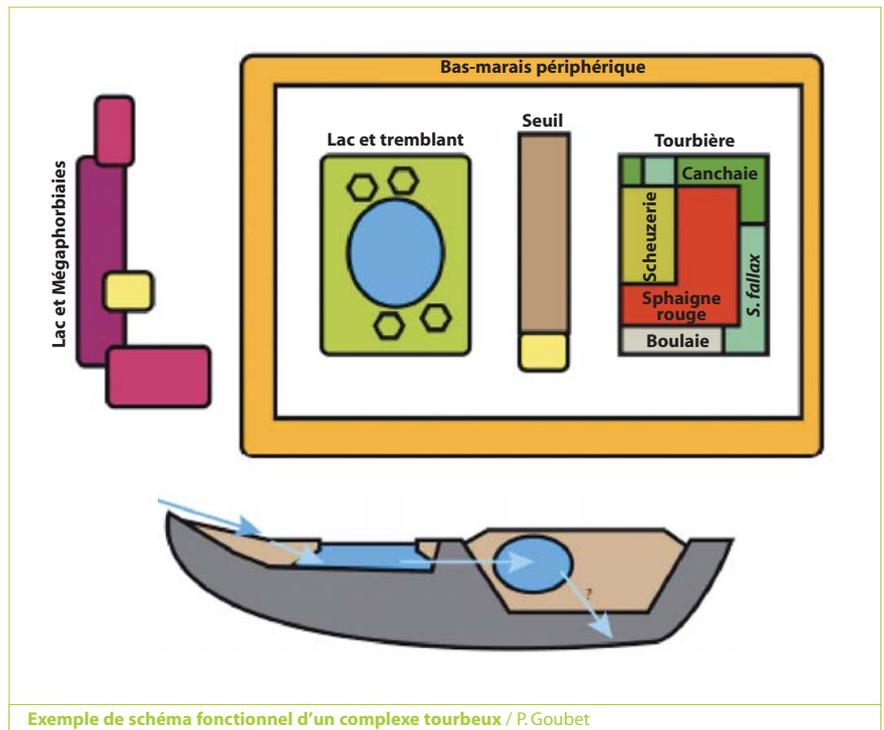
Cette question, ciblée sur un projet, ne doit pas oublier de resituer la tourbière en question dans une région plus large. Une vision globale du site est donc nécessaire.

2.2. La synthèse fonctionnelle (éléments de P. Goubet)

Elle fait appel à un inventaire des unités fonctionnelles du complexe (sa composition), à la description de leur arrangement spatial (sa structure), et à la proposition d'une série de processus en cours ou passés (ses fonctions).

Le tout est élaboré dans un cadre conceptuel précis : le modèle conceptuel de fonctionnement. Chaque étape doit être réalisée en tenant compte de protocoles valides du point de vue scientifique, apportant le maximum d'informations. Le schéma fonctionnel peut évoluer dans le temps, en s'enrichissant de nouveaux éléments, et intègre la dynamique actuelle du site.

Cette synthèse fonctionnelle permet donc de mieux comprendre les éléments de perturbation du système et leurs conséquences sur le milieu, et d'adapter un projet de restauration permettant de répondre au mieux à la demande du gestionnaire, à savoir une restauration fonctionnelle hiérarchisée.



3. LES TRAVAUX DE RESTAURATION FONCTIONNELLE OU CONTRIBUTEURS À LA RÉGÉNÉRATION

Les deux grands types de restauration les plus largement expérimentés par les gestionnaires et étudiés ci-après sont :

- La restauration hydrique pour lutter contre un assèchement : tentative de remontée des niveaux d'eau, fermetures de drains. Cette restauration ne concourt pas forcément à restaurer le caractère turfigène de la tourbière dans un premier temps, mais peut contribuer à très court terme à réhumidifier le milieu, voire uniquement à le diversifier ;
- La restauration du sol tourbeux, plus ou moins déstructuré et /ou sénéscent, et la facilitation du processus de turbification

par étrepage et/ou creusement de gouilles (afin de diversifier les habitats et déclencher une nouvelle dynamique des sphaignes sur la tourbière). Sur certains sites, ces deux opérations ont été menées conjointement.

Les situations rencontrées par le CREN Rhône-Alpes lors de l'étude de cas portant sur 13 sites de moyenne montagne (cf tableau p. 182) sont très hétérogènes : situations géologiques, pédologiques, et climatologiques variées selon les massifs montagneux, intensités de perturbations très différentes d'une tourbière à l'autre, modalités des travaux variables selon la

taille de la tourbière, capacités d'étude du diagnostic plus ou moins développées selon le gestionnaire. Ceci ne permet pas de tirer une typologie des travaux de restauration et de leur coût, mais d'étudier comment les éléments techniques du guide de Dupieux (1998) ont pu répondre à des projets de restauration par des gestionnaires, et quels enseignements complémentaires peuvent être tirés de ces expériences.

Depuis 10 ans, les programmes de restauration se sont multipliés, avec plus ou moins de succès, mais certainement avec plus de professionnalisme, et avec des ambitions plus importantes en termes de surface à restaurer et/ou de résultat.

3.1. Les travaux de type barrage-seuils, comblement ou retenues d'eau

Ce sont de loin les types d'aménagement les plus utilisés pour tenter de résoudre un problème d'assèchement, car ils nécessitent un minimum de technicité, et peuvent même, parfois, être réalisés en interne par les structures

gestionnaires. Ils présentent également l'avantage pour le gestionnaire d'impacter directement les ligneux par asphyxie des racines lors de la remontée de nappe, et de se libérer de la nécessité de procéder à des coupes répétées,

au coût exorbitant sur le long terme (près de 150 k€ en 12 ans sur la tourbière de la Grande Seigne, dans le bassin du Dugeon). Toutefois, en fonction du mode opératoire, l'efficacité peut n'être que partielle.

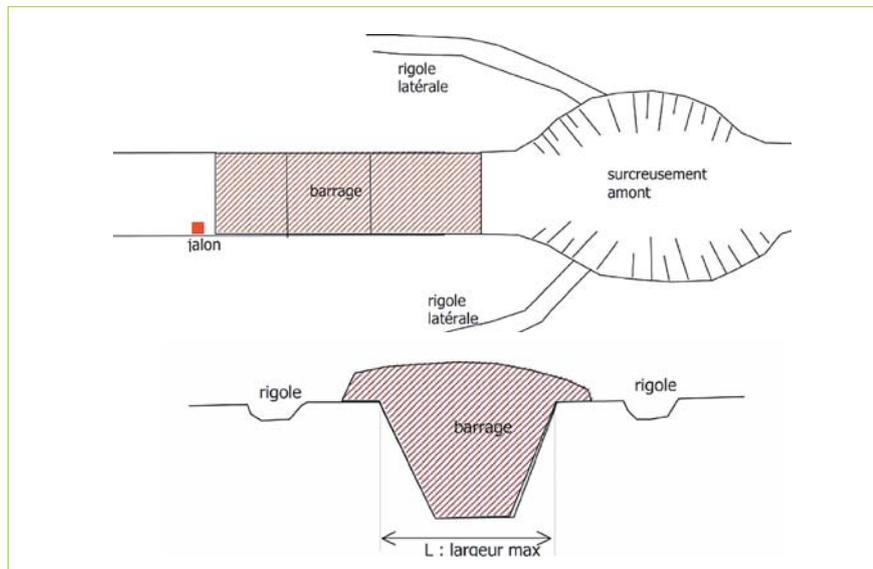


Schéma de principe de barrages-seuils dans des fossés de drainage / J.Thomas - Scop SAGNE

- la construction de barrages espacés, notamment sur des terrains en forte pente ($>2\%$), ne permet ni de restaurer ni de réhumidifier le terrain, mais peut répondre à un objectif de diversification uniquement, c'est-à-dire une augmentation de la disponibilité en milieux aquatiques, favorable à une recolonisation spontanée par les sphaignes et offrant des milieux propices à la faune invertébrée aquatique (cas de Remoray) ;

- les travaux hydrauliques doivent favoriser un écoulement centrifuge de l'eau, pour éviter des apports d'eau minérotrophes depuis la périphérie (cas des tourbières ombrotrophes), d'eaux acides (cas des tourbières alcalines) ou eutrophes (dans les deux cas de figure) ;

- pour l'utilisation de panneaux de blocage de l'eau, il est conseillé d'utiliser du bois massif, dépourvu de produit de traitement ou de tout autre additif ;

- dans le cas d'un colmatage à la sciure en complément de panneaux, il est préférable de placer la sciure avant les panneaux, pour garantir un meilleur colmatage (Grosvernier, *comm. pers.*).

Les différentes expériences montrent que la rétention d'eau sera d'autant plus importante que les parties les plus en aval de la tourbière auront été bouchées ou le niveau de l'eau réhaussé (voir fiche d'expérience p. 86).

D'après les recommandations du guide de l'OFEV (2009), qui concerne aussi bien en bas-marais qu'en haut-marais :

- la restauration s'applique en priorité à des terrains plats (pente $<1\%$) ; elle cherche à rétablir la fonctionnalité du haut-marais en remontant la nappe au niveau de la surface, afin de recréer des conditions optimales pour la croissance des sphaignes ; la meilleure manière d'y parvenir consiste à combler les rigoles à l'aide de tourbe ; la construction de barrage permet également de remplir cet objectif, à condition qu'ils soient suffisamment

proches les uns des autres ;

- sur des terrains en pente moyenne (1 à 2%), l'effet des retenues d'eau est limité par le drainage naturel de la surface ; une restauration n'est guère envisageable. Il est néanmoins possible de réhumidifier le milieu, c'est-à-dire de remonter partiellement le niveau de la nappe sans pour autant influencer de manière optimale la dynamique des sphaignes ; le comblement est la technique la plus fiable, le nombre de barrages à construire pour atteindre le même objectif s'avérant le plus souvent très élevé (cas de Frasne) ;



1^{ère} étape du bouchage d'un fossé avec des panneaux de bois (Rothenturm-Suisse) / P.Grosvernier - LIN'eco



2^{ème} étape : colmatage à la sciure et couverture de tourbe / P.Grosvernier - LIN'eco



Quelques années plus tard... P.Grosvernier - LIN'eco

Une gestion hydrologique bien conduite est pérenne lorsqu'elle est pratiquée dans un contexte favorable (points cités ci-dessus) ; il a ainsi été constaté qu'un seuil rudimentaire en rondins et de la tourbe minéralisée (éventuellement complétée d'une bâche étanche) peut se colmater spontanément par croissance de *Sphagnum cuspidatum*, puis de *Sphagnum spp.* turfigènes, et nécessite rarement une intervention ultérieure - mais comme tout ouvrage doit être suivi (Ragué, *comm. pers.*).



Fermeture (sciure et tourbe) d'un très gros fossé à la tourbière de Steinmösli (Suisse)
G.Magnon - CFD

Les suivis visant à évaluer l'impact des travaux se basent souvent sur les indicateurs que sont la végétation et le niveau de nappe, plus rarement sur d'autres paramètres. Sur la tourbière de la Ferrière, d'autres paramètres ont été suivis par l'Université de Limoges et le CREN Limousin, et particulièrement le taux de saturation en eau de la tourbe avant et après travaux. Ce suivi confirme l'intérêt des seuils à proximité de la zone colmatée, avec un impact significatif sur l'augmentation de la saturation de l'histosol en été, mais pas en hiver (voir ci-dessous).

	Avant réhabilitation (23/06/1999)				Après réhabilitation (19/06/2000)			
BASSES EAUX	Zone drainée	Zone 1	Zone 2	Zone 1a	Zone drainée	Zone 1	Zone 2	Zone 1a
Vol tourbe (m ³)	72673	45199	27474	37516	72673	45199	27474	37516
% vol.tourbe non saturée	80.6	89.2	66.6	99.4	81.6	83.1	78.9	86.2
% vol.tourbe totalement saturée	0	0	0	0	7.2	11.4	0.3	13.8
% vol.tourbe total désaturée	19.4	10.8	33.4	0.6	11.2	5.4	20.8	0
Taux de saturation volumique (%)	38.3	42.2	31.8	48.6	60.3	72.1	40.9	81.5
Stockage d'eau total (mm)	262	354	168	494	414	605	217	829

Zone drainée : partie centrale de la zone étudiée qui a été drainée
Zone 1 : partie de la zone drainée réhabilitée en août 1999
Zone 2 : partie de la zone drainée réhabilitée en août 2000

Zone 1a : partie amont de la zone drainée réhabilitée en août 1999 (située entre P3 et P15, qui constitue une zone d'alimentation en eau de la zone drainée)

Enfin les coûts sont très variables d'un site à l'autre, essentiellement en fonction du linéaire à boucher, et du mode opératoire (seuil simple ou blocage et colmatage - total ou partiel).

Site	Gestionnaire	Travaux	Coût HT
Tourbière de Frasne [25]	CFD	Colmatage d'un drain : 24 m (blocage par panneaux bois+colmatage en tourbe)	4 000 €(coût entreprise)
Tourbières de Montendry-Montgilbert [73]	CPNS	1 seuil en bois et batardeau	4 600 €
Tourbière du Crossat [25]	Association des amis de la RN du lac de Remoray	Colmatage d'un fossé (40 m linéaires)	8 000 €(coût entreprise)
Tourbière de la Salesses [81]	ONF, avec le concours de la Scop SAGNE	50 seuils sur 500 m linéaires et bouchage par décapage de tourbe	Environ 4 500 € (entreprise+travaux en régie)

3.2. La restauration du sol ayant pour objectif une relance de l'activité turfigène

Les travaux de Grosvernier (1996) et Goubet & al. (2004) permettent de mieux comprendre quels sont les processus naturels qui influencent et/ou facilitent la recolonisation par les sphaignes, à prendre en compte dans tout projet de régénération.

Il ne semble pas qu'il existe actuellement d'études permettant d'apporter des éléments sur ce type de stratégie dans les bas-marais ; il s'agit là d'un domaine scientifique à explorer.



Exploitation de la tourbière de Steinmösli (Suisse) / P. Grosvernier - LIN'eco

Lorsque les sols tourbeux ont été exploités et asséchés, la tourbe mise à nu s'est fortement minéralisée, et est dépourvue de tout espoir de régénération naturelle. Certains travaux ont été mis en place par les gestionnaires pour, d'une part, faire remonter le niveau de l'eau et, d'autre part, restaurer le sol tourbeux pour favoriser une nouvelle activité turfigène : ce sont les rares cas recensés et testés sur les sites de moyenne montagne de La Seigne de Frambouhans par le Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Franche-Comté, du Crossat par la RNN du lac de Remoray et LIN'eco et de Steinmösli dans les Préalpes bernoises par le bureau d'études LIN'eco (voir les fiches expé-

riences de ces trois sites en fin de chapitre). Le démarrage d'une nouvelle turfigénèse apparaît généralement assez rapidement (année n+1), si et seulement si le niveau de l'eau est maintenu à un niveau suffisant et constant. Il n'est pas aisé de donner une estimation type des coûts de telles restaurations, ceux-ci dépendent en particulier :

- de l'accessibilité du site (éloignement) ;
- du lieu de stockage de tourbe et de son éventuelle réutilisation ;
- de l'utilisation éventuelle d'autres matériaux de colmatage, telle la sciure.

Une fois ces contraintes dépassées, une fois sur site, il s'agit généralement d'un

chantier de terrassement aux caractéristiques particulières :

- Réalisation en période sèche, généralement fin d'été, pour un remplissage dans un bref délai dès les pluies d'automne ;
- Circulation d'engins : pelleuse ou engin spécial marais (moindre empreinte au sol), ou mini-pelle et tapis de protection au sol, avec dans tous les cas un balisage des zones de circulation pour le conducteur ;
- Nécessité d'avoir un conducteur d'engin compétent et sensibilisé.

Le coût se résume ensuite au coût horaire d'un engin de terrassement adapté (130 €/ heure en moyenne).

4. LES ENSEIGNEMENTS À EN TIRER

Il apparaît une fois de plus que les écosystèmes tourbeux sont complexes, puisqu'ils incluent de multiples interfaces et interactions (végétation/sol/eaux - souterraine, de surface, météoriques), et se placent dans une dynamique spatio-temporelle aux échelles variées et parfois inhabituelles. Un projet de restauration ne peut donc s'appuyer que sur de solides bases de connaissances de cet ensemble.

Le gestionnaire a toujours la possibilité d'adapter le niveau de la restauration, en fonction de ses moyens et de l'état de la perturbation : le problème est de rendre son projet efficient.

Fort de ces expériences, il convient de

retenir certains principes :

- abandonner l'idée de travaux empiriques sans un minimum d'études sur l'hydrologie du site (y compris piézométrie), l'état du processus de turbification, les possibilités de recolonisation par la flore et la faune, et enfin la faisabilité du projet ;
- des spécialistes et de nouvelles technologies permettent d'affiner le diagnostic et les propositions de travaux ; ne pas oublier que ce qui peut au premier abord apparaître comme un surcoût peut par la suite permettre d'éviter des travaux inutiles ou mal ciblés ;
- prévoir un objectif réalisable, réaliste et opérationnel, avec une vision sur le

long terme : attention aux usines à gaz pour l'évaluation, ou au contraire à l'absence de suivi ;

- tenter d'intégrer chaque fois que c'est possible la valeur tourbière comme participant également à un réseau régional de biodiversité floristique et faunistique ;
- prévoir un suivi opérationnel, de l'entretien, et un minimum d'évaluation.

La visite de sites déjà restaurés est bien sûr recommandée pour caler son projet et discuter avec un gestionnaire expérimenté des difficultés rencontrées et des bons choix à retenir (recommandation sur le mode opératoire, qualification et compétences des entreprises...).

FICHE D'EXPÉRIENCE >> TOURBIÈRE DE MONTENDRY-MONTGILBERT [73]

Résumé du contexte :

- gestionnaire : Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie ;
- tourbière de 3,6 ha, en majorité occupée par une tourbière à sphaignes située à 1340 m d'altitude dans la Chaîne des Hurlières, extrémité nord du massif de Belledonne ;
- intérêt patrimonial : 9 plantes protégées (dont *Carex limosa*, *Utricularia minor*, *Drosera rotundifolia*, *Swertia perennis*), 7 libellules (dont *Somatochlora alpestris*, *Leucorrhinia dubia*) et 3 batraciens ;
- intérêt de l'expérience : suivi après travaux de plus de 10 ans.

Description du site - état initial :

la tourbière a fait l'objet de travaux hydrauliques par la création d'un passage busé en aval de la tourbière en 1980, lors de la création d'une piste ONF.

Constat en 1994 :

- régression des associations aquatiques initiales des tourbières, en particulier les surfaces d'eau libre avec *Equisetum limosum*, *Potamogeton natans*, *Utricularia minor* ;
- régression des associations tourbeuses les plus remarquables comme le *Caricetum limosae* ;
- extension des faciès d'atterrissement ;
- apparition de faciès de dégradation (*Nardus stricta*, *Filipendula ulmaria*, *Heracleum sphondylium*).

Problèmes à résoudre :

assèchement de la tourbière et des milieux périphériques.

Buts :

garantir un niveau d'eau constant et le plus haut possible.

Méthodes et mesures :

création d'un seuil mixte (talus et batardeau) fixe à l'aval de la tourbière en 1995.

Données techniques (voir Dupieux, 1998) :

barrage implanté au devant de la buse, 2 ferrailles en U sont ancrées dans des socles béton. Des rangées de planches sont insérées, et leur colmatage est assuré par de l'argile.

Coût :

environ 4 000 €.

Suivi-évaluation :

méthode « habitats » sur 3 transects, en 1997, 2000 et 2007.

- Transect n°1 : disparition du groupement à *Carex nigra* et *Carex canescens* au profit de groupements plus hygrophiles à *Carex rostrata*.

A l'autre extrémité du transect, les groupements les moins hygrophiles reculent pour laisser place au groupement à *Carex nigra*.



Seuil fixe à l'aval de la tourbière
Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie

- Transect n°2 : un groupement à *Carex limosa* est rapidement apparu, deux ans après la pose du seuil. Ce groupement s'est maintenu et les groupements les plus hygrophiles à *Carex rostrata* auraient éliminé les autres.

- Transect n°3 : légère tendance à un caractère plus hygromorphe. Le groupement à *Carex limosa* s'est étendu en 2007 par rapport à 1997 et 2000.

Efficacité :

L'évolution progressive de la végétation vers des groupements plus hygrophiles a montré l'efficacité de la création du seuil. Aujourd'hui l'évolution du marais semble stabilisée.

Contacts :

Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie

Philippe FREYDIER

Le Prieuré

73370 LE BOURGET DU LAC

p.freydier@patrimoine-naturel-savoie.org

FICHE D'EXPÉRIENCE >> TOURBIÈRE DE LA FERRIÈRE [19]

Résumé du contexte :

- gestionnaire : Conservatoire Régional des Espaces Naturels du Limousin, en partenariat avec l'ONF et la commune de Davignac ;
- tourbière topogène d'environ 100 ha de zones humides sur le plateau de Millevache, à 875m d'altitude (commune de Davignac), sur une alvéole granitique ; 40 ha sont gérés par le CREN ;
- important réseau de drains et plantations de résineux ;
- intérêt patrimonial : *Andromeda polifolia*, *Drosera rotundifolia*, *Vaccinium microcarpum* et *oxycoccos*, *Carex pauciflora*, *Narthecium ossifragum* pour la flore, et *Somatochlora arctica*, *Leucorrhinia dubia* pour la faune ;
- plans de gestion 2000-2004 et 2008-2012 ;
- intérêt de la démarche : fermeture de drains de grande ampleur et suivi-évaluation dans le cadre du plan de gestion.

Description du site - état initial :

- 1994-1995 : abandon du pastoralisme au profit d'un projet de valorisation sylvicole qui a conduit à réaliser dans un premier temps un réseau de 14 drains (0,6m de profondeur sur 1,3m de large), qui se jettent dans le ruisseau principal qui parcourt la tourbière et le détournement d'un ruisseau de première catégorie. Certains drains

ont été creusés jusqu'à l'arène granitique. La zone tourbeuse drainée représente environ 8 ha ;

- 15200 plans de Pins sylvestres sont plantés ;
- développement important de la molinie en raison des fluctuations de nappe importante, et de saulaies sur les bourrelets d'excavation déposés en bordure de fossé. Maintien d'une zone de tourbière haute active de plusieurs hectares ;
- janvier 1999 : arrachage des Pins sylvestres sur la zone drainée ;
- février 1999 : lancement d'une étude hydrogéologique de restauration par le laboratoire LASEH de l'Université de Limoges.

Problèmes à résoudre :

minéralisation de la tourbe, fluctuation de la nappe.

Buts :

boucher les drains pour tamponner les fluctuations de nappe tout en créant des gouilles favorables à certaines espèces remarquables (d'odonates notamment).

Méthodes et mesures :

bouchons de tourbe mis en place en 2 tranches : 1999 et 2000, afin de vérifier l'efficacité de la première tranche avant d'engager la seconde.

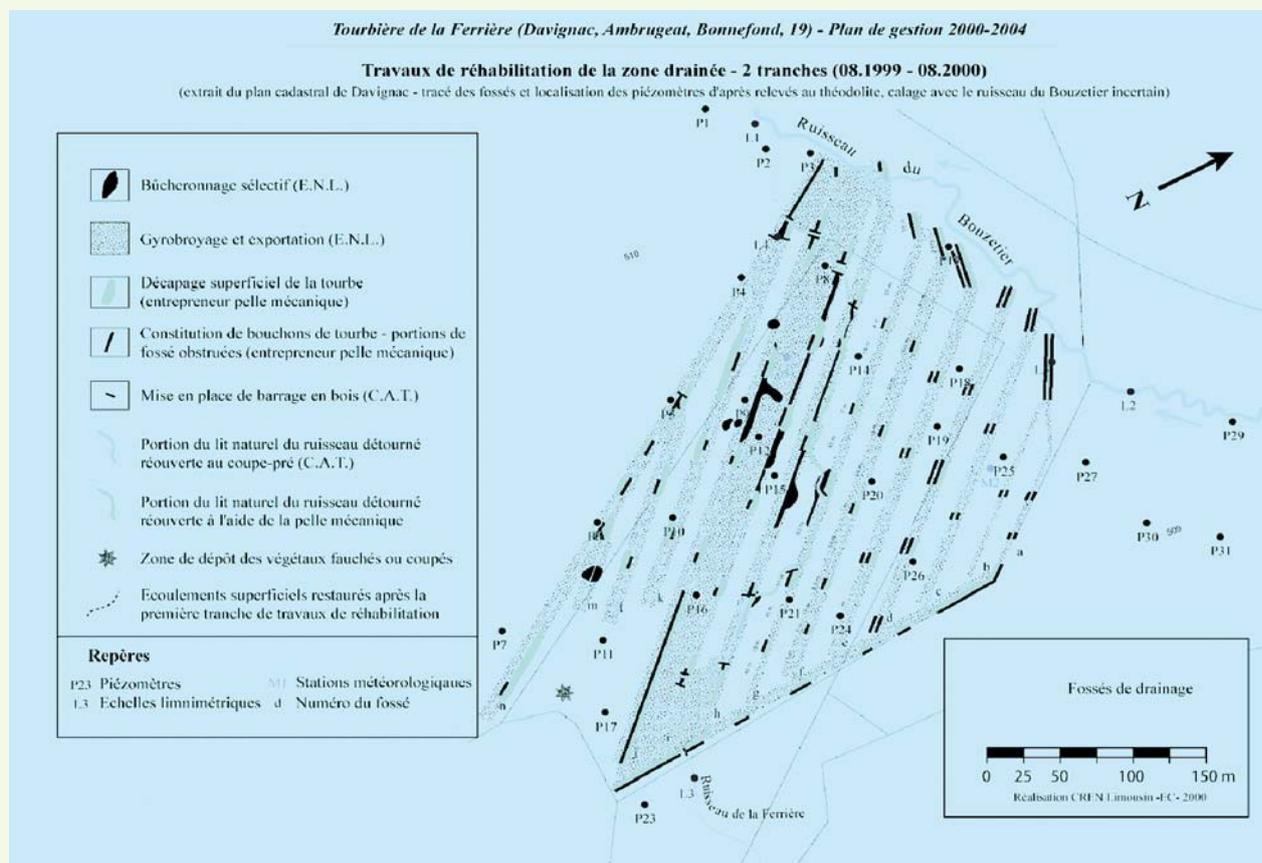


Travaux sur la tourbière de la Ferrière / CREN Limousin

Données techniques :

- saison des travaux : août (saison la plus sèche) ;
- bûcheronnage des saules des bords de fossés en 1999, puis dessouchage sélectif en 2005, recréant des petites vasques tourbeuses favorisant le développement d'espèces turficoles ;
- gyrobroyage de la molinie sur les bordures ;
- décapage superficiel de la tourbe sur le bord du fossé, récupérée pour réaliser ultérieurement les bouchons de tourbe à la pelle mécanique ;
- décapage superficiel de la tourbe - mise en place de

bouchons de tourbe issue du décapage tous les 60 à 70m, sur une longueur de 4 à 5m, jusqu'à 75m pour le plus long. L'espacement des bouchons a été choisi en fonction de la pente et du coût des travaux. Les bouchons tourbeux ont été consolidés par des seuils en bois (13 sur la partie sud), installés à l'embouchure des fossés et à l'intersection avec l'ancien lit du ruisseau détourné. Au total, 29 bouchons de tourbe ont été installés en 1999, concernant 2200 m linéaires de fossés, et une quarantaine de bouchons en 2000, neutralisant 2300 m linéaires de fossés.



CAT = Cellule d'aide technique ; ENL = Espaces Naturels du Limousin.

Le choix volontaire de laisser des zones d'eau libre non comblées permet de répondre au souci de ne pas disposer de suffisamment de tourbe de bonne qualité pour colmater l'intégralité des fossés ; des bouchons de longueur variable ont donc été créés. Par ailleurs, les zones d'eau libre ont bénéficié d'un aménagement de berges en pente douce pour faciliter la colonisation d'espèces végétales pionnières.

Coût :

45 000 € (dont arrachage de pins et étude hydrogéologique).

Suivi-évaluation :

suivis de l'hydrologie (étude en collaboration avec le laboratoire de géologie CNRS-Université de Limoges) : le bouchage des drains a eu pour conséquence une remontée de nappe estivale dans la partie centrale, tandis que l'état hivernal n'a pas changé. Certains piézomètres ont répondu rapidement aux travaux, d'autres beaucoup moins. L'impact le plus sensible réside dans l'accroissement du stock d'eau, plus élevé en été. Le pourcentage des flux sortants par rapport aux flux entrants a diminué, donc l'effet de vidange de la tourbière est plus faible qu'en situation drainée.

Suivis hydro-pédologiques (étude en collaboration avec le laboratoire de géologie CNRS-Université de Limoges) : ces suivis (avant-après travaux) permettent d'établir que la tourbe porte une nappe libre communiquant avec celle des altérites. Quel que soit l'état de remise en eau du site, la morphologie de la nappe suit celle du toit du substratum aquifère, et ses fluctuations restent essentiellement contrôlées par les zones naturelles d'alimentation en eau (ruissellement et écoulements latéraux). Il semble que la zone ait subi une sorte de drainage naturel plus ancien que celui issu de l'ouverture des fossés, qui n'a pas eu le temps d'agir en profondeur.

Suivis faune-flore : la création de ces zones d'eau libre a particulièrement été favorable au développement de certaines espèces végétales turficoles comme les sphaignes, mais aussi pour des espèces des eaux oligotrophes telles que le Potamot à feuilles de renouée. Ces zones d'eau libre sont également propices aux amphibiens et odonates. Depuis 2001, des suivis de l'évolution des peuplements d'odonates en fonction de la végétation sont réalisés. Les travaux ont été particulièrement favorables aux espèces typhobiontes.

Efficacité :

bien que l'analyse pédologique ne révèle pas d'incidences majeures du drainage artificiel (4 à 5 ans d'activité) sur la qualité de l'histosol, les suivis floristiques montrent bien l'impact positif des travaux de restauration sur la végétation. Dès les premières années, on note la réapparition d'espèces caractéristiques des tourbières acides, en particulier de Sphaignes. Cette tendance est confirmée par l'étude hydrologique qui montre l'efficacité de la restauration en termes de soutien de la nappe à l'étiage.

Contact :

Conservatoire Régional des Espaces Naturels du Limousin
Erwan HENNEQUIN
Le Theil – 87510 Saint-Gence
Courriel : info@conservatoirelimousin.com
Site : www.conservatoirelimousin.fr



Vue aérienne du site avant réhabilitation / J.C. Linet

FICHE D'EXPÉRIENCE >> TOURBIÈRE DE LA PLAINE DE LA SÈNEGRIÈRE [48]

Résumé du contexte :

- gestionnaire : un éleveur (locataire via une coopérative d'activité), le Parc national des Cévennes et l'ONF (les deux derniers respectivement propriétaires de 46 et 6 ha) ;
- zone humide de tête de bassin d'environ 30 ha, incluant des tourbières (17 ha), dans la partie orientale du Mont Lozère à environ 1400 m d'altitude, sur une alvéole granitique (l'unité de gestion fait 52 ha) ;
- climat méditerranéo-montagnard : point très important expliquant pour partie l'élargissement du drain dû à l'érosion régressive (occurrence annuelle d'épisodes pluvieux de 200 à 400 mm en 24h ; 40% des pluies en automne ; moyenne inter-annuelle avoisinant 2000 mm/an) ;
- important réseau de drains (1675 m ancien + 3490 récent), enrésinement subsontané - très ponctuellement anthropique, zone humide en terrain domanial et pratiques de brûlages pour le pâturage jusqu'en 1999 ;
- intérêt patrimonial : environ 17 ha de sols tourbeux, à sphaigne (*S. magellanicum*) ou bas-marais (*Caricion fuscae*). A noter la présence de *Lycopodiella inundata* (plus de 3000 tiges), *Drosera rotundifolia*, *Huperzia selago*, *Gentiana pneumonanthe*, *Carex pauciflora* pour la flore ; *Leucorrhinia dubia* et *Maculinea alcon* sont les invertébrés les plus remarquables ; la loutre (*Lutra lutra*) fréquente aussi le site ;
- intérêt de la démarche : fermeture de drains de grande ampleur et suivi dans le cadre du plan de gestion.

Description du site - état initial :

- un réseau de drains anciens de 1675 m (80 cm de profondeur et 70 cm de large au maximum), de pente faible, présentant peu d'érosion et dont le comblement naturel est bien avancé ;
- 10 drains connectés entre eux et formant un réseau dense de 3,5 km, réalisé en 1976, dans un objectif de valorisation agro-pastorale : ce réseau débouche sur un exutoire qui se jette dans le ruisseau de la Pudissine. Leur pente moyenne varie de 0,7 à plus de 3%, les zones de confluence ont même une pente allant de 3 à 6%. Les drains présentent une forte érosion : berges excavées, effondrées, lit atteignant les arènes et gabarits très supérieurs à l'initial ;
- par ailleurs les formations boisées ont progressé avec une tendance forte à l'enrésinement par *Pinus uncinata*, à partir de semenciers plantés sur les bordures ;
- les horizons histiques caractéristiques des milieux tourbeux ne sont présents que dans les parties les plus éloignées des drains, au niveau des zones légèrement dépressionnaires, et à proximité des sources ;
- problème de surpâturage ovin ancien et pratique ancienne de feux pastoraux accentuant le problème de minéralisation sur des profondeurs de tourbe importante ;
- une étude qualitative et quantitative du fonctionnement des drains a été réalisée grâce à l'installation de 24 piézomètres, complétés par 2 enregistreurs (y compris 1 station météo) et une station hydrométrique à l'aval de la plaine ;

- expertise préalable avant travaux par Espaces Naturels de France (Dupieux & Hervio, 2000) : test de l'efficacité de divers types de seuils, suivis piézométriques, de végétation et faune engagés avant travaux.

Problèmes à résoudre :

- la minéralisation des sols tourbeux et la régression de la zone humide ;
- l'érosion du réseau de drainage et la poursuite de l'abaissement de la nappe d'eau.

Buts (programmation du plan de gestion) :

- limiter voire stopper l'érosion ;
- renforcer le processus de comblement progressif des drains ;
- stopper la minéralisation de la tourbe et favoriser ; l'activité turficole dans les zones les moins dégradées, encore tourbeuses ;
- stopper le morcellement de la grande zone hygrophile centrale ;
- limiter la colonisation par les ligneux ;
- restaurer une microtopographie complexe (alternance de buttes et de gouilles).

Méthodes et mesures :

- coupe de pins (1500 arbres de plus d'un mètre de haut) dans l'ensemble des parties humides, et arrachage bisannuel de semis depuis 2003 pour maintenir l'ouverture du milieu ; débardage par câblage d'arbres non ébranchés, mais aussi sur traîneau ou par traction animale (cheval) ;
- plan de gestion pastoral et contractualisation (contrat patrimoine du PN des Cévennes, puis MAEt) ;
- mise en place de 150 seuils (mini barrages) dans les zones les moins dégradées (jusqu'à 3,5 m de largeur) : 5 expérimentaux en 2000, puis 145 en 2002 permettant de neutraliser 56% du linéaire de drains.



Débardage à cheval / PN des Cévennes

Données techniques :

- choix de privilégier le procédé de barrages-seuils en bois pour d'une part favoriser la filière bois locale et d'autre part miser sur un bois naturellement durable : le châtaignier (classe IV sans traitement chimique) ;
- écorcés, calibrés (diamètre 14 cm), fustés (en forme de gorge longitudinale pour l'emboîtement et garantir l'étanchéité), les rondins sont assemblés grâce à des tiges filetées pour former les seuils ;
- implantation des seuils à la mini-pelle : fouille pour l'ancrage et insertion des seuils dans les fouilles ;
- stabilisation par des piquets verticaux et enfouissement des matériaux de fouille à l'amont de l'ouvrage afin d'étanchéifier et d'initier un début de sédimentation ;
- creusement d'une gorge faisant office de trop-plein, et mise en place de brise-jet à l'aval pour limiter les problèmes d'afouillement ;
- entretien annuel depuis 2004 : 5 seuils par an environ, qui nécessitent des apports peu importants de tourbe et mottes de nard à l'amont.

Coût :

- coupe des résineux : 35 000 € sur 17 ha ;
- installation de 145 seuils et réglage des niveaux après travaux : 75 720 € ;
- coût annuel du suivi de la maintenance des aménagements > 1000 €/an - suivi des piézomètres en sus, pour les manuels jusqu'en 2007 (15/05 au 30/10, une fois par semaine), et depuis seulement des piézomètres automatiques.

Suivi-évaluation :

une étude des conséquences hydrologiques des aménagements a été réalisée par le PN des Cévennes en collaboration avec l'Université de Nice-Sophia-Antipolis, grâce au suivi de 24 piézomètres manuels de 2000 à 2007, complété par l'installation de 2 piézographes enregistreurs, un pluviographe, ainsi qu'une station hydrométrique en 2001. La gestion de ces appareils enregistreurs s'est heurtée à des difficultés qui ont occasionné des lacunes dans les chroniques de données, et des mesures parfois erronées. Toutefois, ils ont permis l'accumulation d'une grande masse de données exploitables, difficiles à acquérir en aussi grande quantité par des relevés manuels. Le problème majeur qui est intervenu et n'a été identifié que tardivement se résume à la sur-élévation des piézomètres manuels (battus pourtant jusqu'à l'arène mais non ancrés à une tige métallique par exemple) : il s'en est donc suivie une impossibilité globale d'exploiter les données collectées.

Sur la végétation : il est encore délicat d'apporter des analyses statistiquement fiables. Globalement, régression du nard, apparition ou encore augmentation d'individus d'espèces hygrophiles sont avérés ; pour les sphaignes, leur progression se dessine du bord des drains vers l'extérieur.

Efficacité :

l'impact des barrages-seuils est positif sur le ralentissement des écoulements et sur la limitation du processus d'érosion. L'arène n'est plus visible en fond de drain. Leur impact sur le niveau de nappe est difficile à évaluer du fait du problème



Vue des seuils successifs (année n) / PN des Cévennes



7 ans plus tard / PN des Cévennes

méthodologique (élévation des piézomètres). Les premiers piézomètres posés à titre expérimental montrent des résultats significatifs. Le niveau des nappes se cale au niveau inférieur des seuils. Deux cas de figures se distinguent aujourd'hui en été, variant sensiblement en fonction des conditions météorologiques : les drains restaurés qui ont une alimentation amont pérenne (source ...) sont en eau en permanence (les seuils sont étanches) ; ceux qui ne sont pas alimentés en permanence sont asséchés 1 à 3 mois. Des dépôts riches en matière organique se forment dans les retenues et laissent présager une nouvelle dynamique turfigène, les arènes n'étant plus visibles. Par endroit, les écoulements se répandent latéralement, comme jadis, à la surface de la plaine. La restauration s'inscrit donc dans le long terme, en attendant la réponse de la végétation sur un système très dégradé.

Par ailleurs, l'étude comparative d'une tourbière de fond de dépression drainée (La Sénégrière) avec une tourbière soumise aux mêmes conditions mais non drainée (Les Sagnes au Mont Lozère), montre les réponses rapides et violentes des crues et un soutien efficace des débits d'étiage sur le site drainé.



Début de recolonisation par la végétation (année n+7) / PN des Cévennes

Perspectives :

traiter le drain principal dans la zone très dégradée (largeur supérieure à 3,5 m, atteignant 6,5 m).

Contacts :

Parc National des Cévennes
 Franck Duguépéroux
 6 bis Place du Palais - 48400 FLORAC
 franck.dugueperoux@cevennes-parcnational.fr

FICHE D'EXPÉRIENCE >> TOURBIÈRE DU CROSSAT [25] (Réserve Naturelle Nationale du lac de Remoray)

Résumé du contexte :

- *gestionnaire* : Association des amis de la réserve naturelle du lac de Remoray ;
- *commune* de Remoray-Boujeons, à environ 850 m d'altitude, dans le massif jurassien ;
- *tourbière* de 10 ha, drainée et exploitée dès la fin du XIXe siècle. Une autre tourbière de la réserve naturelle, la tourbière de la Grand Côte, complètement exploitée, n'a pas pu se régénérer. Cette tourbière est aujourd'hui inactive et colonisée par des mousses forestières et l'épicéa. A l'échelle de son site, le gestionnaire tente donc une réhabilitation où de réelles potentialités de reprise de la turbification existent ;
- *plan de gestion de la RNN* : 2003-2007 ;
- *intérêt patrimonial* : flore (*Andromeda polifolia*, *Sphagnum sp.*), faune (*Colias palaeno*, *Leucorrhinia dubia* et *L. pectoralis*, *Aeshna subarctica*, *Sympetrum danae*, coléoptères aquatiques) ;
- *travaux* : premier secteur en 2005, second secteur en 2007 ;
- *intérêt de l'expérience* : combinaison de remontée de niveau d'eau et de diversification du milieu en fonction des potentialités de restauration du site.

Description du site - état initial :

une expertise hydro-écologique réalisée par le bureau LIN'eco en 2003 met en avant deux secteurs avec réhabilitation possible (redémarrage des processus de turbification).



Site avant travaux / B.Tissot - RNN du lac de Remoray

- *secteur 2005* : un fossé de drainage traverse une partie de la tourbière. Le niveau d'eau, trop bas, engendre l'assèchement et la minéralisation de la tourbière.

secteur 2007 :

une seconde expertise hydro-écologique réalisée par le bureau LIN'eco en 2006 fait apparaître :

- une lande sèche colonisée par bouleaux et épicéas, défrichée dans les années 1990 pour favoriser certains insectes rares (papillons, libellules...);
- d'anciennes fosses d'exploitation de tourbe occupées par des groupements végétaux apparentés aux tourbières de transition ;
- une clairière (en 2 paliers topographiques) dominée par la molinie, l'airielle et la callune, avec présence de sphaignes sous forme de buttes isolées et relativement élevées traduisant un stress hydrologique ;
- 3 secteurs de topographie différente : un secteur avec une pente inférieure à 0,9%, un secteur avec une pente plus accentuée (1,1%), et un secteur de forte pente (de 2,3 à 3%).

Problèmes à résoudre :

secteur 2005 :

- limiter l'effet de drainage ;
- apporter des matériaux pour combler le drain.

secteur 2007 :

- rétention de l'eau dans un secteur tourbeux de pente ;
- capacité de rétention d'eau de la tourbe amoindrie dans les parties minéralisées.

Buts :

améliorer la rétention d'eau favorable à une nouvelle dynamique de turfigénèse sur les deux secteurs.

secteur 2005 :

L'objectif est de combler le fossé drainant (40 m linéaires) pour stopper ses effets négatifs et faire remonter le niveau d'eau. La tourbe de bonne qualité (fibreuse), nécessaire pour combler le fossé, est prélevée sur place en creusant 5 mares, permettant en même temps le maintien d'espèces entomologiques prestigieuses.



Fermeture du fossé (2005) / B.Tissot - RNN du lac de Remoray

- secteur 2007 :

l'objectif est d'aménager des bassins d'eau libre peu profonds afin de stocker un maximum d'eau, nécessaire à la régénération d'un tapis de sphaignes continu.

Il se base sur le postulat selon lequel une surface d'eau libre présente une évaporation nettement plus faible qu'une surface équivalente recouverte de végétation, et permet par conséquent de minimiser les fluctuations du niveau de l'eau. L'évolution du milieu est prévue de la manière suivante :

- à court terme (10 ans) : recolonisation progressive des bassins inondés par un tremblant de sphaignes, à partir des berges et dans les zones optimales le long du gradient d'humidité généré par le pan incliné du fond des bassins ;

- à moyen terme (20 à 30 ans) : régénération d'un tapis continu de sphaignes formant un acrotelme (zone superficielle de croissance du marais par accumulation de tourbe) avec un cortège floristique caractéristique comprenant au moins la canneberge et la linaigrette engainante, ainsi que la formation progressive de buttes à sphaigne de Magellan. Les zones les plus profondes restent cependant en eau libre et contiennent de profiter aux invertébrés aquatiques ;

- à long terme (50 à 100 ans) : comblement progressif des bassins, y compris des fosses plus profondes, et croissance de l'acrotelme jusqu'au sommet des digues délimitant les bassins. Reconstitution d'un profil bombé caractéristique du haut-marais et poursuite de la croissance de ce dernier.

Méthodes et mesures :

- secteur 2007 :

retravailler la surface trop inclinée de toute la zone d'étude, et ramener la pente au-dessous du seuil critique de 1%. Sur un terrain en pente, cela ne peut se faire que grâce à l'aménagement de bassins en terrasses successives.

Données techniques :

- secteur 2005 :

mini-pelle et dumper sur chenilles.

- secteur 2007 :

Pelle mécanique à train de chenilles larges et dumper sur chenilles.

En tenant compte de la topographie des différents secteurs, ainsi que de la distribution d'un certain nombre de fossés peu profonds et fermés, dans lesquels la régénération de tremblants à sphaignes a pu avoir lieu, il a été conçu un réseau de digues délimitant 9 bassins à creuser sur la zone étudiée.



Creusement des gouilles et aménagement des digues (2007)
B. Tissot - RNN du lac de Remoray



Une mare en fin de chantier (2007) / B. Tissot - RNN du lac de Remoray



Remplissage (hiver 2007-2008) / B. Tissot - RNN du lac de Remoray

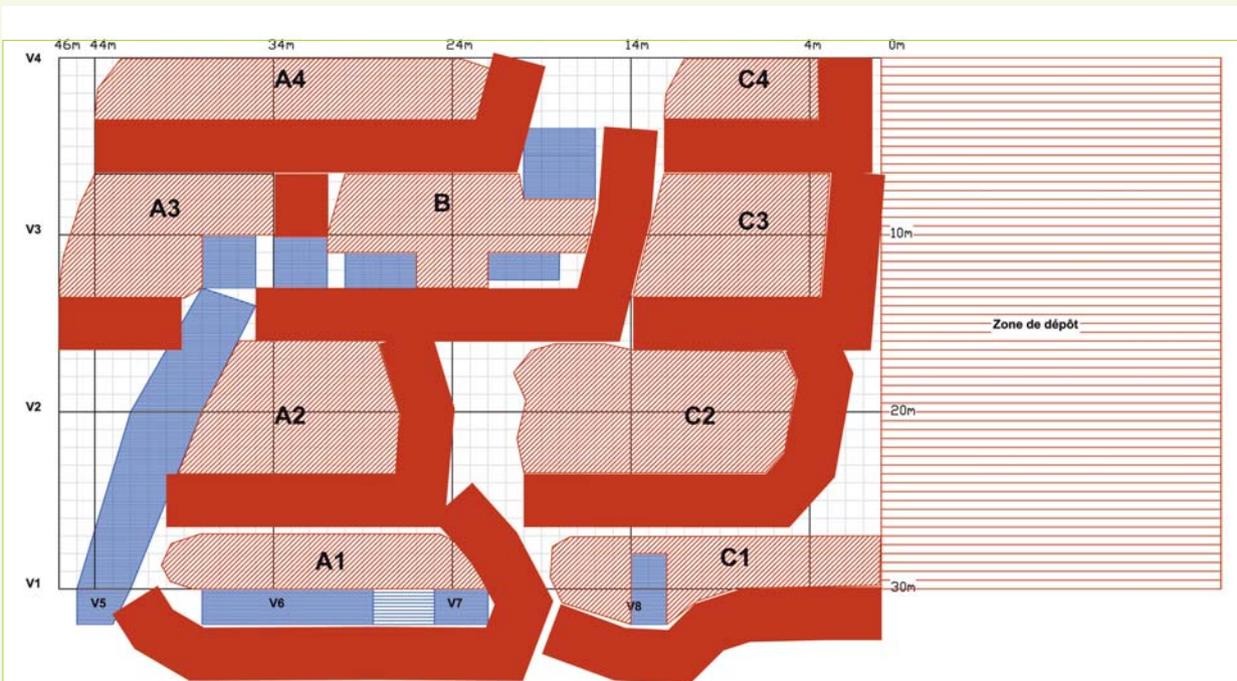


Schéma d'aménagement des digues / P. Grosvernier - LIN'eco

Le fait de construire des digues entre les bassins n'est pas une obligation mais présente deux avantages :

- l'excavation des bassins génère un volume de tourbe à évacuer assez conséquent, de l'ordre de quelques centaines de mètres cubes. Le dépôt d'une partie de cette tourbe en merlons autour des bassins a permis de limiter les allers et retours pour exporter la tourbe (risques de dégâts au sol et à la végétation, économies de carburant et en heures de travail) ;
- à très long terme, lorsque la régénération des sphaignes aura abouti au comblement des bassins, les digues permettront de limiter l'écoulement superficiel de l'eau et donc de favoriser la poursuite de la croissance des sphaignes jusqu'à une cicatrisation complète de toute la zone aménagée.

C'est pourquoi seule la tourbe de profondeur, fibreuse et très peu minéralisée, a été utilisée, afin de garantir la meilleure étanchéité possible.

Coût :

- secteur 2005 : 8 000 € (Ministère de l'Ecologie / DIREN).
- secteur 2007 : 35 000 € (RFF - Mesures supplémentaires pour l'environnement - LGV Rhin/Rhône).

Suivi-évaluation (en cours) :

- évolution de la végétation ;
- colonisation par les odonates ;
- évolution des coléoptères aquatiques (secteur 2007).

Efficacité :

inscription de la démarche sur le long terme

- secteur 2007 : les conditions de croissance pour les ligneux, notamment le bouleau et la bourdaine, resteront favorables à ces derniers pour très longtemps. Ce n'est en effet que lorsque l'acrotelme du haut-marais se sera complètement restauré et qu'il aura entièrement repris le contrôle de l'eau, que les conditions hydrologiques redeviendront un facteur limitant pour les arbres et arbustes.

Dans l'intervalle, le gestionnaire sera donc amené à débroussailler périodiquement la zone aménagée, pour autant que la présence et l'abondance des ligneux soient considérées comme problématiques, par exemple en fonction de l'accessibilité des habitats restaurés pour les invertébrés.

Contacts :

Association des amis de la réserve naturelle du lac de Remoray
 Bruno TISSOT- Conservateur
 Maison de la Réserve
 Route de Mouthe
 25160 LABERGEMENT-SAINTE-MARIE
 bruno.tissot@espaces-naturels.fr

FICHE D'EXPÉRIENCE >> TOURBIÈRE DE « SUR LES SEIGNES » [25]

Résumé du contexte :

- gestionnaire : Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Franche-Comté ;
- communes : Les Ecorces et Frambouhans [25], à 864m d'altitude, dans le massif jurassien ;
- tourbière bombée de 27 ha, boisée (pinède à crochets et pessière sur tourbe), exploitée sur 3 ha de 1968 à 1984 ;
- intérêt patrimonial :
 - avant travaux : solitaire (*Colias palaeno*), nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris*), andromède (*Andromeda polifolia*), rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*)...
 - après travaux, arrivée des leucorrhines douteuses (*Leucorrhinia dubia*) et à gros thorax (*L. pectoralis*), et de l'utriculaire du Nord (*Utricularia stygia*) ;
- plan de gestion (1999) ;
- travaux de restauration (2003) ;
- suivi floristique par carrés permanents après travaux.

Description du site - état initial :

à l'arrêt de l'exploitation, en 1984, la zone exploitée se divise en 4 secteurs correspondant en partie aux différentes étapes de la procédure d'exploitation :

- secteur 1 : déboisé (1,2 ha) ;
- secteur 2 : seconde travée décapée en surface sur une profondeur d'environ 50 cm (0,2 ha) ;
- secteur 3 : première travée exploitée intégralement, avec maintien d'une couche d'environ 30 cm de tourbe (0,2 ha) ;
- secteur 4 : extrémité de la première travée exploitée jusqu'au gley (0,1 ha).

Problèmes à résoudre :

- zones de tourbe nue et minéralisée avec érosion (secteur 2) ;
- drainage actif (secteur 2) ;
- rupture partielle des merlons établis en 1984, ayant provoqué une baisse de l'hydromorphie au sein du secteur 3 ;
- colonisation forestière par un boisement de dégradation à *Bouleau pubescent* (secteurs 3 et 4).

Buts :

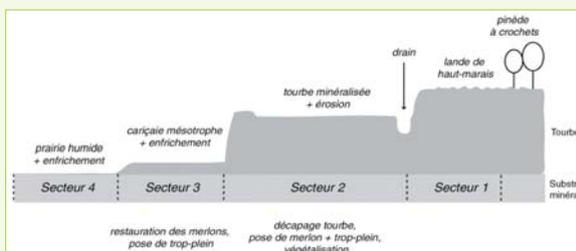
favoriser une reprise de la turfigénèse dans les secteurs 2 et 3.

Méthodes et mesures :

Les principes de travaux s'inspirent des méthodes testées en Suisse (Lugon & al.) et au Canada (Rocheffort & al.) :

- remise en eau d'une partie du secteur 2 (6 ares environ) afin de favoriser la turfigénèse par création d'un merlon, fermeture du drain et décapage de la tourbe ;
- restauration des merlons du secteur 3 pour immerger à nouveau ce secteur, après coupe et arrachage de souches des bouleaux.

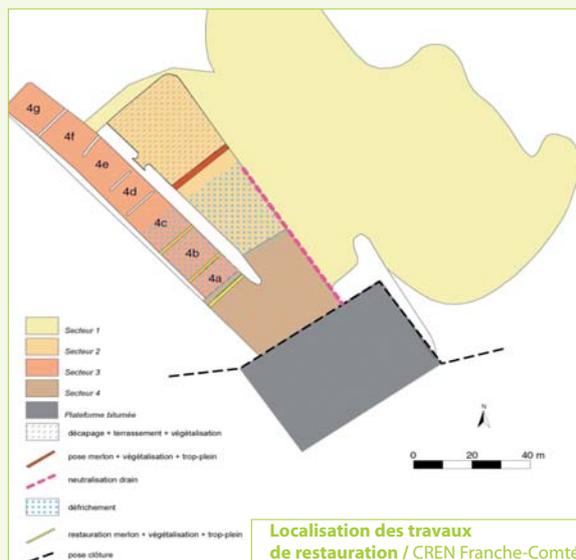
Faute de temps et de moyens, le calage des trop-pleins n'a pas été positionné finement au niveau topographique.



Répartition schématique des secteurs de la zone exploitée en fonction des étapes de l'exploitation / CREN Franche-Comté



Localisation des secteurs au sein de la zone exploitée
CREN Franche-Comté



Localisation des travaux de restauration / CREN Franche-Comté

Données techniques :

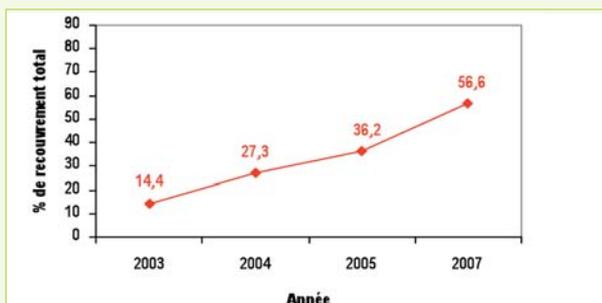
- le décapage de la tourbe a été réalisé en surface, sur une profondeur d'environ 20 cm (niveau de tourbe peu minéralisée), suivant une topographie irrégulière, afin de restaurer un faciès « semi-naturel » avec alternance buttes-gouilles ; les travaux ont été réalisés avec une pelle mécanique roulant sur rondins. Après décapage, la zone a été végétalisée par repiquage manuel de pieds de *Eriophorum vaginatum*, mais aussi de buttes et de touffes de sphaignes, récupérées sur place avant décapage et mises sous bâche pour le stockage. La zone a été paillée pour créer les conditions micro-climatiques favorables aux sphaignes ;
- un merlon a été installé à l'aide de blocs de tourbe, pour bloquer l'eau à l'amont du secteur 2 et limiter l'érosion de la tourbe à nu due à la pente ; il a ensuite été végétalisé pour consolidation ;
- colmatage du drain entre secteur 1 et 2 : la tourbe résultant du décapage a été utilisée pour colmater le drain, préalablement curé, pour assurer une bonne cohésion des bords de tourbe ;
- afin d'immerger à nouveau les casiers du secteur 3, les merlons ont été réaménagés sur la base d'une palissade en palplanches de bois, recouverte chacune de tourbe issue du décapage. Chaque merlon a été équipé d'un trop-plein ;
- une clôture a été installée en périphérie du site, afin d'empêcher le piétinement par le bétail.

Coût :

- 31 000 € pour décapage-étrépage-arrachage des souches à la pelle mécanique-coupe de ligneux et végétalisation ;
- chantiers de bénévoles pour la coupe des ligneux, la restauration d'un andain sur palissade (entretien indispensable), la végétalisation complémentaire.

Suivi-évaluation (en cours) :

- un suivi des ouvrages est réalisé chaque année. Des travaux d'étanchéification des systèmes de vidange, de complément de végétalisation, de défrichage ont été nécessaires et réalisés par des chantiers bénévoles ;
- de repérer facilement l'évolution de la colonisation par la végétation herbacée sur la zone décapée, mais aussi de l'envahissement localisé des ligneux ;
- un suivi annuel de colonisation de la végétation est opéré :
- 6 carrés permanents de 1m² dans le secteur 2, répartis entre hauteur d'eau « haute », « moyenne », « faible ». Le pourcentage moyen de recouvrement (bryophytes et plantes vasculaires), de l'ensemble des 6 placettes montre la très rapide colonisation par la végétation.



Evolution du pourcentage moyen de recouvrement végétal (bryophytes et plantes vasculaires) sur les 6 placettes de suivi permanent CREN Franche-Comté



Décapage du secteur 2 / S. Moncorgé - CREN Franche-Comté



Vue du secteur 2 après végétalisation et paillage
S. Moncorgé - CREN Franche-Comté

Efficacité :

L'accroissement du taux de recouvrement de la végétation se poursuit. La moyenne du taux de recouvrement total sur les 6 placettes est en effet passée de 27,3 % en 2004 à 56,6 % en 2007.

En ce qui concerne les espèces vasculaires (*Eriophorum vaginatum* presque exclusivement), les taux d'accroissement (2004-2006) les plus importants sont observés au sein des placettes à hauteur d'eau moyenne (moins de 10 cm), soit les placettes 3 et 4, avec des valeurs respectives de 328 et 223 %. Le taux le plus faible est observé au sein de la placette 1, avec seulement 13 % d'accroissement. L'important niveau dans cette placette (près de 23 cm) est en effet très peu favorable au développement d'*Eriophorum vaginatum*.

En ce qui concerne les bryophytes, le taux d'accroissement moyen est de 42 % (2004-2006), si l'on excepte la placette n°1. En effet, sur cette dernière, se trouvaient en 2003 et 2004 des tapis flottants de *Sphagnum cuspidatum*.

Ces tapis, faiblement ancrés aux touffes d'*Eriophorum vaginatum*, se sont détachés en 2005 et sont sortis de la placette, induisant une forte réduction du taux de recouvrement.

Contacts :

Conservatoire des espaces naturels de Franche-Comté
Sylvain Moncorgé
Maison de l'Environnement de Franche-Comté
7 Rue Voirin - 25000 BESANCON
sylvainmoncorgé.cren-fc@wanadoo.fr

FICHE D'EXPÉRIENCE >> TOURBIÈRE DU STEINMÖSLI (Préalpes bernoises - Suisse)

Résumé du contexte :

- gestionnaire : Inspection de la protection de la nature du canton de Berne ;
- commune : Eggiwil, dans les Préalpes bernoises, à 960m d'altitude ;
- tourbière d'environ 11 ha, reste plus ou moins dégradé d'un complexe tourbeux beaucoup plus grand à l'origine, drainé et cultivé depuis les années 1970, et exploité pour la tourbe horticole jusqu'en 1996 ;
- intérêt patrimonial : cortège caractéristique des espèces végétales de haut-marais; 25 espèces de libellules recensées entre 1983 et 1997, dont *Somatochlora arctica*, *Leucorrhinia dubia* comme espèces tyrrhobiontes, *Lestes virens* et *Aeshna subarctica* comme espèces tyrrhophiles (fortement menacées selon la liste rouge des Odonates de Suisse), *Aeshna caerulea*, *A. juncea* et *Somatochlora alpestris* comme autres espèces tyrrhophiles à cette altitude ; une espèce d'araignée caractéristique des tourbières, *Dolomedes fimbriatus*; 9 espèces de Coléoptères, dont *Bradycellus ruficollis*, fortement menacé selon la liste rouge des Coléoptères de Suisse (mais pas forcément caractéristique de tourbières) ; 3 espèces de batraciens (*Rana temporaria*, *Salamandra atra* et *Triturus alpestris*); 2 espèces de reptiles (*Anguis fragilis* et *Lacerta vivipara*) ;
- un plan de gestion a été réalisé (1998) ;
- travaux de restauration de 1996 à 2009, d'autres projets sont en cours (travaux présentés : secteur 1, 1996-1998) ;
- suivi de l'efficacité des travaux : 1998-2009.

Description du site - état initial :

- dans la zone concernée, la tourbe a été extraite avec une dragueuse excavatrice. Dans le secteur inférieur (cuvette) et dans le secteur central (avec une pente >7%), l'extraction de tourbe a parfois été effectuée jusqu'au sous-sol minéral ;
- l'extraction de tourbe n'a pas seulement détruit la surface du marais, mais aussi perturbé le corps tourbeux dans son ensemble. Lors de l'arrêt de l'exploitation, le terrain donnait une impression de chaos ;
- l'eau coule principalement en surface et très rapidement du nord-est au sud-ouest à travers toute la zone ;
- différentes surfaces, exploitées depuis plus de 10 ans puis laissées à elles-mêmes, se présentent encore comme de vastes champs de tourbe nue.

Problèmes à résoudre :

- l'exploitation de tourbe a entièrement détruit le fonctionnement hydrologique d'origine. Comment la situation hydrologique peut-elle être améliorée ?

- en raison de la forte pente, la tourbe est emportée sur de vastes surfaces ; par endroits, des rigoles d'érosion se découpent aussi dans le reste du corps tourbeux. Sur tout le terrain, de la vase est emportée jusque dans la cuvette. Comment réduire ces phénomènes d'érosion ?
- la couverture végétale ne s'installe que très lentement sur la tourbe nue. Comment est-il possible d'accélérer la régénération sur de telles surfaces ?



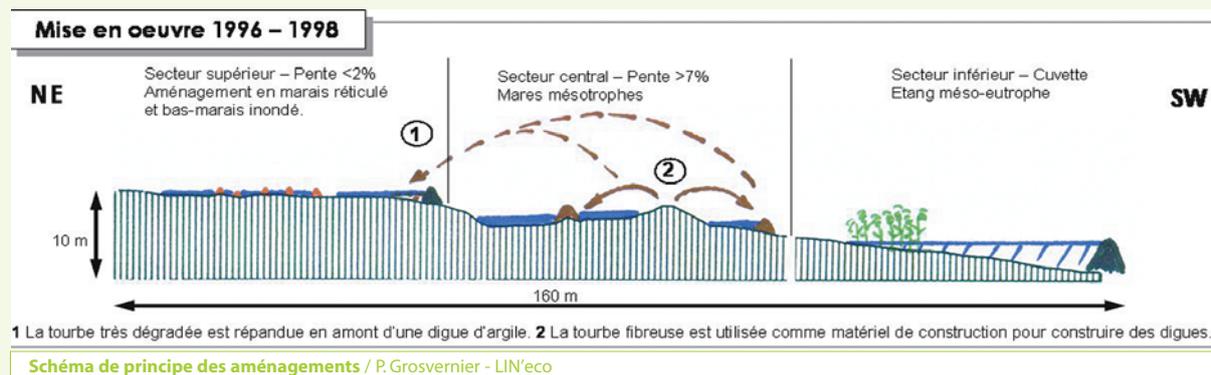
Tourbière du Steinmöslü au terme de l'exploitation / P.Grosvernier - LIN'eco

Buts :

- l'eau de pluie doit être conservée le plus longtemps possible dans le marais, plus précisément à la surface de la tourbe. L'eau excédentaire doit être évacuée sous contrôle, de manière à ce que l'érosion soit évitée au maximum ;
- sur la tourbe nue, une couverture fermée de végétation de bas-marais et de marais de transition doit se former dans les 5 prochaines années. De plus, de nouvelles surfaces d'eau libre doivent être aménagées, et les surfaces de tourbe nue doivent être remouillées le plus près possible de la surface ;
- sur le secteur supérieur, où la tourbe fait encore environ 1m d'épaisseur, de petites gouilles oligotrophes à mésotrophes seront aménagées. Sur le secteur exploité jusqu'au sous-sol minéral, des habitats mésotrophes doivent être aménagés et plus bas, dans la cuvette du terrain, un étang eutrophe de taille moyenne doit être aménagé.

Méthodes et mesures :

- dans le secteur supérieur, où la pente est inférieure à 2%, un complexe artificiel de marais réticulé a été aménagé. En aval de ce complexe, une digue en argile a été érigée, derrière laquelle de la tourbe fortement dégradée a été déposée ;
- dans le secteur central, où la pente excède 7%, une série de digues plus hautes doit permettre de ralentir l'écoulement rapide de l'eau de ruissellement. Derrière ces digues, des mares vont se former, dans lesquelles de la vase organique (= tourbe érodée) peut se déposer ;
- dans le secteur inférieur, la cuvette correspondant à la fosse d'exploitation doit être étanchéifiée, de manière à ce qu'un grand étang se forme. De plus, le coffre de l'ancien chemin d'accès au secteur d'exploitation de tourbe doit être rendu étanche, ou une nouvelle digue doit être aménagée.



Données techniques :

- 14 petites digues de tourbe : environ 50 cm de haut ; longueur totale de 180 m ; consolidées avec des nattes de fibre de noix de coco (700 g/m²) ; en parties stabilisées secondairement avec des plantes ; 10 seuils consolidés avec de la natte 3D de fibre de noix de coco (1200 g/m²) ;
 - 1 digue en argile, environ 150 cm de haut et 180 m de long ; avec dépôt d'environ 2000 m³ de tourbe fortement dégradée en amont de la digue ; trop-plein : socle et cylindre de béton avec tuyau PVC ;
 - 10 digues en tourbe ou argile selon la disponibilité ; environ 50-100 cm de haut ; longueur totale 420 m ;
 - 1 digue en galets et argile ; environ 2 m de haut et 170 m de long ; recouverte d'une nappe de bentonite (avec argiles gonflantes) ; trop-plein en béton avec tuyau de PVC à hauteur réglable ;
- Les travaux ont été réalisés avec une petite ou une grande excavatrice (sur tapis de rondin), selon la capacité de charge du sol.



Aménagements de digues / P. Grosvernier - LIN'eco



Réalisation du marais réticulé / P. Grosvernier - LIN'eco



Marais réticulé 10 ans après / M. Sauret - CFD

Coût :

CHF 90 000 (environ 60 000 €).

Suivi-évaluation :

un protocole de suivi-évaluation avait été proposé, mais malheureusement pas réalisé. Seul un suivi photographique a été effectué tous les 3 à 5 ans en ce qui concerne les ouvrages réalisés.

Efficacité :

• sur la partie très en pente, le ralentissement du flux d'eau réalisé grâce à l'enchaînement des bassins aménagés en cascade a permis la revégétalisation complète (90%) de la surface. Beaucoup de plages de sphaignes minérotrophes se développent aussi dans

les zones les plus humides. Les bassins forment des biotopes aquatiques intéressants pour la faune, mais ne sont pas suivis ;

• sur la partie supérieure plus ou moins plane, un épais tapis de sphaignes et d'herbacées de bas-marais recouvre environ 50% de la surface, et le niveau de l'eau est stable ;

• le réseau de petites digues s'est malheureusement affaissé, faute d'entretien, laissant toutefois la possibilité aux petites mares de bien évoluer.

Contacts :

LIN'eco - Philippe Grosvernier
Case Postale 80 - 2732 RECONVILIER - Suisse
info@lineco.ch



6. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

CONSERVATOIRE RHÔNE-ALPES DES ESPACES NATURELS (2006). *Tourbière de Sagne-Redonde - révision du plan de gestion (version provisoire)*. 35 p.

DUPIEUX, N. (2000). *Projet de restauration de la tourbière de la Plaine de la Sénégrière*. Rapport d'expertise, Espaces Naturels de France, 22 p.

GARAMBOIS, S ; ALLÈGRE, V. ; ORENGO, Y. ; CLOARC, D. ; LAURENT, J.P. ; COHARD, M. ; TAVERNA, F. ; DESPLANQUE, C. ; HUSTACHE, E. (2007). *Caractérisation de la paléotopographie de la tourbière ombrotrophe de la Réserve Naturelle du lac Luitel au moyen de méthodes géophysiques*. Rapport de synthèse, 35p.

GOUBET, P. ; THEBAUT, G. ; PETEL, G. (2004). *Les modèles théoriques de développement des hauts-marais : un outil pour la gestion conservatoire des tourbières*. Géocarrefour, Vol. 79/4, [en ligne].

URL : <http://geocarrefour.revues.org/index827.html>

GOUBET, P. ; PETIT, S. (2007). *Levés topographiques fins et cartographie des végétations de la tourbière de « Sous les Montées » à la Rixouse (Jura, France)*. 18 p.

GOUBET, P. (2009). *Recueil de fiches techniques - Analyse fonctionnelle des écosystèmes tourbeux (version provisoire)*. 11 fiches.

GROSVERNIER, P. (1996). *Stratégies et génie écologique des sphaignes (Sphagnum sp.) dans la restauration spontanée des marais jurassiens suisses - une approche expérimentale*. Thèse, Université de Neuchâtel, 318 p.

GROSVERNIER, P. (2005). *Expertise hydroécologique de la tourbière du Forbonnet (Frasne)*. Communauté de communes du plateau de Frasne et du val du Drugeon, 7 p.

GROSVERNIER, P. (2008). *Fiches synthétiques de gestion de tourbières restaurées de Suisse*.

GROSVERNIER, P. ; STAUBLI, P. (2009). *Régénération des hauts-marais. Bases et mesures techniques*. L'environnement pratique, Office Fédéral de l'Environnement, n°0918, 96 p.

GROSVERNIER, P. ; BUTTLER, A. ; GOBAT, J.M. ; MATTHEY, Y. (1997). *Régénération ou réimplantation des sphaignes dans les hauts-marais jurassiens suisses*. Actes de la Société Jurassienne d'Emulation, n°150, pp. 155-179.

JUPILLE, O. ; ARGOUD, P. ; PARCHOUX, F. ; OZIOL, M. ; DUGUÉPÉROUX, F. (2002). *Plan de gestion de la plaine de la Sénégrière en zone centrale du Parc national des Cévennes - vol.1 : plan de gestion*. Parc National des Cévennes, 87 p.

KLAUS, G. (2007). *Etat et évolution des marais en Suisse. Résultats du suivi de la protection des marais*. Etat de l'environnement, Office Fédéral de l'Environnement, n°0730, 97 p.

LAPLACE-DOLONDE, A. (2007). *Etude hydrodynamique de la tourbière des Dauges- Rapport final*. 99 p.

LUGON, A. ; MULHAUSER, G. ; PEARSON, S. (1998). *Evaluation des tourbières du canton du Jura à l'aide des odo-*

nates, des rhopalocères, des coléoptères aquatiques et araignées. Actes 1998 de la Société Jurassienne, pp. 77-122.

MARTIN, C. ; DUGUÉPÉROUX, F. ; DIDON-LESCOT, J.F. (2008). *Fonctionnement hydrologique d'une tourbière drainée : la plaine de la Sénégrière (Lozère)*. Etudes de géographie physique N°35, pp. 3-23.

MONCORGÉ, S. ; MOREAU, C. (2004). *Tourbières « Sur les Seignes, Frambouhans et les Ecorces [25] » - Compte-rendu de travaux de réhabilitation réalisés en 2003 et mise en place du suivi scientifique*. CREN Franche-Comté, 15 p.

NAUWYNCK, F. ; FOUCOUT, A. ; HENNEQUIN, E. (2007). *Plan de gestion 2008-2012 « Tourbière de la Ferrière » (Davignac, Ambrugeat, Bonnefond - 19)*. Espaces Naturels du Limousin, 134 p.

NÉEL, C. ; COURNEZ, C. (2002). *Restauration d'une tourbière acide topogène dégradée par des travaux de drainage : la tourbière de la Ferrière (Plateau de Millevache- Davignac, 19)*. Actes de la Table ronde « Tourbières de France » - Lyon, 24-26 septembre 2002, Pôle-relais Tourbières /FCEN, pp. 125-133.

QUINTY, F. ; ROCHEFORT, L. (2003). *Guide de restauration des tourbières. Deuxième édition*. Association canadienne de sphaigne & Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, 120 p.

THOMAS, J. (SCOP SAGNE) (2007). *Note d'exécution de chantier - Forêt domaniale du Haut Agoût et de la Salesse (Tarn)*. 1p.

TISSOT, B. ; GROSVERNIER, P. (2007). *Réhabilitation de la tourbière du Crossat - Rapport de travaux*. Association des amis de la réserve du lac de Remoray, 12 p.

WASTIAUX, C. ; SCHUMACKER, R. ; PETIT, F. (1991). *Quel espoir pour les tourbières hautes assassinées ? L'impact du colmatage des drains, depuis 1966, en fagne des Deux-Séries (Réserve naturelle des Hautes-Fagnes)*. Documents de la station scientifique des Hautes-Fagnes (Université de Liège), n°4, pp.95-102.

COMMUNICATIONS ORALES - RÉSUMÉS, SUPPORTS

GOUBET, P. ; MONCORGE, S. (2008). *Le piétinement comme cause majeure de l'extension de *Polytrichum strictum* au détrimement des sphaignes dans la tourbière de la grande Seigne à Passonfontaine (Doubs, France)?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.
URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>.

GREGOIRE, F. (2007). *La tourbière de Sagne Redonde (Lanarce, Ardèche), des choix pour la réhabilitation*. Colloque « Tourbe et tourbières 2007 », 8-11 octobre 2007.
URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm

ROCHEFORT, L. (2007). *La réhabilitation des tourbières en France par l'approche de la restauration à sec : possibilités et limites*. Colloque « Tourbe et tourbières 2007 », 8-11 octobre 2007.
URL : http://www.pole-tourbieres.org/Actes_Colloque.htm



Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières



Faire pâturer les tourbières de montagne : pourquoi, comment ?

> 1.	Introduction	p.102
> 2.	Le gestionnaire et l'éleveur, vers un partenariat technique	p.103
	2.1. Des visions du pâturage radicalement différentes	p.103
	2.2. Un manque de références communes	p.103
> 3.	Le pâturage en tourbière de montagne	p.105
	3.1. Les enjeux environnementaux	p.105
	3.1.1. Connaître les sites : les spécificités des zones de montagne	p.105
	3.1.2. Rappel sur les impacts du pâturage	p.106
	3.1.3. Le pâturage est-il envisageable sur les tourbières à sphaignes ?	p.107
	3.2. Les enjeux agricoles	p.109
	3.2.1. L'organisation des élevages	p.109
	3.2.2. Le calendrier d'élevage	p.109
	3.3. Formuler des propositions crédibles	p.110
	3.3.1. La non-appétence des espèces de tourbières, mythe ou réalité ?	p.110
	3.3.2. L'éducation des animaux en question	p.111
	3.3.3. Les risques d'enlèvement	p.112
	3.4. Mise en place du pâturage conservatoire	p.112
	3.4.1. Penser les parcs de pâturage : la conception de « parcs-habitats »	p.113
	3.4.2. La question de points d'abreuvement	p.115
	3.4.3. La méthode GRENOUILLE : varier les aliments	p.115
	3.5. La conduite fine du troupeau dans l'espace et le temps	p.116
	3.5.1. Proposition de 6 règles d'action pour faire pâturer un parc clôturé	p.116
	3.5.2. Une rotation aménagée	p.117
	3.5.3. Limitation des traitements sanitaires	p.117
> 4.	Quelques exemples de pâturage sur des tourbières de montagne	p.118
	4.1. Le Conservatoire Départemental des Sites Lozériens (CDSL) [48]	p.118
	4.2. La Communauté de communes de Frasné-Drugeon (CFD) [25]	p.119
	4.3. Le Pays basque français [64]	p.121
	4.4. Mesures Agro-Environnementales territorialisées : le CREN Rhône-Alpes et les Hautes Chaumes du Forez [42]	p.122
	4.4.1. Description de la démarche	p.122
	4.4.2. Le plan de gestion pastorale, un outil-clé	p.123
> 5.	Conclusions	p.125
	5.1. La nécessité d'expérimentations en tourbières	p.125
	5.2. Des gestionnaires plus proches du monde agricole	p.125
	5.3. Vers une évolution des Mesures Agri-Environnementales	p.126
> 6.	Bibliographie thématique	p.127

1. INTRODUCTION



La main de l'homme et la dent de la vache / S. Barthel - CREN Rhône-Alpes

Le pâturage sur les sites dits « naturels » est ancien. Il est logique de penser que les grands herbivores, bisons, tarpans, aurochs et autres élans, s'alimentaient déjà dans les zones tourbeuses de montagne. Par la suite, les troupeaux domestiques ont pu leur succéder, et bon nombre de milieux ouverts actuels résultent de l'impact de l'homme, qui a défriché des superficies importantes pour ses divers besoins (cultures, pâturage, bois de chauffage et de boulangerie, écorce à tan...). Le pâturage a permis de les maintenir ouverts au fil des siècles, ou tout du moins aussi longtemps qu'il a perduré. Le phénomène est particulièrement marqué en montagne, où les vastes zones d'alpages empiètent sur le territoire originel de l'arbre, dont la limite supérieure a été abaissée suite aux activités humaines. Les situations sont néanmoins variables selon les régions et les massifs, et ont parfois évolué selon les époques.

L'émergence, à la fin du XXe siècle, des gestionnaires d'espaces « naturels » a permis d'appuyer l'utilité sociétale de l'élevage, utilisé pour l'entretien de certains écosystèmes. Que ce soit pour

essayer de recréer l'action des grands herbivores disparus – dont il est cependant difficile de connaître les pressions et les impacts – ou celle des troupeaux d'autrefois, qui ont façonné bon nombre de sites, les animaux d'élevage ont alors trouvé un nouveau statut.

Les relations entre éleveurs et gestionnaires se développent donc depuis une vingtaine d'années. Cependant de nombreuses expériences ont abouti à des constats d'échec, que ce soit sur le plan humain (partenariat) ou technique (préservation des milieux). Nous aborderons dans ce chapitre les raisons susceptibles d'expliquer ces problèmes, avant de proposer des pistes de solutions incluant aussi les aspects plus techniques du pâturage des tourbières de montagne (spécificités, évolutions récentes, exemples).

Comme toujours dans les métiers qui sont les nôtres, nous ne prétendons cependant pas apporter de remèdes miracles ou de solutions « clé en main », mais des éléments de réflexion que chacun devra s'appropriier avant de les retranscrire dans le contexte propre de « ses » tourbières.

2. LE GESTIONNAIRE ET L'ÉLEVEUR, VERS UN PARTENARIAT TECHNIQUE

Un retour sur l'histoire des deux professions apporte un premier éclairage sur les difficultés qu'ils rencontrent parfois à travailler ensemble.

2.1. Des visions du pâturage radicalement différentes

Le « paradigme du brouteur autonome » a constitué la première approche du pâturage par le milieu des gestionnaires, suite notamment à la synthèse de Lecomte (1995), inspirée par des naturalistes du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (Muller & Meuret, *sous presse*). Il est fondé sur le postulat selon lequel les actuels animaux d'élevage ont quasiment perdu toute aptitude à vivre en plein air et à s'alimenter à partir de ressources naturelles. Il s'agit donc de recourir à des brouteurs quasi-sauvages, similaires à ceux ayant existé avant la domestication (Highland cattle, brebis Soay, etc.) et, en misant sur la grande "rusticité" de ces animaux, de les conduire à l'année dans de vastes enclos, avec un strict minimum d'intervention humaine : ni compléments alimentaires, ni soins vétérinaires. Cette démarche, attrayant au demeurant pour quiconque est issu du monde des naturalistes, a été tentée en diverses régions, notamment par les Conservatoires d'Espaces Naturels. Mais elle a assez vite trouvé ses limites (Muller & Meuret, *op. cit.*) :

- les sites sont de petite taille, quelques dizaines ou centaines d'hectares, donc d'une surface bien insuffisante par rapport à ce qu'exigent des groupes d'herbivores sauvages ayant à réguler par la mobilité saisonnière (migration) des insuffisances locales en ressources alimentaires ;
- les contenus des sites sont souvent d'appétence très inégale, avec des possibilités de circulation hétérogènes

(secteurs trop embroussaillés, inondables, etc.), ce qui incite les troupeaux à rester cantonnés sur les lieux les plus confortables, avec à la clef du surpâturage localisé et de l'infestation parasitaire, surtout lorsque le pâturage s'effectue en permanence et en toutes saisons dans un seul et unique enclos ;

- le recours à ce type d'herbivores encourage la perception souvent négative de l'action des gestionnaires du site par la société rurale locale (rapelons que de nombreux sites sont ouverts au public), aux yeux de laquelle des animaux, fussent-ils proches de leurs cousins sauvages, ne peuvent raisonnablement être laissés sur la zone dans un état faible, voire proche de la

mort, sans qu'il y ait intervention d'un éleveur responsable.

L'approche du « laisser-faire » est radicalement différente de celle des éleveurs ; pour ces derniers, l'objectif reste la production, dictée tant par des impératifs professionnels (ils vivent de l'élevage) que par un cadre administratif, qui reste globalement incitatif, et des habitudes parfois héritées du passé, mais qui ont la vie dure (« *l'agriculture doit nourrir la France* », la fierté du travail « bien fait » avec des animaux en « condition optimale » et des parcelles tenues « propres »). Il n'est donc pas exagéré de dire qu'un fossé s'est creusé en de nombreux endroits entre les deux mondes.



Aurochs (reconstitués !) pâturant une tourbière de Lozère / CDSL

2.2. Un manque de références communes

Corollaire de ces visions différentes du pâturage, l'éleveur sollicité pour des partenariats sur les milieux « naturels » n'a longtemps été perçu que comme un simple prestataire de services par les personnes en charge de la gestion des sites, ce qui a amené des incompréhensions, des prises de distance, et à terme

des échecs en matière de conservation.

En effet, les gestionnaires n'ont que rarement été formés en matière d'agriculture en général, et d'élevage en particulier. Certains ont bien entendu des expériences antérieures (contexte familial ou motivation personnelle) ou des

affinités qui les ont mis au fait de la réalité agricole ; mais, pour la plupart, le pâturage reste un outil parmi d'autres, vu sous l'angle des apports envisagés en termes de gestion de milieux, en négligeant la technicité propre et l'aspect humain qui en sont pourtant des composantes essentielles.

Un exemple représentatif est celui des cahiers des charges rédigés pour les conventions avec les éleveurs : le gestionnaire est évidemment tenté de préconiser les conduites "optimales" en termes de préservation des habitats ou espèces (pour autant qu'elles soient connues avec précision, ce qui est rarement le cas !). Mais s'il veut avoir une chance de les voir acceptées, et plus encore appliquées, par un éleveur, il faut qu'elles soient intelligibles et réalistes du point de vue de ce dernier.

Intelligibles, car si l'éleveur a en général une bonne connaissance du terrain, elle n'est pas bâtie sur le même schéma que celle du gestionnaire. Il pourra connaître les espèces rares sans pouvoir donner leur nom latin ou leur statut de protection ; mais s'il n'associe pas la plante à l'espèce protégée citée dans les documents techniques, il ne lui sera guère possible de s'y intéresser en détail, ou de communiquer de nouvelles stations. Ce qui est d'autant plus dom-



Lycopodiella inundata peut dans certaines conditions être favorisé par le pâturage en tourbière, lorsque le piétinement met des zones de tourbe à nu / CREN Rhône-Alpes

mage que bien souvent les agriculteurs se sentent concernés par le sujet, sont demandeurs d'informations plus précises, et disposés à agir pour préserver le patrimoine naturel de leurs parcelles, dont ils retirent une certaine fierté. Réaliste, car l'éleveur est soumis à certaines contraintes relevant du domaine agricole, qui dictent sa conduite du troupeau et peuvent l'amener à la modifier en cours de saison pour l'adapter à des imprévus,

climatiques par exemple.

Le dialogue a alors une place importante en amont, et le gestionnaire a tout à gagner à impliquer l'éleveur en prenant le temps de le rencontrer, d'échanger, de lui apporter de l'information sur les milieux intéressants, et si possible d'aller avec lui sur le terrain pour lui montrer à quoi ressemblent les espèces protégées, où elles se situent sur ses parcelles, etc.

Cette communication peut aussi s'avérer utile en aval de la mise en place du partenariat, si des dysfonctionnements sont constatés. Pourquoi les recommandations n'ont-elles pas été suivies ? Cette question est essentielle, car des impératifs d'élevage peuvent expliquer les conduites de troupeaux à l'origine des problèmes constatés. De manière globale et comme souvent, l'échange reste un enjeu majeur dans cette démarche partenariale.

Certains éleveurs restent pour leur part axés sur des préjugés concernant les milieux « naturels » ou les gestionnaires,

ce qui les incite à la prudence lorsqu'il s'agit d'entamer une collaboration avec des interlocuteurs inhabituels ; méfiance renforcée si les zones à pâturer ne font pas - ou plus - partie des territoires traditionnels de l'élevage local. Une collaboration suivie, basée sur un maximum d'échange, avec un partenaire possédant les bases techniques suffisantes pour comprendre les enjeux agricoles devrait être à même de le rassurer, et ouvrir des perspectives de collaboration intéressantes.

Il faut encore rajouter à ces éléments l'inconstance des politiques et des

mesures agro-environnementales, qui n'ont cessé d'être modifiées ; parfois les ruptures entre deux dispositifs d'actions publiques étaient telles (exemple du passage brutal des Opérations Locales Agri-Environnementales aux Contrats Territoriaux d'Exploitation, puis aux Contrats d'Agriculture Durable) que les éleveurs impliqués se sont retrouvés livrés à eux-mêmes, sans possibilité de prolonger ou de tirer expérience de leurs contrats. Ces changements, même s'ils ne peuvent être imputés aux gestionnaires, ont pu déstabiliser certains agriculteurs, et les rendre dubitatifs ou méfiants vis-à-vis des mesures environnementales.

Cependant les évolutions récentes, de la société en général et de l'agriculture en particulier, devraient contribuer à rapprocher les différents acteurs. L'augmentation de la visibilité des problèmes environnementaux, les demandes sociétales d'actions de préservation qui en découlent, ainsi que la reconnaissance de plus en plus large des apports du pastoralisme à l'entretien des paysages et milieux tendent ainsi à amener éleveurs et gestionnaires à unir leurs efforts pour une agriculture que l'on pourra qualifier de durable.



Parcelles pâturée (à gauche) et en défens (à droite) sur le complexe tourbeux de Lac-des-Rouges-Truites [39] / S. Moncorgé - CREN Franche-Comté

3. LE PÂTURAGE EN TOURBIÈRE DE MONTAGNE

Avant de se décider sur la pertinence d'une (re)mise en pâturage d'un site, outre les éléments développés dans le chapitre 1, le gestionnaire devra avoir à l'esprit les aspects propres à l'agriculture de montagne, et se demander comment la tourbière peut y être intégrée - ou pas. Ceci passe notamment par une prise en compte des calendriers de production et de reproduction des troupeaux, du climat, de la taille et de la localisation des sites vis-à-vis des exploitations d'élevage. Dans la juste continuité du dernier guide édité par le CREN Rhône-Alpes (Agreil & Greff, 2008), il s'agit donc de tenir compte des pratiques courantes en termes de conduite d'élevage et de calendriers de pâturage, et de penser ensuite la façon d'y intégrer au mieux les exigences de la gestion conservatoire.

Pour les milieux dont il est question ici, il est enfin nécessaire de distinguer les types de tourbières auxquels on a à faire, les problématiques et les enjeux n'étant par exemple pas les mêmes pour un bas-marais ou un haut-marais.

3.1. Les enjeux environnementaux

3.1.1. Connaître les sites : les spécificités des zones de montagne

- Les sites tourbeux de montagne ont des tailles extrêmement variables, depuis les grands ensembles des plateaux du Jura jusqu'aux micro-zones humides d'altitude des Alpes. Les approches seront de fait radicalement différentes... A ce titre, il conviendra d'être attentif aux inventaires réalisés et sur lesquels s'appuient les gestionnaires ; certains sites n'ont pas été pris en considération car inférieurs aux seuils minimaux de prise en compte des zones humides, qui varient selon les opérateurs : 1 ha pour les travaux d'AVENIR en Isère, 1000 m² pour ceux du Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie, etc. Or, des milieux de superficie réduite peuvent jouer un rôle intéressant dans les problématiques de réseaux écologiques, et sont particulièrement sensibles, du fait justement de leur petite superficie, aux atteintes potentielles d'un pâturage non adapté à une gestion conservatoire.



Zone de source piétinée
S. Barthel - CREN Rhône-Alpes



Tourbière du Soussoueuou [64] / F.Muller - Pôle-relais Tourbières

- Les tourbières sont parfois situées sur des secteurs pâturés de longue date, pour lesquels il est difficile de connaître l'histoire exact du pâturage (ancienneté, conduite des troupeaux...), et donc d'estimer les éventuelles modifications antérieures des équilibres naturels et la part du pâturage dans l'équilibre actuel de l'écosystème.

- Les réseaux écologiques restent, en montagne, relativement préservés de la fragmentation liée aux infrastructures lourdes

(voies de communication, urbanisation) par rapport aux zones de plaine, où ces dernières se concentrent. Certains aspects du développement, et notamment les travaux d'envergure liés à l'aménagement de la montagne pour les sports d'hiver, sont cependant susceptibles d'affecter les tourbières (voir chapitre 7) ; de plus la déprise agricole et la fermeture du paysage (enfichement, plantations...) qui s'ensuit dans certains secteurs amènent à l'enclavement de milieux ouverts.

- Pour le pâturage, comme pour de nombreux aspects de gestion des tourbières de montagne en général (voir chapitre 1), il peut d'ailleurs être opportun de raisonner sur un réseau de sites plutôt que séparément sur chaque tourbière. Cette approche doit notamment permettre de trouver des compromis entre les besoins techniques des éleveurs et des gestionnaires. On peut ainsi imaginer que, sur un alpage où aucune autre source n'est utilisable, soit installé un point d'abreuvement utilisant pour partie l'eau d'alimentation d'un site tourbeux identifié comme d'intérêt « mineur », si cela permet d'atteindre les objectifs de gestion sur l'ensemble du secteur en y maintenant un troupeau. De même la prise en compte des espèces considérées comme intéressantes par les gestionnaires devrait être envisagée à l'échelle du réseau de sites plutôt qu'à celle de la tourbière seule ; démarche appuyée par les enjeux complémentaires de dynamique des populations, importants pour la conservation autant - si ce n'est plus - que la simple présence/absence (et ce même s'ils sont souvent difficiles à cerner).

- La fréquence et l'intensité de l'utilisation des pâturages d'altitude par les sociétés locales demeurent très inégales. Dans la majorité des montagnes françaises, des périodes de déforestation, suivies de fauche et de pâturage intensifs, ont vu leur succéder des périodes de déprise agricole, avec une fermeture progressive des milieux. Actuellement, et même si l'agriculture extensive reste considérée comme une activité importante dans ces territoires (comme en témoigne le soutien financier matérialisé par les aides agricoles de la loi « Montagne »), les dynamiques divergent entre massifs.

Les Alpes, le Jura, le Massif central et certaines parties des Pyrénées (Ariège...) subissent une déprise agricole assez généralisée, avec une recolonisation progressive par des ligneux ; dans le Pays basque et en Corse, à l'inverse, la pression de pâturage reste forte, et a même tendance à augmenter. L'une des conséquences concrètes pour

le gestionnaire est que les agriculteurs pourront réagir différemment face aux propositions d'évolutions à visée environnementale, dont les contrats Natura 2000. Dans les Alpes, où les terrains disponibles sont nombreux, ils pourront plus facilement choisir de se tourner vers d'autres secteurs si les propositions ne les satisfont pas. Dans les Pyrénées, l'intensité du pâturage peut rendre difficile l'intégration effective des clauses environnementales (adaptation des pratiques pastorales au maintien de caractéristiques de milieux naturels favorables à certaines espèces remarquables ...).

Cependant, les contraintes physiques (secteurs plats de basse altitude réservés à la production de foin) et qualitatives (interdiction ou limitation des aliments concentrés pour les AOC fromagères) devraient inciter les éleveurs à utiliser d'avantage les ressources fourragères locales, et notamment à étendre les quartiers de pâturage aux terrains d'altitude.

Une fois de plus, la connaissance du contexte local s'avère essentielle pour que le gestionnaire puisse proposer des partenariats crédibles et optimiser les chances de nouer des relations avec les exploitants locaux.

- Il existe un certain nombre de partenaires techniques spécifiques, à savoir les services pastoraux spécialisés (d'alpage), tels les Sociétés d'Economie Alpestre en Savoie et Haute-Savoie, la Fédération des Alpages de l'Isère ou le Centre d'Études et de Réalisations Pastorales Alpes-Méditerranée, en Provence. Ces derniers, parfois assez éloignés des priorités des Chambres d'Agriculture, sont hautement spécialisés dans le domaine pastoral. Ils constituent des relais majeurs pour les gestionnaires amenés à travailler dans les départements ou régions concernés. Depuis 1984, les services pastoraux sont regroupés au sein de l'Association Française de Pastoralisme (<http://www.pastoralisme.net>).

3.1.2. Rappel sur les impacts du pâturage

"Pâturage" reste encore parfois synonyme de "broutage", avec des animaux alors assimilés à des outils de fauche ou de broyage. Mais, même sur prairies à vaches laitières, André Pochon nous rappelle que les vaches sont « *une barre de fauche à l'avant et un épandeur à l'arrière* ». Il est donc important, notamment en milieu toubeux, de considérer les multiples impacts du pâturage.

	LOCALISATION	AVANTAGES	RISQUES
Abrouissement	Variable selon les espèces (appétence, répartition, accessibilité – notamment en hauteur) et la conduite du troupeau (éducation, période de mise à l'herbe, durée de présence).	Limitation possible des dynamiques de végétation (molinie, phragmites, ligneux : consommation de rameaux & écorces, frottis...).	Peut concerner des espèces que le gestionnaire souhaite protéger.
Piétinement	Hétérogène (zones préférentielles = points de fixation, reposoirs, le long des clôtures).	Création de formes microtopographiques (diversification du milieu, gradient d'humidité), décapage localisé (favorable aux espèces pionnières, végétales comme <i>Drosera rotundifolia</i> et <i>Lycopodiella inundata</i> , ou pour les zones en eau certains animaux comme la Cordulie arctique), limitation de l'extension de certains végétaux à forte dynamique : ligneux (déchaussage des racines), molinie (déchaussage des touradons).	Peut favoriser la minéralisation de la tourbe (retournement des horizons supérieurs), détruire certaines espèces sensibles (sphaignes...), modifier les écoulements de surface (tourbières de pente...).
Excréments	Hétérogène (reposoirs).	Milieu de vie pour certains insectes (coprophages) ou végétaux (bryophytes : <i>Splachnum ampullaceum</i>), dissémination des graines.	Enrichissement du milieu (pour les zones de stationnement préférentiel où l'export de fourrage ne compense pas les apports).

Rappelons aussi que ces dernières années, grâce notamment aux nombreux retours d'expérience des sites pâturés, certains usages ayant cours en termes de gestion conservatoire tendent à être remis en question.

Le plus notable est le fait que l'on se dirige vers un abandon de la notion de « chargement moyen » (Unité Gros Bétail/ha/an), calculée pour l'ensemble d'un site, au profit d'une approche plus fine, à raisonner au cas par cas en terme de « pression de pâturage » (journées.animaux/ha/saison) appliquée sur les secteurs concernés du site, correspondant idéalement aux lieux à enjeux. En effet, les déplacements et les autres activités des animaux sont fortement influencés par de multiples paramètres comme la pente, l'hydromorphie des différents secteurs, le type de végétation que l'on y trouve, ou la distance par rapport aux points de fixation du troupeau (bosquets ombragés pour le repos, points d'abreuvement, de nourrissage, pierres à sel...). La pression de pâturage sera donc très variable selon la surface et la configuration du

site, en particulier pour les zones tourbeuses abritant souvent des mosaïques d'habitats. Les éléments à prendre en compte seront détaillés ultérieurement dans ce chapitre.

Un autre élément important est la nécessité pour le gestionnaire de définir clairement ses attentes en termes de gestion (voir chapitre 1) ; ceci passe par un énoncé clair des objectifs de conservation (principalement pour les espèces et habitats), mais aussi des attentes vis-à-vis du pâturage : sans forcément reprendre des spécifications techniques dont on ne connaît pas toujours l'impact sur le site, il convient plutôt d'identifier les conséquences possibles en fonction du site, du troupeau, de l'éleveur...

Le lecteur se référera pour plus de détails au guide technique de Nicolas Greff et Cyril Agreil : « Des troupeaux et des hommes en espaces naturels, une approche dynamique de la gestion pastorale » (CREN Rhône-Alpes, 2008).

Il est clair qu'en termes de gestions de milieux « naturels », et peut-être davantage encore pour ce qui est des tourbières, les « recettes » toutes prêtes ne sont pas de mises. Chaque site est à la croisée de caractéristiques particulières l'ayant façonné, de l'hydrologie au contexte socio-économique (perception locale des zones humides, pratiques traditionnelles liées à ces écosystèmes...), et dont les éventuelles variations futures vont conditionner sa propre évolution. A cela se superposent les aspects techniques agricoles, puisque dans ce domaine aussi la variabilité est de mise, que ce soit pour le type d'animaux, leurs habitudes alimentaires, le mode de conduite du troupeau (en parc ou en gardiennage), la gestion de la pression de pâturage, des points d'abreuvement, des ressources alimentaires...

C'est cependant le rôle du gestionnaire que d'acquiescer et intégrer autant que faire se peut ces particularités, pour pouvoir, le cas échéant, ajuster au mieux les itinéraires techniques.

3.1.3. Le pâturage est-il envisageable sur les tourbières à sphaignes ?

En fonction des politiques de gestion propres à chaque structure, certains décident (ou sont contraints en fonction de l'état des milieux) de faire pâturer les tourbières à sphaignes (hauts-marais et tourbières de transition), tandis que pour d'autres ces milieux sont systématiquement soustraits aux animaux. Les avis et expériences sur la question divergent, et une fois de plus rien n'est simple.

Rappelons en préambule qu'il existe en France une trentaine d'espèces de sphaignes. Chacune possède des exigences écologiques précises, ce qui conduira - en particulier dans les tourbières mixtes - à une organisation très fine des différentes espèces selon la microtopographie du site.

Il est clair que la présence d'animaux, et en particulier le piétinement, peuvent s'avérer destructeurs pour ces taxons. Un coup de sabot dans une butte ombrotrophe peut l'éventrer ; or on sait que ces édifices se développent, dans des conditions parfois difficiles, grâce à leur architecture de capitulum serrés



Butte de sphaigne dégradée par les animaux pâturant le secteur / P.Goubet

permettant de conserver une nécessaire humidité. La destruction de ces formes entraîne donc souvent leur destruction pure et simple.

Dans les tourbières de transition, le piétinement peut également affecter les sphaignes en les immergeant dans des eaux minérotrophes qui ne leurs

conviennent pas.

Enfin les fèces constituent un apport nutritif important susceptible de les détruire, au moins localement.

Il semble donc que le pâturage sur des sites à sphaignes n'est guère compatible avec la pleine expression de leurs dynamiques.

Ainsi le Conservatoire des Sites Lorrains et le Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges ne gèrent-ils jamais les hauts-marais par pâturage.

Lors de mise en pâture de tourbières à sphaignes par un exploitant dans le massif, il a en effet été constaté régulièrement :

- une détérioration de la microphotographie (gouilles notamment) ;
- une désorganisation du fonctionnement hydraulique de l'acrotelme, avec rabattement de la nappe ;
- une minéralisation accélérée de la tourbe, qui de fibrique devient saprique ;
- une diminution rapide du recouvrement des sphaignes et autres espèces turficoles et/ou turfigènes au profit d'espèces de tourbe nue (*Carex canescens*) ou résistantes au piétinement (*Juncus effusus*, *J. acutiflorus*...).

Suite à ce constat, des négociations ont été engagées dans le cadre de Natura 2000 par le PNR des Ballons des Vosges pour exclure du pâturage des tourbières hautes sur la commune de La Bresse [88] et engager un suivi de la dynamique de ces tourbières perturbées.

Même après l'arrêt du pâturage, la cicatrization peut prendre des dizaines d'années et débouche fréquemment, sans reprise turfigène, sur une moliniaie secondaire favorisée par le rabattement de la nappe et la minéralisation.

D'après des expériences de gestion comparées, même les bas-marais acides paratourbeux (jonchaies acutiflores à Succise, moliniaies acidiphiles, mégaphorbiaies de montagne à Trolle, pelouses à *Carex pulicaris*...) semblent plus bénéficier d'une fauche épisodique, voire parfois d'une gestion limitée à l'arrachage épisodique de la colonisation ligneuse, que d'un pâturage.

Le CREN Lorraine met donc en place des exclos permanents sur les prairies humides à sphaignes (sur la chaume des Wintergès [88] par exemple), ou des exclos qui ne sont ouverts au bétail qu'au mois d'août (Réserve Naturelle du Tanet-Gazon du Faing [88]).

Cependant le piétinement, par son action sur la topographie (création de micro-reliefs) et les végétaux supérieurs (abroustissement, déchaussage de touradons...) permet de diversifier et rouvrir les milieux dégradés, et peut permettre l'installation de certaines sphaignes.

Dans certaines conditions, on peut aussi considérer que le troupeau exporte la matière organique qui, sans lui, se serait déposée au sol. Ainsi la minéralisation de cette matière ne se fait pas, et, l'apport d'excréments ne compensant pas l'export de fourrage, le pâturage contribuerait à l'oligotrophie du milieu (Rhizobiome, 2007).

Le pâturage sur haut-marais ne doit en tout état de cause être envisagé qu'avec une extrême prudence, au regard d'objectifs précis. Sa mise en place devra être accompagnée d'un suivi fin, qui permettra le cas échéant de le modifier ou le stopper.

Il est à noter que les dégradations liées au pâturage en milieu tourbeux ne sont pas forcément irréversibles. Ainsi l'étude palynologique réalisée sur les sites de tourbières des Alpes et du Jura (Sjogren & al., 2007) démontre la présence généralisée d'une couche très minéralisée près de la surface, provoquée par une intensité de pâturage très importante au XIXe et XXe siècles. Suite à cela, grâce à une réduction de cette intensité, une régénération partielle de *Sphagnum* a été possible à l'ouest des Alpes et du Jura de 1940 à 1960, et à l'est des Alpes de 1820 à 1860.



Butte à *Sphagnum fuscum* impactée par le pâturage mais en cours de régénération [65] / P. Goubet

3.2. Les enjeux agricoles

3.2.1. L'organisation des élevages

Il existe en montagne une forte variabilité des ressources pastorales dans l'espace et le temps : la répartition des espèces végétales, comme les saisons de floraison et d'épiaison pour un taxon donné, varient en fonction du climat (et en particulier le paramètre de la couverture neigeuse). Or le climat est lui-même influencé par l'altitude (phénomène de l'étagement), l'exposition (adret/ubac), et, dans notre cas, les microclimats régnant en tourbière. A tout cela faut-il encore ajouter les variations climatiques interannuelles... autant de facteurs complexes qui consti-

tuent pourtant les bases de l'exploitation pastorale traditionnelle des zones de montagne, et règlent les phases d'élevage des troupeaux - pour lesquels on peut globalement considérer que la période de mise en pâture la plus courante est le plein été.

En conséquence, le fonctionnement des exploitations d'élevage est relativement complexe, avec des terrains souvent éclatés et des transhumances à différentes échelles, de la montée en alpages parfois lointains jusqu'aux « estives locales » (quelques kilomètres, pour permettre la

fauche de parcelles broutées en début de saison). Les milieux utilisés par les troupeaux sont donc soumis à une alternance de pâturage et de « repos » qui pourra, selon le calendrier, avoir des conséquences notables sur les cycles de la végétation et de la faune (notamment les insectes) ; la gestion des rotations pourra aussi influencer sur la pression parasitaire concernant le troupeau. On sait par exemple que des terrains préalablement fauchés ne présenteront pas de risques ; de même un pâturage tournant, en variant les espèces animales (alternance bovins-ovins par exemple), permettra de limiter les risques.

3.2.2. Le calendrier d'élevage

Les périodes d'exigences alimentaires des animaux sont à prendre en compte pour connaître les besoins des animaux à chaque stade, mais aussi pour être en mesure de proposer le cas échéant un partenariat en cohérence avec les objectifs de l'éleveur et la capacité du milieu.

Evolution des exigences alimentaires des animaux en fonction des périodes et activités (Agreil & Greff, 2008)

Périodes	Enjeux	Exigences alimentaires	Intérêts pour le gestionnaire
Entretien	Faibles	Besoins faibles, nécessaires au maintien de la vie (respiration, déplacement, maintien de température...).	Animaux pouvant être mobilisés, car exigences moindres et éleveur plus favorables à les placer sur des milieux naturels « pauvres ».
Saillie, lutte et monte	Intermédiaires	Forts besoins des mâles avant et pendant la reproduction.	Femelles mobilisables avant la reproduction.
Fin de gestation (dernier tiers, voire dernier mois)	Intermédiaires	Besoins supplémentaires significatifs, car les dépenses dues au développement du fœtus s'ajoutent à celles de la mère.	Mâles et jeunes de l'année seront les seuls animaux mobilisables, mais difficile de constituer un troupeau (pour l'activité laitière).
Lactation	Forts	Besoins supplémentaires des mères, surtout si traite.	Idem.
Croissance	Forts	Les jeunes ont des besoins importants, différents en fonction de l'activité.	Changement d'alimentation vers l'âge de 3 mois pour les bovins et équidés (1 mois pour les ovins et caprins). Les jeunes sont moins dépendants ; il est alors possible de mobiliser ces lots sur d'autres milieux après la première phase de croissance forte. Marge supplémentaire si l'éleveur fonctionne en croissance lente.
Activités	Enjeux	Exigences alimentaires	Intérêts pour le gestionnaire
Laitière	Forts	Besoins importants pour un bon rendement de lactation, impératifs de traite deux fois par jour.	Possibilité de mobiliser les animaux non allaitants (réforme, de renouvellement) si conduite en mise tardive à la reproduction.
Bouchère	Faibles	Variations éventuelles d'alimentation avec moins de répercussions.	Mobilisation aisée des animaux reproducteurs (femelles adultes) et des producteurs de viande en cycle long (bœufs > 30 mois) hors périodes-clés précédemment citées.

3.3. Formuler des propositions crédibles

Que ce soit en régie, avec l'acquisition ou la location d'un troupeau, ou plus encore en construisant un partenariat avec des éleveurs, les gestionnaires gagneront à clarifier leurs idées sur un certain nombre de questions qui reviennent régulièrement dans le cadre de la mise en place de pâturage conservatoire.

3.3.1. La non-appétence des espèces de tourbières, mythe ou réalité ?

Les zones de tourbières, comme de nombreux sites à forte richesse biologique, n'intéressent qu'assez peu les agriculteurs qui les considèrent généralement comme des milieux « peu productifs » et « difficiles ». Peu productifs, car les espèces comestibles, qui sont ici très différentes de celles bien connues en prairies semées, sont aussi nettement plus nombreuses, ce qui conduit le troupeau à sélectionner sa consommation. Il devient alors complexe d'estimer de façon fiable l'offre alimentaire.

Difficiles, car le pâturage peut être rendu délicat à utiliser du fait de la topographie (pente, irrégularités du terrain), de l'embroussaillage, ou encore de la végétation modifiant le milieu (touradons de molinie ou de carex). Surtout, les espèces comestibles présentes dans ces milieux n'ayant jamais été

envisagées comme une ressource fourragère, leur valeur alimentaire pour le bétail n'a jamais été estimée. Ainsi les tables d'alimentation traditionnelles (basées sur des expérimentations avec distribution de fourrage à l'auge) attribuent une valeur pastorale nulle aux laïches, dont on constate pourtant régulièrement la consommation sur le terrain ! Mais en l'absence de références stabilisées, et par précaution, les éleveurs non encore expérimentés n'attribuent que peu (si ce n'est aucune) valeur à ces milieux.

La gestion conservatoire de ces sites, en permettant la mise en pâture des tourbières, a en ce sens permis de progresser, puisque l'on observe de bons résultats sur des espèces précédemment considérées comme non consommées, que ce soit des herbacées a priori peu engageantes (molinie, carex, cirses...) ou des ligneux (saule, bourdaine...).

Les variations saisonnières ont aussi une influence sur l'intérêt que les animaux portent aux tourbières : si, en saison humide, les autres ressources sont suffisamment nourrissantes, le troupeau ne montre que peu d'intérêt pour ces milieux plus difficiles; mais en saison sèche, les milieux naturellement plus humides (sous-bois, fond de vallon, tourbières...) sont souvent inclus dans les parcs et/ou parcours, et sont plus attrayants pour les troupeaux qui y trouvent, outre des conditions de confort microclimatique intéressantes, un fourrage vert plus appétent.

Sur les Hautes Fagnes (Belgique), les préférences alimentaires d'un troupeau de mouton en pâturage par parcours ont été observées. Ghiette & Frankard (1998) ont pu établir une première ébauche du régime alimentaire en fonction des saisons.



Paysage des Hautes Fagnes (Belgique) / F.Muller - Pôle-relais Tourbières

Il s'agit d'observations directes réalisées par le berger, avec un chargement relativement faible et la possibilité pour les animaux d'effectuer un choix dans une situation encore vierge de pâturage.

*En hiver, les espèces préférées sont la myrtille (*Vaccinium myrtillus*) et les espèces herbacées sempervirentes ou à développement précoce : la Canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*), la Laïche à pilules (*Carex pilulifera*) et la Laïche noire (*Carex nigra*). La molinie (*Molinia caerulea*) sèche est, quant à elle, délaissée. À partir du mois de mai, la molinie, la Canche flexueuse, la Laïche noire, la myrtille et la callune (*Calluna vulgaris*) sont bien consommées, de même que les jeunes pousses du Saule à oreillettes (*Salix aurita*). L'impact sur la végétation au bout d'un an se traduit par l'aspect ras des patchs de Canche flexueuse, une diminution nette de la hauteur de la Myrtille commune, contrairement à la Myrtille de loup (*Vaccinium uliginosum*) et une disparition de l'airelle (*Vaccinium vitis-idaea*).*

*Les espèces végétales les mieux représentées dans la Grande Fagne et les plus appréciées par le mouton sont (dans l'ordre croissant d'appétence) : la Canche flexueuse, la molinie, la myrtille et la Linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*). En ce qui concerne la molinie, l'effet de la dispersion de sa litière par le passage fréquent et le piétinement du mouton a également un effet important quant à la création d'espaces ouverts libres de concurrence.*

Dans les landes tourbeuses sèches, l'impact du pâturage est



Bovins de race Galloway, marais de Saône [25] / S.Moncorgé - CREN Franche-Comté



Des Montbéliardes sont utilisées pour pâturer les zones humides de la vallée du Drugeon [25] L. Jameau - Pôle-relais Tourbières



Pâturage sur la tourbière-étang de Chabannes [19] / E. Hennequin - CREN Limousin

3.3.2. L'éducation des animaux en question

Jusqu'ici, le choix des animaux pour la mise en pâture de sites à préserver était lié d'abord à l'espèce - voir le tableau comparatif dans l'ouvrage de Dupieux (1998), puis à la race.

L'utilisation de races locales « rustiques » est souvent préconisée pour la gestion des espaces pastoraux, avec des attentes moindres en matière de performances zootechniques. Ces animaux sont issus d'élevages ayant, pour leur sélection, privilégié à chaque génération les animaux les plus habiles à tirer profit des conditions et des ressources naturelles locales (Audiot, 1995). Ils se différencient ainsi fortement des animaux placés dans les élevages standardisés et industrialisés, où les compétences animales sur d'autres surfaces que des cultures n'ont plus de raisons d'être.

A noter que l'aspect de préservation d'un patrimoine génétique local peut aussi entrer en ligne de compte lors du choix de ce type d'animaux.

efficace contre la molinie, et semble affecter davantage la callune que la myrtille. La création d'espaces vides semble néanmoins être favorable à la callune (après le départ des moutons), mais également aux joncs (Juncus effusus notamment), qui profitent du tassement du sol par piétinement pour se développer.

Dans les landes tourbeuses humides, une diminution importante de la Canche flexueuse et de la molinie est constatée, laissant des portions de sol totalement dénudées et prêtes à être recolonisées par les espèces végétales propres aux milieux humides (dont les sphaignes) profitant de la remontée temporaire de la nappe d'eau.

Les effets les plus marqués sont cependant obtenus par le pâturage en enclos, système qui semble être préféré par les gestionnaires de la réserve de la Grande Fagne par rapport au parcours avec ce berger, qui choisit de laisser beaucoup de liberté à son troupeau dans le choix des sites parcourus en cours de circuit, et donc des espèces consommées ; cependant la majorité des bergers impose à leur troupeau un enchaînement strict des secteurs pâturés en cours de repas, qui permet de modifier notablement les préférences alimentaires et l'impact local du pâturage (Meuret, sous presse).

Une "race d'élevage" est une production humaine, du fait de sa sélection artificielle des individus au fil des générations. Or, un éleveur sélectionne en fonction de ce qu'il attend des performances animales dans ses conditions particulières d'élevage.

Lorsqu'on a pour objectif d'acquérir des animaux, ou de les mener en conditions toutes nouvelles (comme sur milieux tourbeux), la question est d'apprécier auprès de chaque race la part relative des traits génétiques et des effets d'apprentissage et d'habitude envers certaines conditions "locales" (Provenza, 2008). C'est donc aux conditions de conduite des animaux chez les éleveurs, autant si ce n'est plus qu'à leur "race", que les gestionnaires ont à porter attention. D'ailleurs, des éleveurs et des scientifiques reconnaissent à présent que le bétail dispose d'une "culture", notamment alimentaire (Howell, 2005). Même si les processus d'acquisition et de transmission de cette connaissance sont mal connus, des bêtes habituées aux espèces des parcelles les consomment plus vite et plus fort, accentuant de fait l'impact du pâturage. Il en est de même pour les pentes, comme le montrent les études actuellement menées par l'INRA d'Avignon sur les pâturages des Hautes-Bauges [73] (Meuret & al., 2006). Pour l'utilisation de terrains avec de fortes pentes, ou à la topographie difficile (dont les tourbières), il est intéressant d'organiser l'apprentissage préalable des animaux s'ils n'ont pas déjà acquis l'expérience de ce milieu particulier. Dans le cas contraire, il existe de forts risques de concentration des animaux sur les zones planes (qui ressemblent aux prairies) et souvent humides, qui seront alors dégradées (surpâturage, piétinement...).

Le mélange d'animaux jeunes (ou naïfs) avec d'autres plus âgés, déjà plus expérimentés, favorise un échange et un apprentissage social au sein du troupeau.

Ces pratiques d'élevage restent empiriques et non traduites en recommandations générales, mais elles mettent en valeur l'intérêt de l'expérience précoce chez l'animal et le rôle primordial de l'éleveur dans la transmission intergénérationnelle des compétences au sein de son troupeau, la "mémoire du troupeau" dont parlent certains bergers.

Pour ce qui est des zones humides, le CREN Limousin a ainsi pu observer que sur la tourbière-étang de Chabannes, à Tarnac [19], les vaches limousines déjà expérimentées n'hésitent pas à s'avancer sur le radeau flottant afin de créer une flaque d'eau utilisée pour l'abreuvement. Une fois celui-ci terminé, les vaches font marche arrière et retournent au pâturage.



Juments suitées pâturant en vallée du Drugeon [25]
L. Jameau - Pôle-relais Tourbières

Sur les zones humides de la vallée du Drugeon [25], l'expérience acquise par les animaux est aussi valorisée par la Communauté de communes de Frasné-Drugeon, gestionnaire du site (voir 4.2). A côté d'un troupeau de 10 doubles-poneys rustiques (croisement de Haflingers, Fjord, Konik Polski...) qui pâture les secteurs difficiles (accès malaisé, superficie réduite impliquant de nombreux déplacements, topographie accidentée, secteurs mouilleux), elle accueille en effet les troupeaux de propriétaires privés (équins et bovins). La CFD demande - dans la mesure du possible - à ses partenaires de faire revenir au moins un animal ayant déjà pâturé le site l'année précédente. L'animal expérimenté entraînera le troupeau dans l'exploration de la parcelle, permettant à celui-ci de le prospecter plus rapidement ; en l'absence de "meneur", les chevaux se montreront plus prudents et auront tendance à demeurer aussi longtemps que possible le long des clôtures, dégradant localement le milieu (piétinement, surpâturage).

Que ce soit pour l'achat, la location ou le conventionnement avec un troupeau, le gestionnaire gagnera donc à se renseigner préalablement sur la manière dont ont été menés les animaux, notamment pour ce qui concerne la nature des terrains utilisés (pentes, parcelles exigeantes en zone humide) et les ressources alimentaires (prairie permanente, naturelle, végétation diversifiée, flore de zones humides).



Carcasse de brebis enlisée sur un tremblant, Archilondo [64] / CREN Aquitaine

3.3.3. Les risques d'enlèvement

Il est nécessaire de rappeler, bien que le phénomène n'ait été que rarement observé, que le pâturage en tourbières peut présenter des risques pour le bétail. En effet, même sur des sites stabilisés, on peut rencontrer des trous d'eau où l'humain comme l'animal peuvent s'enliser. Sur les sites anciennement exploités, les fosses de tourbage peuvent se révéler dangereuses du fait de leur grande profondeur. C'est surtout lors de l'abreuvement que le danger est le plus fort, lorsque le bétail vient s'aventurer sur des zones mouvantes et gorgées d'eau.

En règle générale, l'animal déjà expérimenté sera à même d'éviter ces zones, ou il ne s'aventurera pas, mais dans des cas extrêmes (fuites, dérangement...) le risque demeure.

3.4. Mise en place du pâturage conservatoire

Note : ce paragraphe se concentrera principalement sur le pâturage bovin en parcs, qui semble être le plus répandu sur les tourbières de montagne. Certains éléments seront donc à nuancer dans le cas d'un pâturage effectué par d'autres espèces animales.

Concernant les circuits de bergers (parcours), nous n'avons pas eu beaucoup de retours concernant des secteurs de tourbières. Il apparaît cependant clairement que le berger est l'élément central du dispositif, à travers la façon dont il mènera le troupeau. Il est important pour le berger et le gestionnaire de pouvoir travailler en confiance ; il incombe au second de spécifier clairement ses attentes au premier, et de discuter préalablement avec lui de la faisabilité des options choisies. De même, un retour sur les suivis est indispensable pour permettre au berger d'ajuster au mieux la conduite du troupeau, au cours de la saison ou sur l'année suivante (voir Muller & Meuret, *sous presse*).



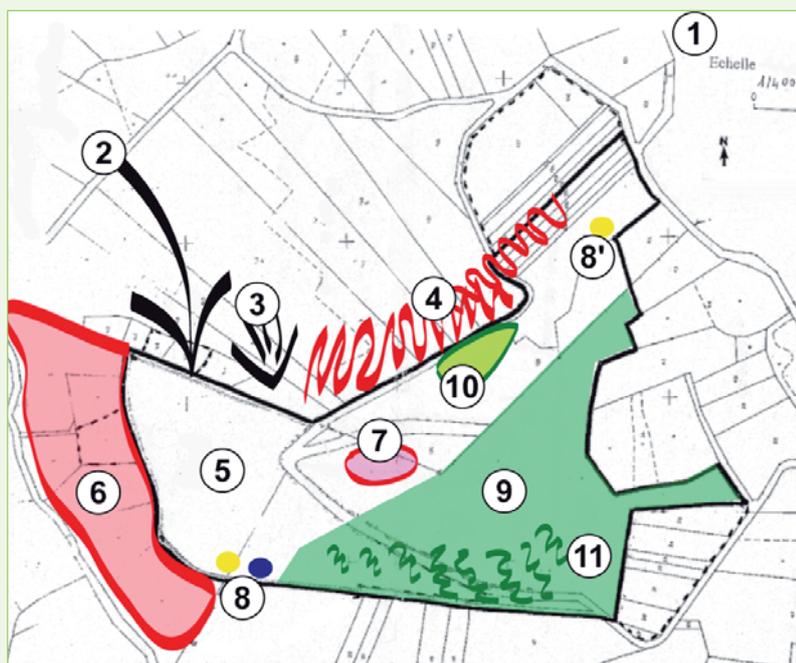
Mise en défens d'un trou d'eau en Forêt Domaniale d'Aubrac [12] / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

3.4.1. Penser les parcs de pâturage : la conception de « parcs-habitats »

En toute saison, il faut avoir à l'esprit que les parcs ne se résument pas à une zone d'alimentation. C'est un véritable "espace de vie" où d'autres activités du troupeau influent sur sa motivation alimentaire (Meuret, 2004 ; Agreil & al., 2005). Un ruminant (vache, chèvre, mouton...) doit se consacrer chaque jour à plusieurs périodes de rumination, activité qui lui permet de vidanger son rumen et de se remettre en appétit pour le repas suivant. Un site peut parfois être mal brouté, tout simplement car les animaux manquent d'appétit, n'ayant pu disposer de lieux de repos confortables pour leur rumination.



Equins pâturant un marais dans la vallée du Drugeon [25] / L. Jameau - Pôle-relais Tourbières



Proposition de feuille de route pour la conception d'un parc-habitat (d'après Agreil & al., adapté au cas des sites avec tourbières)

1. Se doter d'un fond cartographique reprenant les principales informations (idéalement photographie aérienne récente avec cadastre, et éventuellement données de végétation).

2. Placer le périmètre du site en gestion pastorale.

3. Repérer les sources principales d'inconfort pour le troupeau (vents...).

4. Repérer les structures de milieu améliorant déjà le confort de pâturage (bosquets, brises-vents...)

5. Repérer les lieux "inconfortables" et qui seront sous-utilisés.

6. Penser à négocier du foncier complémentaire améliorant l'habitat (zone de repos ombragée dans un bois attenant...).

7. Localiser le ou les lieu(x) de repos probable(s).

8. Penser les "points d'attraction" utiles pour répartir la pression de pâturage (points d'eau, pierres à sel...).

9. Repérer les zones-cibles à restaurer (zones colonisées par les ligneux...).

10. Repérer les espèces ou portions de milieux remarquables pouvant être perturbées par un pâturage inadapté (hauts-marais...), et le cas échéant les mettre en défens.

11. Rester raisonnable dans les travaux préalables envisagés.

12. Garder à l'esprit que le suivi du pâturage est vital, et pourra amener à des adaptations.

Les lieux et la gamme des aliments disponibles doivent pouvoir être mémorisés par les animaux ; il faut aussi raisonner le contenu d'un parc en fonction des habitudes du troupeau et de ses aptitudes à la circulation et à la curiosité. Les vaches, les chèvres et les moutons ont une bonne mémoire, et c'est elle qui les guide pour organiser spontanément leur circuit de pâturage, en enchaînant les lieux déjà connus, ou en prospectant des lieux similaires aux alentours. Il faut donc que l'espace et ses ressources soient mémorisables.

Si le parc est trop grand, ou trop labyrinthique, le troupeau consacra beaucoup de temps à circuler pour vérifier la nature et l'état des lieux, au détriment de sa consommation. C'est pourquoi, en matière de débroussaillage, il faut plutôt se contenter d'ouvrir quelques « portes » dans les broussailles trop épaisses, afin d'aider à la circulation du troupeau suite à une bonne mémorisation des lieux.

C'est ce que préconise notamment le CREN Limousin lors de la remise en pâture de tourbières à molinie ; il réalise alors des « lignes » de broyage permettant à l'animal de pénétrer dans la parcelle avant d'étendre son territoire.

Un milieu à pâturer fait aussi office d'habitat pour des animaux domestiques ayant, au préalable, appris à tirer profit de ses fonctionnalités. Un troupeau naïf ne s'y comportera pas de même qu'un autre déjà habitué à fréquenter des milieux similaires. Il est ainsi parfois hasardeux de demander à un éleveur, dont le troupeau est jusqu'alors resté à l'étable ou sur prairies cultivées, de s'engager subitement et efficacement sur un milieu très varié.



Troupeau de brebis Suffolk au Pond Tord [19] / J. Maingard - Pôle-relais Tourbières

Valoriser un habitat est une question d'apprentissage, qui s'opère de façon privilégiée dans le jeune âge, si possible aux côtés de la mère, ou en présence d'autres adultes expérimentés. Les élevages d'animaux allaitants ont ainsi un atout de plus, comparés aux élevages laitiers où les jeunes de renouvellement, étant isolés de leur mère dès la naissance, ont à réaliser eux-mêmes leur apprentissage pastoral.

On tiendra compte aussi des effets de barrière et de points d'attractions en évitant au maximum les zones les plus fragiles.

Lorsqu'on constate que le troupeau prospecte mal l'espace et se concentre trop sur ses "lieux préférés" (avec risque de surpâturage), il est préférable de chercher à mieux répartir la pression de pâturage en disposant judicieusement des "points d'attraction" (sel, point d'abreuvement, paille...) qui influenceront sur les circuits quotidiens. Ceux-ci doivent être mis en place, non pas sur les lieux déjà bien fréquentés (porte, abord du ou des reposoir(s), bord de route...), mais sur ceux habituellement délaissés ; en réalisant des circuits en "boucles" successives passant par les points d'attraction, le troupeau consommera ainsi mieux aux alentours.

La problématique de la fragilité de certaines espèces doit être incluse dans le choix des limites du parc clôturé. On pourra ainsi exclure certaines stations connues de plantes sensibles (mise en défens), et on pourra inclure au contraire certaines autres, tout en gardant en tête l'objectif principal qui est souvent le maintien de milieux ouverts. L'adaptation se fera ensuite par la rotation des zones pâturées d'une année sur l'autre, pour que la pression de pâturage ne soit pas égale sur toutes les zones.

La mise en défens peut aussi être à vocation expérimentale, afin de comparer des secteurs « vierges » à la parcelle pâturée, au niveau des communautés

végétales (composition, structure), des insectes, voire d'autres éléments comme l'avifaune, selon la taille du secteur concerné. Il faut tout de même garder en mémoire qu'un exclos n'est pas totalement sanctuarisé : les bêtes peuvent brouter les bordures de la placette si la clôture n'est pas adaptée ; les modifications des écoulements ou de la qualité de l'eau aux alentours pourront s'y faire ressentir ; les insectes peuvent s'y concentrer ; enfin, si les travaux sont menés à un degré de finesse important, la clôture pourrait influencer les résultats - par exemple, les piquets peuvent se révéler être des sites préférentiels pour les oiseaux en chasse, susceptibles d'impacter

les populations d'insectes-proies. Des expériences ont également démontré que l'impact de la faune sauvage pouvait s'avérer significatif.

Reste ensuite le problème de la taille des sites : si les superficies concernées sont réduites, la gestion différenciée (ouverture d'une portion, mise en défens de l'autre) apparaît difficile dans l'optique de constituer un parc conséquent. Mais, dans tous les cas, il s'agit de bien raisonner le contenu du parc (même petit) pour le troupeau (par exemple : « Y a-t-il une zone de repos confortable ? ») plutôt que seulement son contenant (des clôtures étanches).



Mise en défens de zones humides sensibles à Néouvielle [65] / F. Muller - Pôle-relais Tourbières



Point d'abreuvement en tourbière, Ménétrux-en-Joux [39] / L. Bettinelli - CREN Franche-Comté

3.4.2. La question de points d'abreuvement

En tête de bassin, les zones de sources constituent bien souvent des éléments d'intérêt sur le plan des écosystèmes. Ainsi de nombreuses zones humides se développent-elles sur de faibles superficies.

Il s'agit dans le même temps d'enjeux majeurs pour les éleveurs, dans la mesure où ces secteurs constituent des points d'abreuvement privilégiés. Les animaux sont donc amenés à s'y concentrer, entraînant des dégradations liées au surpiétinement et à la concentration de déjections (développement de flore nitrophile banale).

Dans les montagnes basques, où l'on a noté une augmentation du bétail, la pression de pâturage s'intensifie. L'impact se fait sentir sur de nombreux bas-marais et tourbières d'altitude, généralement de petite taille, qui sont utilisées comme points d'abreuvement.

La surfréquentation de ces zones peut perturber les écoulements superficiels, ce

qui provoque la formation de faciès d'assèchement, notamment pour les tourbières de type soligène (Malamoud, 2004).



Vaches gasconnes sur la tourbière de l'étang d'Estagnon [09] / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Il a cependant été observé qu'en période humide, les points hauts, secs, sont tout de même préférés aux points bas mouillés. Les animaux ne rentrent alors dans la tourbière que pour y trouver des espèces fraîches, et de l'eau en l'absence d'autres points d'eau.

La problématique principale de la montagne est donc, en l'absence de point d'eau, l'abreuvement des animaux en période sèche. Ce problème se pose également en plaine, mais les alternatives sont plus nombreuses car l'accès à l'eau est facilité.

En ce qui concerne les aspects techniques détaillés, les coûts, et les recommandations précises des différents types d'aménagements (pompes à prairies, abreuvoirs gravitaires...), vous trouverez sur le site de la Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières de Basse-Normandie des fiches techniques très précises sur ces sujets, ainsi que sur tous les aspects de gestion des cours d'eau en général (<http://cater.free.fr/page.php?page=intercom>).

3.4.3. La méthode GRENOUILLE : varier les aliments

Au pâturage sur milieux diversifiés, la motivation alimentaire résulte de la possibilité offerte à l'animal de comparer chaque jour ce qui est disponible, puis de se confectionner un régime varié (herbes fines, herbes à feuilles larges, feuillages d'arbres et d'arbustes, lianes, fruits). Dans des parcs clôturés, les niveaux de consommation sont alors près du double de ce qui est prévisible à partir de la valeur nutritive individuelle des plantes (Meuret & al., 2006). De plus, il existe un « effet menu », puisque les animaux ne consomment les plantes ni au gré des rencontres, ni par ordre décroissant de valeurs nutritives. Chez le mouton par exemple, c'est la possibilité de faire régulièrement en cours de repas des grosses bouchées, et ainsi de brouter plus vite sans trop se fatiguer, qui améliore beaucoup sa motivation. Il économise ainsi du temps pour trier ensuite les herbes les plus fines, celles qui ne lui permettent de ne faire que de petites bouchées (Agreil & al., 2004).

Les aliments permettant de faire de grosses bouchées, dits « économiseurs de temps », sont prélevés sur les herbes à feuilles larges, notamment celles en touffe, ainsi que la plupart des broussailles, qu'il s'agit donc de ne pas éliminer totalement

dans les parcs. Pour évaluer ces ressources, on propose la méthode de diagnostic GRENOUILLE (Agreil & al., 2004) présentée en encadré.

GRENOUILLE a été conçu suite à une série d'observations menées par l'INRA d'Avignon dans des parcs clôturés du Sud-Est de la France (Drôme, Ardèche) où les éleveurs ovins, sous contrat agro-environnemental, tablaient sur un impact important du pâturage sur les herbes et arbustes à fort pouvoir de colonisation (brachypodes, genêts...). Ils mettaient ainsi le troupeau en parc une ou deux fois par an, durant 2 à 3 semaines, avec une forte pression de pâturage (500 à 700 journées.brebis/ha).

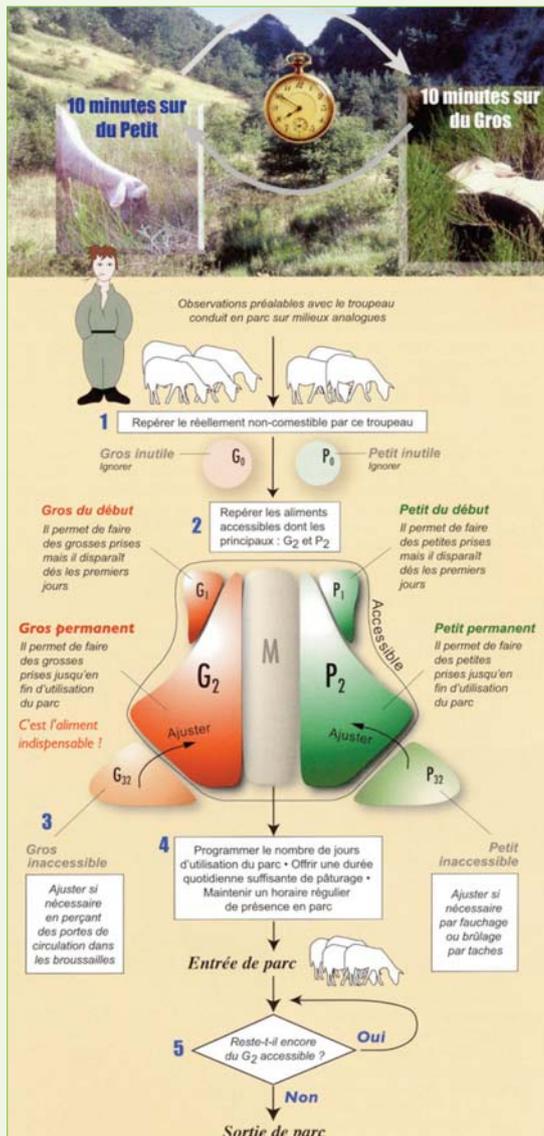
Cette méthode s'adresse aux éleveurs ou aux gestionnaires de milieux naturels. En l'état actuel, elle leur propose une manière de raisonner la conduite d'un troupeau ovin en parc sur milieu diversifié, notamment lorsqu'il s'agit de répondre à une préoccupation environnementale relative à un excès d'embroussaillage, tout en assurant une alimentation satisfaisante pour des animaux à l'entretien ou en fin de période d'allaitement. Elle favorise les aptitudes des brebis à organiser leurs repas en tirant profit des broussailles et des herbacées de gros

format. Elle est particulièrement utile lorsque la diversité de la végétation rend inadéquate la conduite du pâturage à l'aide des méthodes conçues pour les prairies assez homogènes, notamment le diagnostic de la hauteur d'herbe et du chargement moyen au pâturage.

Mais la méthode s'applique également aux caprins, et des expérimentations en cours dans les Bauges sur un alpage embroussaillé tendraient à montrer que les génisses font de même... une piste intéressante à suivre, et pour laquelle les retours d'expériences des gestionnaires sur des sites pâturés par des bovins peuvent s'avérer riches en enseignements.

Cette conception nous apparaît donc d'autant plus pertinente lorsque l'objectif est de recourir au pâturage afin de mieux conserver, voire de restaurer, un milieu naturel, c'est-à-dire riche de sa diversité végétale spécifique et structurale. Il demande cependant un temps d'adaptation pour connaître le milieu, la végétation et surtout les habitudes du troupeau, puisque le tri des éléments disponibles dans les différentes catégories se faisant selon ce que l'on sait qu'il mangera... ou pas.

La méthode de diagnostic GRENOUILLE (Agreil & al., 2005)



Un aliment "Gros" (G) est celui qui, du fait du format du végétal et de la densité de ses portions comestibles, permet aux brebis de réaliser de grosses prises alimentaires (plus de 0,10 g de matière sèche par prise environ). Un aliment "Petit" (P) est celui qui ne permet de réaliser que de petites prises alimentaires.

Il existe, par définition, un aliment "Moyen" (M), mais dont il est inutile de se soucier.

1. Ignorer le "Gros inutile" et le "Petit inutile", non comestibles.

Il s'agit des végétaux auxquels les animaux ne toucheront pas, ou si peu qu'il est inutile d'en tenir compte ; tout le reste est à intégrer dans la ressource alimentaire.

2. Ignorer le "Gros du début" et le "Petit du début".

Ce sont les végétaux très appétents, disponibles dès l'entrée en parc, et qui seront consommés totalement dès le ou les premiers jours. La repousse de ces végétaux doit être anticipée dans la mesure du possible, et intégrée pour la suite du pâturage dans les catégories « Petit tout le temps » ou « Gros tout le temps ».

3. Soigneusement repérer le "Gros tout le temps", car il s'agit de l'aliment indispensable à la stabilité des repas au fil des jours.

Exemples : touffes denses de graminées ou carex à feuilles larges, feuillages d'arbres, arbustes type genêts...

4. Repérer le "Petit tout le temps", qui doit idéalement être situé non loin du "Gros permanent".

Exemples : graminées à feuilles fines, petits arbustes à feuilles fines, petites annuelles disséminées.

5. Éventuellement intervenir sur le « Gros inaccessible » et le "Petit inaccessible" lorsque les autres « Gros » sont épuisés.

Par exemple par des débroussaillages très localisés ou du recépage d'arbustes pour le "Gros", par brûlage ou fauchage par taches pour le "Petit".

6. Le troupeau doit être sorti du parc lorsque le "Gros tout le temps" vient à manquer !

La méthode GRENOUILLE sert en effet à faire consommer en abondance et très confortablement des ressources diversifiées, et non pas à forcer des brebis affamées à consommer n'importe quoi. Il est essentiel en parallèle à cette évaluation de la ressource de veiller à ce que le troupeau dispose chaque jour d'une durée suffisante et confortable de pâturage (éviter d'offrir moins de 10 à 12 h par jour de présence en parc à des brebis à l'entretien). Veiller également, dans le cas où le troupeau est rentré chaque soir en bergerie, à ce que les horaires de présence en parc soient les plus réguliers possible. Dans les cas contraires, une durée de présence trop courte ou des horaires irréguliers, nous avons observé que des troupeaux étaient rendus incapables d'organiser leurs repas correctement, et les quantités et qualité de l'ingéré en pâtissaient très nettement.

3.5. La conduite fine du troupeau dans l'espace et le temps

Ceci passe par une prise en compte des calendriers, du climat, de la taille et de la position des sites notamment. Mais aussi, et ceci dans la juste continuité du dernier guide édité par le CREN Rhône Alpes (Agreil & Greff, 2008), une croissante considération des pratiques courantes en termes de conduite d'élevage, et comment une gestion environnementale peut s'y intégrer sans trop de difficultés, dans le cas où un pâturage est déjà existant.

3.5.1. Proposition de 6 règles d'action pour faire pâturer un parc clôturé (Agreil & al., 2005)

1. Accueillir des animaux en nombre suffisant afin qu'ils se comportent naturellement en troupeau (30 à 50 moutons ou 6 à 10 vaches par exemple).

2. Réserver l'usage des unités "UGB/ha" à l'échelle de l'exploitation et des aides agricoles annuelles.

3. Oublier la notion de "chargement optimum", conçue pour les prairies cultivées.

4. Pour gérer un site donné, spécifier les bons enchaînements saisonnalisés de la pression de pâturage (journées.animaux/ha à chaque saison de pâturage).

5. Pour orienter une dynamique de végétation, se donner des fourchettes empiriques de pressions de pâturage selon les saisons à partir des références déjà existantes.

6. Utiliser des diagnostics de terrain sur les portions de site à fort enjeu écologique afin d'ajuster à chaque saison la pression de pâturage.

3.5.2. Une rotation aménagée

La fauche tardive, mais aussi l'absence d'animaux dans les parcelles pendant la période principale de floraison sont des mesures souvent recommandées dans les politiques ou les plans de gestion des espaces naturels, afin de préserver, voire augmenter leur biodiversité. Ces pratiques permettent aux espèces végétales et aux oiseaux d'accomplir leur cycle de reproduction, et offrent aux insectes des abris et un habitat de qualité ainsi qu'une nourriture abondante, notamment pour les papillons. Il existe cependant peu de données quantifiant l'impact de ces pratiques sur la biodiversité en tourbière.

Une expérimentation, mise en place dans des prairies diversifiées de montagne, a permis de comparer un pâturage continu, avec un chargement calculé par les auteurs à 1,2 UGB/ha (voir 3.1.2. pour les réserves sur la notion de chargement !), à un pâturage tournant « aménagé » correspondant au même chargement (Farruggia & al., 2007). Les parcelles du pâturage tournant étaient composées de quatre sous-parcelles dont l'une était soustraite de la rotation après le premier passage début juin, le temps de la période principale de floraison, puis réintégrée début août jusqu'à la fin de la saison de pâturage. Cette mise en défens partielle du dispositif a permis de fortement augmenter la note d'intensité de floraison dans les parcelles soustraites au pâturage (Farruggia & al., 2007), et de multiplier par 2,1 le nombre de papillons, et par 2,5 leur nombre d'espèces sur l'ensemble du pâturage tournant. Ce mode de conduite du pâturage favorable à la biodiversité, ici pour des prairies classiques, pourrait s'insérer dans les pratiques de gestion des tourbières, à condition

d'adapter la pression de pâturage à ces milieux sensibles ; il faut également noter qu'il sera important de préciser clairement les attentes vis-à-vis du pâturage (voir 3.1.2). Ici l'objectif de favoriser les plantes à fleurs a visiblement été atteint ; mais dans le cas où l'on chercherait à limiter la colonisation des ligneux, voire à les faire régresser, une adaptation de l'itinéraire technique serait à réaliser, par exemple en mettant les animaux sur le site au printemps, lorsque les jeunes pousses sont appétentes.

C'est justement la méthode utilisée par les éleveurs limousins en production bovine à viande, dont les tourbières et les landes humides sont utilisées en parcours. Pour un lot (vingt têtes) de vaches suitées (mères de plus de trois ans), la mise à l'herbe sur tourbière (toujours associée avec une prairie naturelle) est réalisée entre le 15 mai et le 15 juin (en fonction de l'humidité). En général, le troupeau consomme les parties sèches, et le cas échéant les bords de ruisseau et de tourbières. Et ce n'est qu'à partir du 15 juin que les vaches vont consommer le centre de la tourbière (observations de l'éleveur). Le pâturage est de courte durée (2 semaines) mais fréquemment répété, surtout en période de foin. La parcelle est en général clôturée en fixe, puis les îlots de gestion sont clôturés en mobile. Ces îlots incluent donc une partie de prairies permanentes et une partie en tourbière, sur une surface moyenne de 15 à 20 ha, en pâturage très extensif (20 à 30 vaches pour 2 semaines, soit des pressions de 14 à 28 journées.vaches/ha à chacun des passages. La tourbière subit donc des pressions de pâturage faibles, et réparties sur la surface et

dans le temps, ce qui permet le maintien d'habitats nécessaires aux espèces qui lui sont inféodées.

Toujours en Limousin, cette fois-ci dans le cadre d'une convention de gestion du CREN avec un jeune éleveur de brebis limousines et 4 propriétaires privés, cette méthode a été reprise pour la préservation de 26 ha de milieux remarquables, dont une grande majorité de milieux tourbeux (CREN Limousin, 2008). Quelques travaux ont été nécessaires, notamment du bûcheronnage et la pose d'une clôture fixe. La technique de pâturage utilisée consiste à faire tourner le troupeau sur des surfaces relativement modestes durant une courte période (deux à quatre jours). Ainsi, durant l'année 2007, le troupeau de 300 brebis a pâturé 24 îlots, d'une taille moyenne de 0,8 hectares. Débutée au mois de mai, la saison de pâturage se termine à la fin du mois d'octobre. Au total les brebis restent 76 jours sur le site (chargement annuel moyen = 0,5 UGB/ha ; à noter cependant que cette valeur est indicative puisqu'annualisée ; voir aussi 3.1.2. pour les réserves sur la notion de chargement).

Le CREN Limousin propose pour sa part des contrats où l'éleveur va pâture 1/4, voire 1/3 de la tourbière, offrant ainsi une diversification des habitats au sein d'un même site. Sur les sites qu'il gère, il finance les travaux d'ouverture du site. Il n'y a pas de contraintes de dates de pâturage, mais une mise à l'herbe plus tôt (courant juin) pour attaquer la molinie et les joncs pendant la croissance végétative, dans le cadre d'une gestion différenciée au sein d'un même site.

3.5.3. Limitation des traitements sanitaires

Lorsque les animaux sont traités avant la mise à l'herbe, les molécules actives des produits vétérinaires utilisés peuvent se retrouver au niveau des fèces et exercer une influence néfaste et prolongée sur la nature et les effectifs des taxons (insectes coprophages notamment) liés aux déjections du bétail. La mortalité excessive de ces organismes va ralentir la dégradation des fèces (temps de décomposition parfois plus que doublé), et indirectement dégrader la qualité sanitaire des estives et des cours d'eau de montagne (accumulation de déjections non décomposées). Des effets sur la boucle microbienne (voir Chapitre 3), ainsi que sur les effectifs d'autres espèces comme les

prédateurs d'insectes coprophages, sont aussi à craindre.

Tous les traitements ne sont pas équivalents en termes d'effets induits et de rémanence. Ainsi l'Ivermectine a été particulièrement montrée du doigt, puisqu'elle agit à faible concentration, persiste dans l'organisme (ce qui permet la protection de l'animal traité pendant plusieurs semaines), et est utilisée aussi bien pour les troupeaux que pour les animaux domestiques et l'homme.

Une part très importante du produit est éliminée progressivement dans les fèces des animaux traités, où le produit conserve toute son efficacité insecticide (en particulier pour

les diptères) durant une longue période. Des scientifiques ont montré en laboratoire que des insectes coprophages pouvaient être encore intoxiqués en consommant des bouses d'animaux traités 40 jours auparavant (les adultes résistent assez bien, avec cependant une baisse de la fécondité ; le développement larvaire et le taux d'émergence sont eux nettement affectés). En cas de traitement par bolus, la durée de toxicité significative s'étend jusqu'à 143 jours ! De plus il semblerait – sans qu'on ne sache l'expliquer – que les bouses des animaux traités à l'Ivermectine soient plus attractives que celles des animaux non traités, augmentant ainsi les facteurs de risque pour les insectes coprophages.

Il faut cependant noter que depuis quelques années, de nouvelles molécules de substitution, agréées par l'agriculture biologique, se développent pour répondre aux objectifs de conservation des milieux naturels.

Sur le site Natura 2000 de Madres-Coronat [09-11-64], des préconisations spécifiques ont été faites par l'Association gestionnaire de la Réserve Naturelles de Nohèdes. Elles précisent que, dans le cadre de partenariats avec les acteurs locaux, mais aussi pour l'entretien du troupeau de la structure gestionnaire, il serait souhaitable de sensibiliser les éleveurs et les vétérinaires utilisant des vermifuges à forte rémanence (Ivermectine) sur l'impact de ces substances, et de déconseiller certains produits pour promouvoir des produits

de substitution avec une molécule active de la famille des milbémycines.

D'autres mesures sont prescrites :

- dans le cas de l'utilisation de l'ivermectine, sensibiliser les éleveurs afin de privilégier les voies d'administration sous-cutanée et orale, proscrire la voie d'administration du bolus, éviter le traitement en saison froide et sèche, éviter l'utilisation durant la période allant au minimum du mois de juin au mois d'août, et réaliser régulièrement des coprologies avant traitement ;
- dans le cas de l'utilisation de l'ivermectine ou des milbémycines, proposer les mesures suivantes : isoler les animaux traités en stabulation ou les maintenir dans un espace res-

treint pendant quelques jours, et stocker les fèces pendant les 10 jours suivant l'administration ;

- dans le cas de l'utilisation des avermectines, demander que le traitement soit effectué au moins un mois avant la mise à l'herbe, y compris dans le cas des transhumants, ou bien préconiser un traitement de fin d'automne ou d'hiver ;
- conseiller des produits de substitution à l'ivermectine ou des produits autorisés par l'agriculture biologique.

Vous trouverez sur notre site le tableau présentant les spécialités déconseillées et les alternatives proposées.

4. QUELQUES EXEMPLES DE PÂTURAGE SUR DES TOURBIÈRES DE MONTAGNE

4.1. Le Conservatoire Départemental des Sites Lozériens (CDSL) [48]

Modalités de pâturage sur les sites du CDSL en convention de gestion

Sites et milieux dominants	Principaux habitats humides présents*	Nombres de parc(s)	Surfaces parc (ha)	% zone humide	Périodes mise en pâture	Limites CI** préconisées (UGB/ha)	CI** effectifs (UGB/ha) données 2007-2008	Pressions pastorales en nb jours. bovin/ha données 2007-2008
Site 1 (Valat de Malaval) Tourbière	54.5, 54.4, 51.1, 37.22, 37.32	1	7,5	50	01/07 - 31/10	1	0,6 à 1	80
Site 2 (Valat de Pouchiou) Tourbière	51.1, 54.4, 54.5, 37.32	2 en rotation	6,25	80	15/06 -	1	1,1	60
			7,38	65	31/10	1	1	40
Site 3 (Auranchet) Tourbière	51.1, 54.4, 54.5, 37.21	1	4,78	95	15/07 - 30/09	1 (si bovins) pas de limite CI** si ovins au passage	1,2	10 à 20
Site 4 (Bos Grand) Tourbière boisée	44.92, 44A2, 54.4	1 en rotation avec le site 5	4,7	30	25/06 - 10/10	1,2	1,5	40 - 50
Site 5 (Ronc de la Gleize) Tourbière	54.4, 54.5, 51.1, 44.A2	1 en rotation avec le site 4	11	50	01/07 - 31/10	0,6	0,6	40 - 50
Site 6 (Les Crozes) Tourbière	51.1, 54.4, 54.5, 44.92	2	21,5	50	20/06 -	0,6	0,6	30 - 50
			20	40	15/10	0,6	0,5	40 - 50
Site 7 (Montredorte basse) Prairies humides et micro-tourbières	37.32, 37.21, 37.22, 54.4, 51.1	1	50	20	15/05 - 31/10	1	< 0,8	100 - 10
Site 8 (Mont Redorte) Tourbières et prairies humides	54.4, 51.1, 51.2, 37.21, 37.22, 37.32	2	46,2	15	15/05 -	1	0,7	100 - 10
			41,8	30	31/10	1	0,7	110
Site 9 (La Tioule) Tourbière dégradée et prairies humides	54.4, 54.5, 51.1, 37.32, 37.21	1	140	20	25/05 - 15/10	0,5	0,2	20

* Codes Corine : 51.1 : Tourbières hautes à peu près naturelles ; 51.2 : Tourbières hautes dégradées ; 54.4 : Bas-marais acides ; 54.5 : Tourbières de transition ; 44.92 Saussaies marécageuses ; 44.A2 : Bois tourbeux de Pins sylvestres ; 37.21 : Prairies humides atlantiques et subatlantiques ; 37.22 : Prairies à Jonc acutiflore ; 37.32 : Prairies à Jonc rude et pelouses humides à Nard.

** Chargement instantané

La grande majorité des tourbières de Lozère est pâturée par des troupeaux bovins en période estivale. La pression pastorale est variable : elle peut être forte sur des périodes longues (pâturage d'estives sur plusieurs mois) ou courtes (rotations), avec des conséquences négatives plus ou moins ponctuelles mais régulièrement observées sur ces milieux.

Face à ce constat, le CDSL tente de développer des partenariats avec les agriculteurs afin de limiter les effets négatifs du pâturage par l'adaptation des pratiques pastorales : agrandissement ou réorganisation de parcs de pâturage, adaptations des périodes de pâturage, chargement instantané généralement limité à 1 UGB/ha (chargement de référence instauré comme « garde-fou » au niveau départemental afin de se prémunir vis-à-vis de conseils techniques parfois inadaptés dans un contexte d'estives impliquant de longues périodes de pâturage)...

Sur les sites en conventions de gestion (voir tableau page précédente), les pressions pastorales sont en général de l'ordre de 50 jours.bovin/hectare, mais peuvent varier de 10 à 110 jours.bovin/hectares. L'état de conservation des tourbières, la surface des parcs de pâturage (de 4 à 140 hectares), la proportion d'habitats humides au sein des parcs (de 10 à 95%) sont pris en considération, de même que les pratiques agricoles actuelles et passées, associées aux exigences de gestion de l'herbe à l'échelle des unités de gestion pastorales.

Quelques résultats

Les premiers partenariats développés avec des agriculteurs datent de 1996, et des suivis réalisés sur la plupart des sites permettent de disposer d'un certain recul sur la gestion pastorale des tourbières, avec des résultats relatifs à la flore plutôt concluants (maintien ou augmentation des espèces d'intérêt patrimonial et de la richesse floristique des sites).

Les résultats les plus probants ont lieu sur le site 1 ; jusqu'en 2001 et durant au moins 5 ans, il a fait l'objet d'une gestion pastorale axée sur la lutte contre l'embroussaillage (OLAE « déprise » ciblée sur les landes sèches et pelouses montagnardes, mais inadaptée pour les tourbières) : chargements instantanés très forts (5 à 10 UGB/ha) sur de courtes périodes, pâturage précoce (dès mai) et conséquences importantes sur la tourbière (fort piétinement, destruction de la strate muscinale...). Suite au développement d'un partenariat entre le Conservatoire et l'agriculteur, et grâce à la volonté affirmée de ce dernier d'adopter une gestion durable sur l'ensemble

de son exploitation, ces pratiques ont été profondément modifiées à partir de 2002 : période de pâturage retardée, ouverture de parcs, chargement instantané inférieur à 1 UGB/ha associé à une augmentation du nombre de jours de pâturage... Le suivi réalisé met en évidence une nette dynamique des sphaignes et la progression d'autres espèces typiques des habitats tourbeux, parmi lesquelles certaines restent emblématiques (Droséra à feuilles rondes et canneberges).

Le risque encouru lors d'une diminution du chargement peut être le développement d'espèces à fort pouvoir d'expansion (saule, bourdaine...). La question s'est posée sur ce site où joncs et bouleaux sont présents, mais leur expansion n'est pas avérée (d'une manière générale, le Jonc acutiflore est régulièrement abrouti sur les sites en convention ; l'abrouissement du Jonc diffus paraît par contre beaucoup plus épisodique). A noter que la tourbière, pâturée jusqu'en 2003 par des vaches Aubrac, est aujourd'hui pâturée par des Aurochs reconstitués.

4.2. La Communauté de communes de Frasné-Drugeon (CFD) [25]

La CFD a quant à elle pris le parti d'utiliser le pâturage comme mode de maintien des milieux ouverts, et notamment pour les sites perturbés, nombreux sur son territoire : nombre des tourbières qu'elle a en gestion ont ainsi été drainées par le passé. Ces sites sont donc pâturés depuis une dizaine d'années par des agriculteurs locaux et le troupeau de la CFD, sachant que quelques uns ne sont pâturés qu'un an sur deux (voire trois). La problématique a donc été de promouvoir ces milieux afin d'intéresser les

agriculteurs à y mettre leur troupeau, et ensuite de mettre en place la gestion la plus adaptée sans trop d'expériences préalables sur ces milieux. Une ouverture du milieu a été pratiquée dans les sites les plus envahis, afin d'y faire pénétrer le troupeau. Le technicien de la CFD s'occupe également d'assurer le bon état des clôtures avant l'entrée des bêtes (généralement début juin). A noter que les terrains les plus intéressants sont réservés à ces troupeaux privés (accès aisé, grands parcs permettant de tenir sans



Tourbière pâturée en Aubrac / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Le pâturage a été initié à la demande du Conservatoire sur un seul site (site 2), à partir de 1997, afin de limiter l'expansion du Saule à oreillettes (*Salix aurita*) et favoriser le maintien du Bouleau nain (*Betula nana*). Associé à des travaux de coupes (avec préservation de tire-sève) réalisés au préalable, le pâturage a probablement contribué à contenir la dynamique du saule, peu marquée aujourd'hui.

Basée sur la responsabilisation et l'accompagnement technique des agriculteurs afin de développer des modes de gestion pastorale plus adaptés à la gestion durable des milieux tourbeux, la démarche du Conservatoire des sites lozériens est confortée depuis 2004 avec la mise en place d'un service d'aide à la gestion des zones humides. Malgré des résultats plutôt concluants, le développement de ces actions dépend toutefois de la capacité technique, parfois très réduite, des agriculteurs à modifier leurs pratiques (dans le cas de retraits d'animaux par exemple).



Troupeau de chevaux Comtois pâturant en bas-marais à sphaignes, Frasné [25] / L. Jameau - Pôle-relais Tourbières

déplacement jusqu'à la fin de la saison, généralement le 15 octobre, voire début novembre).

Sites et milieux dominants	Nombres de parc(s)	Surfaces site (ha)	Surfaces parc (ha)	Périodes mise en pâture	Animaux utilisés	Chargements annuels (UGB/ha/an)	Remarques	Modalités de mise en place du pâturage
Site 1 (Houtaud - grand communal) Tourbière basse alcaline (54.2)	1	7,13	7,13	25/09 - 29/10	Equins Haflinger x Ford et Haflinger x Konik	< 0,5		Troupeau de la CFD
Site 2 (Sainte-Colombe - la Seigne) Prairie à molinie tourbeuse + buttes de sphaignes (37.31)	1	4,85	4,85	03/05 - 27/06	Equins Haflinger x Ford et Haflinger x Konik	1		Troupeau de la CFD
Site 3 (Sainte-Colombe - La Loitière) Bas-marais alcalin (54.2)	1	15,54	15,54	11/06 - 10/09	Chevaux Comtois	0,3	Faible chargement (4 chevaux) car milieu sensible et chevaux lourds ; bon maintien des sphaignes et droseras.	Contrat N2000
Site 4 (Bannans - Gouterot) Bas-marais alcalin (54.2)	1	15,8	15,8	25/07 - 16/10	Chevaux Konik Polski	0,5		Contrat N2000
Site 5 (Dompierre-les-Tilleuls Grande Tourbière) Bas-marais acide (54.4)	1	6,38	6,38	01/06 - 01/11	Chevaux Comtois et Charolaises	1,5		Contrat N2000
Site 6 (Bouverans - Grand Marais) Tourbière haute à peu près naturelle (51.1 ; 37.31)	1	12,31	12,31	01/07 - 01/11	Chevaux Comtois	0,8		Contrat N2000
Site 7 (Bonnevaux - le Varot) Communautés à grandes laïches (53.2)	1	22,68	5,93	19/06 - 31/10	Highland cattle	0,7	Milieu défriché en pâturage	Contrat N2000

*Codes Corine : 51.1 : Tourbières hautes à peu près naturelles ; 53.1: Roselières ; 53.2 : Communauté à grandes laïches ; 54.2 : Bas-marais alcalins ; 54.4 : Bas-marais acides ; 37.31 : Prairies à molinie et communautés associées.

Les propriétaires de troupeaux bénéficient de la mise à disposition gratuite des terrains, à condition de signer une convention impliquant les restrictions suivantes :

- pas de points de nourrissage (fourrage, pierre à sel), mais apport ponctuel de pain ou granulés autorisé ;
- prise en charge de la réfection des clôtures en cas de problème survenant pendant la saison de pâturage ;
- la surveillance du troupeau reste à leur charge ;
- tenue d'un cahier de pâturage permettant de suivre les entrées/sorties de bêtes ;
- en cas de problème constaté par le technicien, qui effectue des visites régulières, la CFD peut demander d'ajouter ou retirer des bêtes

pour préserver le milieu (en cas de surpâturage, les zones atteintes sont également mises en défens à l'aide de clôtures mobiles) ;

- pas de traitement antiparasitaire à moins de 3 semaines de l'entrée dans les parcs.

Quelques résultats

Après une dizaine d'années de pâturage, l'objectif de maintien des milieux ouverts est largement rempli ; les quelques zones mises en défens illustrent bien le fait que cette ouverture a été permise par le pâturage. Une étude plus approfondie a été menée par le Conservatoire Botanique National de Franche-Comté pour tenter de mettre en évidence l'évolution floristique des sites soumis au pâturage, afin de pouvoir notamment réajuster les chargements, ainsi que les dates de pâturage si nécessaire. Les résultats détaillés vous sont présentés dans le chapitre 8.

Les contraintes imposées aux agriculteurs (date, nombre d'animaux, limitations des traitements sanitaires) ont bien été intégrées, et leur acceptation a été facilitée sinon permise par la contractualisation dans le cadre de Natura 2000.



Troupeau Haflinger x Fjord en bas-marais, Frasne [25]
L. Jameau - Pôle-relais Tourbières

4.3. Le Pays basque français [64]

Dans le massif du Mondarrain, dans le Pays basque français, le pâturage de placages tourbeux s'avérait nécessaire au maintien d'un degré d'ouverture du milieu suffisant, afin que la plus grande diversité botanique puisse s'exprimer. Cependant le CREN Aquitaine savait que la concentration, même temporaire, d'animaux sur ces zones pouvait détruire ou altérer par effet mécanique la végétation caractéristique des tourbières et éroder le substrat tourbeux. En outre, le stationnement de ces animaux et leurs

déjections risquaient d'engendrer un enrichissement en azote et de modifier le type de végétation au profit d'espèces plus communes. Ces phénomènes étaient ponctuellement observés sur les sites.

Le secteur est essentiellement parcouru par les équins et ovins, mais la dégradation de ces placages tourbeux est surtout liée au stationnement et aux passages répétés des équins et bovins sur ces zones humides. C'est pourquoi dès 1997, 3 types de gestion pastorale ont été expé-

rimentés et suivis pour pouvoir ensuite comparer leur efficacité en matière de conservation du patrimoine naturel :

- la mise en défens totale sur un placage tourbeux : la clôture interdit complètement l'accès du bétail à la zone humide ;
- la mise en défens partielle ou sélective sur deux autres placages : les clôtures laissent un libre accès aux ovins, mais empêchent le passage des équins et bovins ;
- le libre accès laissé au bétail sur un quatrième placage tourbeux.



Clôture sélective permettant la mise en défens partielle d'un placage tourbeux, Mondarrain [64] / CREN Aquitaine

Ces premiers relevés nous ont amené à formuler 3 hypothèses :

- la mise en défens totale semble entraîner une diminution des sphaignes et des espèces inféodées aux placages tourbeux au profit d'*Anthoxanthum odoratum* et de *Juncus acutiflorus*, devenues les espèces dominantes ; l'absence de pâturage pourrait être la principale cause ;
- le surpiétinement du placage témoin semble ne pas permettre à la végétation caractéristique de ces placages tourbeux

de se développer ; cependant, l'érosion du substrat crée des conditions favorables à l'extension d'espèces pionnières patrimoniales comme *Drosera intermedia* ;

- la mise en défens partielle ou sélective montre les résultats les plus encourageants. Les espèces inféodées aux placages tourbeux et les sphaignes se maintiennent ou gagnent en contribution spécifique. Pour certains habitats, on observe même une recolonisation de l'espace par les sphaignes, et une augmentation de la

contribution spécifique de *Lycopodiella inundata*. Le pâturage de ces deux placages par les ovins ne semble donc pas remettre en question la conservation des habitats et espaces naturels remarquables.

La poursuite des expériences, associées à un suivi fin des évolutions, permettra de confirmer ces hypothèses, et d'ajuster au mieux la gestion de ces sites dans l'optique de gestion qui y a été décidée.



Paysage typique des Hautes Chaumes du Forez [42] / S. Barthel - CREN Rhône-Alpes

4.4. Mesures Agro-Environnementales territorialisées : le CREN Rhône-Alpes et les Hautes Chaumes du Forez [42]

4.4.1. Description de la démarche

Milieus et enjeux

Les Hautes Chaumes constituent la partie sommitale des Monts du Forez, à la frontière entre les départements de la Loire [42] et du Puy-de-Dôme [63]. Elles s'étendent sur une vingtaine de kilomètres de long, pour une largeur oscillant de 1 à 7 kilomètres et une superficie d'environ 10 000 hectares ; l'altitude va de 1200 à 1634 mètres (Pierre-sur-Haute). Ce plateau de moyenne montagne, ceinturé par des forêts, est dominé par des landes et pelouses, mais abrite aussi un grand nombre de sites tourbeux ou paratourbeux. Cette mosaïque d'écosystèmes offre une richesse faunistique et floristique remarquable, avec pour les milieux tourbeux 16 espèces protégées,

Le constat initial

- L'intérêt écologique du site est lié aux pratiques agro-pastorales traditionnelles ;
- ce territoire est encore fortement utilisé par les agriculteurs (5 structures collectives, 78 exploitants individuels) ;
- il représente un enjeu réel pour l'équilibre fourrager des exploitations (d'après un diagnostic de la Chambre d'Agriculture de la Loire) ;
- la dynamique agricole y reste forte (AOC Fourme de Montbrison, implications de la profession dans les mesures agri-environnementales).

Mise en place des MAEt

Elles constituent une troisième série de mesures agri-environnementales en 10 ans, après les OLAE et les CTE-CAD départementaux. 180 hectares de milieux humides sont potentiellement « ouverts » à la contractualisation sur les 600 hectares de zones humides du site Natura 2000 (tourbières, prairies humides, boisements de bouleaux sur tourbe...).

Leur mise en place (2008-2013) s'appuie entre autres sur :

- une co-animation technique du dispositif par le CREN et la Chambre d'Agriculture de la Loire, avec une implication importante de tous les agriculteurs potentiellement concernés ; la DDEA de la Loire est l'opérateur réglementaire ;
- un suivi global du dispositif assuré par le groupe de travail

dont le Droséra à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), l'Andromède à feuilles de Polium (*Andromeda polifolia*), la Canneberge (*Vaccinium oxycoccos*), la Laïche des bourbiers (*Carex limosa*) en abondance, ou encore 2 papillons strictement inféodés aux zones humides : le Nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris*) et le Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*).

Le site Natura 2000 (FR 8201756) comporte quant à lui 6 136 hectares dans le département de la Loire, dont 50% environ de milieux agro-pastoraux ; la démarche mise en place par le CREN, en partenariat fort avec les acteurs locaux, y est exemplaire.

Cet équilibre est menacé par des modifications de pratiques conduisant à délaisser certains secteurs, qui se boisent, au profit d'autres qui voient l'agriculture s'intensifier (fertilisation, surpâturage...).

L'un des principaux objectifs du Docob (2007) est donc de « maintenir les milieux agro-pastoraux remarquables par une agriculture extensive et équilibrée », afin de maintenir le patrimoine floristique et faunistique tout en assurant une mise en valeur paysagère et agricole. La réalisation de cet objectif s'est faite à travers l'instauration de mesures agri-environnementales territorialisées (MAEt).

agricole, avec un appui scientifique extérieur (INRA Avignon) ;

- la mise en place de plans de gestion pastoraux avec des suivis annuels permettant un ajustement en « temps réel » ;
- une complémentarité entre les différentes politiques publiques.

Les ambitions sont :

- d'assurer la continuité de l'ancienne OLAE, qui présentait un réel intérêt environnemental, contrairement aux CTE-CAD ;
- d'adapter les cahiers des charges au contexte agricole local ;
- de proposer un nombre de mesures restreint malgré la diversité des habitats naturels ;
- d'assurer un accompagnement technique des éleveurs

(administratif, ainsi que pour les diagnostics pastoraux et les suivis) pour viser simultanément les pertinences écologique et agricole ;

- d'ajuster les pratiques à la complexité des milieux (mosaïque) et aux exigences du système de production de chaque exploitation ;
- d'améliorer la connaissance des

liens entre les pratiques agricoles et les milieux ou espèces ;

- d'assurer une animation forte sur le territoire, et le suivi global du dispositif sur les Hautes Chaumes ;
- un taux de contractualisation de 55% des surfaces potentielles éligibles, soit 1800 ha sur 3350 ha.

Un premier bilan (fin 2009) a montré que les surfaces engagées en MAEt atteignent environ 1250 hectares (600 ha d'estives collectives et 650 ha d'exploitations individuelles), dont 90 hectares de milieux humides.

Extrait du cahier des charges du site Natura 2000 des Hautes Chaumes du Forez [42]

MAE n°1 : Milieux humides - tourbières, prairies humides

(ne peut être contractualisée seule : obligation de réaliser un plan de gestion pastorale sur les parcelles de landes, pelouses et prairies en mosaïque avec les milieux humides, le but étant que la gestion agri-environnementale se fasse sur toute l'entité).

Intitulé de la mesure	Description de la mesure	Prix
Socle PHAE		30 €/ha/an
Herbe-01	Enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de pâturage.	17 €/ha/an
Herbe-04	Ajustement de la pression de pâturage sur certaines périodes : - chargement entre 0.2 et 0.5 UGB/ha/saison (90j) - élimination des refus et des ligneux (selon diagnostic) après le 01/09.	33 €/ha/an
Herbe-05	Retard de pâturage sur prairies et habitats remarquables humides : - pâturage ou fauche à partir du 15/07.	42 €/ha/an
Option : Milieu-01	Mise en défens temporaire de milieux humides remarquables.	41 €/ha/an
Total		47 à 122 €/ha/an (163 si option)
Interdits : intrants, travail du sol, brûlage, semis, drainage, affouragement.		
Objectif de contractualisation : 180 ha sur 600 ha.		

Organisation de l'animation des MAEt sur les Hautes Chaumes

● **Janvier - février** : réunions intercommunales de présentation des MAEt et premières prises de rendez-vous avec les agriculteurs intéressés.

● **Mars** : rencontres avec les agriculteurs volontaires, simulations personnalisées : cartographie des parcs, pratiques habituelles de l'exploitant, données sur les chargements et circuit sur la saison

débouchant sur les types de contrats possibles et les ajustements à prévoir.

● **Avril** : séance collective de montage des contrats en mairies ou (exceptionnellement) à la ferme, contractualisation sur registre parcellaire PAC avec DDEA/CREN/CA42.

● **Juin à août** : visites de terrain des techni-

ciens (CREN et Chambre d'Agriculture) avec l'agriculteur, réalisation des diagnostics pastoraux et environnementaux des parcs engagés et discussion des propositions de gestion pour le plan de gestion + suivis des parcs engagés les années précédentes.

● **Avant le 1^{er} septembre 2009** : rédaction des plans de gestion pastorale, validation CREN/Chambre/exploitant.

4.4.2. Le plan de gestion pastorale, un outil-clé

Objectif

Organiser la conduite des troupeaux pour assurer à la fois une valorisation fourragère des végétations et un maintien des qualités écologiques.

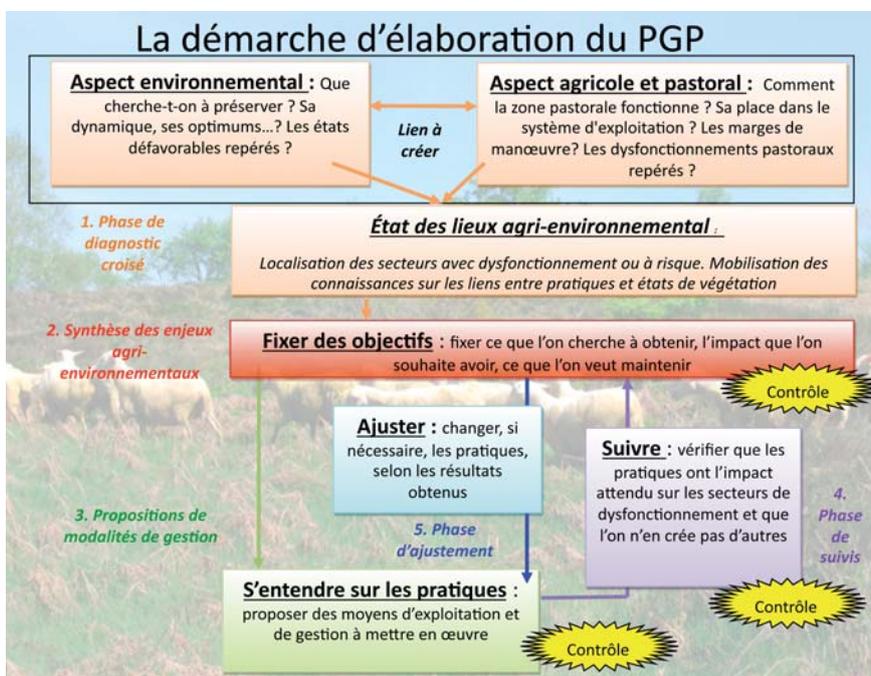
Enjeux

- Animer une démarche agri-environnementale ;
- Traduire des objectifs généraux en objectifs spécifiques au site ;
- Spécifier les liens entre la conduite proposée et les effets attendus ;

● Permettre les ajustements de pratique par les éleveurs. Idéalement, ce document :

- donne les éléments de diagnostic des végétations, des pratiques, des objectifs agricoles et environnementaux ;
- articule véritablement les objectifs de production et de conservation ;
- argumente la pertinence des évolutions de pratiques proposées pour atteindre les objectifs retenus ;
- propose des critères d'évaluation de la réussite des actions engagées.

Démarche d'élaboration



Critères d'évaluation de bon état de conservation des complexes tourbeux et milieux humides remarquables (dysfonctionnements prioritairement suivis et réponses préconisées en cas de problème).

- Pas ou peu de tourbe à nu (<10m², localisé), sphaignes globalement intactes, pas de déchaussement de touradons.
- Suivi de l'évolution du recouvrement en sols nus et de la recolonisation par la sphaigne, fréquentation du troupeau.
- Éviter la fréquentation des animaux (mise en défens possible), déplacement fréquent des points d'attraction du parc en évitant ces zones, création d'un point d'eau éloigné.

- Maintien de la mise en défens jusqu'à restauration complète (sol nu absent).

- Pas d'envahissement par des ligneux hauts (recouvrement <30% et bosquets localisés)
- Suivi de l'apparition ou l'évolution de jeunes semis, l'évolution de la hauteur initiale des individus à suivre (estimation de l'accessibilité pour les animaux en cas de

gestion par le pâturage et de leur impact - coup de dents, fréquentation), évolution de la densité des individus, présence de rejets en cas de coupe.

- Favoriser la consommation des animaux après la mi-juillet et en fin de saison (interdire l'accès aux zones attractives déjà bien pâturées), intervention mécanique en fin de saison envisageable notamment si les espèces ligneuses ne sont pas appétentes ou trop hautes, donc non accessibles - mais attention aux rejets (éviter de couper des espèces rejetantes, notamment si le pâturage est léger et si l'espèce est peu appétente, et favoriser dans ce cas le dessouchage), arrachage manuel des jeunes pieds. Les zones les plus fragiles feront l'objet de mise en exclos si l'on encourage le pâturage en zones humides.

- Dès que la strate herbacée environnante commence à être raclée ou que les sols nus sont marqués, l'éleveur devra sortir les animaux même s'ils n'ont pas consommé les ligneux hauts.

- Pas de végétaux sénescents accumulés (en bas marais).
- Suivi de la consommation effective des végétaux en fin de pâturage.
- Favoriser la consommation des animaux après la mi-juillet (déplacement de point d'attraction, interdire l'accès aux zones attractives déjà bien pâturées).
- Les animaux devront avoir consommé ces zones d'herbacées en fin de saison (strate muscinale visible), à condition que cela n'entraîne pas l'apparition de sols nus ou le surpâturage des autres zones du parc.

Analyse de la démarche

Facteurs de réussite

- inscrire les projets dans la durée
- reconnaissance mutuelle des enjeux du territoire (biodiversité/agriculture) et des compétences complémentaires des acteurs
- importance de la co-construction des projets
- animation technique autour du projet
- adaptation des cahiers des charges aux enjeux du site
- portage du projet par la profession, rôle du leader local

Facteurs de blocage

- discontinuité des dispositifs
- cadres administratifs parfois difficilement compréhensibles et contradictoires : frein à la contractualisation ou problèmes de contrôle ; le fléchage des crédits MAE sur Natura 2000 empêche la contractualisation sur d'autres zones qui auraient un intérêt
- temps de concertation et de co-construction du projet réduit
- ne pas « faire confiance au terrain »
- la traduction des enjeux environnementaux en gestion pastorale est ardue : difficulté technique pour proposer des pratiques cohérentes, beaucoup d'empirique et de subjectif
- aspects financiers : manque de moyens d'animation (financiers et humains) : montants des aides par hectare parfois jugés insuffisants pour être incitatifs, recours à l'autofinancement parfois nécessaire pour la réalisation du plan de gestion (jusqu'à 6 jours) ; disparités : le socle PHAE n'a pas le même montant dans les départements de la Loire et du Puy-de-Dôme

Conclusions

Les MAEt concilient la prise en compte des enjeux de préservation de la biodiversité et de maintien de l'agriculture de montagne ; en considérant la biodiversité comme une « co-production » agricole, elles permettent une valorisation du métier d'agriculteur, une amélioration du revenu et de l'image de l'agriculture du massif, et confortent les plus-

values « biodiversité » sur les produits de terroir, comme l'AOC « Fourme de Montbrison».

La démarche présentée ici a choisi de s'appuyer sur une obligation de résultats, ce qui facilite l'appropriation des enjeux par les agriculteurs et suscite un apport de connaissances mutuelles. Il est possible d'approfondir encore cette démarche, par exemple en

définissant des critères de résultats à atteindre sur la végétation dans les points de contrôle, en instaurant des systèmes de prairies fleuries...

Le système d'ajustement des conduites techniques des exploitations autour de la prise en compte de la biodiversité dans l'amélioration pastorale constitue une autre piste intéressante.

5. CONCLUSIONS

5.1. La nécessité d'expérimentations en tourbières

Depuis l'ouvrage de Dupieux (1998), les sites (re)mis en pâture se sont multipliés. Les retours d'expérience sont plus nombreux, plus variés ; cependant ils montrent que la prudence, l'observation et l'expérimentation gardent toute leur place dans ce domaine complexe, où interviennent de nombreux facteurs, parfois encore mal connus.

Il faut aussi que les gestionnaires soient à même de lier autant que faire se peut les pratiques pastorales et les résultats observés ; à ce titre, les retours d'expérience devront être aussi circonstanciés que possible, avec une description fine des milieux initiaux (incluant l'historique de leur utilisation), des résultats (incluant des éléments de dynamique de la végétation), et surtout un enre-

gistrement détaillé de la conduite du troupeau sur les sites (pression locale de pâturage, notamment sur les secteurs sensibles du parc, dates d'entrée et de sortie, etc.).

In fine, l'amélioration des connaissances sur le terrain ne pourra être pleinement exploitée que si le rapprochement entre les mondes des gestionnaires et des éleveurs se poursuit ; une collaboration avec les chercheurs traitant de pratiques pastorales, d'herbivorie et d'écologie animale et végétale pourra aussi apporter des éléments d'intérêt ; enfin, un rapprochement avec les services pastoraux régionaux ou départementaux doit être encouragé.

5.2. Des gestionnaires plus proches du monde agricole

Un pâturage conservatoire efficace pourra être développé selon deux axes, le contexte local pouvant amener le gestionnaire à privilégier l'un ou l'autre :

- idéalement, la gestion se basera sur des troupeaux existants, utilisés par des exploitants dans un but de production ; les objectifs de l'éleveur pourront parfois limiter l'application des mesures préconisées par le gestionnaire, mais cette formule présente de nombreux avantages :

- le gestionnaire n'a pas à devenir éleveur, et reste concentré sur son cœur de métier ;
- il pourra profiter des compétences de l'éleveur en termes de gestion du troupeau, mais aussi de connaissance fine du terrain ;
- il ancrera son action dans la société locale, favorisant l'appropriation de la démarche par les acteurs du territoire.

Il sera dans ce cas nécessaire pour la structure gestionnaire de disposer d'interlocuteurs solides, au fait des impératifs techniques et administratifs du monde agricole, pour engager une démarche partenariale avec les éleveurs locaux. En ayant conscience des réalités agricoles, ces personnes pourront ainsi parler le même langage que les agriculteurs et, ce faisant, s'avérer plus crédibles et plus convaincants. Savoir que votre interlocuteur maîtrise un minimum le sujet et ne pas l'entendre vous proposer des mesures à première vue aberrantes constituent des étapes vers une relation de confiance indispensable pour faire avancer les choses.

- Dans certains cas, la structure pourra choisir d'acquérir (ou de louer) un troupeau dédié à une gestion purement conservatoire, affranchi des impératifs de production animale. Il lui faudra alors investir de façon relativement lourde (animaux, matériel, personnel compétent) ; il faut donc s'assurer que la démarche de pâturage en sites « naturels » sera suffisamment pérenne pour permettre d'amortir ces coûts supplémentaires. Il faudra veiller en particulier à assurer la disponibilité de parcelles en quantité et qualité suffisantes pour entretenir le troupeau au fil des années. De manière générale, comme évoqué précédemment, une sensibilisation forte et généralisée des gestionnaires aux enjeux et réalités de l'agriculture constituerait une avancée



importante dans le rapprochement des deux mondes, et l'intégration plus marquée du pastoralisme dans les formations (initiales ou continues) des acteurs de l'environnement serait une bonne chose... En témoignent les nombreuses demandes en formation professionnelle sur le sujet, issues de gestionnaires régulièrement confrontés au pâturage (subi ou souhaité) mais conscients de leurs lacunes en la matière.

5.3. Vers une évolution des Mesures Agri-Environnementales

Les dispositifs d'aides à l'agriculture sont aujourd'hui quasiment incontournables pour les éleveurs, puisqu'ils constituent une partie non négligeable de leurs revenus. Ce sont donc des leviers puissants pour orienter le visage de l'agriculture de demain.

Les évolutions récentes semblent aller dans un sens d'une « éco-conditionnalité » plus marquée, et peuvent inciter à l'optimisme. Il ne faut cependant pas perdre de vue qu'il reste de nombreuses lacunes dans lesquelles certains agriculteurs ne manqueront pas de s'engouffrer, retardant d'autant la mise en place d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Ceci est d'autant plus dommageable pour le sujet qui nous concerne, puisque les zones humides ont déjà beaucoup régressé et sont, à plus forte raison en montagne, des milieux fragiles pour lesquelles les dégradations liées à un usage inapproprié peuvent s'avérer irréversible.

Un renforcement des clauses environnementales pour ces dispositifs d'aides serait donc intéressant.

Une autre marge de progrès concerne l'harmonisation des différents volets des politiques publiques, qui en l'état actuel des choses subventionnent parfois tout et son contraire. L'identification des mesures allant dans des sens opposés, et la sélection d'une ligne directrice unique à visée environnementale (suppression de fait des dispositifs concurrents) serait à n'en pas douter une opération à même de renforcer l'intégration de la préservation des écosystèmes dans l'agriculture de demain.

Aujourd'hui émerge, à partir de diverses expériences de terrain, l'idée qu'il serait plus pertinent de raisonner des contrats de pâturage agri-environnementaux sur la base d'un engagement de résultats (« *Faire pâturer de sorte à limiter l'invasion pas les ligneux.* ») plutôt que sur celle des actuelles obligations de moyens (« *Faire pâturer de telle à telle dates (strictes) un nombre donné d'animaux.* »). Ceci pour deux principales raisons : la variabilité interannuelle des conditions de croissance des plantes et de leur sensibilité au pâturage, notamment en situation de changement climatique, et le désir de permettre aux éleveurs de faire preuve de talent et d'imagination en ajustant leurs pratiques vis-à-vis d'un objectif explicite de résultat, situation moins débilante que celle d'avoir à appliquer des consignes sans assurance de résultat probant à la clef.

Ceci engage les gestionnaires de sites naturels à préciser les résultats attendus. Or, il nous faut admettre que nos connaissances restent très parcellaires, et qu'il est encore difficile de lier a priori des conduites de troupeaux et des résultats sur les milieux. Nous avons une certaine expérience de ce qui est assurément néfaste pour les écosystèmes en termes d'agriculture - globalement tous les excès, de drainage, de fertilisation, de pression de pâturage, etc., pour autant qu'on sache situer la limite dudit excès ! Il est en revanche bien plus compliqué de savoir comment des milieux, dans la plupart des cas impactés de longue date par l'activité

Tous ces éléments permettent de conclure à la nécessité d'une approche globale pour agir au mieux pour les milieux et les animaux ; cette évolution a déjà débuté, et on retrouve par exemple au sein du réseau des Conservatoires d'Espaces Naturels une Conférence Technique Thématique « Agriculture et pâturage » rassemblant les personnes intéressées et impliquées dans une spécialisation sur le sujet.

humaine, vont réagir à des conduites nouvelles, supposées bénéfiques. La réduction de la pression de pâturage va-t-elle réellement permettre une cicatrisation du milieu ? On ne peut pas toujours en être sûr, mais l'éleveur qui la met en place ne doit pas être pénalisé si le résultat n'est pas à la hauteur des attentes et suppositions du gestionnaire.

Il nous faut donc, avec les éleveurs engagés auprès de nous, les chercheurs et les services pastoraux, favoriser les connaissances, non pas sur les "conduites pastorales optimales" (qui ne le sont jamais que dans un contexte donné), mais sur les façons de raisonner et surtout d'ajuster les pratiques, au fil des saisons et des années, selon l'orientation des dynamiques écologiques plus ou moins cohérentes avec les résultats escomptés. Observer et ajuster deviennent ici les maîtres mots. L'empirisme, le savoir issu de la pratique, acquiert toute sa légitimité. L'empirisme a en effet bien de la valeur, pour autant que, comme ici, on fasse régulièrement le bilan des connaissances parcellaires locales, afin de, peu à peu et collectivement, en tirer des règles d'action à portée plus générale (Hubert, 2002).

D'ailleurs, l'empirisme et l'adaptation aux observations de terrain restent souvent de mise pour optimiser les préconisations de gestion. Un assouplissement du cadre administratif pourrait donc faciliter l'adhésion des agriculteurs et la mise en place des mesures agri-environnementales en collaboration avec les gestionnaires. A l'heure actuelle, la rigidité du système peut amener à obliger un exploitant à effectuer des actions inutiles, voire néfastes aux milieux qu'il est censé contribuer à protéger. Faut-il perpétuer à l'identique pendant 5 ans une pratique dont on s'aperçoit, au bout de deux années, qu'elle n'a finalement pas l'effet escompté et qu'elle dégrade l'habitat-cible ? Les réponses à ces problèmes passent par des aménagements en marge du dispositif (insertion de clauses circonstanciées dans des arrêtés préfectoraux par exemple) dont la légalité n'est pas même avérée. Le principal point à améliorer est sans conteste la prise en compte des changements spatiaux et temporels liés aux dynamiques des milieux et espèces : un oiseau peut nicher sur des parcelles différentes d'une année sur l'autre, de la même manière qu'une plante protégée peut fleurir à des dates différentes selon les conditions climatiques de l'année. A terme, ce serait donc la qualité et la quantité des résultats qui seraient améliorées par une plus grande adaptabilité des clauses... qui devra être soumise à un contrôle tout aussi adapté pour éviter les dérives !

Enfin une stabilisation de ces mesures permettrait aux agriculteurs comme aux gestionnaires de travailler plus sereinement, sans avoir sans cesse à se réadapter à de nouveaux dispositifs pour atteindre des objectifs restés inchangés. La continuité permettrait aussi à la valeur d'exemple de jouer à plein, et faciliterait l'adhésion plus importante des agriculteurs à des dispositifs dont ils auront pu voir qu'ils étaient appliqués avec succès par des voisins.



6. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

AGREIL, C. ; GREFF, N. (coord.) (2008). *Des troupeaux et des hommes en espaces naturels, une approche dynamique de la gestion pastorale.* Guide technique Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels, 87 p.

AGREIL C. ; MEURET, M. (2007). *Evaluer la valeur alimentaire d'une végétation.* Espaces naturels n°19, pp. 30-31.

AGREIL, C. ; MEURET, M. ; MILLOT, M. (2005). *Faire pâturer des sites naturels.* Plaquette INRA-FCEN, 4 p.

AGREIL, C. ; MEURET, M. ; VINCENT, M. (2004). *GRENOUILLE : une méthode pour gérer les ressources alimentaires pour des ovins sur milieux embroussaillés.* Fourrages, 180, pp.467-481.

ASSOCIATION GESTIONNAIRE DE LA RESERVE NATURELLE DE NOHEDES (2005). *Document d'Objectifs pour le site « Madres-Coronat », relatif à la mise en œuvre des Directives Oiseaux (CEE 79/409) et Habitats Faune Flore (CEE 92/43).* [en ligne]. URL : http://www.languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr/docob/FR9101473/tome_2_2.pdf

AUDIOT, A. (1995). *Races d'hier pour l'élevage de demain.* INRA Ed., 230 p.

CREN LIMOUSIN (2008). *La Gane des Nouhauts.* Lettre de liaison n°48, juin 2008.

DUPIEUX, N. (1998). *La gestion conservatoire des tourbières de France. Premiers éléments scientifiques et techniques.* Espaces Naturels de France - Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Programme LIFE-Tourbières de France, 244 p.

FISHER, S.F. ; POSCHOLD, P. ; BEINLICH, B. (1996). *Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grassland.* J. Appl. Ecol., 33, pp. 1206 - 1222.

GHIETTE, P. ; FRANKARD, P. (1998). *Premières données sur l'essai de gestion par pâturage de moutons dans la réserve domaniale des Hautes-Fagnes (Grandes-Fange).* Hautes-Fagnes, fasc. 3, pp.72 et ss.

HOWELL, J. (2005). *Les vaches auraient-elles aussi une culture ? Un éleveur du Colorado témoigne.* Fourrages, 184, pp.579-582.

HUBERT, B. (2002). *Avant-propos.* In : COLAS, S. ; MULLER, F. ; MEURET, M. ; AGREIL, C. (Eds.), *Pâturage sur pelouses sèches : un guide d'aide à la mise en œuvre,* Espaces Naturels de France - Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Programme LIFE-Nature Protection des pelouses relictuelles de France, 139 p.

LAPORTE, T. (2007). *Une gestion pastorale expérimentale des tourbières du Pays basque français.* L'écho des tourbières, n°14, pp. 13-16.

LICOPPE, A. (2005). *Cohabitation du cerf et du mouton dans le cadre de la gestion des milieux ouverts.* Forêt wallonne n°74, pp. 38-45.

MALAMOUD, A. (2004). *Quelle gestion pour les tourbières du massif Pyrénéen français ?* Mémoire de DESS « Management du territoire », Université de Franche-Comté, 106 p.

MEURET, M. (2004). *Concevoir des habitats pour troupeaux domestiques.* Espaces naturels, n°8, p. 11.

MEURET, M. (sous presse). *Modèle MENU : le berger vu comme un chef cuisinier.* In : MEURET, M. ; PROVENZA, F. (coord.), *Un savoir-faire de berger,* Eds QUÆ.

MEURET, M. ; AGREIL, C. (2007). *Des broussailles au menu.* Plaquette INRA, 4 p.

MEURET, M. ; DEBIT, S. ; AGREIL, C. ; OSTY, P.L. (2006). *Eduquer ses veaux et génisses : un savoir empirique pertinent pour l'agroenvironnement en montagne ?* Natures Sciences Sociétés 14, pp.343-352.

MEURET, M. ; GUERIN, G. (2003). *Concevoir des parcs pour l'été.* Réussir-Pâtre, n°505, pp.30-34.

MULLER, F. ; MEURET, M. (sous presse). *Le pâturage conduit par des bergers sur les sites des Conservatoires d'Espaces Naturels.* In : MEURET, M. ; PROVENZA, F. (coord.), *Un savoir-faire de berger,* Eds QUÆ.

PROVENZA, F.D. (2008). *What does it mean to be locally adapted and who cares anyway?* Journal of Animal Science, 86, pp. E271-E284.

RHIZOBIOME (2007). *Réseau SAGNE de Midi-Pyrénées.* Lettre de liaison, n°8, 2 p.

SJOGREN, P. ; VAN DER KNAAP, W.O. ; VAN LEEUWEN, J.F.N. ; ANDRIË, 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, pp.1-14.

COMMUNICATIONS ORALES - RÉSUMÉS, SUPPORTS

DUMONT, B. ; FARRUGGIA, A. ; GAREL, J.P. (2007). *Pâturage et biodiversité des prairies permanentes.* 14^e Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, 5-6 décembre 2007.

FARRUGIA, A. ; DUVAL, C. ; DUMONT, B. ; LEROY, T. ; GAREL, J.P. (2007). *Conception d'un mode de pâturage écologique favorisant la biodiversité et s'insérant dans les pratiques de gestion des éleveurs.* 14^e Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, 5-6 décembre 2007.

MESTELAN, P. ; AGREIL, C. ; DE SAINTE-MARIE, C. ; MEURET, M. ; MAILLAND-ROSSET, S. (2007). *Mise en place d'une contractualisation agri-environnementale basée sur le respect des résultats écologiques mesurables. Le cas des surfaces herbagères du PNR du Massif des Bauges.* 14^e Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, 5-6 décembre 2007.

MEURET, M. (2006). *Les pratiques pastorales entre temps court de l'alimentation des troupeaux et temps long des ressources et des milieux.* Conférence invitée à l'Académie d'Agriculture de France.

A photograph of a misty forest. Tall, dark green pine trees are the main focus, their branches reaching upwards. The ground is covered in a dense carpet of green grass. In the foreground, a wooden boardwalk made of grey planks leads into the forest. The atmosphere is hazy and soft, with light filtering through the trees. The overall color palette is dominated by greens and greys.

Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières



CHAPITRE 6

Quelle place pour les arbres en tourbière ?

> 1.	Introduction	p.130
> 2.	Le boisement des tourbières : chance ou fatalité ?	p.131
	2.1. <i>Modifications hydrologiques</i>	p.131
	2.1.1. <i>L'évapotranspiration en tourbière</i>	p.131
	2.1.2. <i>Interception des précipitations</i>	p.132
	2.2.3. <i>Impact global sur la nappe de la tourbe</i>	p.134
	2.2. <i>Un rôle de couvert protecteur</i>	p.135
	2.3. <i>Modification de l'histosol</i>	p.136
	2.4. <i>Impacts sur la géochimie de la zone humide</i>	p.137
	2.5. <i>Interception de la lumière</i>	p.137
	2.6. <i>Paysage</i>	p.138
	2.7. <i>Les tourbières boisées, des milieux et des espèces d'intérêt</i>	p.138
	2.7.1. <i>Habitats</i>	p.138
	2.7.2. <i>Intérêt floristiques et fongiques</i>	p.138
	2.7.3. <i>Intérêts faunistiques</i>	p.140
> 3.	Origine, signification et avenir du boisement	p.140
	3.1. <i>La tourbière boisée, stade terminal ou phase transitoire ?</i>	p.140
	3.1.1. <i>Place du boisement dans l'évolution du site</i>	p.140
	3.1.2. <i>L'aspect transitoire du boisement</i>	p.140
	3.2. <i>Origine du boisement</i>	p.141
	3.3. <i>Avenir du boisement</i>	p.143
	3.3.1. <i>Quelle place pour l'arbre dans les tourbières françaises ?</i>	p.143
	3.3.2. <i>Etude des dynamiques de boisement des tourbières</i>	p.144
	3.3.3. <i>Exemples de dynamiques sur les sites tourbeux de montagne</i>	p.144
> 4.	Interventions sur des boisements tourbeux	p.145
	4.1. <i>Pourquoi intervenir ?</i>	p.145
	4.2. <i>L'hydrologie, un levier d'intervention</i>	p.146
	4.3. <i>Techniques de déboisement</i>	p.147
	4.3.1. <i>PNR du Morvan : le câble-mât, intervenir sans dégâts</i>	p.147
	4.3.2. <i>Cerclage : les expériences en Franche-Comté</i>	p.148
	4.3.3. <i>RNN du lac Luitel : quand l'ONF déboise...</i>	p.148
> 5.	Conclusion	p.148
> 6.	Bibliographie thématique	p.149

1. INTRODUCTION



Zone réouverte sur la tourbière du Grand Essart à Cuttura [39] / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

Les arbres, pourtant symboles forts et visibles de la Nature - en particulier lorsqu'elle reprend ses droits sur des territoires anthropisés, pâturages, cultures ou constructions - ont souvent mauvaise presse chez les gestionnaires d'espaces naturels. Exception faite, bien entendu, des milieux forestiers, où l'arbre, architecte, unité élémentaire, est l'objet de toutes les attentions, depuis sa naissance jusqu'à sa mort, la tendance limitative lutte, voire à l'éradication des ligneux. Ainsi pelouses sèches, marais et tourbières ne s'accommoderaient guère de boisements...

La relation culturellement antagoniste qu'entretient trop souvent le gestionnaire de tourbières avec les arbres a ainsi été qualifiée de façon imagée de « stratégie du castor », c'est-à-dire un comportement compulsif de coupe des ligneux et de construction de barrages.

Ceci peut pour partie s'expliquer par la forte représentation de milieux ouverts et d'espèces héliophiles dans les listes définissant les taxons et habitats protégés et/ou patrimoniaux. En considérant que l'état de référence correspond aux milieux issus de plusieurs siècles d'aménagement humain du territoire, en particulier à travers l'agro-pastoralisme, les milieux arborés se trouvent de fait

relégués en marge. Cependant cet état des lieux, dont les limites commencent à être pointées du doigt, ne tient ainsi pas compte de l'état transitoire de bon nombre de ces milieux - les dynamiques naturelles induisant généralement la disparition (temporaire ou durable) des habitats et espèces pionniers.

Une autre explication repose sur un certain nombre de reproches faits aux arbres, parfois justifiés et avérés par des publications scientifiques, et repris dans les publications techniques. Reproches rarement tempérés, cependant, par les apports méconnus des boisements tourbeux.

Enfin les épisodes de tentatives de valorisation forestière de divers milieux, dont les tourbières, lors des siècles écoulés, ont laissé des traces parfois importantes dans les paysages et les écosystèmes.

Mais Cubizolle & al. (*sous presse*) rappellent que la présence d'arbres sur les tourbières n'est pas systématiquement perçue comme un problème.

« Ainsi en est-il au Canada, en Fennoscandie et en Sibérie, où se trouvent l'essentiel des zones tourbeuses de la planète et où l'arbre est présent sur de nombreux sites de façon très naturelle. (Birks, 1975), reprenant les travaux de Carlisle et Brown (1968), rappelle à juste propos que les tourbières bombées sont un des habitats naturels du pin sylvestre. En France, l'association forestière spécialisée *Betulo pubescentis-Abietetum* caractérise les marges tourbeuses de certaines tour-

bières bombées du Massif Central oriental, dans les Monts du Forez et les Bois Noirs (Thébaud & al., 2003). Ainsi des sapins blancs (*Abies alba*) centenaires en très bonne santé poussent dans des histosols épais de près de deux mètres. »

Ce chapitre vise à apporter les éléments les plus récents en termes de réflexion sur la place des arbres en tourbière, qu'ils soient présents de façon clairsemée ou sous forme de boisements plus denses, plantés ou pas. Il aborde divers éléments à prendre en compte pour évaluer au mieux la situation, puis décider d'agir - ou non. En étudiant l'origine et la dynamique du boisement, les effets induits sur les espèces et milieux, et en comparant avec les exemples donnés, nous souhaitons que le lecteur soit à même de se forger une opinion qu'il pourra retranscrire en actions adaptées sur le site dont il a la charge. En effet, une fois de plus, les recettes « clé en main » ne sont pas de mise quand il s'agit d'aborder cette problématique complexe, pour laquelle, là encore, chaque site ou presque constitue un cas unique.

Des préconisations techniques clôturent le chapitre, et présentent notamment des expériences de débardage par câble-mât permettant de minimiser les effets sur le milieu par rapport à un débardage classique, où les grumes sont traînées au sol, provoquant ainsi un bouleversement des horizons de surface et des ornières parfois profondes.

2. LE BOISEMENT DES TOURBIÈRES : CHANCE OU FATALITÉ ?



Tourbière du Grafenweiher [57] / PNR des Vosges du Nord

Pour justifier l'interventionnisme vis-à-vis de la colonisation des arbres en tourbière, un certain nombre d'arguments sont avancés, tendant à les déclarer incompatibles avec la survie de ces milieux. La modification évidente de ces derniers par boisement (fermeture) entraîne évidemment des changements notables dans les habitats et espèces présentes ; de plus, les ligneux perturberaient la dynamique turfigène, notamment en abaissant la nappe de la tourbe. Cependant les recherches ne sont pas toujours aussi catégoriques, et le premier enseignement est que les effets des boisements sur les autres taxons et le fonctionnement de la tourbière sont très variables selon les espèces d'arbres considérées, mais aussi les sites et leurs contraintes locales (cortèges floristiques, nature et épaisseur de l'histosol, climat...).

Cette partie reprend un certain nombre d'études permettant d'illustrer cette diversité de configurations, qui plaide pour une analyse fine de chaque cas avant toute décision d'intervention sur les ligneux.

2.1. Modifications hydrologiques

2.1.1. L'évapotranspiration en tourbière

L'évapotranspiration (ETP) est la quantité d'eau restituée à l'atmosphère par un milieu donné ; elle correspond à la somme de l'évaporation (pour les plans d'eau et les sols) et de la transpiration des végétaux. Elle constitue dans le bilan hydrologique (voir chapitre 3) l'une des voies de sortie de l'eau.

On distingue l'ETP potentielle et l'ETP réelle. La première correspond à l'évapotranspiration « maximale », celle d'un couvert végétal alimenté en eau sans restriction ; elle peut être calculée à partir de diverses formules, plus ou moins complexes, se basant principalement sur des données climatiques. La validité de ces formules est discutée : pour Verry (1997), l'évapotranspiration réelle en zone humide est généralement proche de l'évaporation potentielle, calculée à partir des données climatiques (à 15% près) ; pour Rydin & Jeglum (2006), en revanche, aucune des formules proposées (Thornthwaite, Penman) ne permet d'estimer convenablement l'ETP en tourbière.

L'ETP réelle, quant à elle, peut être déduite du bilan hydrologique (voir chapitre 3) ou mesurée sur le terrain de différentes manières (lysimètres...) ; là encore les divergences entre études et les erreurs potentielles sont nombreuses.

Payette & Rochefort (2001) indiquent que l'évapotranspiration constitue une voie importante de pertes d'eau dans les zones humides, et même souvent la principale (notamment dans les zones tempérées) ; résultat auquel aboutit aussi l'étude menée sur la tourbière de Covey Hill par Véronique Fournier (2008). En mai et juin, Payette & Rochefort (*op. cit.*) indiquent que l'évapotranspiration dans un marécage forestier du Canada a été mesurée à 3,8 mm/j en moyenne, soit 97% des pertes d'eau estivales. Mais là encore, la variabilité est grande et de nombreux facteurs influencent l'évapotranspiration :

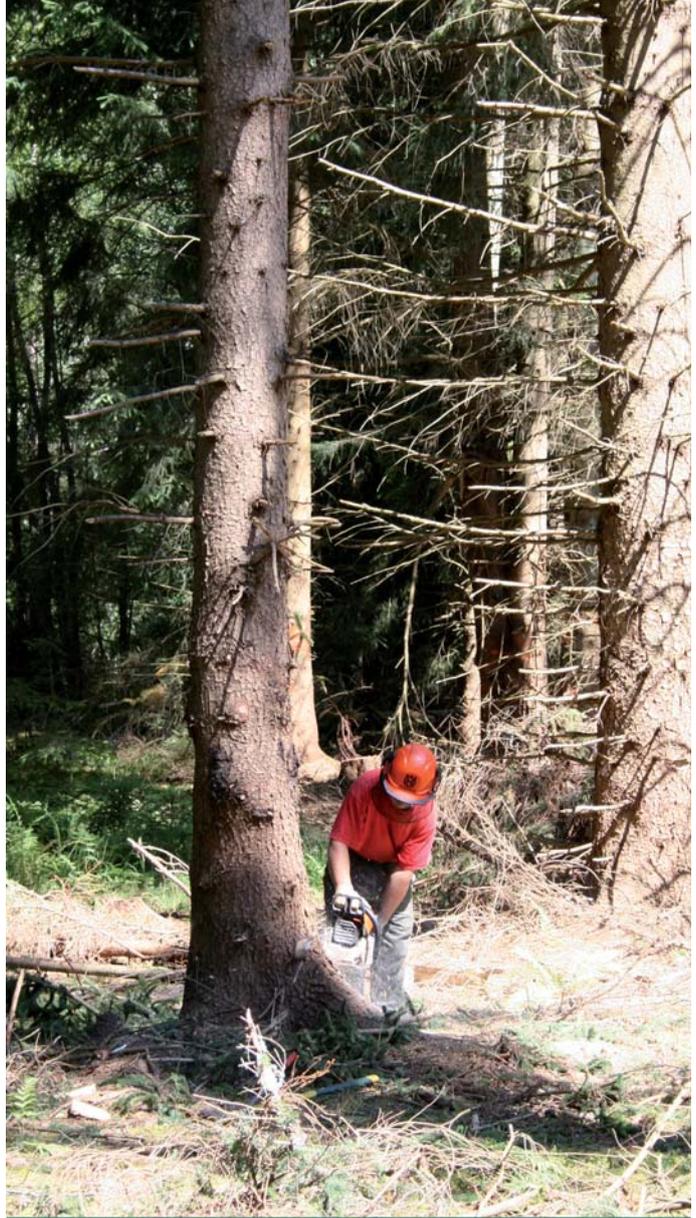
● facteurs stationnels

- biotiques : le type de végétation, ainsi que son stade de développement, sa structure,

ses propriétés aérodynamiques...

- abiotiques : l'humidité du sol, le niveau de la nappe de l'acrotelme (les propriétés du catotelme étant très différentes, avec des échanges verticaux limités) : le taux ETP réelle/ETP potentielle diminue lorsque le niveau de la nappe s'abaisse (Verry, 1997).

● **facteurs climatiques** : le rayonnement solaire, les températures, le taux d'humidité de l'air, les précipitations... Pour Price & al. (2005), les études menées durant 10 ans dans une tourbière basse subarctique montrent que l'ETP semble d'abord liée à la hauteur cumulée des précipitations. Le vent augmente aussi le pouvoir évaporant de l'atmosphère ; Robinson (1998) confirme d'ailleurs l'idée selon laquelle l'équation de Penman, utilisée pour calculer l'évapotranspiration, conduirait à la sous-estimer pour des sites ventés ; il conclut donc que la différence entre l'ETP estimée pour des végétations basses et celle mesurée pour des sites boisés est en fait surestimée.



Bûcheronnage manuel / PNR du Morvan

Pour ce qui est de la comparaison de l'ETP d'une zone humide avec l'évaporation d'une surface correspondante en plan d'eau, la littérature ne permet pas de trancher.

Pour ce qui est de la comparaison des différents types de tourbières, Verry (1997) indique que certaines expériences concluent que les tourbières dominées par les bryophytes évaporaient un peu moins que la valeur maximale calculée, les bas-marais à Cypéracées un peu plus, et un haut-marais boisé à peu près autant. Mais la généralisation semble une fois de plus impossible, d'autres expériences sur le terrain ou en hors-sol n'ayant pas montré de différence significative entre des tourbières à bryophytes ou à Cypéracées.

Pour ce qui est de l'influence des ligneux, Payette & Rochefort (2001) estiment que si l'ETP est plus importante en présence d'arbres sur sols minéraux, l'effet inverse semble être observé en tourbière ; ceci serait dû aux effets cumulés de l'emmagasinage de chaleur dans la biomasse, du réseau de la voûte forestière et de la résistance aérodynamique.

Des expériences menées dans la partie européenne de la Russie ont montré que

l'ETP d'une tourbière basse était supérieure de 3 à 10% à celle d'une tourbière bombée, et de 20 à 25% à celle d'une tourbière à sphaignes avec buissons.

Cubizolle & Sacca (2004) rapportent également une étude canadienne de Munro qui, en 1984, a prouvé que l'évapotranspiration est plus faible dans une tourbière à sphaignes boisée que dans une tourbière à sphaignes sans arbres.

D'autres études, plus nombreuses, sur les peuplements forestiers en tourbière, sont liées aux tentatives d'afforestation, principalement en Fennoscandie et Amérique du Nord ; or il faut bien avoir à l'esprit que

les conséquences étudiées sont dans ce cas une combinaison des impacts des travaux de drainage précédant la plantation d'une part, et des interactions postérieures entre les arbres et le milieu d'autre part. Elles ne nous renseignent donc pas sur le seul impact des ligneux en tourbière ; cependant elles montrent une tendance globale qui combine :

- dans un premier temps une réduction de l'ETP (liée à l'ombrage des jeunes arbres, qui diminue l'évaporation) ;
- puis une augmentation de la transpiration au cours de la croissance des arbres, avec au final des valeurs d'ETP pouvant dépasser les données initiales.



Les précipitations peuvent aussi se faire sous la forme de neige ou de brouillard / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

2.1.2. Interception des précipitations

Price & Waddington (2000), dans leur étude sur l'hydrologie des zones humides canadiennes, rappellent que dans les tourbières boisées, des différences locales de précipitations sont constatées, notamment imputables aux modifications des vents (turbulences liées à la résistance des branches et de la canopée) et à l'interception des précipitations par les houppiers. Ces impacts sont prouvés et d'ores et déjà pris en compte, par exemple lors de l'installation de stations météorologiques - qui sont préférentiellement implantées loin des secteurs boisés ou des lisières, pour obtenir des données considérées comme représentatives.

Le taux d'interception varie selon de nombreux facteurs, comme le type de précipitation considéré (le taux de précipitation intercepté étant par exemple supérieur lors des faibles précipitations), la météorologie, le stade de développement des arbres ou la période de l'année.

Si la majeure partie des précipitations est ensuite évapotranspirée, il faut aussi noter

qu'une partie arrivera finalement au sol après ruissellement le long des branches et du tronc ; cette fraction, variable elle aussi selon la structure de la canopée, de l'écorce, l'intensité des précipitations, etc. reste cependant faible : en climat tempéré, Lunt (1934) mentionne des valeurs de l'ordre du pourcent pour les épicéas, et jusqu'à 13% pour des hêtres ; Johnson & Lehmann (2006) rapportent une étude

espagnole le chiffrant à 0,45% pour un peuplement de pin sylvestre, et une amplitude globale allant de 0,07 à 22% ! Dans les contextes hyperhumides, où les brouillards sont fréquents, la condensation de l'eau sur les branches et l'écoulement le long des troncs peuvent cependant constituer des apports non négligeables (Porteret, 2008). La chimie de cette eau est par ailleurs modifiée (voir 2.4.).



Rémanents au sol après une coupe forestière au Luitel [38] / C. Desplanque - ONF

Le tableau ci-dessous illustre la variabilité de ces paramètres à travers la compilation de différentes études.

Quelques valeurs d'interception des précipitations et d'écoulement le long du tronc relevées dans la littérature

Site d'étude	Type de couvert	% d'interception	% d'écoulement le long du tronc	Remarques	Sources
Finlande	Buissons bas	7-46	?	variabilité selon l'importance des précipitations	Rydin & Jeglum (2006)
Est des Etats-Unis (zone tempérée)	Bois durs	10	?		Helvey & Patric (1965)
Québec	Résidus d'exploitation forestière	12	?		Price & Waddington (2000)
Amérique du Nord	Conifères	21	?		Price & Waddington (2000)
Finlande	<i>Betula pubescens</i> (peuplement mature)	20	?	mesure au cours de la période végétative, en tourbière drainée	Päivänen (1966) in Rydin & Jeglum (2006)
Finlande	<i>Pinus sylvestris</i> (peuplement mature)	20-25	?	mesure au cours de la période végétative, en tourbière drainée	Päivänen (1966) in Rydin & Jeglum (2006)
Finlande	<i>Picea abies</i> (peuplement mature)	23-35	?	mesure au cours de la période végétative, en tourbière drainée	Päivänen (1966) in Rydin & Jeglum (2006)
Sud-ouest de l'Angleterre	Bouleaux (20 ans d'âge)	>30	?	sur plus de 30% des observations	Price & al. (2003)
France	Forêt de résineux de montagne	30-50	1-5	10-25% d'évaporation directe (données compilées)	RN Haute Chaîne du Jura
Québec	Pruche (<i>Tsuga canadensis</i>), bouleau jaune	33	?		Payette & Rochefort (2001)
Angleterre	Jeunes épicéas	64	?		Jackson (1975) (d'après documents en ligne de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)
Québec	?	35-41	?		Payette & Rochefort (2001)

Ainsi une partie non négligeable des précipitations incidentes est-elle interceptée par les arbres ; par la suite, cette fraction sera majoritairement restituée à l'atmosphère par évapotranspiration, et donc perdue pour la tourbière.

2.1.3. Impact global sur la nappe de la tourbe

Au final, la grande variabilité des résultats expérimentaux rend, une fois de plus, toute généralisation hasardeuse. Il est acquis que les arbres peuvent avoir un impact réel sur la nappe de la tourbière, en agissant sur son niveau, ainsi que sur l'intensité et la fréquence des variations de ce dernier.

L'INRA de Nancy estime ainsi que les arbres « consomment » de 60 à 80% des précipitations, majoritairement par évapotranspiration. Les différentes espèces d'arbres n'auront pas la même demande en eau : elle sera considérée comme forte pour des peupliers ou des saules, moyenne pour des épicéas et faible pour des pins.

Dans une tourbière forestière du Québec, l'évapotranspiration a été identifiée comme le principal facteur influençant la nappe phréatique. De nombreux suivis piézométriques montrent des variations journalières du niveau de la nappe, qui baisse en journée (période de photosynthèse) et remonte la nuit.

Fay & Lavoie (2009) relèvent aussi que des études antérieures ont montré qu'une population dense de bouleaux sur une tourbière anciennement exploitée pouvait rabaisser, au moins temporairement, la nappe de la tourbe.

Price & al. (2003) rapportent que les études dans le sud-ouest de l'Angleterre montrent des différences des niveaux de nappe dépassant 20 cm dans les secteurs boisés par rapport aux zones voisines à molinie, espèce pourtant connue pour augmenter les pertes par transpiration des tourbières exploitées en voie de restauration.

Dans la vallée de la Borne, sur la commune de Félines [43], des travaux hydroclimatologiques avaient été lancés par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Loire et de ses Affluents de Haute-Loire, en collaboration avec l'Université de St-Etienne. L'idée était de mesurer les différences de comportement de la nappe phréatique entre une parcelle en prairie naturelle (Canche cespiteuse, Grande ortie, laïches) et une parcelle plantée en épicéas. 5 piézomètres ont été implantés pour former un transect permettant de suivre les variations de la



Pins sylvestres en tourbière dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57]
L. Duchamp - SYCOPARC

nappe, avec couplage des données météorologiques. A l'issue de la première année d'étude, il est apparu que le niveau de la nappe était, de manière permanente, plus bas dans la zone boisée que dans la zone non boisée. De plus, le niveau de la nappe avait tendance à chuter plus rapidement au cœur de la plantation qu'en lisière de celle-ci. L'hypothèse a été avancée que cette constatation était liée à une plus grande concentration de racines, et donc une plus forte demande hydrique, à l'intérieur du boisement. Malheureusement cette étude prometteuse a été abandonnée par la suite. Les observations de cette seule année ne permettent donc pas d'émettre un avis définitif, et on peut regretter que l'expérience n'ait pas été poursuivie - notamment jusqu'à l'élimination des épicéas et à l'étude du comportement de la nappe sur la parcelle déboisée, qui aurait permis de confirmer que les variations étaient liées aux arbres.

Robinson (1998) a lui étudié durant près de 30 ans l'hydrologie d'un site tourbeux

dans les « hautes terres » du Nord de l'Angleterre, qui a vu succéder à des milieux ouverts soumis à un pâturage extensif des travaux de drainage et de plantation de conifères (majoritairement l'Epicéa de Sitka, *Picea sitchensis*). Il apparaît que l'impact hydrologique des travaux de drainage (réduction de l'évapotranspiration et des temps de réponse des débits des cours d'eau en cas d'orage, augmentation des débits d'étiage), opposé à l'impact habituellement décrit pour les forêts, est majoritaire durant une période pouvant atteindre la moitié du cycle d'exploitation de la plantation. Par la suite, la croissance des arbres inverse le processus.

Dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57], le suivi d'un réseau de piézomètre semble indiquer que les Pins sylvestres n'ont que peu d'effet sur la nappe, contrairement à la molinie et aux aulnes.

L'encadré page 145 résume les effets d'une coupe en tourbière boisée.

2.2. Un rôle de couvert protecteur

Selon leur implantation, en particulier en bordure de tourbière, les ligneux peuvent constituer des tampons préservant au moins partiellement les végétaux plus bas d'apports en éléments chimiques nutritifs ou toxiques : dépôts atmosphériques, apports d'eau latéraux enrichis en nutriments...

Au niveau du microclimat de la tourbière, un couvert forestier suffisamment léger pourrait aussi avoir des impacts positifs sur certains taxons : en diminuant l'énergie solaire incidente et la vitesse du vent, les arbres tendent à maintenir une humidité atmosphérique relativement élevée, et à diminuer l'évapotranspiration des strates inférieures. Cette action serait particulièrement importante dans les hauts-marais, où les sphaignes constituent des espèces-ingénieurs participant à l'édification du milieu ; un boisement permettrait ainsi de les préserver sur un site dégradé et/ou dans des conditions climatiques (température, vent, importance et fréquence des précipitations) critiques, voire défavorables. Ainsi les ligneux pourraient-ils, dans certains cas, favoriser la régénération d'une tourbière.

Différentes observations vont dans ce sens :

- Bretschneider (2008), dans son travail sur les tourbières du Schleswig-Holstein (Allemagne), conclut que le degré de couverture par les bouleaux n'est pas déterminant pour le bilan hydrique de surface, contrairement au relief et aux capacités d'évacuation des eaux ; au contraire, des taches de sphaignes sèches ont été observées dans des secteurs où le peuplement clairsemé de bouleaux avait été abattu l'hiver précédent ;
- le plan de gestion de la tourbière du Peuil [38], réalisé par AVENIR en 2001, note que « les sphaignes se maintiennent au pied des bouleaux car l'ombrage des arbres permet de diminuer leur évapotranspiration » ;
- sur les Hautes Chaumes du Forez, la tourbière du Gros Fumé [42] a subi un incendie il y a quelques années ; il semble que seule *Sphagnum compactum* arrive à recoloniser la tourbe à nu, tandis qu'au niveau des bosquets de bouleaux restants d'autres espèces de sphaignes se maintiennent malgré les impacts importants à l'échelle du complexe tourbeux ;

- dans les Bois Noirs [03, 42, 63], des communautés de sphaignes variées et abondantes ont été observées sous un couvert de Pins sylvestres ;
- dans le Massif central, où il n'est pas indigène, l'épicéa, quand il croît sur tourbe peu épaisse, semble permettre localement le développement de *Sphagnum capillifolium*, mais se comporte à l'inverse comme un colonisateur efficace qui destructure tapis herbacé et bryophytique sur tourbe épaisse ;
- sur le site de la Prénarde-Pifoy [42], dans les Monts du Forez, où un boisement s'est développé, les observations montrent que ni le niveau de la nappe, ni la végétation turfigène (*Sphagnum palustre*, *S. teres*, *S. angustifolium*, *Carex nigra*...) n'en sont affectés pour l'instant (Cubizolle & Sacca, 2004). Au contraire, la dynamique des sphaignes est incontestablement plus forte sous les arbres que dans la zone non boisée où *Juncus acutiflorus* est l'espèce dominante. Le rôle protecteur de la canopée (limitation de l'apport énergétique solaire et de l'évapotranspiration, augmentation sensible de l'humidité relative) semble constituer un facteur déterminant dans cette partie sud des monts du Forez où, au cours de la saison chaude, les précipitations tombent sous forme d'orages dont la fréquence est très irrégulière ;



Dispositif de suivi de l'hygrométrie atmosphérique dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57] / L. Duchamp - SYCOPARC

- dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57], sur des sites perturbés par l'homme et en

présence de Pin sylvestre, a été constaté le développement de buttes de sphaignes ombrophiles (*Sphagnum capillifolium*) ; deux thermohygromètres ont d'ailleurs été installés dans un boisement de pins, à deux hauteurs différentes (ras du sol et 1,40 m) pour mesurer les températures et surtout l'hygrométrie. Les premiers éléments de suivis semblent indiquer des températures maximales légèrement inférieures sous la pineraie. Pour le reste, l'expérimentation suit son cours afin d'amasser assez de données pour pouvoir conclure. Des analyses de macrorestes ont également révélé qu'au cours de leur mise en place, qui a débuté il y a environ 7000 ans, la plupart des sites tourbeux était boisés au moins partiellement. Si la densité de boisement reste inconnue, on sait en revanche que les espèces rencontrées sont les mêmes qu'aujourd'hui : Aulne glutineux, Bouleau pubescent, Pin sylvestre ;



Les sphaignes sous couvert arboré restent dynamiques : tourbière du Roc de Chère [74] / J. Cholet

- on retrouve de la même façon des tourbes fortement décomposées à macrorestes de *Pinus sylvestris* et *Betula* spp., et d'autres à Cypéracées, à la base d'autres profils pédologiques. Ils correspondent à des végétations non ombrotrophes (Cubizolle & al., *sous presse*) qui ont efficacement permis la mise en place des hauts-marais .

Sur le site de Montbé [58], le profil pédologique indique également que la turfigénèse a débuté dans un milieu arboré.



Tourbe à bois issue de la tourbière basse de la Prenarde - Pifoy [42] / H. Cubizolle - Université de Saint-Etienne

L'hypothèse selon laquelle les arbres, et notamment ceux sans impacts directs sur la strate muscinale (pas d'allélopathie, pas de feuilles mortes recouvrant les sphaignes), tamponneraient l'humidité atmosphérique et favoriseraient ainsi les sphaignes qui y sont adaptées (*Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum*, indépendantes de l'humidité édaphique) est séduisante. Elle permettrait d'expliquer les observations, dans différents secteurs (Massif central, Vosges) et par différentes personnes, de la coexistence de boise-

ments à Pins sylvestres et de sphaignes (*Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum*, *S. magellanicum*, *S. rubellum*, *S. russowii*). Elle doit cependant encore être validée scientifiquement.

Certains boisements présenteraient ainsi plus d'avantages que d'inconvénients dans les moments les plus critiques pour la survie des sphaignes (absence prolongée de précipitation au cours de journées à forte insolation et vent important) (Goubet, 2008).

2.3. Modification de l'histosol

Un autre impact, surtout lié aux travaux de drainage accompagnant la majorité des plantations en tourbière, est la transformation plus ou moins profonde de l'histosol.

La tourbe s'assèche, s'oxyde et se minéralise ; elle s'enrichit de fait en matières nutritives. Sa structure évolue aussi : dans un premier temps, la zone supérieure, désaturée, permet de stocker (temporairement) des quantités d'eau supérieures ; ainsi l'écoulement est moindre en cas de faible pluie, les pics de crues décalés en cas de fortes pluies, et les débits minimaux plus importants (soutien d'étiage). Mais par suite de la

minéralisation, la granulométrie se modifie (plus de particules fines) et la masse volumique augmente. Le taux de pores moyens et gros diminue, la rétention d'eau augmente, la conductivité hydraulique diminue, de même que la capacité de stockage. En parallèle, l'épaisseur de la frange capillaire augmente. Verry (1997) estime que celle-ci peut atteindre la surface avec une nappe à 60 cm de profondeur si la tourbe est bien décomposée (degré d'humification selon von Post de H7 à H10), contre 30 à 40 cm si la décomposition est moindre. Il en résulte aussi une augmentation du ruissellement. A terme, l'histosol perd ses caractéristiques, et

tend vers un humus classique en même temps qu'une nouvelle pédogénèse se met en place.

La faible conductivité hydraulique verticale de la matière organique partiellement dégradée est à l'origine du maintien de l'humidité et de l'arrêt des flux ascendants provenant du substrat minéral. Ce processus se réalise lors de l'apparition des hauts-marais, la mise en place de ce médium « isolant » pouvant aussi éventuellement surélever légèrement la végétation par rapport au milieu environnant, écartant ainsi d'autant plus facilement les eaux de ruissellement (Goubet & al., 2004).

*Cubizolle & Sacca (2004) donnent l'exemple de la tourbière bombée des Roussis [42], dans les Bois Noirs : d'une superficie de 10 ha, située à 900 m d'altitude, elle est aujourd'hui densément boisée (1 arbre tous les 10 m²), mais les individus semblent en mauvais état. La surface de la tourbière présente de nombreuses traces d'anciennes fosses et rigoles de drainage, qui sont à mettre en relation avec des tentatives d'exploitation de la tourbe, la volonté d'améliorer la qualité de cette zone de pacage et des essais de plantations de Pin Weymouth (*Pinus strobus*), d'Épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*) et de Sapin de Nordmann (*Abies nordmanniana*). Bien que mal connu, cet aspect de l'histoire récente de la tourbière est de toute évidence directement responsable de l'installation des Pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) en partie centrale et des bouleaux (*Betula pubescens*) en périphérie, qui dominent la strate arborée. Les carottages et les analyses pédologiques ont permis de mettre en évidence, immédiatement sous les sphaignes et surmontant un niveau de tourbe partiellement minéralisée, un horizon humifère non tourbeux de type A_h épais de*

3 à 5 cm, prouvant que la turfigenèse a cessé pendant quelques décennies : l'abaissement de la nappe suite aux tentatives de valorisation (plantation) a permis la minéralisation de la tourbe et l'amorce du développement d'un sol brun. Le calage chronologique de cette évolution pédologique est possible, puisque l'arrêt de l'exploitation agricole du secteur est daté avec certitude des années 1930-1935 : l'âge des arbres sur le bombement tourbeux étant inférieur à 50 ans, on doit admettre qu'il y a eu des tentatives de boisement postérieures à la Seconde Guerre Mondiale. Finalement, le site a été totalement délaissé, ce qui a entraîné l'effacement progressif des fosses et des rigoles, permis la remontée des niveaux piézométriques et l'arrêt du processus de minéralisation de la tourbe, ainsi que la reprise de la croissance des sphaignes (qui recouvrent les nombreux troncs gisant sur le sol) et de l'accumulation de tourbe. Le dépérissement des pins (la plupart ont un aspect rabougri, maladif, et leur diamètre n'excède guère 15 cm pour une hauteur de 5 ou 6 m) confirme le retour à une situation plus conforme aux conditions écologiques du site.



Horizon de tourbe minéralisé (le mètre indique l'épaisseur) issu de la tourbière basse de la Prenarde-Pifoy [42] / H. Cubizolle - Université de Saint-Etienne

Cette transformation est en soi irréversible, c'est-à-dire que les horizons modifiés ne pourront plus revenir à l'état de tourbe ; en revanche, une dynamique turfigène reste possible (voir 3.3.).

A l'inverse, certaines forêts sur tourbe, bien que possédant les attributs hydromorphologiques des hauts-marais, ne montreraient plus d'accumulation de tourbe. (Goubet & al., 2004).

2.4. Impacts sur la géochimie de la zone humide

Ils sont là encore variables selon les espèces considérées ; on peut citer l'acidification et la libération de phénols toxiques par la litière des résineux, et l'enrichissement en matières nutritives par décomposition des feuilles au sol, ou par les apports des écoulements le long des troncs (significativement enrichis par rapport aux précipitations en azote, phosphore, soufre, mais aussi éléments métalliques : cuivre, fer, zinc, manganèse).

Des taux élevés d'azote et de phosphore, outre une modification des cortèges floristiques, permettent aussi aux saprophytes une meilleure activité (Goubet & al., 2004).

Le drainage peut également entraîner un affaissement (subsidence de la tourbe minéralisée) et une inversion de relief dans le cas où le secteur central s'enfoncé davantage que la périphérie ; on pourra ainsi assister à la mise en place d'une végétation minérotrophe, ou au moins plus hygrophile, au centre du haut-marais, créant un équivalent du lagg (marais de ceinture) en position atypique.

2.5. Interception de la lumière

Selon les espèces (plus ou moins couvrantes, sempervirentes ou pas...), les saisons et la densité du couvert forestier, une partie importante de la lumière peut être interceptée par la canopée. Ce facteur important étant modifié, les équilibres de compétition vont évoluer et la végétation du site va se modifier : évolution vers des espèces tolérant davantage d'ombrage, au détriment de taxons héliophiles souvent considérés comme plus typiques et intéressants. L'ombrage et la diminution de l'humidité du sol sont les principaux facteurs de déclin de la végétation typique de tourbière lors du boisement ; la vitesse de régression dépend d'abord de l'humidité et du niveau trophique du site, ainsi que du peuplement arboré originel (Sarkkola, 2006). Au Luitel [38], l'ombrage des houppiers des épicéas (plantés) aux branches basses très développées a entraîné une disparition des espèces typiques de tourbière.

Selon les espèces de ligneux se développant sur le site, l'accumulation de litière plus ou moins bien dégradée peut aussi recouvrir les végétaux bas, et notamment les bryophytes, modifiant la dynamique de la tourbière. Ainsi au Luitel [38] 15 à 20 cm de litière d'aiguilles d'épicéa non décomposée, issue des arbres plantés, ont radicalement modifié la végétation présente.

Pour Payette & Rochefort (2001), la lumière est en effet le facteur déterminant la répartition des sphaignes le long d'un transect en lisière de forêt, les espèces de *Sphagnum* ayant des exigences différentes ; bosquets, grands arbres et taillis d'arbustes peuvent par ailleurs engendrer des gradients de luminosité locaux en tourbière « ouverte ».



Ombrage des ligneux sur la tourbière de Houn-de-Piet [65] J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

2.6. Paysage

Le boisement des tourbières modifie les paysages typiques, en particulier en haut-marais (secteurs ouverts avec un caractère « nordique » marqué, contrastant avec les entités paysagères alentour, et souvent apprécié et valorisé), et aboutissent à des paysages forestiers jugés plus communs et/ou moins intéressants.

Nous avons vu précédemment que de nombreuses tourbières, en particulier en montagne, ont souffert de tentatives d'enrésinement massives, majoritairement liées au Fonds Forestier National. Ces tentatives de valorisation de « terres vaines, vagues » ont souvent été un échec, mais ont marqué fortement et durablement les milieux humides et les paysages. Ces plantations transforment d'autant plus les paysages que la fermeture est rapide, et que les arbres ont des dispositions géométriques souvent très visibles. Un exemple parlant est le lac Luitel [38] : en 1937, on peut se rendre compte que le paysage est très ouvert. Mais l'aménagement forestier de 1943 classe en section d'enrésinement les cantons de Trissarot, Luytel et Léautour (Léautour correspondant pour partie à la



Vue du lac-tourbière du Luitel [38] en 1937 et 2002 : les plantations de résineux ont radicalement modifié le bassin versant / ONF

tourbière du col) ; des plantations d'épicéas sont alors programmées et réalisées. Il est probable que des plantations aient été réalisées dans la bordure de la tourbière ; cette hypothèse est confirmée par un carottage des arbres réalisé à l'aide d'une tarière de Pressler, qui a permis d'évaluer l'âge des grands épicéas présents sur la tourbière à 60 - 70 ans.

De plus, certaines plantations ont été réalisées avec des espèces allochtones - Pin de Weymouth, Epicéa de Sitka, Sapin de Douglas... renforçant la méfiance à leur égard.

Dans certains cas, les populations locales - et les élus ! - qui ont vu se fermer les milieux ou

leurs abords sont demandeuses d'opérations de réouverture, ce qui pourra amener le gestionnaire à intervenir ; c'est ce qui s'est passé sur le marais de Panesière [39], où le conseil municipal de Chaux-des-Crotenay a, avec d'autres partenaires, insisté pour que les plantations d'épicéas soient exploitées (notamment en périphérie du bas-marais). Sur la tourbière des Entre-Côtes à Foncine-le-Haut [39], le CREN Franche-Comté a dû couper et évacuer des bouleaux cerclés qui étaient morts sur pied, à la demande des élus locaux qui n'appréciaient guère leur présence dans le paysage. L'aspect paysager est d'autant plus ardu à prendre en compte qu'il reste subjectif.

2.7. Les tourbières boisées, des milieux et des espèces d'intérêt



Panorama sur la partie sud du Grand Essart [39], zone réouverte par le PNR du Haut-Jura / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

2.7.1. Habitats

Les tourbières boisées (91D0), comprenant les boulaies et pessières à sphaignes ainsi que les tourbières boisées à Pins sylvestre et à crochets, sont considérées comme prioritaires dans le cadre de la directive européenne « Habitats », qu'elles soient primaires ou secondaires (la végétation ne permet pas forcément de les différencier).

En revanche le boisement de certains secteurs des complexes tourbeux peut entraîner la fragmentation des milieux ouverts, avec des répercussions sur la dynamique, voire la viabilité de populations d'espèces inféodées à ces milieux. Ainsi le PNR du Haut-Jura a-t-il réouvert partiellement un boisement dans la combe du Grand Essart à Cuttura [39] pour permettre des échanges génétiques entre deux stations de Liparis de Loesel situées de part et d'autre.

2.7.2. Intérêts floristiques et fongiques

Si de nombreuses espèces héliophiles régressent ou disparaissent logiquement dans les tourbières boisées, ces dernières abritent des cortèges d'espèces intéressantes, qui souffrent parfois d'être moins bien connus et/ou étudiés : bryophytes, champignons...

Pour les végétaux supérieurs, on peut par exemple citer le bouleau nain (*Betula nana* - protection nationale) ou la

Listère à feuilles en cœur (*Listera cordata* - protection régionale en Alsace, Corse, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Aquitaine, Lorraine, Auvergne). Certaines espèces ligneuses ont aussi une forte valeur intrinsèque, liée à leur rareté et/ou statut, comme le Bouleau des Carpathes (*Betula pubescens* subsp. *glutinosa*), protégé à l'échelle nationale ; pour d'autres, le type de peuplements fera l'intérêt des boisements : on trouve ainsi dans

les tourbières boisées de Lorraine l'expression optimale de l'Airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*) ou du Lycopode à rameaux d'un an (*Lycopodium annotinum*) ; ces écosystèmes abritent aussi des populations indigènes d'épicéa (*Picea abies*).

Les bryophytes (mousses et hépatiques) peuvent retrouver sous un couvert forestier des conditions qui les favorisent et leur permettent de se développer largement

(Manneville & al., 2006) ; c'est le cas en Lorraine, où de nombreuses espèces, dont *Bazzania trilobata*, ont une expression optimale en tourbière boisée.

Concernant les champignons, la thèse de Pierre-Arthur Moreau (2002) sur les tourbières des Alpes du Nord (Savoie et Isère) constitue un ouvrage important. Dans sa liste des espèces à forte valeur patrimoniale, on remarque que certaines sont inféodées aux boisements tourbeux. *Amanita friabilis* est une espèce prioritaire de la Convention de Berne que l'on trouve dans les aulnaies ; sur les 33 taxons considérés comme rares à très rares en Europe continentale, 17 se rencontrent dans des milieux boisés (voir tableau ci-contre).

« La gestion des zones humides tend souvent à favoriser les milieux ouverts aux dépens des boisements hygrophiles ; le mycologue apporte des éléments descriptifs importants en faveur du maintien des boisements tourbeux (qui abritent, tous relevés confondus, 87% de la diversité totale en espèces [pour les sites étudiés dans les Alpes du Nord, NdA]), par ailleurs souvent pauvres en animaux menacés et en plantes remarquables. »
P.A. Moreau, 2002

Espèces	Ecologie
<i>Lactarius scoticus</i>	Tourbières continentales à bouleau
<i>Lactarius musteus</i>	Tourbières boisées à pins
<i>Suillus flavidus</i>	Tourbières boisées à pins
<i>Cortinarius flos-paludis</i>	Boulaies ombrotrophes (pref.)
<i>Cortinarius uliginosus</i> var. <i>luteus</i>	Saulaies sphagneuses
<i>Entoloma prismatospermum</i>	Saulaies
<i>Hebeloma atrobrunneum</i>	Saulaies tourbeuses acidophiles
<i>Hebeloma candidipes</i>	Saulaies et boulaies tourbeuses
<i>Inocybe egenula</i>	Pessières tourbeuses
<i>Lactarius aspidius</i>	Saulaies acidoclines
<i>Leccinum holopus</i>	Boulaies ombrotrophes
<i>Pseudobaeospora</i> spp. (toutes espèces confondues)	Aulnaies
<i>Russula aquosa</i>	Boulaies ombrotrophes
<i>Cortinarius betulinus</i>	Tourbières limnogènes à bouleaux
<i>Lactarius tuomikoskii</i>	Pessières subalpines à sphaignes (pref.)
<i>Xeromphalina picta</i>	tourbières boisées (pref.)

Pref. : écologie préférentielle mais non exclusive ; sinon, espèces strictement associées au milieu.

Là encore, les différents types de boisements tourbeux ne se révèlent pas égaux, selon les arbres présents, mais aussi leur densité :

- les pinèdes sphagneuses sont très intéressantes, surtout lorsqu'elles ne sont pas trop denses et présentent des gouilles à *Scheuchzeria* où les espèces les plus hygrophiles peuvent se maintenir ; *Suillus flavidus* et *Lactarius musteus* sont particulièrement spécifiques de ces milieux en Europe tempérée (espèces plus répandues en Europe du Nord) ;
- les boulaies pionnières ou ombrotrophisées sont dans la moyenne des milieux tourbeux ; elles abritent des espèces associées aux sphaignes, mais aussi d'autres taxons plus ubiquistes ; les boulaies très atterries sont en revanche moins intéressantes ;

- les pessières n'abritent que peu d'espèces réellement spécifiques ; diverses espèces (notamment dans les *Cortinarius* et *Russula*) préfèrent ce milieu, mais ce sont surtout des acidophiles qui profitent de l'humidité, et que l'on retrouve plus ou moins fréquemment aussi dans les milieux équivalents plus secs comme les myrtiliaies boisées ; quant aux espèces associées aux sphaignes, elles disparaissent sous les pessières ;
- le cas des saulaies nécessiterait des recherches plus poussées. En effet, il ressort aussi du travail que les lacunes dans la connaissance des espèces, de leur écologie et/ou de leur répartition amènent à relativiser ces conclusions.



Cortinarius chrysolithus est un champignon mycorhizique de tous les arbres en milieu tourbeux, jusque sur les tremblants, typiquement montagnard-subalpin
P.A. Moreau



Suillus flavidus est lié aux pins
P.A. Moreau



Le solitaire des tourbières (*Colias palaeno*) est inféodé à l'Airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*) / L. Bettinelli - CREN Franche-Comté

2.7.3. Intérêts faunistiques

Ils sont extrêmement variables selon les espèces d'arbres considérées, ainsi que l'âge, la densité et la structure du peuplement.

- Les cahiers d'habitats font mention de l'intérêt cynégétique des tourbières boisées ;
- les cônes des résineux permettent le nourrissage d'une avifaune intéressante (pic tridactyle, mésange noire, mésange huppée...), même si elle n'est pas réellement inféodée aux boisements tourbeux ;
- dans les Vosges du Nord, une étude montre aussi que 20 territoires occupés par la chevêchette d'Europe au printemps ou

en automne 2007 ont comme caractéristiques communes d'être situés dans des zones froides et humides en cuvette, fond de vallon ou zone tourbeuse, occupée par une forêt âgée et bien structurée avec des chênes (pour les cavités de pics) et des épicéas (pour le couvert) ;

- sur la réserve des Quatre-Vents, en Belgique, quelques Pins sylvestres ont été préservés lors des opérations de déboisement pour leur rôle de perchoir durant les parades nuptiales du pipit des arbres ;
- une structure paysagère comprenant des bosquets d'arbres ou arbustes est favorable à

bon nombre de taxons d'insectes (Rhopalocères, Odonates...); en revanche, la fermeture totale des milieux humides constitue l'une des menaces majeures pour ces mêmes taxons ;

- les zones de tourbières s'avèrent importantes pour le Grand Tétrás, qui vit dans des boisements clairs, se nourrit de myrtilles et d'aiguilles d'épicéas, mais a également besoin lors de sa reproduction d'arbres isolés (perchoirs) et de zones ouvertes (places de chant) que peuvent lui fournir les secteurs de tourbières ; ainsi la plus importante zone de reproduction de l'espèce en Suisse est-elle constituée par un ensemble de complexes tourbeux.

3. ORIGINE, SIGNIFICATION ET AVENIR DU BOISEMENT

Une question importante que le gestionnaire doit se poser est celle de la dynamique de boisement sur sa tourbière ; l'origine de la colonisation des ligneux, ainsi qu'une mise en perspective à des échelles de temps adaptées (mais souvent inhabituelles) seront en effet à même de lui apporter des éléments sur les conséquences prévisibles de cette fermeture, et l'opportunité d'une intervention.

3.1. La tourbière boisée, stade terminal ou phase transitoire ?

3.1.1. Place du boisement dans l'évolution du site

Pour Sarkkola (2006), dans certains cas, les boisements, notamment au regard des similitudes dans les structures des peuplements avec des stades évolués sur sols minéraux, sont considérés comme un stade avancé, plus ou moins stable, de l'évolution d'une tourbière, voire un climax.

De même, Cubizolle & Sacca (2004) considèrent, en accord avec Thébaud, que l'association du *Betulo-Abietetum* constituerait le climax stationnel des hauts-marais non perturbés de la sapinière au nord des Monts du Forez, actuellement en progression sur la plupart d'entre eux ; il se réfère en particulier au site de la Sagne Bourrue [42].

Goubet & al. (2004) expliquent en revanche que l'on peut considérer le haut-marais (non boisé) comme un climax, le boisement étant consécutif à une perturbation allogène d'origine climatique ou anthropique. En effet, des boucles de rétroaction entre production et dégradation de la matière organique pilotent l'édification du haut-marais jusqu'à un état d'équilibre (production de surface = dégradation sur l'ensemble du profil) atteint à conditions environnementales constantes ; cependant, les conditions d'exclusion des compétiteurs restent en théorie valables à cette étape. Seules des perturbations allogènes influant l'activité turfignène de la végétation seraient

à même de modifier ces conditions limitant la compétition. Ce schéma global est aussi à nuancer du fait des variabilités de milieux et de dynamiques à l'échelle du haut-marais (gouilles, buttes...).

Une fois de plus, l'unicité de chaque site et la variabilité des facteurs locaux rendent difficile toute généralisation.

3.1.2. L'aspect transitoire du boisement

Quoi qu'il en soit, il est certain que l'absence ou la présence d'arbres sur un complexe tourbeux peuvent varier au cours du temps.

La centaine de sites du Massif central oriental ayant fait l'objet de carottages et d'études

stratigraphiques présentent ainsi des niveaux de bois à la base du profil, dans les couches basales de tourbe ou dans les faciès organo-minéraux qui matérialisent la transition entre la tourbe et la formation superficielle ou le substratum géologique sous-jacents. Ces restes témoignent des milieux boisés enfouis sous la tourbe après démarrage de la turfigénèse, à la suite de modifications des bilans hydriques qu'ils ont pu initier ou accentuer (Cubizolle & al., *sous presse*). On retrouve ces niveaux de bois à la base des profils de nombreux autres sites en France, comme par exemple celui de Montbé [58], où les études ont montré que la construction du massif tourbeux serait essentiellement le résultat de l'activité turfigène d'une boulaie à sphaignes.

Nicolas Dupieux relevait dans son ouvrage (1998) que les études paléo-environnementales ont montré qu'au cours des siècles précédents, de nombreux sites ont connu des phases de boisement, correspondant vraisemblablement à des variations climatiques ayant un temps modifié l'équilibre de l'écosystème. Cubizolle & al. (*sous presse*) rappellent

qu'à l'échelle de l'Holocène d'autres phases de colonisation des tourbières par les arbres ont très souvent été décrites, notamment pour les tourbières des îles Britanniques, et que Chambers (1997, *in* Cubizolle & al., *op. cit.*) estime que les phases d'expansion des arbres sur les tourbières représentent 20 % de la durée de l'Holocène. Leur signification paléoclimatique est cependant discutée : existence de périodes climatiques plus chaudes et plus sèches, modification des conditions hydro-climatologiques locales et stationnelles, et/ou interventions humaines ?

Cubizolle & al. (*sous presse*) rappellent que les changements climatiques affectent davantage le degré d'humification de la tourbe par le biais de l'impact sur l'hydrologie des sites que la végétation elle-même. Mais là encore, la littérature ne permet pas de trancher : ainsi, pour certains auteurs, les niveaux de bois sont considérés comme correspondant à une période relativement plus sèche et plus chaude (exemple du « *grenzhorizont* » de Weber matérialisant le passage entre le Subboréal et le Subatlantique). Mais d'autres études associent ces horizons

avec bois à des conditions d'humidité très favorables à l'accumulation de tourbe, en se basant sur l'idée que, pour que les troncs et les branches soient conservés, il faut un enfouissement rapide dans la sphaigne ; à l'inverse, une sécheresse limiterait la production de biomasse et aboutirait à la décomposition du bois mort. L'interprétation de la présence de bois dans l'histosol reste donc complexe, mais dans tous les cas les stades boisés n'ont constitué qu'une phase transitoire dans la trajectoire de la tourbière, qui a vu se succéder au fil du temps divers stades hydro-bio-pédologiques, peut-être liés au modèle de régénération cyclique des buttes et dépressions lors de la croissance de la tourbière.

Là encore chaque site est spécifique : ainsi la tourbière de la Grande Pile [70] aurait, quant à elle, engendré durant 180 000 ans des tourbes de qualités diverses mais toujours dépourvues de bois, et ce malgré des fluctuations climatiques, puis des interventions anthropiques drastiques (glaciation, déglaciation, tourbage...).

3.2. Origine du boisement

Les mêmes doutes concernent les boisements actuels, et le développement des ligneux en tourbière qui a été largement observé au cours du XXe siècle, au Canada, en Suède, en Allemagne ou en France (Cubizolle & al., *sous presse*). Les origines de cette dynamique restent là encore difficiles à définir : elles sont probablement multiples et variables selon les sites, et définir les importances respectives de divers processus en interrelation, qu'ils soient auto-gènes (boucles de rétroaction au sein de l'écosystème) ou allogènes (changements climatiques, activités humaines) reste à ce jour une gageure. Les lacunes en termes de données hydro-climatologiques, et parfois historiques, ainsi que dans la connaissance du fonctionnement des écosystèmes, sont à l'origine de ces difficultés.



Plantations de résineux sur les Hautes Chaumes des Monts du Forez [42]
H. Cubizolle - Université de Saint-Etienne

Ces interrogations excluent bien entendu le cas des plantations, où l'origine des arbres peut la plupart du temps être documentée de façon précise. La disposition, voire les espèces de ligneux sont caractéristiques. De nombreuses tourbières ont fait l'objet de tentatives de plantation (en particulier d'enrêsinement en montagne), souvent associées à des travaux de drainage visant à favoriser la croissance des arbres (creusement de fossés, plantation sur les bourrelets en bordure des drains...). Les milieux tourbeux ont ainsi souvent été victimes d'une perception de « terres vaines, vagues » et inutiles qu'il convenait de valoriser. La tradition initiale de boisement de l'ONF, aggravée par le Fonds Forestier National, a engendré de nombreuses atteintes aux tourbières, dont la gravité et la durabilité sont très variables. Les évolutions des mentalités et des principes de gestion des forestiers (instruction ONF de 1993 sur la biodiversité), ainsi que les fréquents échecs de ces tentatives de boisement (croissance faible ou nulle, dépérissement des arbres) ont permis de stopper cette dynamique. Les zonages de gestion actuels (séries d'intérêt écologique particulier, réserves biologiques) permettent une meilleure prise en compte des tourbières, qui ne sont plus réduites à des « vides » boisables ou non. La mise en place de solutions techniques pour restaurer les sites dégradés reste potentiellement complexe, et en particulier dans des contextes de propriété privée (Drapier, 2008).

Cubizolle & al. (*sous presse*) ont étudié le cas du Massif central oriental, où depuis quelques décennies de nombreuses tourbières se boisent, avec notamment *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens* et *B. pendula*, et moins souvent *Salix* sp. ou *Abies alba*. Passant en revue divers facteurs pouvant expliquer cette constatation, ils ne constatent pas de logique systématique dans les sites colonisés par les ligneux et ne dégagent pas de cause nette et exclusive.

- Pas de corrélation du phénomène ni à la latitude, ni à l'altitude, ni au type de substrat géologique (granitique ou volcanique), ni au type d'alimentation hydrique, ni à la superficie des complexes tourbeux étudiés, puisqu'à chaque fois existent des sites dépourvus d'arbres, comme autant de contre-exemples.;

- la piste du facteur climatique partait notamment de l'hypothèse que des étés anormalement secs et chauds auraient pu entraîner un abaissement saisonnier des nappes suffisant pour permettre une germination massive des arbres ; elle a été localement infirmée sur la tourbière de l'Etui [42] par des analyses dendrochronologiques qui ont montré que les germinations des pins étaient sensiblement moins nombreuses au cours de la décennie 40 (marquée par des étés chauds et secs) qu'au cours des décennies 60 et 70, climatiquement plus proches de la normale - avec respectivement 7,4 % de germinations contre 18,5 % et 17,3 % ;

- la question de l'apport d'éléments organiques d'origine anthropique, comme l'azote ou des particules organiques, par les courants atmosphériques a été peu étudiée.

L'hypothèse est jugée peu probable dans l'état actuel des connaissances, car :

- les espèces de ligneux considérées ne sont pas nitrophiles,
- les analyses chimiques sur les sites étudiés n'ont pas révélé de teneurs anormales en azote,
- les données phytosociologiques disponibles n'indiquent aucun changement anormal dans la dynamique végétale, notamment dans l'évolution des communautés de *Sphagnum* (ces études sont toutefois peu nombreuses, et la question de l'impact de l'azote atmosphérique n'a jamais l'objet de travaux spécifiques) ;

- l'arrêt de l'utilisation traditionnelle des sites peut expliquer l'explosion des populations de bouleaux sur certains sites comme la Prénarde-Pifoy [42], mais n'est pas valable pour toutes les tourbières ;

L'exemple de la Prénarde-Pifoy [42]

Située à 1125 m d'altitude dans le sud des monts du Forez, cette tourbière basse minérotrophe a été pâturée, et Juncus acutiflorus fauché jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale. Les vaches et les chèvres étaient conduites par les enfants sur la zone humide et à travers la forêt et les landes. L'étude du cadastre de 1826 atteste la fonction de pâture de la tourbière dans un contexte d'agriculture traditionnelle. Tous les témoignages, ainsi que l'étude dendrochronologique, prouvent que la tourbière était à peu près totalement dépourvue d'arbres à la fin de la Seconde Guerre Mondiale.

*Après 1945, l'exode rural et le recul de l'agriculture ont été rapides et le site a été totalement abandonné. Les Pins sylvestres, mais aussi les Bouleaux pubescents (*Betula pubescens*) et quelques Saules à oreillettes (*Salix aurita*), ont rapidement gagné du terrain. Le comptage des cernes de croissance des pins montre que la très grande majorité d'entre eux a effectivement poussé après 1950. En 2008, seules deux clairières « représentant environ 25 % de la superficie totale du site » sont seulement arborées, le reste étant entièrement boisé - et encore l'extension des bouleaux, l'arbre le plus dynamique sur cette tourbière, a-t-elle été ralentie dans les années 1995-2005 par la pression très forte exercée sur la végétation par une population de chevreuils (*Capreolus capreolus*) exceptionnellement abondante.*

- la présence d'une couverture arborée autour du site semble jouer un rôle (foyer de colonisation, rôle d'abri des plantations d'épicéa favorisant le bouleau), sans qu'il s'agisse d'une explication exclusive ;

- sur les rares sites concernés (une dizaine sur le secteur d'études), le drainage lié à l'exploitation de la tourbe a eu un effet très net ; en bouleversant l'hydrologie par abaissement significatif de la nappe, il a entraîné une véritable explosion de l'arbre. Sur la tourbière bombée de Vérines [42], dans les Monts du Forez, exploitée entre 1940 et 1980, après l'arrêt de l'extraction, *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens* ont envahi la plus grande partie du bombement résiduel, la zone à schlenken résistant seule au boisement.

Le marais de Limagne [43] illustre les cas où une forte variabilité demeure inexplicée : les suivis ne montrent pas d'eutrophisation, les niveaux piézométriques sont souvent très haut, et le site n'a a priori subi ni reboisement artificiel, ni pâturage intensif, ni drainage.

Mais les arbres rares et de petite taille, voire absents tout au long de la première moitié du XXe siècle ont commencé à envahir le site en 1967 (photo aérienne).

Après cette phase d'expansion, combinant une augmentation de la densité et des peuplements plus dynamiques et en meilleur état sanitaire, un rapide dépérissement des arbres a été constaté dans certains secteurs, et en particulier sur les Pins sylvestres. Il semble que cette évolution soit concomitante de la forte pluviométrie des années 2007 et 2008.

Tous les auteurs sont d'accord pour constater l'importance des facteurs autogènes et locaux dans la mise en place et le développe-

ment des tourbières ; cependant les facteurs allogènes, qui plus est mal connus et évalués, peuvent également jouer un rôle important.



Vue du marais de Limagne [43] / Université de Saint-Etienne

3.3. Avenir du boisement

3.3.1. Quelle place pour l'arbre dans les tourbières françaises ?

Les arbres européens sont dépourvus d'adaptations aux conditions anoxiques, telles que l'aérenchyme (tissu permettant à l'air de circuler en profondeur, jusqu'à 230 cm pour *Carex rostrata*) présent chez de nombreuses espèces de zone humide.

Si certains peuvent se développer sur sites tourbeux, ils ne résistent donc guère aux sites les plus extrêmes (notamment en termes d'hydromorphie et d'anoxie), et prolifèrent principalement sur des sites dégradés. Payette & Rochefort (2001) estiment qu'en l'absence d'adaptation leur permettant de tolérer une submersion prolongée, ils peuvent cependant être naturellement favorisés en bordure des tourbières bombées, où l'acrotelme (couche aérobie) est plus épais ; de plus, ils y bénéficient d'une eau en provenance du centre du bombement, enrichie en minéraux et éléments nutritifs.

Ailleurs, l'excès d'eau limite les apports en oxygène des racines, qui ne peuvent se développer en profondeur et restent cantonnées à la zone de surface, plus aérée. Il en résulte des difficultés pour l'alimentation en eau (en période sèche) et sels minéraux, ainsi qu'un ancrage qui reste superficiel. La concurrence des bryophytes et des herbacées peut aussi avoir un impact non négligeable sur les populations de ligneux. De plus, dans de nombreux sites, les arbres ont tendance au cours de leur développement à s'enfoncer

dans la tourbe sous l'effet de leur propre poids, entraînant leur mort par asphyxie.

Le drainage accompagnant les plantations permet quant à lui d'améliorer l'aération des horizons supérieurs de l'histosol, au moins en surface et à proximité des fossés (jusqu'à 15 m), ce qui a pour conséquences d'améliorer la croissance des arbres en place (qui après quelques années peuvent retrouver un taux de croissance comparable aux arbres sur sol minéral de fertilité équivalente), ainsi que le taux de survie des semis. La croissance des plants de ligneux serait d'ailleurs davantage corrélée à la profondeur d'aération et la teneur en eau qu'à la profondeur de la nappe, puisque des mécanismes complexes président à la redistribution de l'eau dans les histosols.

Quoi qu'il en soit, ces effets sont plus marqués à proximité des drains, avec une aire d'influence variant entre autres selon la largeur et la profondeur du drain, ainsi que les caractéristiques de l'histosol. Sous l'effet combiné de l'oxygénation du sol (variable selon les caractéristiques de rétention en eau de la tourbe) et de la diminution de sa conductivité thermique (induisant des variations de température plus marquées en surface, dont un réchauffement de l'ordre de quelques degrés au printemps et en été), la minéralisation est accrue et une perte de volume s'ensuit, qui entraîne un affaissement

allant de quelques centimètres à quelques décimètres (selon différents paramètres, dont le temps). Conjugué à une meilleure rétention de l'eau (microporosité et capillarité accrues), cet effet contrebalancerait la diminution de l'évapotranspiration liée à l'abaissement de la nappe, d'après des études canadiennes. Ainsi les pertes par évapotranspiration d'une tourbière déboisée et drainée du Québec sont similaires à celles d'un site non perturbé situé à proximité.

Le peuplement a aussi tendance à voir sa diversité spécifique augmenter, et sa canopée se refermer. Les jeunes arbres, avec un faible diamètre, réagissent souvent plus fort à ces modifications du milieu. La densité du peuplement augmente, au moins durant quelques décennies. Les modifications de la strate herbacée et l'augmentation de la compétition entre les arbres entraînent ensuite l'accroissement de la mortalité.

Pour plus d'informations, le lecteur se reportera aux ouvrages de Payette & Rochefort (2001) et Sarkkola (2006), dont sont tirées les données ci-dessus.

On le voit, l'arbre, s'il n'est pas inconnu dans les tourbières, n'y est pas non plus fort à son aise, au moins en France ; constat qui pourrait permettre au gestionnaire de relativiser ses craintes quant à l'envahissement d'un site.

3.3.2. Etude des dynamiques de boisement des tourbières

Les mêmes incertitudes pèsent sur la question de l'évolution du boisement que sur celle de son origine : faute d'une connaissance suffisamment fine des mécanismes en jeu, de leurs parts respectives, de leurs synergies ou antagonismes, et plus encore de leur quantification, il n'est pas possible de prédire assurément ce que deviendra spontanément un boisement sur tourbe.

Ainsi les données climatologiques, particulièrement à l'échelle du site, restent rares et souvent récentes, voire incomplètes et/ou inutilisables pour mener une étude diachronique de qualité. Il en va de même, dans une moindre mesure peut-être, de la connaissance du reste de l'hydrologie des sites. Les activités humaines, quant à elles, sont souvent mieux documentées ;

cependant la quantité et qualité des connaissances restent comme toujours très variables d'un site à l'autre, et des éléments importants, comme la pression d'un pâturage traditionnel, peuvent s'avérer impossibles à retrouver.

L'évolution récente de la couverture végétale peut néanmoins être retracée en combinant plusieurs méthodes :

- l'examen des photographies aériennes des différentes campagnes (variables selon les secteurs) ;
- le recours à des témoignages divers recueillis auprès des habitants, utilisateurs ou gestionnaires des sites ;

● les carottages des arbres à la tarière de Pressler, et le comptage des cernes de croissance (opération notamment réalisée au Luitel [38] et à Lac-des-Rouges-Truites [39]) ;

● à des échelles de temps différentes, les observations des stratigraphies et analyses des macro-restes végétaux au sein de l'histosol.

Tous ces éléments permettent au gestionnaire de mesurer la tendance sur son site, ainsi que de se forger une idée de la rapidité d'un éventuel phénomène de colonisation par les ligneux. Un suivi diachronique du bassin versant, qui peut utiliser les mêmes méthodes, pourra également apporter de précieuses informations.

3.3.3. Exemples de dynamiques sur les sites tourbeux de montagne

Les retours d'expériences montrent bien que la situation sur le terrain est contrastée. Cubizolle & al. (sous presse) ont mis en évidence, sans pouvoir forcément les expliquer clairement, trois types d'évolution dans le Massif central oriental :

- le développement de l'arbre est très important, et à peu près tout le site est boisé ; le processus a démarré dans les années 1940, comme à la Prénarde [42] (voir ci-dessus), ou à la fin des années 1960, comme pour la tourbière ombrotrophe du Marais de Limagne [43], qui se situe à 900 m d'altitude dans le massif du Devès ;
- après une phase d'expansion rapide jusqu'aux années 1960, le développement de l'arbre semble stoppé : c'est le cas des tourbières bombées du système tourbeux de la Pigne [42], dans les Monts du Forez (altitude : 1360 m), où les photographies aériennes et les observations de terrain ne font pas apparaître d'évolution significative depuis 1962 ;
- aucun développement de l'arbre n'est constaté : c'est le cas à la Morte [42], une tourbière haute à buttes de sphaignes et schlenken, installée sur un épaulement glaciaire au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus* des Monts du Forez, à 1300 m d'altitude.

Dans les Vosges du Nord, au sein de la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche, différentes situations ont également été observées suite à l'arrêt des activités anthropiques (déboisement, drainage, plantation, pâturage, fauche, création de plans d'eau).

Sur tourbe drainée abandonnée se met en place une moliniaie quasi monospécifique, dont les principales caractéristiques sont :

- une forte densité ralentissant la mise en place de semis de ligneux ;
- une amplification de l'amplitude du battement de la nappe ;
- le développement possible du Saule à oreillettes (*Salix aurita*) le long des fossés de drainage ;
- le retour des sphaignes minérotrophes dans les fossés non entretenus.

Le Pin sylvestre et/ou le Bouleau pubescent s'installent quant à eux, hors planta-

tions, dans deux cas de figure :

- sur les buttes de sphaignes s'asséchant au sommet ;
- lorsque la végétation au sol n'est pas trop dense ou que le sol est décapé (tourbe peu minéralisée ou sable oligotrophe), et que le niveau d'eau en saison de végétation reste inférieur à la surface du sol.

L'évolution constatée semble corrélée au niveau de la nappe :

- si celle-ci ne remonte pas significativement :
 - développement à long terme de la pineraie, pouvant évoluer vers une pineraie à Myrtille des marais (*Vaccinio uliginosi-Pinetum*) ;
 - augmentation de l'hygrométrie atmosphérique et maintien à un niveau élevé toute l'année, développement de sphaignes ombrophiles (*Sphagnum capillifolium*) en buttes ;
 - si les sphaignes sont très envahissantes, l'asphyxie des pins est possible, entraînant la formation de clairière à buttes ombrotrophes de sphaignes surmontées d'Ericacées, de canneberge et de *Polytrichum* sp.

- en cas de remontée significative de la nappe :
 - développement d'espèces de bas-marais acides, dont des sphaignes minérotrophes (*Sphagnum fallax*, *S. flexuosum* et *S. palustre*) ;
 - asphyxie progressive des pins, déstabilisation et chablis ;
 - formation de clairières et apparitions d'espèces hygrophiles, héliophiles et acidiphiles (drosera, canneberge...).



Moliniaie sur tourbe drainée abandonnée dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57] / L. Duchamp - SYCOPARC

4. INTERVENTIONS SUR DES BOISEMENTS TOURBEUX

Si le gestionnaire peut lutter localement contre certaines dégradations du système réputées favorables au développement des ligneux (en particulier en ce qui concerne la quantité et la qualité des eaux d'alimentation), il semble en revanche vain de vouloir éradiquer des arbres dont l'implantation et le développement relèvent de causes profondes, à des échelles spatio-temporelles qui le dépassent. Comment modifier à l'échelle de son site les apports azotés atmosphériques, les précipitations, les températures ? L'intervention sur les boisements tourbeux devra donc être mûrement réfléchie (voir chapitre 1), et ne pas faire l'objet d'une programmation systématique.

4.1. Pourquoi intervenir ?

Nous avons vu précédemment les différents impacts, parfois mal connus, que peuvent avoir les arbres sur les tourbières. Une intervention aura pour objectif de remédier à ces problèmes, et pourra donc viser à :

- maintenir des conditions favorables à la préservation d'espèces-cibles héliophiles (pour les végétaux) ou dépendantes d'une structure paysagère ouverte (pour la faune) ; dans ce cas l'intervention n'est nécessaire que si un boisement rapide et généralisé menace le site, et que les espèces-cibles et leurs besoins sont clairement identifiés ;
- préserver des habitats d'intérêt (approche écologique et/ou administrative, notamment dans le cadre de Natura 2000) ;
- préserver un paysage ouvert (aspect esthétique, demande sociale) ;

Sur le plateau de Montselgues [07], un déboisement sélectif a été opéré, qui a été complété par une extension des parcours ovins et caprins et la mise en place de zones-relais (mares) pour l'entomofaune, groupe d'intérêt le plus menacé par la fragmentation du réseau de tourbières.



Vue d'une tourbière du plateau de Montselgues [07] cernée par la forêt / F. Grégoire

- (re)créer des corridors biologiques au sein d'un complexe pour favoriser des populations d'espèces-cibles animales ou végétales ;
- éliminer des arbres susceptibles d'affecter la tourbière (semenciers, sources de litière) qui se seraient développés dans ou en bordure du site suite à des dégradations anthropiques connues et sur lesquelles on ne peut intervenir rapidement : remblai, drainage (abaissant la nappe et modifiant la topographie, avec par exemple un bourrelet issu du creusement du drain et présentant des conditions plus sèches) ;
- après une restauration fonctionnelle dont on ne sait pas si elle permettra l'élimination des ligneux implantés lors de la dégradation du site, ou pour hâter leur disparition ;
- éventuellement contribuer à une réhabilitation hydrologique du site (voir ci-dessous).

Quels sont les effets de la coupe de ligneux sur l'hydrologie locale ?

Des études au Canada et en Fennoscandie ont montré que la coupe forestière des peuplements sur tourbe entraînait une remontée de la nappe, qui était même à l'origine de l'expansion des tourbières par paludification de sites minéraux humides. 50% des apports supplémentaires en eau seraient liés à une moindre interception des pluies par les arbres.

La réalité semble - comme toujours - plus complexe, et le niveau de la nappe avant intervention constitue un paramètre crucial.

A ce sujet, Verry (1997) distingue deux cas :

- si la nappe était superficielle (de 0 à -30 cm), - pas de remontée (Payette & Rochefort (2001) parlent même d'un léger abaissement du niveau d'eau par augmentation de l'évaporation) ;
- le niveau d'eau moyen pendant la saison de végétation reste à peu près égal (sauf précipitations exceptionnelles) ;
- les variations hebdomadaires sont amplifiées (niveau un peu plus haut pendant ou juste après les pluies, un peu plus bas en l'absence prolongée de précipitation) ;
- on ne note que les effets de la moindre interception de la canopée, de l'augmentation de la biomasse de Cypéracées et l'effet dessiccateur du vent, mais qui tendent à se compenser.

- dans le cas contraire, on constate une remontée d'ampleur variable, en

fonction notamment des caractéristiques du sol - Payette & Rochefort (2001) rapportent diverses études montrant que cette remontée est d'ordre centimétrique (4 à 7 cm), et dépasse les seules parcelles exploitées (elle peut être mesurée jusqu'à 3 m à l'intérieur des zones restées boisées). Cette remontée est potentiellement réversible si de nouveaux arbres réussissent à s'implanter.

Autre élément intéressant, la coupe partielle des arbres (coupes d'éclaircies) semble avoir un effet notable sur la nappe de la tourbe.

En plantation, on a observé une remontée du niveau de la nappe proportionnelle à l'intensité de l'intervention : si on enlève 50% des arbres, la nappe atteint un niveau égal à 50% de celui qu'elle atteindrait en cas de coupe à blanc.

En sites tourbeux non drainés, on a même noté que la suppression de 40% de la surface terrière ramenait la nappe à un niveau équivalent à celui atteint en cas de coupe totale.

A noter : les opérations forestières selon des méthodes d'exploitation classiques ont tendance à diminuer la conductivité hydraulique de la tourbière en déstructurant les couches supérieures et en ramenant en surface de la matière organique plus décomposée et moins perméable.

4.2. L'hydrologie, un levier d'intervention

S'il souhaite impacter des peuplements de ligneux se développant en tourbière, le gestionnaire gagnera à s'intéresser aux causes de ce développement, en particulier au niveau de l'hydrologie du site (voir chapitres 3 et 4). En effet, intervenir sur les seuls arbres revient à traiter les symptômes du « mal », et non pas ses causes. En l'occurrence, sans modifications des conditions de l'écosystème, il y a fort à parier que la dynamique de boisement repartira de plus belle sur les sites d'intervention (remise en lumière, rejets des souches, dispersion de semis...). Le gestionnaire risque ainsi de perdre beaucoup de temps, d'argent (les travaux en tourbières restent longs et complexes !) et de crédibilité face à ce tonneau des Danaïdes.

A l'inverse, en se fixant des objectifs de restauration fonctionnelle, il pourra arriver à terme à la disparition des ligneux, si ceux-ci se retrouvent dans des conditions où ils ne sont plus compétitifs - en particulier en cas de remontée de la nappe (voir 3.3).

Fay & Lavoie (2009), qui travaillent au Canada sur les semis de bouleaux (*Betula papyrifera*) colonisant une tourbière exploitée, concluent qu'une pression de l'eau dans le sol inférieure à -100 mb semble réhibitoire pour l'implantation et le développement des sphaignes, bryophytes physiologiquement incapables d'absorber de l'eau plus fortement retenue. En revanche, ces dernières sont particulièrement compétitives par rapport au bouleau dans les sites à faible teneur en azote et forte teneur en eau ; ainsi, sur des sites exploités, une remontée du niveau de

la nappe à 20 cm sous la surface topographique en été pourrait éviter l'envahissement par le bouleau, et favoriser l'implantation d'autres espèces (joncs, linaigrettes) que certaines études présentent comme facilitant l'implantation ultérieure des sphaignes (effet d'abri des touffes et/ou de la litière).

En France, le Conservatoire des Sites Lorrains considère que la gestion hydraulique est une façon durable de maîtriser la colonisation ligneuse jugée indésirable tout en relançant la dynamique de turfigène à partir d'habitats pionniers sur tourbe. Cette technique est pérenne dans son efficacité, mais aussi économique en temps de travail et en argent. Elle ne doit cependant être mise en œuvre qu'après avoir identifié et hiérarchisé les enjeux et exploré

le fonctionnement hydraulique du complexe tourbeux concerné.

L'expérience en a été faite sur la tourbière de la Morte-Femme, commune de Gérardmer [88]. La configuration du site (et notamment la topographie) s'y prêtant bien, les anciennes fosses de tourbage colonisées par les bouleaux ont été remises en eau en érigeant un simple merlon de tourbe au niveau de leur exutoire. En 10 ans, le taux de mortalité des bouleaux, laissés sur pied et donc ennoyés, est de 100% (dès 3 ans après la mise en eau), et malgré les craintes initiales d'anaérobiose du plan d'eau artificiel par décomposition de nécromasse, on constate une explosion des populations reproductrices d'odonates et une redynamisation des sphaignes des berges (Ragué, *comm. pers.*).



Vue de la fosse de tourbage avec les bouleaux ennoyés sur le site de la Morte-Femme - Gérardmer [88]
F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Une autre opportunité provient de l'imperméabilisation de la tourbe minéralisée : le gestionnaire peut tirer profit de cette propriété et favoriser une circulation hydrique en nappe sur une tourbière dégradée, qui (sous réserve d'une alimentation hydrique adaptée en qualité et quantité) pourra favoriser la réinstallation de sphaignes pionnières (*S. capillifolium*, *S. cuspidatum*...), qui seront remplacées ensuite par des sphaignes turfigènes qui reconstruiront un acrotelme fonctionnel secondaire. Cette chronoséquence a notamment été observée à la suite de la gestion hydraulique des tourbières de la

Bouyère à Jussarupt [88], de Jemnaufaing à Rochesson [88] ou du Grand Etang à Gérardmer [88], où la flore secondaire de chaméphytes et phanérophytes ligneux continue à régresser au profit des bryophytes.

Bien sûr, tous les sites ne se prêtent pas à des actions avec un tel rapport coût/effets ; la topographie, mais aussi la connaissance de l'hydrologie sont deux paramètres importants. Il ne faudrait ainsi pas, en voulant relever la nappe, inonder des secteurs d'intérêt avec des eaux trop chargées en calcium ou en éléments nutritifs...

Un autre bémol à apporter à cette approche est le fait qu'un certain nombre de facteurs indépendants du gestionnaire et/ou encore mal connus peuvent empêcher la dynamique visée de se mettre en place : apports azotés atmosphériques enrichissant le milieu, boucles de régulation au sein du complexe tourbeux...

Attirons enfin l'attention sur les démarches administratives nécessaires à de telles opérations, qui renvoient à la réglementation en vigueur concernant notamment la création de plan d'eau.



Exploitation de résineux par câble-mât dans le Morvan / PNR du Morvan

4.3. Techniques de déboisement

Le lecteur pourra se reporter aux ouvrages de Dupieux (1998) et Crassous & Karas (2007) pour les descriptions des diverses méthodes d'intervention ; la plaquette « Tourbières et forestiers » du Pôle-relais Tourbières présente aussi les conseils concernant une intervention en milieu tourbeux boisé. Nous nous contenterons donc de détailler ici certains exemples d'interventions sur des sites tourbeux de montagne impliquant des techniques particulières.

4.3.1. PNR du Morvan : le câble-mât, intervenir sans dégâts

A Champeau-en-Morvan [21], le PNR du Morvan a engagé, en partenariat avec la commune (propriétaire) et l'Office National des Forêts (gestionnaire), un programme de restauration sur 6 ha de parcelles tourbeuses plantées en épicéa au début des années 1950. Le secteur était classé en Natura 2000 et l'opération s'est déroulée dans le cadre du programme LIFE « Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée ».

L'objectif était d'assurer la transformation intégrale du peuplement résineux vers des essences feuillues spontanées, encore présentes en mélange par bouquets (bouleau, aulne).

L'enjeu était de permettre l'exploitation des épicéas sans impacter les sols et en dégageant une valorisation économique des produits pour la commune.

Les arbres, du fait des contraintes du milieu, étaient à enracinement très superficiel, fortement branchus et d'une hauteur moyenne proche de 12 m.

Les estimations de martelage donnaient les chiffres suivants :

Volume total à exploiter : 1377 m³
Volume à l'hectare : 228 m³
Nombre de tiges à l'hectare : 245
Volume moyen par arbre : 0,94 m³

L'utilisation du câble-mât permettait d'éviter un débardage mécanique rendu impossible par le sol des parcelles, trop humide pour les engins traditionnels.

Les caractéristiques du site s'y prêtaient également : fort volume de bois à l'hectare, volume total suffisant pour justifier le déplacement d'une équipe spécialisée, parcelle bordée sur deux côtés par une desserte forestière permettant l'accès et le stockage des produits d'exploitation.

Les principales caractéristiques techniques imposées étaient :

- abattage manuel, huile de chaîne biodégradable obligatoire ;
- maintien des arbres feuillus et des arbres morts ;
- débardage par câble-téléphérique des arbres (entiers ou pas mais non façonnés, car les rémanents doivent être extraits de la zone de tourbière) ;
- ébranchage et façonnage sur place de dépôt ;
- tri par produits (5 catégories) défini par l'agent de l'ONF en bord de route ;
- stockage des rémanents sur places de dépôt.

La principale difficulté technique relevée fut celle liée à l'amarrage en bout de ligne : les épicéas étant de faible hauteur et enracinés superficiellement, et malgré un haubanage

renforcé de l'ensemble des ancrages, l'amarrage a ainsi cédé à plusieurs reprises en cours de chantier.

Le bilan économique a été positif, avec des bois d'œuvre et d'industrie valorisés en moyenne à 46 €/m³ dans le cadre des contrats d'approvisionnement de l'ONF. Seuls les rémanents, dont la valorisation était initialement prévue sous forme de plaquettes forestières, n'ont pas trouvé preneur, même cédés à titre gracieux.

Le coût moyen d'exploitation a été de 39 €/m³, dont 19 pour le PNR du Morvan et 20 restant à la charge de la commune (contre 15 €/m³ pour un chantier mécanisé classique dans le secteur). Les frais de maîtrise d'ouvrage de l'ONF s'élevant à 2 €/m³, la recette nette pour la commune s'élève à 24 €/m³ (5 issus de la vente des bois plus les 19 du programme LIFE).

Cette expérience montre qu'en zone favorable (desserte à proximité, possibilités d'amarrage), l'exploitation avec câble-mât peut s'avérer très intéressante sur les milieux sensibles en zone plane, en conjuguant préservation des sols et milieux sensibles d'une part, et rentabilité économique de l'autre - et ce sur des secteurs inexploitable avec les méthodes classiques. Des actions de restauration de tourbières plantées ou dégradées peuvent donc localement être autofinancées, indépendamment des zonages et dispositifs ouvrant droit à des aides.

4.3.2. Cerclage : les expériences en Franche-Comté

La méthode du cerclage est souvent évoquée comme une technique douce et efficace ; cependant sa mise en œuvre doit respecter certaines règles pour être efficace - le lecteur pourra par exemple se reporter aux ouvrages de Dupieux (1998) et Crassous & Karas (2007) pour plus de détails.

La hauteur (une dizaine de centimètres) et la profondeur (2 centimètres environ) des anneaux sont des paramètres importants ; sur la Réserve Naturelle du lac de Remoray [25], l'expérience relatée par Dupieux (1998) n'a pas été concluante car l'écorçage avait été trop « timide », et les arbres ont pu cicatriser (Tissot, *comm. pers.*).

Le CREN Franche-Comté a également mis en œuvre cette technique, notamment sur les tourbières sites de l'Entre-Côtes à Foncine-le-Haut [39] ; après le cerclage de plus de 200 bouleaux en mars 2000, un passage a été effectué l'année suivante pour éliminer les rejets. L'opération a été un succès, avec un taux de réussite élevé, proche de 95 %.

Sur la tourbière de la Grande Seigne à Passonfontaine [25], un cerclage est réalisé chaque année depuis 2007, selon le même protocole qu'à Foncine (mais le passage a lieu début juillet). 4 ha environ ont été traités jusqu'à présent. Quelques conclusions ou observations ressortent de ces expériences (Moncorgé, *comm. pers.*) :

- les arbres meurent environ au bout de 2 à 3 ans ;
- la date d'intervention (mars ou juillet) ne semble pas influencer sur l'efficacité du traitement ;
- il est indispensable de prévoir un passage un an après le cerclage pour éliminer les rejets ;
- il convient d'être attentif (notamment à proximité des chemins) au risque de chute d'arbres plus élevés pour les sujets traités ;
- on peut choisir de ne pas exporter, ce qui résout bien des problèmes techniques (mais il faut parfois faire face à des demandes sociales d'élimination des arbres morts qui « gâchent » le paysage) ;
- cette méthode est très rapide et donc très économique ;
- des tests sur de tout petits diamètres ont eu lieu à l'été 2009 à Eromagny [70].

4.3.3. RNN du lac Luitel : quand l'ONF déboise...

L'étude des vieux aménagements forestiers, l'étude diachronique (missions de photos aériennes prises à différentes dates) et la caractérisation de l'âge des arbres par dendrochronologie ont permis de préciser les conditions d'arrivée de l'épicéa dans la tourbière du col Luitel depuis quelques dizaines d'années.

En effet, les versants entourant la réserve ont fait l'objet, à la grande époque du Fonds Forestier National, de campagnes de plantation de résineux. Les bords de la tourbière n'ont pas échappé à ce phénomène.

Du fait de leurs branches basses très développées et du dépôt annuel d'une couche de litière non décomposée, les épicéas plantés ont provoqué la disparition des plantes herbacées typiques de tourbière. L'idée de supprimer ces

arbres plantés pour restaurer ces milieux remarquables est donc apparue.

L'opération a été validée par le Comité Consultatif de la Réserve et la coupe des arbres a été réalisée en 2004. Elle s'est déroulée en respectant un cahier des charges très précis. De l'huile biodégradable a été utilisée dans les tronçonneuses, et il a été interdit aux engins forestiers, cantonnés aux pistes et routes existantes, de pénétrer dans la tourbière. Les arbres ont été évacués entiers et ébranchés hors de la tourbière pour éviter les apports de rémanents et pour permettre le retour de la lumière au sol. En 2007, deux secteurs expérimentaux ont fait l'objet d'arrachage de souches et de décapage de la litière d'épicéas accumulée depuis 70 ans. Dans les zones décapées, on observe en 2008,

le retour progressif d'espèces de lande tourbeuse (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*) en 2008 et, en 2009, des germinations de Pins à crochets.

Dans les secteurs non décapés, le bouleau (*Betula pubescens*) et les Ericacées sont apparus. Pour l'instant, aucune germination d'épicéa n'a été observée.

Le même type de chantier a été mené dans le cadre d'un contrat forestier dans une petite tourbière, la Sagne du Pin, située dans le site Natura 2000 FR8201732 "Tourbières du Luitel et leur bassin versant". Dans cette petite tourbière, les bouleaux avaient été abattus et laissés sur place pour favoriser les épicéas issus de plantations et l'exutoire de la tourbière surcreusé (il a été réhaussé dans le cadre du chantier).

Rappelons que des travaux menés dans le cadre du réseau « Tourbières d'Auvergne » et comparant des plantations sur sols sains et sur tourbe (Hénon, 2005) ont conclu que le boisement des tourbières était un « non-sens forestier » et une « hérésie économique » ; ces travaux, disponibles au Pôle-relais Tourbières, ont l'avantage de montrer de façon chiffrée que la plantation en tourbière, en plus de ses impacts écologiques, amène les propriétaires à perdre de l'argent.

5. CONCLUSION

Ce chapitre pourra apparaître comme touffu, et parfois déroutant, à certains lecteurs. S'il en est ainsi c'est qu'une fois encore rien n'est simple, et que la question des impacts des ligneux en tourbières ne trouve pas de réponse évidente et universelle.

Nous l'avons vu à travers les exemples précédents, les effets sur les différents composants de l'écosystème tourbière restent variables selon les contextes ; si certaines certitudes se dégagent, elles sont le plus souvent reliées aux aménagements sylvicoles – en particulier les travaux de drainage – plus qu'aux arbres eux-mêmes. Dans ce domaine, il reste de nombreuses interrogations, ainsi que des lacunes dans la connaissance de dynamiques complexes.

A ce titre, le gestionnaire gagnera à intervenir prudemment, en se méfiant des idées liant forcément la présence d'arbres à une dégradation de la tourbière : les intérêts des boisements tourbeux évoqués ici devraient amener à réfléchir à deux fois avant d'éliminer le couvert forestier ; et quand bien même il déciderait de supprimer les ligneux, nous ne saurions trop lui conseiller de le faire avec une « douceur » toute relative, en étalant la coupe sur plusieurs années afin d'éviter des modifications trop brutales à un milieu qui reste sensible. N'oublions pas enfin que ce sont les expériences à venir, si elles sont conduites de façon satisfaisante, qui permettront à la connaissance de progresser, et aux interventions futures de se faire de façon de plus en plus raisonnée.



6. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

AVENIR (2001). *Plan de gestion de la tourbière du Peuil - commune de Claix.* 75 p.

CRASSOUS, C. ; KARAS, F. (2007). *Guide de gestion des tourbières & marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale.* Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Pôle-relais Tourbières, 203 p.

CRPF AUVERGNE (2004). *Les tourbières en forêt.* Bulletin semestriel - fiche technique, n°35, 4 p.

CUBIZOLLE, H. ; PORTERET, J. ; THEBAUD, G. ; TOURMAN, A. (sous presse). *Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central oriental (France) au cours du XXème siècle.* Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald, sortie prévue : 2010.

CUBIZOLLE, H. ; SACCA, C. (2004). *Quel mode de gestion conservatoire pour les tourbières ? L'approche interventionniste en question.* Géocarrefour, Vol. 79/4, [en ligne].

URL : <http://geocarrefour.revues.org/index4162.html>

DUPIEUX, N. (1998). *La gestion conservatoire des tourbières de France. Premiers éléments scientifiques et techniques.* Espaces Naturels de France - Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Programme LIFE-Tourbières de France, 244 p.

FAY, E. ; LAVOIE, C. (2009). *The impact of birch seedlings on evapotranspiration from a mined peatland : an experimental study in southern Quebec, Canada.* Mires and Peat, Volume 5, Article 03, pp. 1-7.

FOURNIER, V. (2008). *Hydrologie de la tourbière du mont Covey Hill et implications pour la conservation.* Mémoire de maîtrise, M.Sc. Terre, Université du Québec à Montréal, département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, 79 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, Vol. 79/4, [en ligne].

URL : <http://geocarrefour.revues.org/index827.html>

HELVEY, J. D. ; PATRIC, J. H. (1965). *Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States.* Water Resources Research 1, pp.193-206.

HENON, J.M. (2005). *Boiser les tourbières : non-sens forestier, hérésie économique !* Espaces Naturels, N°11, p. 13.

JOHNSON, M.S. ; LEHMANN, J. (2006). *Double-funneling of trees: stem-flow and root-induced preferential flow.* Ecoscience 13(3), pp. 324-333.

LUNT, H. A. (1934). *Distribution of soil moisture under isolated forest trees.* Jour. Agr. Res. 49(8), pp. 695-703.

MANNEVILLE, O. ; VERGNE, V. ; VILLEPOUX, O. (2006). *Le monde des tourbières et des marais - France, Suisse, Belgique, Luxembourg.* Ed. Delachaux et Niestlé, 302 p.

MOREAU, P.A. (2002). *Analyse écologique et patrimoniale des champignons supérieurs dans les tourbières des Alpes du Nord.* Mémoire de thèse, Université de Savoie, 240 p.

PAYETTE, S. ; ROCHEFORT, L. (2001). *L'écologie des tourbières du Québec-Labrador.* Les Presses Universitaire de Laval, 621 p.

POLE-RELAIS TOURBIERES (2006). *Tourbières et forestiers.* Plaquette d'information, FCEN, 4 p.

PRICE, J.S. ; BRANFIREUN, B.A. ; WADDINGTON, J.M. ; DEVITO, K.J. (2003). *Advances in Canadian wetland hydrology, 1999-2003.* Hydrological Processes, 19, pp. 201-214.

PRICE, J.S. ; WADDINGTON, J.M. (2000). *Advances in Canadian wetland hydrology and biogeochemistry.* Hydrological Processes, 14, pp. 1579-1589.

RESERVE NATURELLE DE LA HAUTE CHAÎNE DU JURA. *La forêt, lien entre ciel et terre... l'arbre et le cycle de l'eau.* Panneau d'information, réalisation D. Corcelle.

ROBINSON, M. (1998). *30 years of forest hydrology changes at Coalburn: water balance and extreme flows.* Hydrology and Earth System Sciences 2(2), pp. 233-238.

RYDIN, H. ; JEGLUM, J.K. (2006). *The biology of peatlands.* Oxford University Press, 343 p.

SARKKOLA, S. (2006). *Stand structural dynamics on pristine and managed boreal peatlands.* Doctoral dissertation, University of Helsinki - Department of Forest Ecology, 78 p.

VERRY, E.S. (1997). *Hydrologic processes of natural, northern forested wetlands.* In: TRETTIN, C.C. & al. (Eds.), *Northern forested wetlands, ecology and management*, Lewis Publishers, pp. 163-188.

WAGNER, C. (1994). *Zur Ökologie der Moorbirke Betula pubescens Ehrh.* In : *Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen*, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg, Heft 47, 182 p.

COMMUNICATIONS ORALES - RÉSUMÉS, SUPPORTS

BRETSCHNEIDER, A. (2008). *Moorwald oder Birkenstadium des degenierten Hochmoores?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

CUBIZOLLE, H. & AL. (2008). *La dynamique forestière sur les tourbières des hautes-chaumes des Monts du Forez dans le Massif Central oriental (France).* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

DITTRICH, I. & AL. (2008). *Vegetationsspezifische Modellierung des Wasserhaushaltes von gehölzbestandenen Mooren und Implikationen für die Moor-Revitalisierung.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

DRAPIER, N. (2008). *L'arbre et la tourbière : quelle prise en compte dans les forêts publiques ?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008. URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

DUCHAMP, L. (2008). *Le Pin sylvestre en contexte tourbeux : un allié du gestionnaire en ces périodes climatiques incertaines?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

EDOM, F. & AL. (2008). *Ökohydrologische Modellbildung auf der Grundlage von IVANOVs hydromorphologischer Theorie und Anwendung für den praktischen Naturschutz.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

FRAHM, E. (2008). *Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines natürlichen Weidenbestandes (Salix ssp.) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008. URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

GOUBET, P. ; RAGUE, J.C. (2008). *L'impact des arbres sur les communautés turfigènes serait-il toujours négatif? Quelques observations dans les Vosges et le Massif Central.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

GREGOIRE, F. ; PARMENTIER, H. ; PASCAULT, B. (2008). *La tourbière, le plateau et l'arbre: exemple du réseau de tourbières de Montselgues (Ardèche).* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

WENDEL, D. (2008). *Bewaldete Moore und spontane Moorregeneration im sächsischen Erzgebirge unter dem Aspekt der FFH-Richtlinie der EU.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>



Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières



CHAPITRE 7

Zones humides et sports d'hiver : prise en compte, impacts, solutions

> 1.	Introduction	p.152
> 2.	Rappel historique : l'évolution des sports d'hiver	p.152
> 3.	Des situations contrastées selon les massifs	p.154
	3.1. Alpes	p.154
	3.1.1. Savoie : un plan d'action pour les zones humides	p.154
	3.1.2. Haute-Savoie	p.155
	3.1.3. Isère	p.155
	3.1.4. Alpes du Sud	p.156
	3.2. Pyrénées	p.156
	3.3. Massif central	p.157
	3.4. Jura	p.159
	3.5. Vosges	p.159
> 4.	Impacts sur les zones humides	p.160
	4.1. Destruction directe d'habitats et/ou d'espèces	p.160
	4.2. Fragmentation des habitats	p.160
	4.3. Modification des sols	p.160
	4.4. Dérangement de la faune	p.160
	4.5. Modifications majeures des schémas de circulation des eaux	p.160
	4.6. Modification de la qualité des eaux d'alimentation	p.160
	4.7. Autres pollutions	p.161
	4.8. Perturbation des dynamiques sédimentaires	p.161
	4.9. Modification des communautés végétales	p.161
	4.10. Perturbations des dynamiques de population	p.161
> 5.	Quelles solutions pour demain ?	p.163
	5.1. Prise en compte en amont	p.163
	5.1.1. Démarche de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Savoie [73]	p.163
	5.1.2. Les actions du Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP)	p.164
	5.2. Mise en place de solutions techniques alternatives	p.166
	5.3. Sensibilisation des pratiquants	p.167
> 6.	Conclusion	p.167
> 7.	Bibliographie thématique	p.169



Panorama de la station d'Huez-en-Oisans [38], un exemple de secteur où cohabitent zones humides et sports d'hiver / C. Balmain - AVENIR

1. INTRODUCTION

Les interactions entre les sports d'hiver, ou plus exactement les infrastructures et les pratiques qui leur sont liées, et les zones humides d'altitude constituent une problématique spécifique des zones de montagne. Si le développement massif des loisirs hivernaux au cours des dernières décennies a entraîné nombre de débats et d'études sur les

thèmes de la ressource en eau, des déchets, de l'érosion des sols ou encore du dérangement de la faune, les milieux humides en tant que tels n'ont guère été mis en avant jusqu'à présent. Il est cependant aisé d'imaginer que le développement de ces activités, généralement tributaires d'aménagements importants et pratiquées à des moments critiques

des cycles biologiques et hydrologiques, peuvent impacter, voire détruire ces zones d'altitude, souvent de taille réduite et issues d'équilibres fragiles. Elles sont pourtant d'autant plus remarquables que leur aire biogéographique est restreinte et morcelée, et qu'elles abritent des espèces très spécialisées, vulnérables aux changements globaux.

2. RAPPEL HISTORIQUE : L'ÉVOLUTION DES SPORTS D'HIVER (d'après François & Marcepoil, sous presse)

C'est au XIXe siècle que se développe le tourisme en montagne ; il est d'abord estival, sous forme de villégiatures dans les stations thermales ou climatiques : l'exemple-type est la station climatique du Revard [73], dans les Bauges, reliée à la station thermale d'Aix-les-Bains. La montée en puissance des activités hivernales suit bientôt, sous l'impulsion des touristes plus que des acteurs locaux - comme cela avait déjà été le cas pour le tourisme estival.

La Deuxième Guerre Mondiale marque un tournant : à l'issue du conflit, l'heure est en effet à la reconstruction du pays et de son économie dans un contexte fortement marqué par les idées sociales issues de la Résistance. Cette volonté est illustrée par l'exemple de Courchevel [73] : ce premier projet de construction d'une station d'enneigement internationale « de toute pièce » sera la première pierre d'une politique qui sera ensuite portée et diffusée par le Plan Neige (1965-1975). Dans le mouvement de reconstruction, le corps des Ponts et Chaussées tient une place centrale qui demeurera ensuite dans la dynamique d'équipement touristique de la montagne. La dimension sociale conduit quant à elle les pouvoirs publics, en l'occurrence le Conseil Général de la Savoie, à investir massivement dans un tel projet, particulièrement innovant - et donc risqué. D'un point de vue commercial, sa réalisation fut

couronnée d'un véritable succès. En ce qui concerne la méthode d'aménagement, l'expérience a permis de jeter les bases de la doctrine. La logique est celle des pôles de croissance, le développement des sports d'hiver se faisant autour des équipements de remontées mécaniques et de préparation des pistes, qui jouent le rôle d'industrie structurante (ce que certains désignent toujours comme une « industrie de la neige »).

A cette époque, la prise en compte du contexte local, qu'il soit social ou environnemental, est donc loin d'être une priorité. Les stations « intégrées » le sont donc en termes de fonctionnalité rationalisée, et non pas au sens actuel qui réfère davantage à l'environnement ou au paysage.

L'agencement des prestations nécessaires à un séjour touristique est organisé en vase clos, selon une logique interne dont la rationalité est supposée garantir le succès. Il s'agit alors d'un modèle a-territorial, présentant une offre générique et pour lequel le territoire n'est qu'un support physique. Les sociétés locales, quand elles ne sont pas simplement ignorées, sont considérées comme des sociétés agraires en échec (les montagnes se vident) et dont l'environnement naturel (pente, période de végétation réduite, etc.) limite la capacité d'évolution. Les stations de sports d'hiver apparaissent alors comme

une forme de modernité qui s'impose, parfois au détriment des sociétés locales. L'apparition après Courchevel du « promoteur unique » (immobilier et équipement du domaine), auquel les droits d'aménagement et d'exploitation sont concédés, est significative de la perte de contrôle par les pouvoirs locaux.

Une fois passée l'étape de sa diffusion, le modèle sera ébranlé par différents chocs conjoncturels. Dès le milieu des années 1970, des critiques fortes émergent quant aux réels profits locaux acquis en contrepartie des concessions d'aménagement accordées. La concentration des flux touristiques et l'impact de l'urbanisation de montagne constituent des atteintes environnementales également pointées du doigt. De plus, la croissance exponentielle du nombre des skieurs annoncée par les pouvoirs publics n'est pas au rendez-vous. A la fin des années 1980, la crise des sports d'hiver est renforcée par les premiers « hivers sans neige ». Dès lors, le modèle n'apparaît plus aussi infaillible que le voulaient ses concepteurs. L'heure est donc à la recherche de nouvelles marges de manœuvre. Au début des années 1990, avec entre autres la conférence de Rio (1992), l'« authenticité » devient une valeur centrale. Le tourisme se fait plus diffus et spécifique selon les territoires, qui deviennent une composante à part entière de l'offre.

Cette évolution est tout d'abord perceptible à travers les politiques publiques décentralisées. Depuis le milieu des années 1990, la Région Rhône-Alpes s'est vue emboîter le pas par ses départements de montagne pour porter le discours de la diversification de l'offre touristique en station, redonnant ainsi une place nouvelle au territoire. Il s'agit ni plus ni moins de la remise en cause de la suprématie des stations de montagne et, *de facto*, d'une ouverture à une autre forme de tourisme. Cependant la recherche d'oxygène des économies d'altitude passe également par un renforcement de ses bases : l'immobilier et la neige. La recherche de lits « marchands » et la volonté de sécuriser l'enneigement ont pour objectif de garantir l'exploitation des domaines skiables, mais impliquent également des besoins croissants en équipements publics, en espace et en eau.

Ces tendances questionnent fortement la pérennité des stratégies des stations de montagne face aux perspectives du changement climatique : la pression sur la ressource en eau va croissant, alors même qu'elle risque de se raréfier dans l'avenir. Les responsables, politiques ou économiques, des stations de montagne semblent pourtant prendre la mesure des enjeux de la durabilité pour une activité qui évolue en interface directe avec des milieux naturels exceptionnels et sensibles. Ainsi, la récente mise en place d'une Charte de développement durable des stations de montagne ou la multiplication des certifications ISO 14001 des entreprises gestionnaires de remontées mécaniques vont dans le sens d'une prise de conscience de l'impact des sports d'hiver. De même, diverses associations se revendiquent comme acteurs responsables de la montagne, en promouvant des démarches éco-citoyennes et en appelant les stations à faire de même, cette condition devenant un choix de destination (Guide Vert des Stations de Mountain Riders).

Ce type de démarche peut-il cependant être considéré comme suffisant, dans la mesure où elle encadre les moyens de production déployés sans remettre en cause la logique de leur déploiement et de leur expansion ? De même, n'assiste-t-on pas à une appropriation du débat sur le développement durable des stations de montagne par certains groupes d'acteurs, cherchant ainsi à en définir le champ de la durabilité et les modalités de sa mise en œuvre ?

Quoi qu'il en soit, aujourd'hui, et même si le sujet de l'aménagement en montagne reste

sensible, eu égard à l'importance des enjeux sociaux et économiques, les stations sont amenées à évoluer par la convergence de plusieurs facteurs : contexte climatique - multiplication des années sans neige, augmentation de la concurrence, notamment européenne ; émergence de l'environnement dans les préoccupations du public et les champs administratifs et légaux ; contexte financier : augmentation des coûts de gestion, limitation des dépenses des visiteurs. Une meilleure prise en compte de l'environnement fait partie des changements décelables sur les domaines skiables. Cependant celle-ci était jusqu'à présent surtout axée sur les problématiques des déplacements (réduction du bilan carbone avec la mise en place de navettes...), de déchets, d'énergie ou d'eau (gestion durable de la ressource). Mais même dans ce dernier

cas, les zones humides ne sont que peu évoquées, tant le débat se focalise sur la répartition des quantités selon les usages anthropiques (neige artificielle, alimentation en eau potable), l'entrée « milieux naturels » restant concentrée sur les débits minimaux autorisés. Ainsi les diverses démarches - labellisation, adhésion à des chartes, évaluations environnementales - ne reflètent-elles qu'imparfaitement les impacts de la station.

Il est cependant important d'élargir cette amélioration aux milieux naturels, dont les zones humides. Là encore les choses évoluent : la FRAPNA Haute-Savoie est en train d'établir une grille d'évaluation des impacts des stations faisant une large part aux incidences sur les milieux naturels, tandis que Mountain Riders souhaite compléter son éco-guide dans ce sens.



St-Pierre-de-Chartreuse [38], une station-village / H. François



Les Arcs 2000 (construction : 1979) et 1950 (construction : 2003), l'une des grosses stations de Savoie
D.A. Mottl

3. DES SITUATIONS CONTRASTÉES SELON LES MASSIFS

3.1. Alpes

Haut lieu des sports d'hiver à l'échelle européenne et mondiale, berceau du tourisme hivernal, le massif - et en particulier les Alpes du Nord - abrite les plus grands domaines skiables de la planète : Tarentaise, pays du Mont-Blanc, Haut-Chablais, Maurienne, Giffre, Vercors...

Les statistiques de Savoie Mont Blanc Tourisme, portant sur les départements de la Savoie et de la Haute-Savoie, donnent ainsi pour la saison 2008-2009 les chiffres suivants :

- 110 stations ;
- 752 km² de domaines skiables, dont 128 km² damés (soit 46% du total national !) pour plus de 1400 km de pistes ;

- 1716 remontées mécaniques (45% du parc français) ;
- 88 domaines équipés en neige de culture (2657 hectares) ;
- 38,9 millions de nuitées ;
- 744 millions d'euros de recettes (cumul ski alpin et nordique).

Au vu de ces chiffres impressionnants, on comprend la pression exercée sur les espaces d'altitude par l'activité sports d'hiver.

La diversité des milieux et espèces est également importante, en relation notamment avec la large gamme de climats, de contextes géologiques et topographiques, et l'étagement altitu-

dinal qui caractérisent le secteur.

Les travaux de connaissance sont relativement poussés, avec de nombreuses équipes techniques et scientifiques rattachés aux centres universitaires, aux réseaux associatifs et/ou aux espaces protégés.

Pour ce qui concerne les tourbières, des inventaires existent sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes (réseau des Conservatoires d'Espaces Naturels), ainsi que le département des Hautes-Alpes (Conservatoire Botanique National Alpin).

3.1.1. Savoie : un plan d'action pour les zones humides (d'après les travaux du CPNS)

L'inventaire des zones humides du département a porté sur les sites de superficie supérieure à 1000 m². Environ 15 % des zones humides se situent à plus de 2000 mètres (2052 hectares) ; environ 900 hectares se situent dans les 37 000 hectares des domaines skiables savoyards. C'est dire l'importance d'une information et d'une sensibilisation des sociétés d'exploitation, qui seront comme les maires destinataires du porter à connaissance.

Les zones humides ont été divisées en deux catégories :

- celles de niveau départemental, destinées à être gérées par le Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie : les plus remarquables d'entre elles mériteraient d'intégrer un programme de création d'espaces protégés (arrêté préfectoral de protection de biotope principalement) ;
- celles de niveau local, dont les plus intéressantes mériteraient une gestion par les collectivités (les autres devant comme l'ensemble des zones humides être classées « N » au Plan Local d'Urbanisme).

Afin d'expérimenter ce type de plan d'actions, le Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie (qui gère déjà une tourbière protégée sur cette commune) a initié un projet sur le territoire de Saint-Martin-de-Belleville, en partenariat avec la commune et le Parc National de la Vanoise, en associant également l'Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise. Saint-Martin-de-Belleville s'avère en



Tourbière du Plan de l'Eau - Les Ménuires [73] / M. Juton - AVENIR

effet être un véritable « château d'eau », avec une très grande surface de zones humides (près de 550 hectares), dont plusieurs remarquables. D'où le projet de conserver et valoriser ce patrimoine exceptionnel de manière globale et concertée mais volontariste, et ce par tous les moyens :

- le plus souvent par la simple protection dans les documents d'aménagement et de gestion du territoire : classement « N » au Plan Local d'Urbanisme, clause environnementale aux contrats d'alpage (communaux) ;
- par maîtrise foncière (quand c'est nécessaire et faisable) ;
- parfois avec interventions sur le terrain : rebouchage de drains, canalisation de promeneurs ou de bétail (aménagement d'abreuvoirs à l'écart des zones sensibles ...) ;

- ponctuellement, la réactivation d'un entretien agricole (fauche de la « blache ») pourrait s'envisager, avec un intérêt écologique, mais aussi sociologique et pédagogique ;
- par une valorisation pédagogique sur certains sites, en fonction de leur sensibilité et de leur accessibilité.

Au total, un dialogue avec la commune et les domaines skiables pourrait situer les zones humides au centre d'une approche cohérente du territoire afin qu'elles ne soient plus vues que comme des « épines » dans les dossiers d'aménagement, mais une composante du territoire importante à prendre en compte, et pourquoi pas un atout en termes de notoriété et d'éco-tourisme.

La comparaison avec d'anciennes cartes des secteurs aujourd'hui aménagés montre qu'un nombre considérable de petits sites ont disparu, par exemple autour des Ménuires [73] ; des études plus approfondies sur les documents anciens seraient vraisemblablement très riches en enseignements.

3.1.2. Haute-Savoie

La tourbière de Sommand, considérée comme l'un des sites majeurs des Alpes du Nord, est confrontée aux nouveaux aménagements liés à la station de ski : une gare de départ de remontée mécanique est implantée sur la tourbière, et devrait être déplacée lors de sa réfection. Par ailleurs l'urbanisation (parkings, logements) implique une multiplication de remblais pouvant s'avérer dangereuse pour la tourbière. Des projets de retenues d'altitude, un temps évoqués, pourraient aussi venir modifier l'équilibre hydrologique du site. Ce type de problèmes se retrouve sur les secteurs proches (Praz-de-Lys...).

Des destructions de zones humides et d'espèces associées (dont *Drosera rotundifolia*) pour la création de retenues d'altitude ont été signalées à Megève et Combloux.

Sur le plateau des Glières (massif des Bornes), qui abrite une importante richesse

faunistique et floristique, les pistes de ski nordique - dont certaines sont aussi utilisées comme pistes d'alpage ou sentiers de randonnée en été - passent à proximité ou

recoupent différents milieux humides (tourbières acides à sphaignes, mégaphorbiaies...), sans que les impacts n'aient été véritablement étudiés.



Sommand [74] : les infrastructures de la station de sports d'hiver empiètent sur la tourbière / Vivre à Sommand

3.1.3. Isère

L'inventaire des zones humides de plus d'1 hectare recense 45 700 hectares sur l'ensemble du département, dont 4193 (soit 9,1%) au-dessus de 1200 mètres.

La station de ski nordique d'Autrans, dans le Vercors [38], site olympique pour les Jeux de Grenoble en 1968, avait engagé sous l'impulsion du Conseil Général une démarche d'évaluation et d'amélioration des impacts du ski nordique sur la biodiversité. Le processus n'a cette fois-ci pas pu être mené à terme, mais les échanges préalables ont apporté quelques pistes intéressantes. Les responsables techniques envisageant, pour des raisons d'économie, de réduire le kilométrage de pistes tracées, on pourrait imaginer de faire entrer les enjeux environnementaux en ligne de compte. Ainsi le fait qu'un itinéraire impacte sensiblement une population ou un milieu sensible pourrait constituer un critère de choix, au même titre que les logiques techniques plus classiques.



Secteur des Plagnes à Allevard [38] / M. Bérenger - AVENIR

3.1.4. Alpes du Sud

Le nombre et la taille des stations font que les problèmes de cohabitation restent

limités ; quelques cas ponctuels ont cependant été recensés, avec par exemple

une retenue d'altitude empiétant sur des zones humides à Serre-Chevalier [05].

Des tourbières à protéger (d'après les travaux du CEEP)

Les conditions climatiques géomorphologiques, hydrographiques des Alpes du Sud ne se prêtent pas à la formation de tourbières hautes typiques, dites tourbières "bombées". Les milieux tourbeux n'en sont pas moins présents et leur situation biogéographique, leur vulnérabilité et la présence d'espèces animales et végétales rares confèrent à ces milieux un intérêt patrimonial majeur.

Les milieux tourbeux sont représentés par des bas-marais d'altitude qui couvrent la plupart du temps des surfaces restreintes, mais atteignent parfois des tailles remarquables (de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares), comme dans certaines hautes vallées du Briançonnais (marais de Névache, marais du Bourget dans les Hautes-Alpes), du Queyras ou de l'Ubaye (Lac des Sagnes, lac Saint Jean... dans les Alpes de Haute Provence).

Ils sont le refuge d'espèces rares telles que l'Avoine odorante (Hierochloa odorata) ou la Laïche des boubiers (Carex limosa), protégées en France, et de nombreuses espèces protégées au niveau régional. On rencontre également, très localement, de petits bas-marais à sphaignes (col Bas dans l'Ubaye).

Les bas-marais arctico-alpins à Laïche bicolore (Carex bicolor), Laïche noirâtre (Carex atrofusca) et Laïche à petite arête (Carex microglochis), véritables reliques glaciaires, sont localisés aux plus hautes altitudes. En limite d'aire dans les Alpes du sud, ces formations sont extrêmement vulnérables.



Carex buxbaumii / L. Quelin - CEEP



Carex bicolor / F. Le Driant - FloreAlpes.com

3.2. Pyrénées

Un point a été effectué en juin 2008 à Bagnères-de-Bigorre [65] lors du 5e séminaire « Tourbières des Pyrénées » : chaque acteur présent a ainsi pu donner son avis sur la situation dans le massif. Le compte-rendu de ces rencontres est disponible en ligne sur le site du Pôle-relais Tourbières.

- Certains domaines pyrénéens ont été les premiers à être certifiés ISO 14001 ; 9 sites répartis sur 6 domaines (Peyragudes, Pic du Midi, Tourmalet (Barèges et La Mongie), Les Angles, Formiguères, EPSA Gourette - Pierre-St-Martin - Iseste) ont pour l'heure obtenu ce label, cependant peu contraignant sur le plan des milieux naturels ;

- Les sports d'hiver ne semblent pas constituer un problème majeur dans l'état actuel des choses, même si des destructions de micro-habitats sont à déplorer lors de la création de pistes sur les sites d'Iraty, Issarbe (ski de fond) et Artouste (ski de piste) [64]. Ces dommages directs ou indirects sont liés aux aménagements aux abords des pistes

(busage, drainage et assèchement). A noter que les infrastructures créées sont souvent à usages multiples (sylviculture en particulier) ;

- Le Parc National des Pyrénées ne peut guère intervenir, car les zones concernées sont dans la zone d'adhésion (ex-zone périphérique), où ses prérogatives sont réduites ;

- Le PNR des Pyrénées Catalanes [66], s'appuyant sur un inventaire récent des tourbières de son territoire (Scop SAGNE 2003-2006), mène un travail de portée à connaissance auprès des collectivités et des gestionnaires de domaines skiables. Ce travail d'animation a permis à plusieurs reprises d'orienter les aménagements vers des solutions prenant en compte la conservation des tourbières (Les Angles, Font Romeu-Pyrénées 2000, Formiguères, Eyne) ;

- Les petits aménagements dans les stations existantes, non soumis aux

études UTN, sont cependant particulièrement dommageables :

- assainissement d'une prairie tourbeuse en pied de piste sur 1000 m², voire plus, sans procédure administrative ;
- petits travaux répétés assez régulièrement chaque année : petits terrassement, recalibrage de ru, passages busés, fossés et pistes en bord de zone humide ;

- Des inquiétudes se cristallisent aussi sur les projets de développement futur des stations :

- retenues d'altitude dès l'abord des sources, alors que jusqu'ici les têtes de bassin étaient relativement préservées ;
- extensions de stations (dont procédures Unités Touristiques Nouvelles), de domaines, ou liaisons entre stations, qui peuvent menacer des secteurs à forts enjeux jusque là préservés ;

- la vallée du Soussouéou est menacée par le projet de relier les deux stations de ski de piste du département, Artouste et Gourette [64] ;
- un projet d'extension de la station de

- Lhers [64] envisage de passer au niveau

de la tourbière de Bernadouze ; cependant le manque de neige de ces dernières années retarde le projet ;

- la petite tourbière de l'Estagnon [09] est à surveiller, car elle est traversée par une piste (présence de buses en béton) ;
- extension de la station d'Issarbe ;
- un dossier de demande d'autorisation est en cours sur la station du Mourtis [31] ;
- projet d'extension du domaine « Porte des Neiges » à Porta [66] ;

- enjeux de préservation du patrimoine génétique local : à la Pierre St-Martin [64], on constate l'apport de terre d'origine exogène, avec semis de gazon à base de graines non locales ;
- pour la qualité des eaux liée à la neige artificielle, l'impact reste méconnu ; même sans adjuvants, on peut supposer que la qualité d'eau est cependant différente, puisque les retenues sont des milieux stagnants qui s'enrichissent en azote et phosphore sous diverses

formes ; un bassin a été construit à Gourette [64] ;

- par ailleurs des contestations venant d'autres acteurs émergent en réaction au développement des stations ; ainsi les agriculteurs se plaignent que les stations se voient accorder des salages et autres « privilèges » qui leur sont refusés.

3.3. Massif central

Un premier recensement montre que les activités hivernales existent de l'Allier aux Cévennes, dans une fourchette d'altitudes allant de 950 à 1850 mètres. Le ski alpin se pratique sur 11 stations représentant près de 200 kilomètres de pistes (ce qui reste modeste comparé aux plus de 1400 km pour les seuls départements de Savoie-Haute-Savoie !), 81 remontées mécaniques, et déjà plus de 310 enneigeurs artificiels.

Quant au ski nordique, plus développé, il est divisé entre 25 domaines représentant plus de 900 km de pistes.

Même si les installations sont sans commune mesure avec celles des Alpes du Nord, il existe donc un tourisme hivernal non négligeable. Plutôt familial, basé sur les concepts d'authenticité et de « nature », il est potentiellement le plus facile à relier aux problématiques de protection de l'environnement. La cohabitation assumée des tourbières et des skieurs sur certains sites en témoigne, comme à Saint-Régis-du-Coin [42], dans le massif du Pilat, où la tourbière de Gimel, ouverte au public en été (sentier thématique avec caillebotis), figure aussi sur le plan du domaine nordique (voir ci-contre).

L'inclusion de la plupart des stations dans des Parcs Naturels Régionaux (Monts d'Ardèche, Livradois-Forez, Volcans d'Auvergne, Millevaches-en-Limousin, Pilat) ou le Parc National des Cévennes devrait aussi permettre de faciliter le pilotage et la coordination de futures actions à l'échelle du massif.

Cette démarche est d'autant plus souhaitable que le Massif central abrite de nombreuses tourbières (en 2002, on recensait plus de 2000 sites pour une superficie supérieure à 15000 ha, hors Morvan) qui ont donné lieu à de nombreuses actions : mise en relation des gestionnaires à travers le réseau « Tourbières Massif central », inventaires des sites par le CREN Rhône-Alpes et mise en place du Programme d'Etude des Tourbières de Rhône-Alpes (PETRA) pour le département de la Loire, inventaires en Auvergne et Cévennes, travaux sur les archives naturelles menés par l'université de Saint-Etienne sur le Massif central oriental granitique et le Velay...



Des perspectives intéressantes existent donc :

- affiner l'identification des gestionnaires & prendre contact pour initier la démarche (par l'intermédiaire des structures en place) ;
- un travail de cartographie est à faire, en collaboration avec les gestionnaires des stations de sports d'hiver ;
 - cartographie fine des domaines (pistes, remontées mécaniques...);
 - recoupage avec les inventaires de zones humides (mis à jour si nécessaires) ;
 - recoupage avec la localisation des captages AEP, et des infrastructures pour la production de neige artificielle.

Note : ce travail est programmé dans les actions du réseau « Tourbières Massif central » pour 2011 ;

- actions de sensibilisation menées en concertation avec l'ensemble des acteurs ;
- développer le conseil technique auprès des stations (par exemple avec prise en compte de la cartographie Natura 2000 dans les choix d'aménagement, revégétalisation des pistes avec des essences locales, intégration des parcelles dans les MAE territorialisées, signature de la charte Natura 2000 par la station...);
- associer les associations de protection de

la nature dans les choix de gestion de la station (ainsi le Comité de pilotage de la station de Chalmazel [42] intègre d'ores et déjà deux associations de protection de la nature) ;

- contribution au développement des actions de recherche à l'échelle nationale (impacts du tassement lié aux sports d'hiver sur la végétation et le sol, impacts de la neige artificielle...);
- développer les échanges d'expériences sur cette thématique (actions en collaboration avec le Pôle-relais Tourbières et le réseau « Tourbières du Massif central », journées techniques...).



Station de Chalmazel [42] / CREN Rhône-Alpes



Diphasiastrum alpinum se développe sur les secteurs décapés des pistes de ski alpin / J. Cholet

Sur la station de Chalmazel [42], gérée par le Conseil Général de la Loire, des soucis dus à des manques de communication ont été signalés. Ainsi quelques remontées mécaniques empiètent sur des zones humides recensées par le CREN, et des pylônes ont dû être déplacés *in extremis* pour sauvegarder des micro-zones humides abritant une flore remarquable : *Lycopodiella inundata*, *Pinguicula grandiflora*, *Drosera rotundifolia*, *Andromeda polifolia*, *Carex pauciflora*, *Vaccinium oxycoccos* et *V. microcarpum*.

En revanche les inventaires montrent qu'un certain nombre d'espèces protégées au niveau national, dont trois espèces de lycopes (*Diphasiastrum oelgaardii*, *D. alpinum* et *D. tristachyum*), sont paradoxalement favorisées par les secteurs décapés lors de légers travaux d'entretien des pistes de ski alpin (coupe d'arbustes puis fauche ou étrépage des landes). On retrouve ici un aspect typique des espèces pionnières, qui profitent des conditions créées par des perturbations liées aux activités humaines.

3.4. Jura

Le massif est un haut lieu du ski de fond ; le ski de descente est quant à lui cantonné à des stations d'envergure régionale (Métabief-Mont-Dore, Val de Morteau, les Rousses...). Les domaines nordiques s'appuient pour leur communication sur l'aspect sauvage et préservé, un peu à l'image du Massif central. A ce titre, les tourbières contribuent à la qualité paysagère, et en particulier à l'aspect « Grand Nord » mis en avant sur certains secteurs (ainsi le val de Mouthe [25] est-il connu comme la « Petite Sibérie »). Cependant le skating et la compétition ont aussi leur place, portés par les titres internationaux des athlètes de la région ; or les infrastructures nécessaires deviennent alors plus importantes (pistes plus larges, plus longues, plus techniques - donc utilisant un éventail de terrains plus large, et éventuellement enneigement artificiel).



Piste de ski de fond et tourbière à Lac-des-Rouges-Truites [39] / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Là encore, les interactions avec les sports d'hiver ont été peu étudiées, sinon pour les aspects dérangements liés en particulier à la présence du Grand Tétrás (*Tetrao urogallus*) dans les forêts d'altitude (massifs du Massacre, du Risoux...).

Sur la commune de Lac-des-Rouges-Truites [39], des aménagements ont été réalisés pour assurer la reconexion hydraulique de la tourbière (abritant entre autre *Sphagnum obtusum*) et de la majeure partie de son bassin versant (voir 5.2.).

3.5. Vosges

(d'après les travaux du CSL)

La mise en place des protections réglementaires (RNN, RNR, APPB, RB) et foncières sur les zones humides a fait disparaître une grande partie des causes de destructions des tourbières acidiphiles des Hautes-Vosges. Il subsiste néanmoins des conflits d'usages liés à la pérennité, voire au développement d'activités de sports d'hiver. Les sports de neige et les activités touristiques en dépendant (hôtellerie, moniteurs de ski, vente d'équipements...) constituent des enjeux économiques et socioprofessionnels d'autant plus considérables que les activités industrielles traditionnelles du massif vosgien (filière bois, filière textile, petite métallurgie, plasturgie...) sont touchées par la récession.

Sur les sources de la Savoureuse [90], des pistes de ski nordique ont été déviées pour préserver des sites tourbeux.



Tourbière de La Ténine [88] / J. Cholet

4. IMPACTS SUR LES ZONES HUMIDES

L'aménagement des domaines de sports d'hiver peut impacter les zones humides d'altitude de nombreuses manières, plus ou moins directes. Certains impacts sont évidents ; d'autres, plus discrets, ont été démontrés, et d'autres encore restent des suppositions, faute d'études suffisantes ; ce paragraphe tente de résumer ces impacts en indiquant les opérations auxquelles ils sont liés, résumées par les codes suivants :

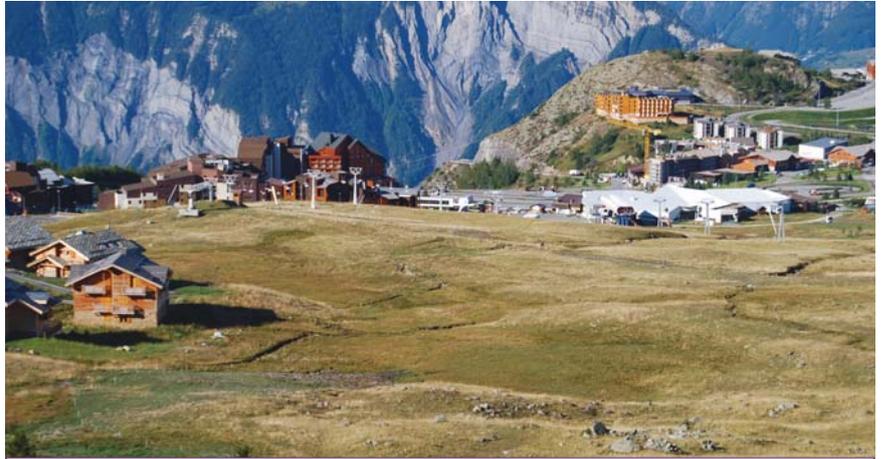
1 : création/modification des pistes et accès, des infrastructures liées (remontées mécaniques), ou de l'urbanisation du site (création de bâtiments, résidentiels ou non) ;

2 : création et fonctionnement de systèmes d'enneigement artificiel (retenues d'altitude, canons à neige...) ;

3 : entretien hivernal des pistes (damage)... ;

4 : pratique des sports d'hiver ;

5 : entretien estival des pistes (fauche...), utilisation hors saison (forestiers, randonneurs...).



Station d'Huez-en-Oisans [38] / E. Jourdan - AVENIR

4.1. Destruction directe d'habitats et/ou d'espèces

1 (décapage et reprofilage du terrain naturel, remblais, drainage, coupes forestières, passage d'engins) ;

2 (décapage et reprofilage du terrain naturel, remblais, passage d'engins, ennoiment des zones humides - secteurs de replats) ;

5 (fauche - impact variable selon les taxons considérés, les milieux et les dates, passage d'engins/piétinement, drainage des secteurs humides pour assurer la qualité et la tenue de la neige).

4.2. Fragmentation des habitats

En particulier forestiers (impact important pour les galliformes de montagne) : **1**.

4.3. Modification des sols

En particulier par les engins lourds : **1, 2, 3, 4, 5** (intensité et étendue sont très variables ; entraîne une perte de matière organique, une diminution de la macroporosité et de la perméabilité, ainsi qu'une augmentation des écoulements et de l'érosion).

4.4. Dérangelement de la faune

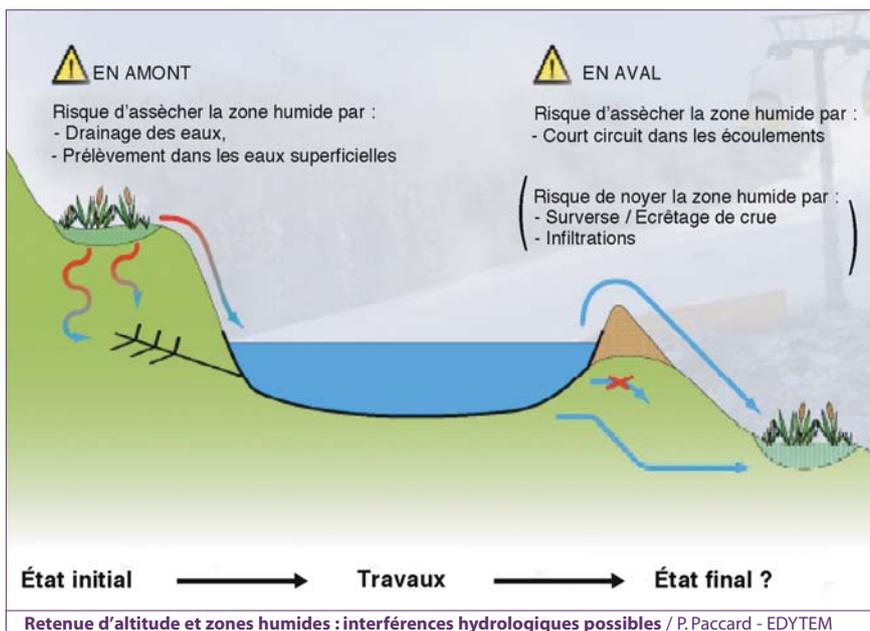
1, 2, 3, 4, 5 (bruit des engins ou enneigeurs, phares des dameuses, pratique du hors-piste).

4.5. Modifications majeures des schémas de circulation des eaux

1, 2 (captage des sources et écoulements).

4.6. Modification de la qualité des eaux d'alimentation

1, 5 (apports de fertilisants pour favoriser le reverdissement, ou de remblai de composition minéralogique différente), **2** (la neige artificielle est relativement riche en éléments nutritifs, et peut enrichir les secteurs oligotrophes ; de plus son effet est cumulatif sur plusieurs années).



Snomax© : où en est-on ?

Historique

En 1975, Steven Lindow, chercheur à l'université du Wisconsin (Etats-Unis), découvre une enzyme qui possède la faculté d'orienter les molécules d'eau et de favoriser leur cristallisation. Cette protéine, baptisée INA (« Ice Nucleating Activity »), est contenue dans la membrane de la bactérie *Pseudomonas syringae*. Ladite bactérie est présente à l'état naturel sur les feuilles des végétaux.

Le Snomax© est présenté comme un produit facilitant la production de neige de culture en conditions météorologiques défavorables pour l'enneigement naturel. Il permet de produire de la neige de culture avec une température extérieure atteignant 4°C.

Il est fabriqué aux Etats-Unis par Genencor International Inc., qui détient le monopole de la fabrication. Il est issu de la souche 31a de *P. syringae*, cultivée en milieu liquide dans d'immenses fermenteurs. Puis les bactéries sont lysées, la suspension est lyophilisée, et la poudre résultante est agglomérée en granules. Pour finir, le produit est stérilisé aux rayons X de façon à éliminer les bactéries survivantes sans dénaturer les protéines, opération indispensable pour conserver l'activité de la protéine INA. Il est ensuite mélangé à l'eau qui sera envoyée dans les canons à neige. Il a été utilisé en France entre 1992 et 2005 par 23 stations ; suite aux questions qui ont émergé sur ses éventuels effets sur la santé humaine et l'environnement, son utilisation a été volontairement suspendue par les professionnels des stations de sports d'hiver.

Ce produit n'est cependant pas interdit en France ; de même, son importation et sa commercialisation ne sont pas soumis à autorisation.

Impacts potentiels

1/ Santé humaine

- *P. syringae* ne présente pas de pouvoir pathogène pour l'homme ;
- son pouvoir allergisant est inconnu ;

- étant une bactérie Gram négatif, elle contient en revanche des endotoxines (lipopolysaccharides) qui, inhalées ou ingérées, provoquent des réactions inflammatoires, et qui ne seraient pas détruites lors du processus de fabrication du Snomax© (qui préserve l'intégrité des protéines) ; l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) considère cependant qu'au vu des taux de dilution du produit, et sachant que l'homme est régulièrement exposé aux endotoxines dans son milieu naturel, l'additif ne constitue pas un danger toxicologique supplémentaire pour les usagers des pistes de ski. Une attention particulière devra en revanche être portée aux nivoculteurs, plus exposés.

2/ Environnement

- Des tests ont montré qu'on ne retrouve plus de *P. syringae* vivants en sortie de la chaîne de production du Snomax© ;
- la FRAPNA 74 rappelle que, si le chromosome bactérien est détruit par l'irradiation des bactéries, les plasmides (portions d'ADN circulaires), plus stables, pourraient subsister, et des échanges avec les micro-organismes du sol avoir lieu ; selon les gènes se trouvant au niveau des plasmides, les conséquences pourraient être problématiques : développement de la résistance aux antibiotiques, acquisition de l'enzyme INA et augmentation des gelées matinales... ;
- le problème principal est lié au fait que l'additif est un concentré de lysat bactérien, mais aussi de milieu de culture déshydraté. Son utilisation correspond donc à un apport dans le milieu naturel d'éléments nutritifs, et en particulier d'azote (issu des acides aminés), ce qui permet un fort développement de micro-organismes présents à l'état naturel dans les sols ou l'eau utilisée pour la neige de culture, et potentiellement pathogènes : entérocoques fécaux, colibacilles... pouvant entre autres provenir de réseaux d'assainissements défectueux ou de troupeaux ; concernant la végétation, une légère fertilisation est soupçonnée, mais sans que cela puisse être clairement attribué à l'utilisation de l'additif.

4.7. Autres pollutions

- 1, 2, 3, 5 (fluides mécaniques : huiles, carburants..., engrais issus des travaux de reprofilage et de reverdissement) ;
4 (l'impact des farts n'est pas connu ; déchets divers liés aux pratiquants).

4.8. Perturbation des dynamiques sédimentaires

- 1 (apports de fines liés à la création ou la modification de pistes), 2 (création et vidanges de retenues d'altitudes).

4.9. Modification des communautés végétales

- 1, 2, 3, 4, 5
● apparition de communautés pionnières si mise à nu du terrain : 1, 2 (reprofilage), 3, 4, 5 (tassement ou piétinement) ;
● revégétalisation = modification des cor-

tèges floristiques, risques de pollutions génétiques si emploi d'espèces présentes mais de souche non locale : 1, 2 ;

- modification de la structure par fauche des pistes : 5 ;
- la neige artificielle isole moins bien les végétaux et le sol du froid hivernal, augmente l'humidité du sol, et sa durée de présence est plus importante (mise en place précoce, fonte tardive), réduisant d'autant la fenêtre de développement des végétaux : 2 ;
- impact des cares, en particulier sur les jeunes peuplements forestiers (pratique hors-piste) : 4 ;
- destruction ou endommagement des tiges, réduction de la vigueur de la plante, diminution du pouvoir de régénération, du taux de recouvrement au sol par piétinement : 3, 4, 5.

4.10. Perturbations des dynamiques de population

Liées aux déchets laissés par les pratiquants, qui pourraient attirer et maintenir en altitude

des prédateurs habituellement absents de ces zones en hiver : renards, corneilles... avec des impacts sur les espèces-proies, dont les galliformes de montagne : 4.

D'une manière générale, ce n'est que rarement le domaine skiable qui pose problème en montagne, mais plutôt les aménagements connexes (nouvelles zones urbaines, captages d'eau, réseaux divers (eau assainissement, électricité), gestion des déchets...).

Ainsi la décharge sauvage de Matemale [66], dont l'activité est indirectement liée aux sports de neige (gros volumes de matériaux de construction, de démolitions, etc.) a été installée pour partie sur une tourbière.

Désormais en cours de réhabilitation en déchèterie contrôlée, cet aménagement a cependant détruit 1,5 ha de tourbière de grande qualité (station de Ligulaire de Sibérie...). Les travaux de mise aux normes ont conduit à réhabiliter 2 300 m² de tourbière ensevelie.

Des études finlandaises menées dans les parcs nationaux de Pallas-Ounastunturi et Oulanka ont montré que le piétinement entraîne des modifications au niveau du microclimat et des propriétés physico-chimiques et hydrologiques du sol. Les changements de végétation apparaissent rapidement, même avec un piétinement léger, et diffèrent selon la strate de végétation et les caractéristiques de chaque espèce (résistance et résilience, taux de régénération après perturbation). La réponse des végétaux est liée à leur morphologie et leur type biologique.

3 catégories ont été distinguées :

- les herbacées : taux de régénération à court terme le plus élevé ; à long terme, en revanche, ce sont les Cypéracées qui ont le taux de régénération le plus élevé ; quant aux autres herbacées, elles sont presque entièrement détruites ;
- les sous-arbrisseaux rhizomateux (*Vaccinium spp.*) : taux de régénération à court et long terme moyens ;
- les sous-arbrisseaux non rhizomateux (*Empetrum nigrum*, *Betula nana*) : taux de régénération à court et long terme les plus faibles.

Les réponses peuvent se faire à retardement : les plants d'*Empetrum nigrum* continuaient à mourir un an après la fin du piétinement, ceux de *Betula nana* au bout de deux ans. La diminution de la strate muscinale est plus tardive, ou est la conséquence d'un piétinement plus important ; on suppose que les autres strates jouent un rôle de compartiments tampons.

Les influences directes du ski de fond sur le sol et la végétation sont moindres que celles décrites ici, qui sont liées à la randonnée ;

en revanche, les auteurs notent que l'influence est plus étendue, puisque les pistes de ski sont plus larges que les sentiers et damées mécaniquement, ce qui compacte la neige et retarde sa fonte. Tandis que la randonnée réduit d'avantage la couverture végétale des terrains secs (dominée dans ce cas par la callune), le ski impacte plus la végétation mésique (dominée par *Hylocomium sp.* et *Vaccinium myrtillus*).

Les forêts relativement sèches semblent être plus tolérantes aux deux activités. L'impact du ski est lié à une diminution du taux de recouvrement des sous-arbrisseaux à feuilles caduques dominants, qui s'avèrent être remplacés par des espèces semperviventes. L'importance des surfaces touchées et la durée de récupération durant l'été peuvent favoriser les espèces héliophiles (lichens, espèces semperviventes).

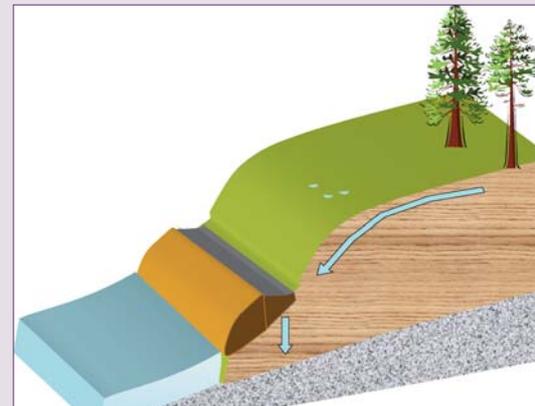
Les pentes sont plus sensibles, à cause des effets combinés du piétinement et de l'érosion liée à l'eau (en particulier lors de la fonte des neiges). La diminution du couvert végétal a été estimée comme étant 6 fois supérieure sur des terrains en pente que sur le plat.

Exemple de la tourbière de la Ténine, La Bresse [88]

Le reprofilage et l'orniérage du versant sud de la tourbière de la Ténine a initié la minéralisation de la tourbe. L'ornière entraîne un tassement qui rend la tourbe imperméable (en surface comme en profondeur). Des flaques se forment dans l'ornière et favorisent dans un premier temps l'installation de groupements initiaux sur tourbe nue à *Campylopus introflexus* (bryophyte invasive), *Rhynchospora* blanc et *Linaigrette* engainée.

Avec les progrès de la minéralisation (augmentation du rapport N/C), ce cortège spécialisé peut rapidement être supplanté par un cortège d'espèces mésophiles plus banal.

L'ornière entraîne d'autre part la fissuration de la tourbe de surface, ce qui rompt la continuité hydrologique de l'acrotelme. Le rabattement de la nappe aquifère se traduit alors en aval de l'ornière par l'installation d'un faciès de dégradation à *Molinie* bleue.



Exemple de dégradation de complexe tourbeux liée au tracé d'une piste de ski de fond sur le site de La Ténine [88]
J.C. Ragué - CSL



Dégradation de la tourbière bombée de la Ténine à La Bresse [88] due à la création d'une piste de ski de fond / J. Cholet

5. QUELLES SOLUTIONS POUR DEMAIN ?

5.1. Prise en compte en amont

De nombreux inventaires de zones humides existent déjà, mais il faut être attentif aux critères retenus lors de leur exécution (notamment en termes de superficie minimale) : en effet certaines micro-zones humides peuvent s'avérer intéressantes, que ce soit intrinsèquement, en termes d'espèces protégées, ou pour leur contribution aux réseaux écologiques locaux. Or les inventaires menés en Isère par AVENIR ont montré que les zones humides supérieures à 1ha ne représentaient que 9,1% du total des sites du département !

Des inventaires complémentaires, avec une prospection de terrain exhaustive de la zone, doivent être systématisés en amont des projets (en particulier lors des études d'impact).

Le porter à connaissance des inventaires existants constitue également un enjeu important, afin de s'assurer de la plus large diffusion des connaissances compilées.

5.1.1. Démarche de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Savoie [73]

De nombreux travaux d'aménagement liés aux sports d'hiver tombent sous le coup du système des notices ou études d'impact, en fonction de leur importance (articles R 122-5 à 9 du Code de l'Environnement). Ces procédures devraient permettre une prise en compte précoce des éventuels impacts, et permettre de les supprimer, les atténuer, ou le cas échéant les compenser (pour mémoire, cette solution n'est que le recours ultime, dans le cas où les deux premières options ne sont pas réalisables). Le contenu détaillé des études d'impact est fixé par l'article R 122-3 du Code de l'Environnement ; quant aux notices, portant sur les travaux de moindre importance, seuls leurs principes généraux sont fixés par l'article R 122-9.

Il apparaît cependant que leur qualité est souvent insuffisante : la DDAF 73 a ainsi demandé des compléments dans 40% des dossiers concernant l'aménagement de la montagne entre 2004 et 2007 (une cinquantaine par an). Partant de ce constat, elle a étudié en 2007 et 2008 les documents d'analyse d'impact fournis avec les dossiers d'aménagement en montagne. L'objectif était de produire des statistiques sur les éléments réellement présents dans les notices et études, de les croiser avec les attentes des services de l'Etat et d'en déduire les points à améliorer. Cette démarche, conduite en collaboration

avec de nombreux partenaires locaux (DIREN, Parc National de la Vanoise, bureaux d'études, représentants des exploitants), doit permettre *in fine* de mieux prendre en compte l'environnement dans ces projets, et assurer en parallèle un gain d'efficacité lors du traitement administratif des dossiers.

Ces études, volontairement restreintes aux projets affectant prioritairement le milieu naturel terrestre, tels que pistes de ski, remontées mécaniques, défrichements, lotissements, ZAC... ont porté sur 138 études et notices postérieures à 2004. L'enquête a été réalisée via une grille de lecture binaire (oui/non) permettant d'obtenir des résultats objectifs quant au contenu et à la méthode utilisée pour réaliser ces documents.

La flore, qui constitue a priori le compartiment le plus impacté par les travaux, est traitée de manière très hétérogène. Trop souvent, aucune visite de terrain n'a été réalisée (cas de 44% des notices et 30 % des études), et lorsqu'elles sont réalisées, les sessions de terrain le sont parfois à des dates ne permettant pas un travail correct. Par ailleurs, peu de dossiers (27 % des études, 5 % des notices) présentent des cartographies permettant de localiser les principaux types de milieux naturels concernés par le projet.

La faune n'est souvent que peu ou pas traitée, et quand elle l'est les interrelations avec la flore sont omises. La bibliographie est la seule ressource utilisée dans la majorité des cas où la faune est prise en compte. A noter que l'étude de la faune reste complexe de par la diversité des taxons, les différences de leurs méthodes d'étude respectives et le temps important nécessaire à une connaissance satisfaisante.

La description du milieu hydrique est rarement satisfaisante dès lors que le projet ne concerne pas exclusivement l'aménagement d'un cours ou d'un plan d'eau. Dans la description de l'état initial, lorsque la cartographie de la situation (replats, marais, écoulements temporaires... signalés sur les fonds IGN), voire les travaux projetés (drainage...), laissent penser qu'il pourrait y avoir un enjeu à ce sujet, les écoulements de surface sont oubliés dans 30% des cas, et les zones humides dans 65 % des documents ! Dans ce cas, les services sont amenés à se prononcer défavorablement pour obtenir les complé-

ments d'information nécessaires, bloquant de fait l'instruction des dossiers.

D'autres thèmes tels que le paysage, la forêt ou le pastoralisme, ainsi que la démarche suivie, la forme du document ont également été analysés de la même façon.

Pour conclure, l'étude rappelle :

- que la prise en compte de l'environnement à l'amont des projets suppose une démarche itérative ;
- que les alternatives possibles doivent être clairement définies et présentées ;
- que des échanges sont nécessaires entre maître d'ouvrage, bureau d'études et autres acteurs (et notamment les naturalistes locaux) ;
- que la suppression ou la réduction des impacts constituent l'objectif initial, la compensation ne devant être envisagée que si ces pistes s'avèrent impossibles ;
- que les études et notices d'impact, si elles correspondent à deux degrés de précision, visent des objectifs identiques.

Elle formule ensuite un certain nombre de recommandations, parmi lesquelles nous pouvons citer :

Pour la flore :

- de systématiquement effectuer des visites de terrain ;
- de le faire à des dates judicieuses (été) ;
- de privilégier l'approche cartographique par habitats ;
- d'adapter la finesse des inventaires selon les enjeux et l'importance du projet ;
- de localiser les espèces protégées.

Pour la faune :

- de privilégier l'approche bibliographique et la consultation d'experts ;
- de procéder à des inventaires complémentaires si des enjeux particuliers le justifient.

Pour les zones humides :

- de déterminer (et maintenir) l'alimentation hydrique des zones humides ;
- de localiser les sources et écoulements divers ;
- d'utiliser la bibliographie existante (notamment les inventaires de zones humides)
- le cas échéant, d'effectuer des inventaires complémentaires (faune et flore) détaillés
- d'intégrer des précautions de chantier et de remise en état.

Un constat peu satisfaisant

- Les notices d'impact souffrent d'une quasi-absence de cadrage réglementaire, ce qui conduit à de grandes disparités en termes de contenu, depuis la note de 3 pages jusqu'à un document aussi complet qu'une étude.
- Il ressort des entretiens avec les acteurs que ces documents sont trop souvent perçus comme des pièces administratives conçues séparément des projets : or leur objet est précisément de permettre l'intégration environnementale des aménagements en prenant en compte très à l'amont les différentes contraintes techniques, topographiques, économiques et... environnementales. Leur réalisation est souvent programmée en dernière minute, interdisant ainsi la réalisation d'inventaires de terrain en période favorable.
- Il existe une grande confusion entre les termes de « réduction » et de « compensation » d'impact : pour mémoire, on essaye d'abord de supprimer et/ou réduire les impacts environnementaux des aménagements, et ce n'est que lorsqu'un impact important persiste qu'il convient de le compenser. De plus, le manque de suivi sur le terrain conduit parfois à « oublier » les mesures annoncées une fois l'autorisation accordée.

Ce travail s'est concrétisé par la diffusion de documents de cadrage à destination des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre de Savoie, mais également à plus grande échelle puisque la DIREN Rhône-Alpes et le Syndicat National des Téléphériques de France envisagent de le relayer. Ces documents sont des notes concises mettant en avant les principales voies d'amélioration souhaitées. L'objectif est que ces rappels contribuent à



Secteur à *Drosera rotundifolia* et *Eriophorum vaginatum* à Ax-Bonsacre [09] / S. Malaval - CBNPMP

replacer les études et notices d'impact comme outils de construction de projet pour les maîtres d'ouvrage, et non comme simple contrainte administrative... D'ici là, il convient de signaler que la future loi Grenelle II serait susceptible de régler une partie de ces questions à moyen terme, puisque l'on s'orienterait vers une suppression de la notice d'impact et vers un pouvoir de contrôle accru de l'autorité environnementale. Sous toutes réserves évidemment...

5.1.2. Les actions du Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP)

Face à la nécessité d'amplifier la conservation de la flore pyrénéenne lors des aménagements en montagne et des revégétalisations associées, le Conservatoire Botanique a mis en place, depuis l'été 2000, une mission de conseil et d'appui technique. Cet accompagnement, destiné à tous les acteurs pyrénéens et notamment aux domaines skiables, affiche un double objectif : la prise en compte de la flore

ophile et des milieux associés au cours des aménagements, ainsi que la valorisation des espèces locales pour les opérations de restauration écologique consécutives à ce type d'intervention.

C'est dans ce contexte que le Conservatoire est intervenu sur le domaine skiable d'Ax-Bonassac [09]. Appelé pour définir des mesures en faveur de la conservation de la flore pour un projet UTN en cours (implantation de remontées mécaniques et de nouvelles pistes), les visites de terrain ont permis de mettre en évidence des enjeux floristiques importants mais aussi des carences au niveau des études d'impact – réalisée pour l'anecdote par un stagiaire lors de 2 demi-journées d'octobre, par temps de brouillard...

Plusieurs populations de *Drosera rotundifolia* et *Eriophorum vaginatum* (de protection régionale, et non mentionnées par le bureau d'étude) étaient présentes sur le secteur du projet.

Le CBNPMP a donc formulé en urgence des mesures concrètes pour garantir la protection de ces deux espèces et le maintien de la fonctionnalité de leur milieu :

- redéfinition et déplacement d'un pylône en amont d'une zone à linaigrette engainante ;
- modification des tracés de pistes impactant les populations et les zones humides ;
- définition de mesures de protection pendant le chantier (révision des accès chantier, matérialisation et interdiction de circulation sur les zones à risques...) et de préconisations de revégétalisation.

L'ensemble de ces mesures, qui ont été correctement suivies, a permis la préservation de ce site à fort enjeu environnemental.



Application d'un mélange de semences pyrénéennes pour la revégétalisation d'un talus
S. Malaval - CBNPMP



Semis d'espèces locales sous filet de protection
S. Malaval - CBNPMP

Pour d'autres cas, comme au poste de douane à la frontière d'Andorre, il a été demandé de ne pas appliquer de fertilisants pour les opérations de revégétalisation, en raison de la grande sensibilité du site (tourbières hautes actives et tourbières de pente).

Parfois encore, on ne cherche pas forcément à obtenir un gazon vert, la densité des semis restant faible pour faire la place à la recolonisation naturelle. De plus, l'impact paysager est également à prendre en compte. Si on veut limiter l'érosion, il faut cependant un recouvrement de végétation d'au moins 60%.

Cependant ce type d'intervention reste coûteux en matière de réactivité et d'adaptabilité : il faut connaître les enjeux du site, qui ne sont

pas toujours clairement identifiés, et l'arrivée sur le secteur peut être trop tardive, malgré les appels des maîtres d'ouvrages qui ne sont que peu sensibilisés à ces questions. Le risque est de se voir confronté à des travaux en cours et des dégâts importants, voire irrémédiables.

Pour prévenir de telles situations, avec des interventions parfois en urgence, le CBNPMP propose aux domaines skiables un véritable outil de diagnostic et de planification des opérations de revégétalisation (voir ci-dessous).

Cet outil est actuellement en cours de construction sur 4 domaines skiables des vallées d'Ax [09] (Ax-les-Thermes, Beille, Ascou et Le Chioula), et d'autres stations ont manifesté leur intérêt pour cette démarche.

Vers un plan de gestion flore-milieux naturels-revégétalisation

L'objectif de cet outil est d'intervenir en amont pour améliorer la connaissance du territoire, dans le but de préparer au mieux les opérations d'aménagement et de revégétalisation. Il est basé sur une cartographie des milieux naturels et des enjeux environnementaux à l'échelle du territoire. Un outil informatique de type SIG devra permettre au gestionnaire de visualiser facilement les sensibilités environnementales sur le domaine. Des préconisations associées à chaque enjeu permettent d'établir le cahier des charges des futurs travaux.

De la même manière, cet ensemble de données naturalistes peut être fourni aux bureaux d'études en amont des projets.

La méthode a été testée sur Peyragudes [65-31] en 2006-2007 et a également servi avec l'ONF aux Angles [66].

Sur les 4 stations des vallées d'Ax, les inventaires naturalistes sont en cours, et viennent compléter des données parfois existantes, recensées par exemple au cours d'autres études (études et notices d'impact, rapport de stage...). Ainsi, sur le plateau de Beille [09], une analyse de l'ensemble des usages anthropiques du secteur a été réalisée, avec pour objectif d'assurer une meilleure compatibilité de ces usages entre eux et avec les enjeux de conservation de la nature, dont bien évidemment les tourbières sont un élément important.

Objectifs :

- connaître la sensibilité du domaine skiable en matière de flore et de milieux naturels ;
- conserver les milieux et les éléments les plus sensibles de cette flore ;
- faire un diagnostic des besoins et des urgences en matière de revégétalisation ;
- établir une planification des opérations de revégétalisation ;
- cibler les moyens à employer en revégétalisation au regard des contraintes du milieu (écologiques floristiques, paysagères...)
- avoir un suivi pertinent des opérations de revégétalisation dans le temps.

Couches d'information :

- contour des pistes ;
- plan de circulation des engins ;
- zonage des projets d'aménagement à 5 ans sur le domaine skiable ;
- niveau de couverture végétale des pistes de ski (ensemble du domaine) ;
- cartographie des habitats naturels du domaine skiable (permet notamment de définir les objectifs de revégétalisation) ;
- cartographie des populations de plantes rares, protégées et menacées sur le domaine skiable ;
- fichier de suivi des travaux, d'aménagement et de revégétalisation piste par piste ;
- divers éléments complémentaires sur le domaine skiable : périmètre de captage des eaux, réseaux de canons à neige, emplacements des remontées mécaniques...

Pour le Conservatoire Botanique, les recours nombreux que mènent des associations ont au moins eu un impact : les stations sont en alerte, et ne vont plus lancer un projet sans prendre connaissance de leur milieu naturel et

de la réglementation.

Cependant la démarche est centrée sur les stations botaniques. Il serait nécessaire d'étendre la réflexion sur les aspects fonctionnel et hydrologique (y compris la ressource en eau).

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne est preneuse de procédures permettant de prendre en compte ces éléments et recherche des partenaires pour des démarches innovantes.

5.2. Mise en place de solutions techniques alternatives

Si une analyse poussée de la situation a abouti à la conclusion qu'aucune alternative au projet d'aménagement proposé n'était raisonnablement possible, ou en présence d'aménagements anciens impactant une tourbière, des dispositions doivent être prises afin de minimiser les impacts.

Quelques cas ont été recensés en France :

- Sur la tourbière de Jemnaufaing [88], une piste de ski fond damée traversait le haut-marais. Cette situation dégradait le milieu (tassement des sphaignes et des histosols, drainages périphériques, dérangement de la faune), et exposait employés des pistes et skieurs à des mésaventures sur les tremblants voisins. Le Conservatoire des Sites Lorrains a travaillé avec le ski-club de Rochesson/Uxegney, le propriétaire des parcelles concernées et l'ONF pour trouver un accord et déplacer l'itinéraire en-dehors des habitats tourbeux. C'est chose faite depuis 1999, grâce à des financements Natura 2000, et l'ensemble des partenaires est satisfait de cette conclusion du dossier.



Tourbière de Jemnaufaing [88] / F. Schwaab



Tourbière de La Cabanasse et domaine skiable des Angles [66] / J. Thomas - Scop SAGNE

- Dans le Haut-Jura, sur le site de Lac-des-Rouges-Truites [39], une piste de ski nordique sur remblai a été créée en bordure de tourbière, isolant cette dernière de la majorité du bassin versant. Le PNR du Haut-Jura est donc intervenu afin de faire réaliser *a posteriori* des travaux de reconnexion hydraulique : des buses ont été posées sous la piste, et permettent de rediriger les eaux précédemment bloquées par le remblai (et collectées par un fossé) vers le secteur humide en aval.

- Sur la tourbière des Saisies [73], les travaux d'amélioration des pistes se font en collaboration étroite avec l'ensemble des partenaires, et notamment l'Université de Savoie, afin d'assurer la meilleure prise en compte des milieux naturels.

- La tourbière de la Cabanasse, sur le domaine skiable des Angles [66], a été endommagée en 2001 par un glissement de terrain provenant d'une piste située en amont (5 000 m³ de matériaux), puis en 2003 lors de la vidange d'une retenue d'altitude située en amont. Une partie du site a été comblée par les sédiments relargués lors de ces incidents. Des travaux de stabilisation des sols (reprofilage, végétalisation) et un aménagement de la retenue ont été mis en œuvre depuis.

- A La Plagne [73], la création de la retenue d'altitude de la Forcle menaçait deux bas-marais acides (milieux relativement fréquents en Vanoise, n'abritant pas ici d'espèces protégées) développés sur quartzites colmatées, et couvrant une

superficie totale de 600 m². Au final, l'extension de la retenue a été limitée pour préserver l'un des sites, qui a été équipé d'une signalétique pour sensibiliser le public sur le fonctionnement des zones humides et sur l'intérêt de les préserver.

Quant au second bas-marais, promis à la destruction, il a fait l'objet d'une tentative de « reconstitution ». Le Conseil Supérieur de la Pêche (aujourd'hui Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) a demandé, au cours de l'enquête publique liée à la loi sur l'eau, que cette opération fasse l'objet d'un protocole et d'un suivi. La « reconstitution » avait donc été programmée « *selon un protocole adapté et sous la conduite d'une personne spécialisée* », avec un rapport final et un bilan. Elle s'est déroulée en trois phases :

- décapage de la végétation et du substratum ;
- mise en place dans une cuvette d'accueil ;
- replantation de blocs de sphaignes, de laïches et de linaigrettes.

L'opération a cependant été un échec, peut-être à cause de la qualité du substrat d'accueil, mais surtout de l'absence d'alimentation hydrique de la nouvelle cuvette ! Les efforts se poursuivent donc pour mettre en place une mesure compensatoire valable...

A noter que l'ensemble du chantier a été balisé pour éviter l'intrusion d'engins en zones humides.



Discussions hivernales sur la tourbière de Lac-des-Rouges-Truites [39]
F. Muller - Pôle-relais Tourbières

5.3. Sensibilisation des pratiquants

Les zones sensibles, que ce soit au niveau des milieux (zones humides...) ou des espèces (galliformes de montagne...) peuvent être mises en défens ; cependant, comme avec les décideurs, une explication au niveau des clôtures (panneautage) permet d'améliorer le respect des consignes, parfois ignorées car non comprises. Ainsi sur le secteur du col du Coq, en Chartreuse [38], les zones-refuges du Tétraz-lyre (*Lyrurus tetrrix*) sont-elles balisées et signalées ; le service Environnement du Conseil général a reçu des plaintes qui se sont muées en félicitations, une fois la problématique expliquée plus en détail aux interlocuteurs. La communication est le ressort principal pour espérer modifier significativement les comportements individuels. En ce qui concerne les tourbières, il ressort des enquêtes menées qu'il est plutôt difficile de mettre en valeur des milieux enfouis sous la neige ; de plus les aménagements estivaux sont souvent peu visibles, ou dans des secteurs non fréquentés en hiver. En dehors de la thématique faune, les possibilités semblent donc limitées.

6. CONCLUSION

Certains impacts environnementaux liés aux sports d'hiver sont bien documentés, et font encore l'objet de recherches : on peut citer l'aménagement des pistes de ski alpin et les questions d'érosion, de recolonisation spontanée et de revégétalisation, les impacts sur les galliformes de montagne (dérangement, mortalité liée aux aménagements), ou encore les effets de la neige artificielle sur le sol et la végétation.

A l'heure actuelle, il faut cependant composer avec le manque de données scientifiques sur d'autres problèmes possibles ou probables liés aux sports d'hiver. C'est en particulier le cas pour les tassements provoqués soit par les engins, soit par les skieurs eux-mêmes. Les pollutions qui pourraient découler des farts sont elles aussi cantonnées jusqu'ici dans le domaine des suppositions. On peut imaginer qu'elles soient nocives pour des milieux particulièrement sensibles comme les micro-zones humides d'altitude, mais il est à l'heure actuelle impossible de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse. De manière générale, le manque de recherches précises rend plus difficile les actions en direction des responsables de



Enneigement artificiel à Métabief [25] : assurance-neige ou gabegie ? / E. Bourret

domaines skiables.

La mise en place de programmes de recherche sur ces thématiques serait donc utile ; des projets débutent d'ailleurs au CEMAGREF de Grenoble.

Il convient en attendant de populariser un « principe de précaution » puisque, même s'ils ne sont pas toujours quantifiés et/ou expliqués, les impacts restent probables, voire constatés.

On pourra par exemple citer le cas de la tourbière de Grosse Biberkessel, en

Forêt-Noire (Allemagne), visité lors de la session de terrain 2008 du Groupe d'Etude des Tourbières, et où le passage, une seule année, d'une compétition de ski de fond a profondément modifié la végétation. Une nappe de *Trichophorum cespitosum* s'est ainsi développée, matérialisant parfaitement le tracé de l'époque. Personne n'est en mesure d'expliquer le phénomène, mais la constatation est pour le moins troublante.



Création de mares sur la tourbière des Saisies [73] / L. Wlerick - ONF

La valorisation auprès des pratiquants est aussi un domaine à explorer. Les contraintes techniques - et basiquement la couverture neigeuse - ne permettent guère de réutiliser les techniques classiques d'éducation à l'environnement, en tout cas celles basées sur l'observation directe du milieu et des espèces. Le développe-

ment de nouveaux outils pourraient s'avérer utile, en s'appuyant par exemple sur la dimension paysagère et les parallèles avec les images « nordiques » renforcées en hiver. Elle se fera vraisemblablement dans une approche plus large que les seules zones humides, intégrant des problèmes plus directement liés aux comportements

des pratiquants, comme le dérangement de la faune en période sensible.

L'aspect sécurité (éviter les chutes de skieurs dans les trous d'eau) peut également être un levier efficace, qui a déjà été utilisé dans les Vosges pour argumenter le déplacement de la piste de Jemnaufaing [88], et aux Saisies [73].



Panneautage des mares de la tourbière des Saisies [73] / L. Wlerick - ONF

La sensibilisation devra également se faire vis-à-vis des bureaux d'études, et à ce titre une démarche comme celle de la DDAF 73 (voir 5.1.1.) gagnerait à être généralisée. La transmission des informations existantes en amont des projets doit être facilitée ; les flux se feront idéalement dans les deux sens, les gestionnaires pouvant transmettre leurs connaissances initiales, et profiter des inventaires et études effectués par les bureaux d'études pour les implémenter.

Enfin les pistes de formation et sensibilisation des décideurs devront aussi être approfondies, afin qu'ils intègrent l'existence de ces milieux, leur richesse et leur sensibilité et puissent la retranscrire dans leurs politiques, leurs cahiers des charges etc. L'idée avait été évoquée en octobre 2008 lors du colloque co-organisé à Grenoble par le CEMAGREF et le Pôle-relais Tourbières, où ils étaient présents en nombre. Tout le monde - et d'abord les zones humides - gagnerait en effet à ce que ces dernières ne soient plus vues comme des obstacles, mais comme des milieux d'intérêt à préserver...



7. BIBLIOGRAPHIE THÉMATIQUE

AGENCE FRANÇAISE DE SECURITE SANITAIRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL (2008). *Avis relatif à « l'évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation d'adjuvants pour la fabrication de la neige artificielle ».* Saisine n°2005/SA/007, 5 p.

CEMAGREF (2004). *Neige de culture et SNOMAX™ : quels impacts sur l'environnement ?* [en ligne].
URL : http://www.notre-planete.info/actualites/actu_342_snomax_impacts_environnement.php

FRANCOIS, H. ; MARCELPOIL, E. (sous presse). *Evolution des stations dans le contexte de la mise en place d'un développement durable.* Echo des Tourbières, Pôle-relais Tourbières/FCEN, n°17.

RÄMET, J. ; TOLVANEN, A. ; KINNUNEN, I. ; TÖRN, A. ; ORELL, M. ; SIIKAMÄKI, P. (2005). *Sustainable tourism.* [en ligne].
URL : http://www.mm.helsinki.fi/mmeko/tutkimus/SUNARE/pdf/33_Ramet_etal.pdf

RIXEN, C. ; STOECKLI, V. ; AMMANN, W. (2003). *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes?* Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, Vol. 5/4, pp. 219 - 230.

TOLVANEN, A. ; FORBES, B.C. ; WALL, S. ; NOROKORPI, Y. (2005). *Recreation at Tree Line and Interactions with Other Land-Use Activities.* In : WIELGOLASKI, F.E. (ed.), *Plant ecology, herbivory and human impact in northern mountain birch forests.* Ecological Studies, Springer-Verlag, pp. 203–217.

TOLVANEN, A. ; RÄMET, J. ; SIIKAMÄKI, P. ; TÖRN, A. ; ORELL, M. (2004). *Research on ecological and social sustainability of nature tourism in northern Finland.* Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 2, pp. 264–270.

WIPF, S. ; RIXEN, C. ; FISCHER, M. ; SCHMID, B. ; STOECKLI, V. (2005). *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation.* Journal of Applied Ecology 2005/42, pp. 306-316.

ET L'ENSEMBLE DES DOCUMENTS PRÉSENTÉS SUR LA PAGE THÉMATIQUE DE NOTRE SITE :
[HTTP://WWW.POLE-TOURBIERES.ORG/SPORTS_HIVER.HTM](http://www.pole-tourbieres.org/sports_hiver.htm)

- Bibliographie thématique
- Plaquette « *Tourbières et sports d'hiver* » (Pôle-relais Tourbières, 2008)
- Compte-rendu du 5e séminaire « *Tourbières des Pyrénées* » (Bagnères-de-Bigorre, juin 2008)
- Actes du colloque FCEN/Cemagref « *Zones humides et sports d'hiver* » de Grenoble (octobre 2008)
- Éléments du colloque de restitution - état des lieux en France (St-Laurent-en-Grandvaux, février 2009)



Rédaction

Geneviève Magnon - Communauté de communes de Frasne-Drugeon

Bruno Tissot - RNN du lac de Remoray

Julien Guyonneau - CBN Franche-Comté



CHAPITRE 8

VOUS AVEZ DIT « SUIVIS » ?



> 1.	Introduction	p.172
> 2.	Les retours d'expérience de différents types de suivis	p.173
	<i>2.1. Les suivis de type "surveillance"</i>	<i>p.173</i>
	<i>2.1.1. Sur la flore : cas de l'expérience de suivi patrimonial de la végétation sur le bassin du Drugeon (massif du Jura - département du Doubs)</i>	<i>p.173</i>
	<i>2.1.2. Sur la faune : cas de l'expérience de suivi de surveillance patrimoniale d'invertébrés (Rhopalocères et Odonates) dans le bassin du Drugeon et la réserve naturelle du lac de Remoray (massif du Jura - département du Doubs)</i>	<i>p.175</i>
	<i>2.2. Les suivis de type "monitoring" avec évaluation</i>	<i>p.178</i>
	<i>2.2.1. Sur la flore : cas des suivis d'impact de la gestion sur les habitats dans le bassin du Drugeon et la Réserve Naturelle du lac de Remoray (massif du Jura - département du Doubs)</i>	<i>p.178</i>
	<i>2.2.2. Autres expériences de suivis</i>	<i>p.181</i>
> 3.	Les coûts	p.182
> 4.	Conclusion	p.183
> 5.	Bibliographie thématique	p.183

1. INTRODUCTION



Vue d'ensemble du ponton de la station de recherche du programme PEATWARM à Frasne [25] / F. Laggoun-Défarge - CNRS Orléans

La gestion des milieux naturels doit impérativement s'accompagner d'un minimum de suivi scientifique. Les choix de non-intervention dûment planifiés font également partie de la gestion, et entrent donc dans ce même champ d'application. L'ouvrage de Dupieux (1998) présente les différentes méthodologies de suivis standardisés, qui ne seront pas reprises dans la présente publication.

S'il est une terminologie qui prête à discussion, c'est bien celui de « suivi de gestion ». Le terme unique de « suivi » est utilisé par tous les gestionnaires de tourbières pour désigner un certain nombre d'opérations parfois très différentes. L'important n'est pas tant ce qui est fait dans un suivi, mais bien pourquoi on le fait.

Les débats de la table ronde « Tourbières de France », qui s'est tenue à Lyon en 2002 entre gestionnaires et scientifiques, ont contribué à mettre en évidence les divergences de vocabulaire des uns et des autres autour de la notion de suivi, pour adopter finalement la terminologie (non normalisée) suivante :

- le terme de « **diagnostic** » est utilisé pour les mesures et observations effectuées à un instant t ; il recouvre également la notion d'inventaire, valable pour toute observation ou mesure faisant l'objet de protocoles nor-

malisés permettant de connaître la valeur d'un milieu (CREN Rhône-Alpes) ;

Exemples : protocole IPA, cartographie d'habitats.

- le « **suivi** » correspond aux mesures ou aux observations du milieu et/ou de l'action faites à un instant t , puis répétées à $t+1$, $t+2$, etc. (notion de reproductibilité de l'étude) ;

- il s'agira d'une « **surveillance** » lorsque le suivi est réalisé sans hypothèse particulière, uniquement pour appréhender une évolution sur le long terme (on parlera de « **veille patrimoniale** » lorsqu'on se concentre sur des espèces considérées comme telles) ;

Exemples : suivis de papillons par transects, suivis annuels de libellules.

- il s'agira d'un suivi de type « **monitoring** » lorsqu'il est mis en place pour répondre à des questions claires, tester des hypothèses ;

Exemples : suivi piézométrique après travaux de bouchage de drains (« Le niveau de la nappe a-t-il été modifié ? »), suivi de carrés/exclos en zone d'intervention et non-intervention (« La végétation est-elle impactée par les actions de gestion ? »).

- l'« **évaluation** » correspond à la comparaison des mesures entre les instants t , $t+1$, $t+2$, etc. sur un même site, ou à la comparaison des mesures et/ou observations à l'instant t entre 2 sites ;

- au-delà du suivi peut se mettre en place un programme ou une action de type « **recherche** », qui à partir d'un recueil de données permettra de vérifier une hypothèse de départ après traitement statistique et analyse des données recueillies (CREN Rhône-Alpes).

Exemple : programme PEATWARM sur la tourbière de Frasne : mise en place d'une station de recherche dont les données permettront de valider ou d'infirmer l'hypothèse selon laquelle le réchauffement climatique va transformer la fonction « puits de carbone » des hauts-marais en fonction « source de carbone ».

Aussi le suivi de gestion recouvre-t-il bien l'ensemble de la terminologie, car il suppose de :

- disposer d'une situation initiale à un instant t, suite à un diagnostic issu de diverses mesures ou observations, permettant de définir des choix de gestion (= intervention, avec type et modalité des actions, ou non-intervention) ;
- disposer de répliqués de ces mesures et observations après mise en place des actions de gestion ;
- comparer la situation initiale avant l'intervention à la situation après intervention, à partir de l'analyse des observations et/ou des paramètres mesurés (évaluation de la gestion).

La méthode PROMME, décrite dans le chapitre 1, inclut la stratégie de mise en place d'un suivi.

Peut-on parler d'une réelle spécificité des suivis en moyenne montagne ?

La méthodologie et le questionnement sur les objectifs du suivi et la pertinence des indicateurs (échelle, etc.) seront les mêmes, quels que soient le milieu et les sites étudiés. La contrainte non négligeable à prendre à compte pour la moyenne montagne est la climatologie, avec de fortes variations climatiques connues d'un massif montagneux à l'autre en France : tendance océanique, régime cévenol, tendance continentale... La moyenne montagne est soumise à des conditions hivernales souvent rigoureuses, et dispose d'une saison estivale raccourcie par rapport aux zones de plaine, ce qui génère les implications suivantes :

- enneigement : limitation de l'accès au site et perturbation des matériels de mesures (pluviomètre non fonctionnel en hiver, non résistant à la fonte de la neige...);



Le suivi des sites de montagne se fait sous la contrainte des facteurs climatiques
Université de Saint-Etienne

- gel /dégel : fortes contraintes sur le matériel (phénomènes d'exhaussement et d'aspiration des piézomètres) ;
- événements pluviométriques parfois rapides et violents en montagne : effet des crues et forts ruissellements à prendre en compte pour des installations de mesures hydrologiques ;
- période de prospection des espèces parfois réduites (papillons et libellules par exemple), entraînant l'obligation de prévoir une importante disponibilité sur une courte fenêtre de temps.

2. LES RETOURS D'EXPÉRIENCE DE DIFFÉRENTS TYPES DE SUIVIS



Dénombrement global par les bénévoles de la Société Botanique de Franche-Comté / J. Guyonneau - CBNFC

Quelques sites ont bénéficié de plusieurs types de suivis à de grandes échelles d'espace et de temps, comme les bassins du Dugeon et de Remoray (deux sites très proches dans le massif du Jura, département du Doubs) entre la fin des années 1990 et 2008, ou le réseau de zones humides gérées par le CREN Rhône-Alpes ; ce dernier a ainsi pu effectuer une analyse comparative de différents types de suivis mis en œuvre sur ces zones humides, sur la base d'un échantillon de 290 opérations réalisées entre les années 1990 et 2006. Ces expériences, riches d'enseignement, permettront parmi d'autres de guider les gestionnaires dans leur choix de suivi.

2.1. Les suivis de type « surveillance »

2.1.1. Sur la flore : cas de l'expérience de suivi patrimonial de la végétation sur le bassin du Dugeon (massif du Jura - département du Doubs)

Responsable du suivi

Communauté de communes Frasne-Dugeon.

Partenaires/prestataires

Conservatoire Botanique National de Franche-Comté et Société Botanique de Franche-Comté.

Objectif des suivis

Parmi les espèces végétales les plus rares et menacées au niveau national présentes dans les tourbières du bassin du Dugeon, quatre espèces ont été choisies : le Liparis de Loesel, la Saxifrage œil-de-bouc, la Calamagrostide raide et la Laïche étoilée. Leur suivi constitue un outil de veille et de contrôle de leur état de conservation, mais aussi un outil d'amélioration de la connaissance de leurs populations. En effet, avec peu de connaissances au départ, il était primordial de préciser leur extension spatiale, leur importance quantitative et les fluctuations de leurs effectifs.

Variables et indicateurs suivis

Les données de mesures directes de la taille de population (effectif, surface occupée) sont utiles pour évaluer l'évolution des effectifs dans le temps. La vitalité ou la dynamique des populations peuvent être appréhendées par des mesures biométriques (hauteur de tige, nombre de fleurs par hampe florale, nombre de fruits fécondés, nombre de plantules...). L'état de conservation de l'habitat est mesuré par un relevé phytosociologique localisé de la station, et renouvelé (variation de spectre sociologique et des valeurs écologiques indicatrices).

Echelle d'intervention

Le suivi des espèces concernées s'est fait sur l'ensemble des populations ; les stations définies comme importantes ont été suivies régulièrement. Au total, 23 populations d'espèces ont été suivies dans une dizaine de tourbières du bassin du Drugeon (210 km²).

Durée du suivi

Les suivis de chaque population ont été réalisés tous les ans dans la mesure du possible, et ce de 2002 à 2007.

Echantillonnage

La majorité des populations a été suivie annuellement ; cependant les dénombrements, parfois fastidieux, monopolisant l'attention sur certaines populations et pas sur d'autres, ont fait que quelques données manquent à la série. La découverte en cours de suivi de nouvelles stations a également généré des séries d'observations incomplètes sur la période considérée.

Méthodologie

Le protocole utilisé au départ du suivi, lorsque la connaissance n'était pas suffisante pour mettre en place des protocoles très pointus, est la réalisation de dénombrements globaux. Chaque ensemble d'individus fait l'objet d'un relevé au GPS, d'un dénombrement précis, et dans certains cas du comptage des fleurs (pour le Liparis de Loesel ou la Saxifrage œil-de-bouc, par exemple). Les points GPS sont renouvelés tous les 5 à 10 mètres par un parcours de type « battue ». Des protocoles de suivis par placettes ont également été mis en place, et ce dès 2002 pour la Saxifrage œil-de-bouc. Ils permettent de suivre précisément l'évolution des individus stolonifères, en réalisant une cartographie sur trois placettes de 4 mètres carrés. En 2005, cinq transects de cinquante placettes chacun ont été mis en place pour suivre de manière précise les populations



Quadrat de suivi pour la Saxifrage œil-de-bouc (placette de 4 m²) / J. Guyonneau - CBNFC

de Liparis de Loesel, avec l'espoir d'un gain de temps par rapport au comptage global.

Bilan synthétique

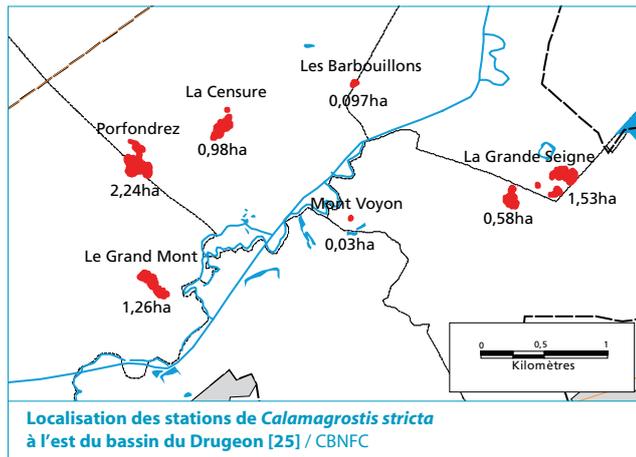
Le suivi des populations par comptage global a permis d'améliorer considérablement les connaissances sur la taille des populations, que ce soit en termes d'effectif ou de surface occupée. Au terme de la période, une silhouette synthétique de la taille numérique et spatiale a été réalisée pour chaque population. Pour le Liparis de Loesel, par exemple, l'ensemble des neuf populations occupe une surface moyenne de 10 hectares, fluctuant entre 5 et 15 hectares ; les effectifs sont compris entre 850 et 5 300 individus. L'état de conservation de chaque population est excellent. S'il est vrai que la méthode par comptage global est plus représentative de l'ensemble de la population, elle reste lourde à mettre en place (une dizaine d'observateurs est mobilisée). Pour la Laïche étoilée et la Calamagrostide raide, la découverte de plusieurs populations en cours de suivi a

rendu la faisabilité d'un suivi annuel moins évidente. Toutes les localités n'ont donc pas été dénombrées chaque année. De plus, le suivi a réellement montré l'importance des populations qui n'étaient pas vraiment identifiées jusqu'alors, ce qui a donc demandé plus de temps que prévu. La localisation des stations est un résultat très important de ces suivis. La Calamagrostide raide occupe une surface totale de 11 hectares et la Laïche étoilée de 3 hectares.

La méthode d'échantillonnage par transect est quantitativement plus fine, bien que moins représentative spatialement (l'échantillon est limité dans l'espace). Elle est aussi plus facile à mettre en place. Les résultats montrent que, sur une surface limitée, l'observation est plus exacte. Pour le Liparis de Loesel par exemple, les individus sont beaucoup mieux détectés. Les populations présentent des effectifs stables ou croissants, mais pas de fluctuations aussi importantes que celles observées pour le comptage global.

Comparaison des méthodes de suivi de Liparis de Loesel (méthodes par comptage global et par échantillonnage par transect)

	Comptage global		Transects avec placettes
Effectif compté	global mais sous évalué	+	+ réelle mais non globale
Valeur de l'effectif	minimum observé	+	+ réel
Aire de la station	globale	+	0 partielle
Densité calculée	faible	-	+ forte
Valeur de la fluctuation spatiale	fiable	+	0 non représentatif
Valeur de la fluctuation d'effectif	globale sans être exact	+	+ faible mais non représentatif
Effet observateur	important	-	+ faible
Pression d'observation	30 h/station	-	+ 8 h/station



Le suivi de la Saxifrage œil-de-bouc est mené par un comptage global sur les deux stations, complété par un suivi de placettes d'échantillonnage sur l'une d'entre elles. L'état de conservation de l'une, découverte en 2005, est considéré comme excellent. L'autre station, suivie depuis 2001, présente un état de conservation défavorable. Le suivi, qui avait permis de constater le maintien de 2001 à 2005, a montré ensuite la diminution régulière des effectifs et l'eutrophisation marquée de l'habitat. Une recherche des causes a permis d'identifier une pollution et d'y remédier en 2008. Ce suivi a donc joué un grand rôle dans la veille écologique de la station, mais il peut sembler peu réactif, étant donné le temps de réaction

de la végétation, qui est long en tourbière. Un suivi d'autres indicateurs simples aurait aidé à la détection précoce de la dégradation de la qualité de l'eau (conductivité, pH...). Au terme du bilan des suivis réalisés en 2009, il a été proposé des réorientations par rapport à la connaissance déjà apportée et à la diminution des moyens alloués aux suivis de populations. Dans les cas où moins de cinq récurrences d'observations par population ont été enregistrées, il a été proposé de renouveler le suivi (Laïche étoilée). Pour la Calamagrostide raide, il a été proposé de suivre les populations sur une nouvelle période de cinq ans. Les populations de Liparis de Loesel verront se poursuivre les suivis par échantillonnage, si elles sont déjà dotées des dispositifs adéquats. Seule la plus grande station sera toujours suivie par comptage global. Les suivis des populations de Saxifrage œil-de-bouc seront reconduits, y compris sur la station en danger d'extinction, afin de suivre l'amélioration trophique et l'éventuel développement des plantes, tant espéré.

Pour le CREN Rhône-Alpes, la cartographie est une méthode de suivi des milieux qui ne doit pas être négligée, puisqu'elle peut permettre à la fois d'obtenir une quantité d'informations élevée et le plus souvent de repérer des évolutions. Cela nécessite que tous les paramètres conditionnant la reproductibilité de la méthode soient bien identifiés au départ.

2.1.2. Sur la faune : cas de l'expérience de suivi de surveillance patrimoniale d'invertébrés (Rhopalocères et Odonates) dans le bassin du Drugeon et la Réserve Naturelle du lac de Remoray (massif du Jura - département du Doubs)

La haute vallée du Doubs possède deux joyaux naturels exceptionnels : le site Natura 2000 de la vallée du Drugeon (plus de 2 000 hectares de zones humides) et la Réserve Naturelle Nationale du lac de Remoray (environ 200 ha de zones humides). Ces territoires recèlent un certain nombre de taxons rares qui méritent une surveillance patrimoniale, afin d'évaluer leur évolution dans le temps. La Communauté de communes Frasne-Drugeon, animatrice du site Natura 2000 du bassin du Drugeon, et l'Association des amis de la Réserve Naturelle du lac de Remoray, gestionnaire de la réserve du même nom, ont développé depuis plus de 10 ans des suivis sur certains invertébrés rares (papillons diurnes et libellules). Ces suivis sont réalisés sur les deux sites par l'équipe de la Réserve Naturelle Nationale du lac de Remoray. Le climat de la montagne jurassienne engendre une saison entomologique courte et explosive, posant de nombreuses contraintes en termes d'organisation.

Objectifs

Il s'agit bien ici d'une veille sur les taxons à très haute valeur patrimoniale. Idéalement, ces suivis couplés à la gestion mise en place sur les sites devraient permettre d'évaluer cette dernière, et de l'influencer le cas échéant. La discussion qui suit montrera les limites de cette démarche.

Moyens

Les suivis s'opèrent en régie dans la Réserve Naturelle de Remoray, et sont réalisés par le Conservateur (B. Tissot) dans le cadre de la dotation de fonctionnement attribuée annuellement à la réserve. Il réalise aussi les suivis dans le bassin du Drugeon, en prestation de service, dans le cadre des financements affectés au site Natura 2000 (Etat et FEADER), avec les cofinancements du Département du Doubs, de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse et de la Communauté de communes (de l'ordre de 3 500 € à 4 000 €).



Tourbière du Crossat dans la RNN du lac de Remoray / B. Tissot - RNN du lac de Remoray



Site de prospection à *Leucorrhinia pectoralis* dans le bassin du Drugeon [25]
G. Magnon - CFB



Accouplement de leucorrhines à gros thorax (*Leucorrhinia pectoralis*) / L. Bettinelli – CREN Franche-Comté

Espèces suivies

Odonates : après un inventaire quasi-exhaustif des espèces présentes sur chacun des sites (52 espèces pour le Drugeon, 48 pour Remoray), un choix restreint d'espèces patrimoniales a été proposé :

Leucorrhine à front blanc

(*Leucorrhinia albifrons*)

Leucorrhine à large queue

(*Leucorrhinia caudalis*)

Leucorrhine à gros thorax

(*Leucorrhinia pectoralis*)

Aeshne subarctique (*Aeshna subarctica*)

Agrion de mercure (*Coenagrion mercuriale*)

Rappelons que le Drugeon et la RNN du Lac de Remoray sont les seuls sites en France à

accueillir les 4 espèces de leucorrhine (avec la leucorrhine douteuse - *Leucorrhinia dubia*).

Rhopalocères :

après un inventaire des espèces présentes sur chacun des sites (42 espèces pour le Drugeon - inventaire non exhaustif, 71 pour Remoray - inventaire quasi-exhaustif), un choix restreint d'espèces patrimoniales a été proposé :

Solitaire des tourbières (*Colias palaeno*)

Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*)

Nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris*)

Fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*)

Cuivré de la bistorte (*Lycaena helle*).



Accouplement de Solitaires des tourbières (*Colias palaeno*) / B. Cotte

Méthodologie

Odonates : Les sites abritant les espèces de leucorrhines citées ci-dessus sont prospectés chaque année. Une quantification est apportée, en fonction des individus observés sur chaque site. Si l'opération est simple sur les plans d'eau de taille modeste, elle peut devenir beaucoup plus délicate et chronophage pour les vastes étendues d'eau. Le suivi de la Leucorrhine à gros thorax est donc beaucoup plus aisé sur un nombre important de petits sites, alors que celui de la Leucorrhine à front blanc s'avère très délicat sur les lacs de Bouverans (80 ha - bassin du Drugeon) ou de Remoray (99 ha).

Dans le bassin du Drugeon, les suivis de l'Aeshne subarctique et de l'Agrion de Mercure sont réalisés en alternance une année sur deux, essentiellement pour des questions de coût.

Rhopalocères : la méthodologie est davantage standardisée pour les papillons, pour lesquels les suivis s'opèrent sous forme de transects relevés au GPS. Ces parcours sont reproduits en recherchant le plus

possible le pic d'émergence des imagos. Les papillons sont comptés sur une largeur de 5 mètres, par un observateur évoluant à vitesse faible et constante. Le nombre d'individus contactés permet de donner un indice aux 100 mètres parcourus, comparable d'une année sur l'autre. Une dizaine de transects ont été déterminés dans le Drugeon, compte-tenu des très vastes étendues de zones humides présentes. Pour une question de coût et de disponibilité des observateurs, un rythme spécifique a également été décidé dans le Drugeon : annuel pour le Fadet des tourbières, tous les deux ans pour le Cuivré de la bistorte et le Nacré de la canneberge, tous les trois ans pour le Solitaire des tourbières et le Damier de la Succise. Dans la RNN du lac de Remoray, les suivis sont annuels, pour des raisons de superficie moindre et de plus grande disponibilité des moyens humains (personnels salariés liés à la Réserve). Sur ce dernier site, le suivi du Cuivré de la bistorte est effectué à travers des transects hebdomadaires qui visent à suivre les milieux ouverts grâce au comptage de toutes les espèces de papillons diurnes (suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères, protocole Réserves Naturelles de France).

Exemples de bilan des suivis

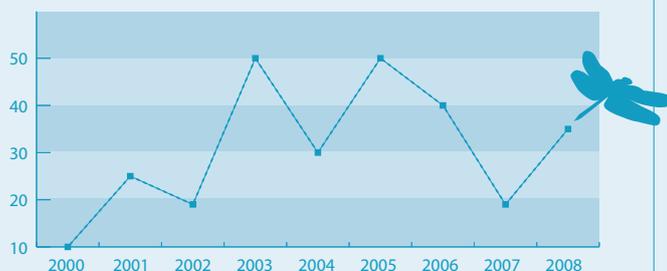
Odonates :

le plus spectaculaire est le suivi annuel de la leucorrhine à gros thorax (*L. pectoralis*) dans le bassin du Drugeon. Commencé en 2000, ce suivi concerne aujourd'hui une trentaine de sites (généralement petits plans d'eau à acidité variable, mais globalement bien fournis en hydrophytes). Les résultats varient de 50 mâles (en 2000) à plus de 600 en 2009, montrant une progression évidente de l'espèce dans le bassin du Drugeon.

Même évolution pour l'Agriion de Mercure, qui montre une augmentation nette de ses effectifs sur la même vallée : une centaine d'individus en 2000, pour près de 800 en 2008.

Pour toutes les autres espèces, à effectifs plus réduits, les chiffres, plus faibles, sont difficilement interprétables.

Evolution des effectifs de Leucorrhine à gros thorax sur un plan d'eau du bassin du Drugeon [25]



Rhopalocères :

comme pour les odonates, ce sont les espèces aux plus forts effectifs qui offrent les résultats les plus marquants. Le cas du Fadet des tourbières (*C. tullia*) dans le Drugeon est riche d'informations. Suivis annuellement depuis 2001, les effectifs fluctuent d'un site à l'autre, sans raison évidente ni relation claire.

Dans la RNN du lac de Remoray, l'évolution du Cuivré de la bistorte (*L. helle*) montre une relative stabilité, et l'influence des météorologies printanières.

Pour les espèces à effectifs réduits, les suivis permettent de s'assurer de la présence de l'espèce, mais pas d'en tirer d'autres enseignements, notamment en lien avec la gestion.

Evolution des effectifs du Fadet des tourbières sur un marais du bassin du Drugeon [25]



Interrogations et critiques concernant le suivi

Points positifs

Concernant les espèces à haute valeur patrimoniale, il est important pour le gestionnaire de pouvoir apporter une certaine quantification des populations présentes. Bien au-delà de la simple absence/présence, ces résultats peuvent permettre de donner une approche de l'état de conservation des espèces. Nous pouvons ainsi indiquer dans nos plans de gestion que le Fadet des tourbières et la Leucorrhine à gros thorax présentent un statut de conservation favorable dans le bassin du Drugeon, et défavorable dans la RNN du Lac de Remoray ; que le Solitaire des tourbières présente un état de conservation favorable sur les deux sites...

Une analyse très simple sur la physiologie des sites à Leucorrhine a montré à quel point la présence d'ourlets boisés à proximité immédiate des plans d'eau est importante. Ceci est certainement lié aux conditions d'émergence des imagos, sur les saulaies rivulaires. Cette observation permet au gestionnaire d'affiner la gestion du plan d'eau et des environs, en maintenant des cordons boisés.

Points négatifs :

En revanche, il est souvent délicat de quantifier la gestion mise en place sur les sites (le plus souvent maintien de l'ouverture du milieu) grâce à ces suivis invertébrés. Trop de facteurs externes au site, ayant une influence prépondérante, biaisent les interprétations :

- la météorologie rend les saisons favorables ou non à la prospection et à l'abondance de telle ou telle espèce ; les facteurs météorologiques peuvent être globaux (mauvais printemps 2007 et 2008 sur les montagnes du Jura) ou très localisés (exemple d'un secteur de marais grêlé au printemps 2007, engendrant une perte très importante de la population locale de papillons ; zones plus ou moins ventées...);
- les fluctuations interannuelles, extrêmement fortes et sans lisibilité apparente, provoquent des variations d'effectifs très importantes (existence de cycles sur certaines espèces ?) ;
- l'influence probable des perturbations climatiques : les suivis de *Leucorrhinia pectoralis* et de *Coenagrion mercuriale* montrent une augmentation marquée des effectifs sur des sites généralement sans gestion fine (petits plans d'eau, suintements...). Il est fort probable que ces évolutions traduisent les effets d'un réchauffement climatique visible à l'échelle régionale.

Pour ces différentes raisons, les suivis réalisés ne permettent généralement pas de quantifier la gestion mise en place sur les sites. L'impact de mesures de gestion ne peut se concevoir qu'en comparant une situation de gestion avec une situation témoin.

Nécessité de s'installer dans la durée

Malgré ces commentaires, nous estimons que la poursuite dans la durée de ces suivis peut devenir extrêmement précieuse. Avec l'évolution des connaissances biologiques des espèces (globalement trop peu soutenue), il est probable que ces jeux de données soient à l'avenir très riches d'enseignements. Il serait à ce titre intéressant de pouvoir suivre un réseau de sites de tourbières de montagne, par massif montagneux, afin de comparer les tendances globales sur certaines espèces d'Odonates et de Rhopalocères.

L'expérience du CREN Rhône-Alpes confirme également que les relevés faunistiques, comme

les comptages, sont des protocoles simples à mettre en œuvre. Toutefois, comme dans le bassin du Dugeon et de Remoray, ils sont souvent bien adaptés uniquement pour connaître la biodiversité d'un site (en ce qui concerne ces taxons), mais trop simples pour aller au-delà dans l'analyse, notamment pour aider à déterminer les modes de gestion favorables, ou pour infléchir les choix de gestion. Ils nécessitent par ailleurs une certaine rigueur pour que l'information soit utilisable.

Parmi les suivis faunistiques, le CREN Rhône-Alpes note que le protocole IPA, et l'indicateur « oiseaux » en général, sont intéressants à la fois en termes de quantité d'informations

révélée, de sensibilité aux évolutions, et de simplicité de mise en œuvre (sous réserve des moyens humains nécessaires). Ils sont toutefois à réserver à des sites de plus d'une quinzaine d'hectares, seuil en deçà duquel l'information est difficile à traiter.

Enfin, que ce soit sur la flore ou la faune, la méthode des comptages a l'avantage pour le CREN Rhône-Alpes de présenter peu de risques que le retour d'information ne soit pas au niveau désiré. Ils sont simples à mettre en œuvre et permettent de constater des évolutions sans performance particulière, mais ne sont adaptés qu'à certaines espèces.

2.2. Les suivis de type « monitoring » avec évaluation

2.2.1. Sur la flore : cas des suivis d'impact de la gestion sur les habitats dans le bassin du Dugeon et la Réserve Naturelle du lac de Remoray (massif du Jura - département du Doubs)

Les bassins du Dugeon et de Remoray, proches géographiquement, ont testé différentes méthodes de gestion des zones humides, et ont souhaité en évaluer l'impact sur les habitats.

Objectif des suivis

La réalisation d'opérations de restauration et de gestion régulière des milieux tourbeux a conduit les gestionnaires à mettre en place des suivis de végétation, dans l'objectif principal d'évaluer l'impact des mesures de gestion engagées. Avec comme objectif de départ la conservation de telle ou telle formation végétale, le suivi doit permettre de vérifier, dès le départ puis de façon régulière, l'adéquation entre l'objectif et l'évolution constatée. Il sert donc de veille afin de réadapter le cas échéant (suspensions de sous-pâturage, surpâturage...) les mesures de gestion.

Variables et indicateurs de suivis

Le suivi de l'impact de la gestion sur la flore implique de suivre un ensemble d'espèces constitutives d'un type d'habitat. Le suivi des cortèges floristiques a été privilégié à celui de la composante spatiale, afin que, avec des moyens limités, soit accordée plus d'importance aux changements qualitatifs qu'aux changements quantitatifs. Les principales variables utilisées sont donc la présence ou l'absence d'espèces, leur abondance et, de manière synthétique, la variation des groupes sociologiques.

Echelle d'intervention

Une dizaine de secteurs répartis sur l'en-

semble du site Natura 2000 du bassin du Dugeon ont été choisis au départ. Ces sites gérés et suivis constituent au total une surface d'environ 150 hectares (sur un peu plus de 2 000 hectares de zones humides). Au sein de la Réserve Naturelle du lac de Remoray, une dizaine de dispositifs de suivi est répartie sur les zones en gestion, ce qui représente 20 hectares (sur 200 ha de zones humides dans la Réserve Naturelle).

Durée du suivi

Les suivis de végétation du site Natura 2000 du bassin du Dugeon reposent sur un premier suivi de 5 ans. Les sites ont été suivis à deux ou trois occurrences, suivant les protocoles, en général 2002, 2005 et 2007.

La Réserve Naturelle du lac de Remoray a réalisé les premiers suivis en 1995 et en 1999. Les différents protocoles présentent trois occurrences en moyenne. La fréquence de relevé, pour les deux sites, est le plus souvent de deux ans. Elle peut être de cinq ans pour certains suivis à long terme de la Réserve Naturelle du lac de Remoray.

Echantillonnage

Pour les deux sites, le choix des secteurs à suivre repose au départ sur l'intervention directe du gestionnaire, sur différents types de milieux, ainsi que sur différents modes de gestion (défrichement, broyage, pâturage, fauche, ou alternance fauche/pâturage). La majorité des suivis concerne cependant des milieux gérés par le pâturage. Les milieux étudiés relèvent de bas-marais alcalins à neutro-alcalins, de prairies paratourbeuses à

Molinie bleue, de mégaphorbiaies, de magnocariçaiques et de phragmitaies, et comprennent également des milieux mésophiles des prairies et pelouses. Au total, 21 placettes de suivis ont été définies pour le bassin du Dugeon, et une trentaine d'unités de suivi pour la Réserve Naturelle du lac de Remoray.

Méthode

Pour s'adapter à la contrainte spatiale et aux moyens alloués, le protocole général dans le bassin du Dugeon repose sur un relevé global de chaque site et sur le suivi de carrés et d'exclos couplés, soit trois relevés par suivi :

- un relevé floristique du secteur, qui permet de suivre globalement l'évolution de la flore à moyen et long terme ; ce relevé est réalisé tous les quatre ans, en termes de présence d'espèces, sur la plus grande surface homogène possible ;
- un couple composé d'un carré et d'un exclos de 25 m² chacun, dans lesquels sont réalisés des relevés floristiques semi-quantitatifs (coefficient d'abondance-dominance de + à 5) tous les deux ans ; l'emplacement des exclos est délimité par des piquets et une barrière infranchissable, dont le choix est réalisé sur un critère de parcours et de représentativité par rapport à l'ensemble du site. Le carré mis en exclos n'est pas géré, et la végétation est soumise à l'évolution naturelle. A côté de lui est placé le carré permanent qui, lui, est soumis aux mêmes mesures de gestion que le reste du site.

L'analyse des résultats est basée sur la comparaison des relevés pris deux à deux :

- exclos et carré comparés à une même date, mesurant la différence entre l'évolution naturelle de la végétation et celle influencée par la gestion ;
- exclos comparés à deux dates consécutives, mesurant l'évolution de la végétation non soumise à la gestion ;
- carrés comparés à deux dates consécutives, mesurant l'évolution de la végétation soumise à la gestion ;
- relevés globaux comparés à deux dates consécutives, mesurant l'évolution de la flore soumise à la gestion à plus grande échelle.

Dans la Réserve Naturelle du lac de Remoray, les méthodes d'échantillonnage sont plus diversifiées. Les dispositifs consistent en des placettes (de surface fixe, ou des relevés localisés), en des transects de placettes et en des transects par points-contact, couplés ou non à des exclos. L'utilisation des transects permet d'augmenter la surface couverte, mais également de prendre en compte l'influence de gradients écologiques (le plus souvent topographiques et hydrologiques). Les méthodes utilisées pour comparer les

relevés reposent sur des indices de similarité, prenant en compte la composition du cortège floristique et l'évolution de l'abondance des espèces. Les résultats sont illustrés par des tableaux phytosociologiques organisés permettant de comparer les relevés, par des spectres sociologiques permettant de synthétiser l'évolution de groupes sociologiques, et par des tableaux de coefficients de similarité. Dans le cas des transects par points-contact, les comparaisons sont faites d'après les fréquences de contacts par tronçon de végétation homogène.

Bilan synthétique

● Au terme d'une répétition de trois observations sur une période de cinq ans, un bilan sur l'utilité et la représentativité des suivis du bassin du Drugeon a été réalisé.

- Les suivis en bas-marais alcalins à Laïche de Davall concernent trois sites différents. Ils bénéficient d'une gestion par pâturage extensif. Les sols tufeux et mouvants sont très sensibles à la charge du pâturage. Le pâturage a permis d'ouvrir la strate herbacée au profit d'espèces héliophiles des bas-marais, en accentuant la microtopographie. Les cortèges floristiques sont conservés, et c'est dans les exclos que la végétation évolue le plus en se densifiant. Dans un des cas, les fluctuations observées sur les carrés et les exclos montrent des évolutions communes, non expliquées par la gestion, mais par des conditions écologiques communes (variations climatiques ou piézométriques). Dans un des autres cas, le pâturage a clairement favorisé les espèces

des bas-marais aux dépens des espèces des prairies humides.

En bas-marais, ce protocole a montré des limites en termes spatiaux pour suivre la diversité des faciès, et particulièrement les zones de suintement sensibles au surpiétinement, mais aussi en termes temporels, puisque la période de suivi est encore trop courte par rapport au temps de réaction de la végétation. La conclusion du suivi au terme de la période est que la gestion par le pâturage permet de conserver la végétation du *Caricion davallianae* sous la forme d'une physionomie plus ouverte. Des aménagements sur le protocole ont été proposés : approche cartographique des faciès et de la pression de pâturage, et allongement du pas de temps de suivi de deux à trois ans.

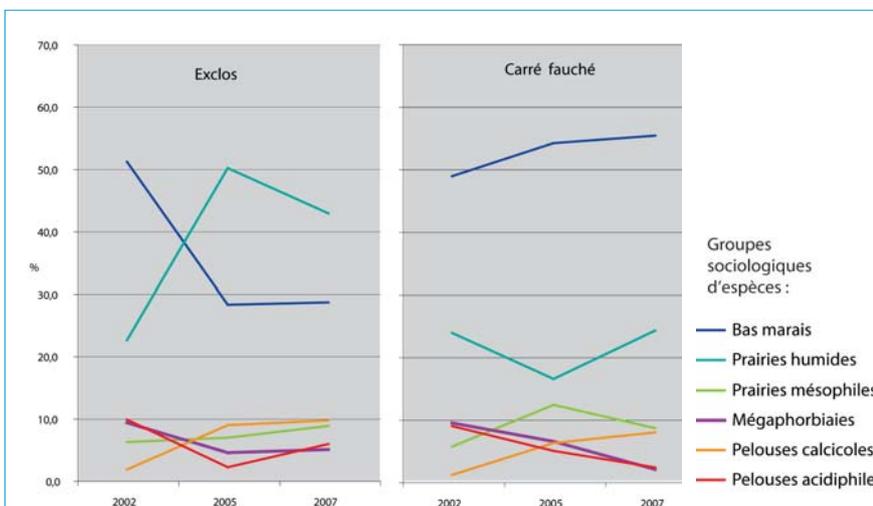
- Les prairies humides oligotrophes sur tourbe (moliniaies) ne sont suivies que sur un seul vaste site (homogène au départ de l'in-

tervention). Ce site d'une dizaine d'hectares est géré par des modes diversifiés en des places définies de deux ou trois hectares chacune : fauche annuelle tardive, pâturage extensif, alternance bisannuelle de fauche et de pâturage, absence d'intervention. L'effet de chaque mode de gestion est suivi par un relevé global et un couple de carré et d'exclos. Vingt-sept relevés phytosociologiques ont été intégrés dans une analyse multivariée (ACR), laquelle a permis de manière pragmatique d'illustrer le comportement des cortèges floristiques en fonction de la gestion et du temps, et ce pour le site considéré (voir illustration page suivante).

La projection de relevés sur les cartes factorielles illustre le comportement des espèces sur le site. Le gradient horizontal sépare des cortèges floristiques développés du pâturage à la fauche, de gauche à droite. Le gradient vertical sépare les relevés avec ou sans intervention ; tous les exclos convergeant vers le bas montrent une évolution commune en l'absence de gestion.

Globalement, le suivi a permis de considérer que la gestion réalisée est adéquate, et qu'elle permet de conserver la végétation et la diversité floristique dans des états physiologiques différents. C'est en l'absence de gestion, comme les exclos le montrent, que la végétation évolue vers des moliniaies physiologiques.

Le protocole de suivi du site est apparu assez complet, car il est spatialement représentatif de différents types de gestion sur un milieu localement homogène et permet de bien traduire l'effet de la gestion sur les espèces. Il a été proposé d'allonger la périodicité des relevés sur une période de trois ans, étant donné que la gestion est bien adaptée à la conservation de ce type de prairie paratourbeuse.



Exemple de diagramme phytosociologique (en % de recouvrement) montrant l'influence de la gestion sur les importances relatives des espèces de bas-marais et de prairies humides dans la vallée du Drugeon [25] / J.Guyonneau - CBNFC

- Pour la Réserve Naturelle du lac de Remoray, le dispositif de suivi le plus représentatif est constitué de carrés alignés sur deux transects, d'un exclos permanent et d'un carré soumis à gestion, ainsi que d'un relevé global. Le suivi a pour objectif de suivre l'effet du pâturage et de la fauche sur une prairie paratourbeuse à Molinie bleue et la colonisation du Phragmite commun.

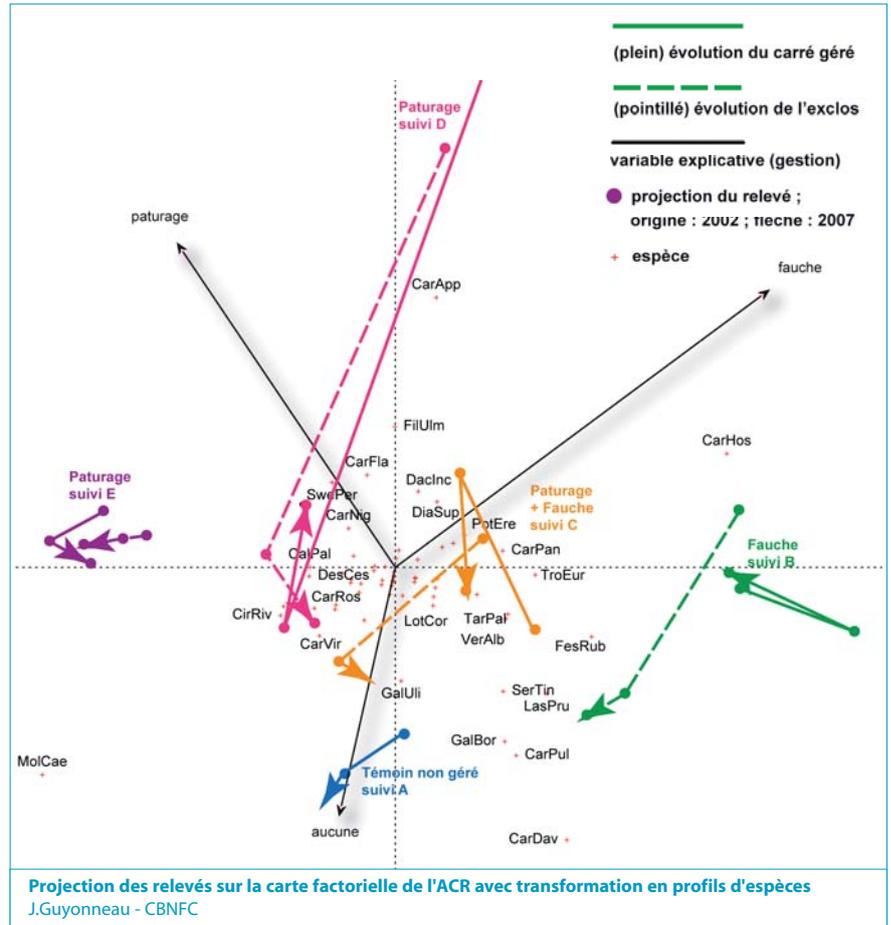
Suivant les placettes, l'effet engendré par le pâturage est plus ou moins important. Il en résulte globalement que la Molinie bleue et d'autres espèces des prairies humides oligotrophes ont régressé au profit des espèces des bas-marais alcalins (Laïche de Davall, L. blonde, L. paniculée). L'effet sur la diversité floristique est une augmentation, en relation avec l'ouverture de la couverture de Molinie bleue, profitant aux espèces des bas-marais, des pelouses et des prairies. Pour la colonisation du Phragmite commun, il est observé qu'il n'a pas progressé dans la zone pâturée, alors qu'il s'est densifié dans l'exclos. Le suivi a permis de préciser que la pression de pâturage semblait bien adaptée, car l'évolution de la moliniaie conduit à un bas-marais alcalin floristiquement plus intéressant et que, par ailleurs, cette évolution est lente et peu contrastée ; il subsiste encore des zones sous-pâturées, qui n'ont pas évolué, en contiguïté de secteurs bien ouverts.

Les autres suivis en mégaphorbiaies, magnocariçaiques et phragmitaies ont montré peu d'évolution de la végétation. La gestion par le pâturage permet de limiter la progression des ligneux ou d'espèces concurrentielles (Phragmite commun, Baldingère faux roseau, Filipendule ulmaire, grandes Cypéracées), et d'ouvrir la strate herbacée haute. Cette ouverture favorise la présence d'espèces héliophiles et hygrophiles basses (de prairies et de bas-marais), donc une augmentation de la richesse floristique est observée, tout en conservant les différents types de formation. Certaines espèces protégées appa-

raissent ou se développent (Laïche en touffe, Renoncule grande-douve, Sénéçon laineux).

- A la Réserve Naturelle du lac de Remoray, le suivi de cariçaiques fauchées a montré l'évolution des faciès (réduction de la dominance de la Baldingère, développement de la Laïche aiguë, abaissement des hauteurs), et assez nettement la diminution des espèces des mégaphorbiaies et l'augmentation d'espèces prairiales.

Dans le bassin du Drugeon, il a été proposé de ne pas poursuivre ces suivis, d'une part parce que la gestion conservatoire est adaptée, et d'autre part parce que ces milieux ne représentent pas des enjeux prioritaires pour le site.



Comparaison des végétations de zones humides du Drugeon en fonction des modes de gestion

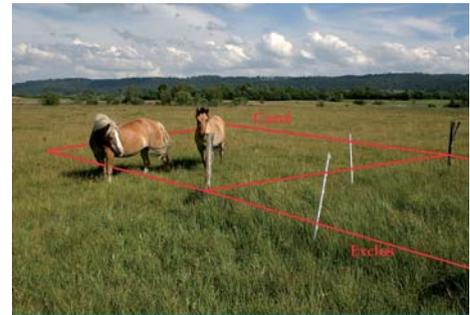
Gestion	aucune	fauche	fauche + pâturage	pâturage
Diversité floristique	-	+	+	+
Faciès et physionomie	Touradons de molinie très fermés	Gazon de Cypéracées ras et uniforme	Gazon de Cypéracées et de molinie	Touradons de molinie, Canche en touffe et dépressions ouvertes de Cypéracées
Espèces des prairies humides	+	-	+	+
Espèces des bas-marais	-	++	+	+

Conclusion

La généralisation de l'effet de la gestion par type de végétation est encore difficile du fait du manque de représentativité des échantillons, tant par type d'habitat que par type de gestion, et du fait du manque de répétitivité des suivis.

Globalement, il apparaît que le suivi par relevé phytosociologique est suffisant pour des milieux homogènes tels que ceux soumis à la fauche (expérimenté en milieux mésohygrophiles). Couplé à un exclos, le suivi apporte une meilleure précision dans la description des évolutions d'abondance en lien direct avec la gestion. Lorsque les conditions écologiques sont homogènes, le fait d'utiliser un protocole ponctuel ne constitue pas un handicap par rapport à la généralisation spatiale ; un relevé global peut suffire.

Le pâturage, par contre, produit une hétérogénéité de groupes floristiques, car le parcours différencié des animaux en lieux de consommation ou de repos influence diversement les conditions d'apports azotés, d'abroustissement ou de piétinement (voir chapitre 5). Cela fait que le suivi ponctuel d'une zone au départ homogène n'apparaît plus spatialement représentatif à long terme. Des adaptations peuvent être faites en augmentant le nombre d'échantillons de manière réfléchie (transects de placettes), en réalisant une cartographie du site en fonction des faciès ou de la pression de pâturage. Les échantillonnages de la Réserve Naturelle du lac de Remoray peuvent apparaître plus précis dans ce cas, mais ils sont plus longs à réaliser et analyser.



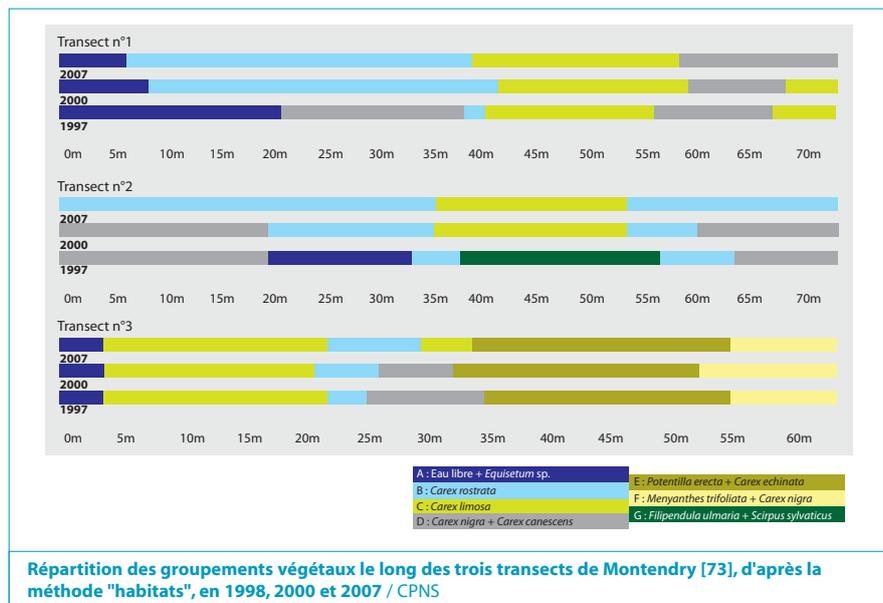
Carré et exclos pour le suivi de gestion au Mont-de-Voyon [25], dans le bassin du Drugeon
J. Guyonneau - CBNFC

2.2.2. Autres expériences de suivis

Le CREN Rhône-Alpes a étudié l'impact de la gestion sur les prairies à molinie : il en ressort que le nombre de répétitions minimum pour pouvoir généraliser des observations d'évolutions se situe autour de cinq (ce qui est confirmé par les suivis sur le bassin du Drugeon, où trois réplicats ont également été jugés insuffisants). Il permet de repérer et de confirmer des sens d'évolution du milieu après une intervention donnée. Par contre, il ne suffit pas pour connaître l'état du milieu après cette perturbation. L'état reste très variable, en raison de la complexité d'organisation du milieu naturel. Sans doute faut-il aller au-delà de 10 répétitions pour affiner les différents faciès par la typologie. Avec un grand nombre de répétitions, la végétation est un bon indicateur qui permet de bien repérer les évolutions des conditions écologiques.

Le Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie (CPNS) a testé plusieurs méthodes de suivi de la végétation sur trois expériences de remise en eau de tourbières dans les Préalpes : tourbières des Creusates (seuil réalisé en 1995), tourbières de Montendry (seuil réalisé en 1995, voir chapitre 4) et le marais du Pontet (7 seuils et reméandrement d'un ruisseau réalisés durant l'hiver 2008-2009).

- La méthode « habitats » : un inventaire phytosociologique des différents groupements individualisés est réalisé le long d'un transect.
- La méthode des « points-contact » : le long des mêmes transects, un inventaire des espèces est réalisé sur les points espacés régulièrement de 1 m.



- La méthode « placettes » : sur l'ensemble du marais, un quadrillage de 50 m x 50 m a été utilisé pour échantillonner systématiquement un jeu de 51 placettes de 2 m de côté. Un inventaire phytosociologique est réalisé sur chaque placette.

La chronologie du recueil de données et les perspectives sont les suivantes :

- Tourbière des Creusates : recueil par la méthode « habitats » en 1998, 2000, 2007 ; recueil par la méthode « point-contact » en 2000 et 2007. La méthode « habitats » s'est montrée inadaptée dans le cadre du suivi des espèces patrimoniales, et trop subjective pour le suivi des groupements végétaux ; les tendances ont semblé très aléatoires. Il sera remplacé par un suivi de type placettes.

- Tourbière de Montendry : recueil par la méthode « habitats » en 1997, 2000 et 2007. La tendance semble régulière et moins aléatoire qu'aux Creusates, le suivi est poursuivi.

- Marais du Pontet : recueil par la méthode des placettes en 2007. Il s'agit d'un état avant travaux qui sera poursuivi de façon annuelle, puis bisannuelle, pour un suivi objectif des groupements végétaux avant et après travaux. Les travaux trop récents ne permettent pas de fournir des résultats après travaux à ce jour.

Un suivi annuel soigneux d'une durée de cinq ans permettrait de pouvoir comparer valablement les trois méthodes de suivi des tourbières acides utilisées successivement par le CPNS.

Sur la tourbière de la Sagne Redonde (Massif central - Ardèche), un drain a été bouché en 2002 par le CREN Rhône-Alpes et le niveau de la nappe a été relevé localement. Le suivi de végétation a permis dans le même temps de constater que dans la première partie du transect (située de 7 à 15 mètres du fossé), les plantes de tourbière basse (molinie incluse) ont progressé de manière quasi significative, alors que celles de landes tourbeuses ont régressé (test statistique de Wilcoxon, $p = 0,1$ et $0,15$). Aucune évolution n'a été repérée en ce qui concerne les plantes les plus hygrophiles. Avec les mêmes moyens sur la deuxième partie du transect (située entre 15 et près de 35 mètres du fossé rebouché), il est démontré que les plantes de tourbières basses ont progressé, à l'exclusion de la molinie.

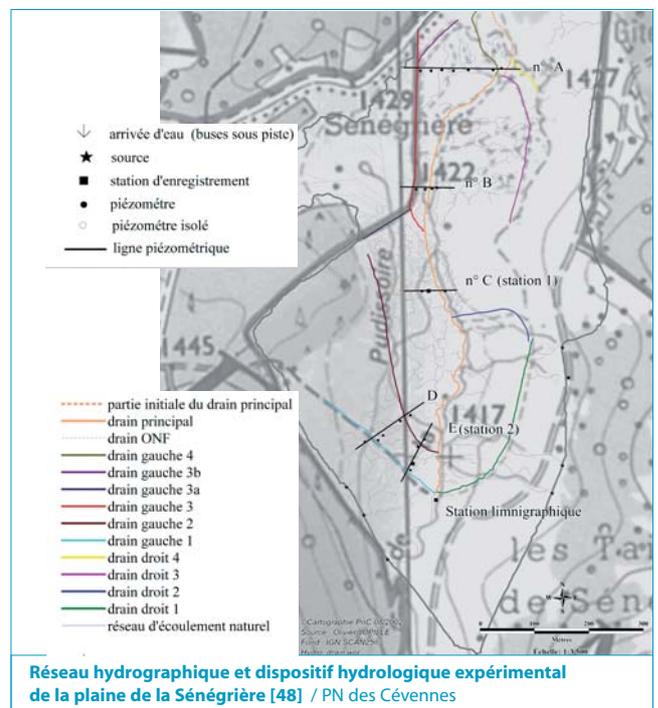
Cette discrimination de la molinie entre les deux parties du transect est à rapprocher de la bonne tolérance de cette espèce aux assèchements temporaires. Dans la première partie du transect, l'assèchement était trop important pour toutes les plantes de bas-marais et même pour la molinie. Après travaux, toutes ont bénéficié de la remontée du niveau d'eau. Dans la deuxième partie du transect, le bouchage du drain a permis de retrouver des niveaux d'assèchement quasi-nuls (avec peut-être une dégradation du sol moindre que dans la première partie) qui ont favorisé les plantes de bas-marais non tolérantes à l'assèchement (donc pas la molinie).

On voit donc que niveau de la nappe et le type de végétation peuvent être étroitement liés. Une confirmation sur d'autres transects aurait été intéressante et aurait peut-être en plus permis de révéler d'autres évolutions, les plus fines n'étant sensibles qu'avec un nombre assez important de données.

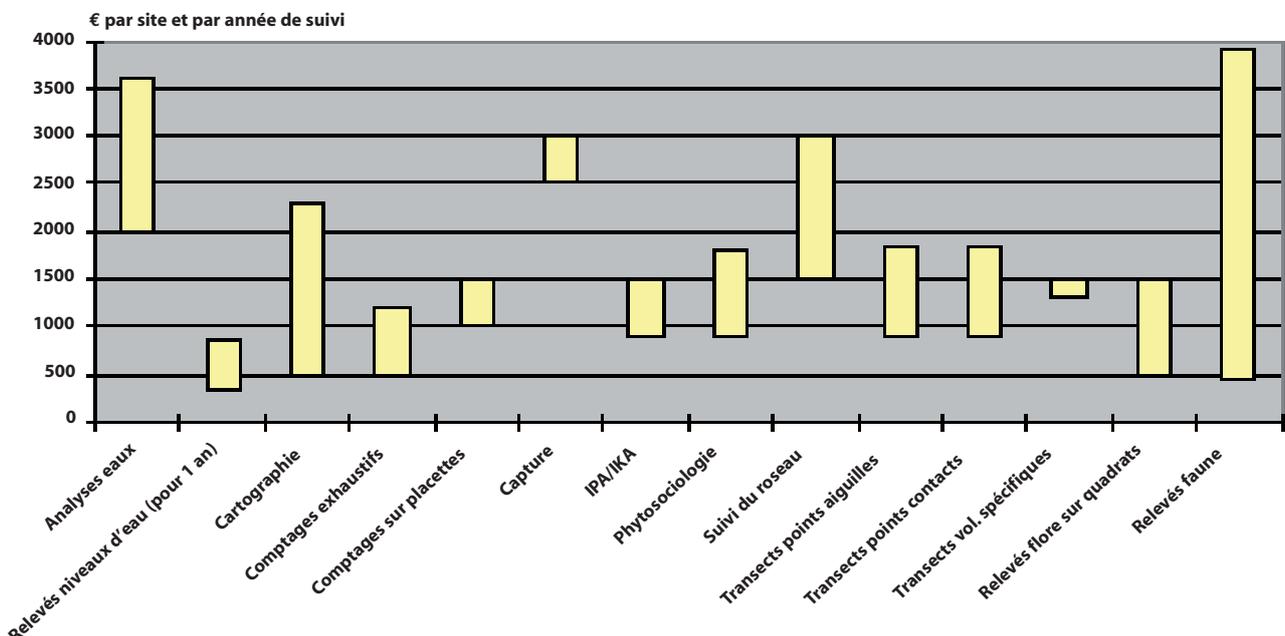
Une expérimentation semblable, à comparer, est en cours sur la tourbière de Frasne, avec des relevés de végétation avant travaux de fermeture de fossés dès 2006. Le terme des travaux de bouchage de fossés est prévu à l'automne 2009, ce pour quoi le suivi de végétation va reprendre annuellement dès 2009, couplé au suivi piézométrique initié en 2005 et poursuivi depuis sans interruption.

Sur la tourbière de la Sénégrière (Parc National des Cévennes- Lozère) a été mis en place avec l'université de Nice un dispositif de suivi hydro-métrique et piézométrique de la tourbière avant travaux de fermeture de fossés (voir chapitre 4), afin d'évaluer les conséquences hydrologiques des aménagements.

L'analyse des données recueillies confirme que la remontée de nappe n'est effective qu'à proximité immédiate des fossés ayant fait l'objet de barrages-seuils. Par ailleurs, le manque de matière organique dans les retenues ne favorise pas l'implantation de la végétation. Toutefois, la dynamique s'est amorcée ; l'action s'inscrit donc sur le long terme, d'autant plus que le drain principal n'a pas encore été bouché. Par ailleurs, le suivi de cette tourbière, comparé à celui de la tourbière des Sagnes (Mont Lozère), de même type mais non drainée, a mis en évidence l'accroissement des écoulements en étiage de la tourbière drainée. L'existence d'une nappe aquifère dans les arènes granitiques sous la tourbe dégradée permet à cette situation de perdurer. Cela pose la question des études hydrologiques sur les ruisseaux de tête de bassin versant alimentés par des tourbières ombrotrophes.



3. LES COÛTS



Les variables d'ajustement non négligeable qui vont guider le gestionnaire dans le choix du suivi, en dehors de toute considération scientifique et technique, sont bien sûr le coût et les moyens humains affectés à l'opération, qu'elle s'opère en régie ou qu'elle soit externalisée.

Fort d'une riche expérience en suivi sur les zones humides, le CREN Rhône-Alpes a pu établir une grille indicative des coûts de différents types de suivis en zones humides, et pas spécifiquement en zone de montagne. Ces valeurs n'ont bien sûr qu'un caractère indicatif, relatif aux différentes expériences de suivi du CREN. Globalement, les coûts vont varier en fonction des échelles de travail : plus les échantillons sont grands, plus le travail sera important. Il convient donc d'être réaliste par rapport aux surfaces à suivre.

4. CONCLUSION

Il faut considérer que le suivi fait partie intégrante de l'opération de gestion et ne doit pas être négligé, donc son coût doit être estimé dès le départ de l'opération de gestion (= intervention ou non). Le coût dépendra de la question posée au départ et des enjeux sur le site (paramètres abiotiques, espèces, habitats...). Il doit être planifié dans le temps, et peut s'alléger progressivement ou être réorienté, en fonction des réponses apportées par les résultats de suivi à la question de départ.

La grande quantité de suivis mis en place par les gestionnaires permet de récolter une masse d'informations intéressante, néanmoins pas toujours exploitable du fait de problèmes de calage de matériel ou de méthode, de manque d'assiduité faute de disponibilité, ou de variabilité due à un changement d'observateur. Il est donc important de rappeler qu'il est nécessaire de :

- bien identifier l'objectif du suivi (« *Quelle est la question à laquelle je souhaite répondre ?* ») ;
- utiliser des protocoles validés scientifiquement et/ou standardisés ;
- quantifier les moyens humains et financiers disponibles pour bien « dimensionner » le suivi ;
- travailler à une échelle spatiale et temporelle adaptée.

Tous les suivis sur la flore mis en place montrent qu'il est important de bénéficier d'un grand nombre de répliquats pour être significatif. Un minimum de 5 ans semble être le minimum en bas-marais, tandis que pour évaluer des impacts de restauration sur le

haut-marais, l'évolution s'inscrit sur le moyen, voire le long terme.

Les suivis sur la faune montrent plus d'aléas liés au déplacement des espèces et aux conditions météorologiques pendant leur cycle biologique. Toutefois, ils donnent une tendance dans le temps qui permet de caractériser le site par rapport à d'autres.

Les variables non biologiques (piézomètres, limnimètres, thermomètres...) nécessitent par ailleurs un investissement matériel minimum, si possible avec une fonction d'enregistrement automatisé et une surveillance régulière du dispositif, tant sur son calage sur le terrain que sur son état de fonctionnement.

Par ailleurs, la contribution d'équipes scientifiques peut permettre de travailler sur des protocoles plus poussés en termes humains et matériels, pour répondre à des questions complexes auxquelles le gestionnaire ne pourrait répondre seul.

Enfin, la réalisation d'un suivi est la seule méthode permettant aussi de justifier de la bonne utilisation des crédits de partenaires financiers, donc, au-delà des seuls aspects liés à la connaissance, elle ne doit pas être négligée et doit permettre de convaincre les financeurs de poursuivre leurs efforts.

On peut d'ailleurs regretter qu'à l'heure actuelle, le réseau Natura 2000 ne permette que difficilement - et souvent au prix de montages alambiqués - de financer le suivi des actions entreprises.



5. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

COLLECTIF (2005). *Elaboration de nouveaux outils de diagnostic, de gestion et de suivi des tourbières - Actes de la table ronde de Lyon, septembre 2002.* Cahiers scientifiques et techniques du Pôle-relais Tourbières, N°4, 240 p.

DUPIEUX, N. (1998). *La gestion conservatoire des tourbières de France. Premiers éléments scientifiques et techniques.* Espaces Naturels de France - Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Programme LIFE-Tourbières de France, 244 p.

FREYDIER, P. ; MIQUET, A. ; BONNET, V. (2007). *Suivi floristique de trois expériences de réhydratation de tourbières de Savoie.* Actes des 1ères rencontres pour la conservation des tourbières des Alpes, 20-21 septembre 2007, Chamrousse, pp. 25-30.
URL : <http://avenir.38.free.fr/images/docs/Rencontres-tourbières-Actes.pdf>

GORIUS, N. ; BELLUT, P. (2007). *Bilan des suivis CREN sur les zones humides.* CREN Rhône-Alpes, 27 p.

GUYONNEAU, J. (2009). *Suivis botaniques et de végétation du site Natura 2000 Bassin du Drugeon - Bilan des suivis 2002-2008 et perspectives.* CBN Franche-Comté, 94 p.

TISSOT, B. (inédit). *1999-2008 : suivis annuels des odonates et rhopalocères sur le bassin du Drugeon.* Association des amis de la Réserve Naturelle du lac de Remoray.

Conclusion

Au terme de cet ouvrage, dont la rédaction nous a amené à brasser un grand nombre d'avis, d'expériences et de réflexions, un certain nombre de remarques nous sont apparues.

La première est que ce volume doit énormément à toutes celles et tous ceux qui ont pu et voulu y consacrer une partie de leur temps, ce dont nous les remercions une fois encore. Mais il faut retenir de ces échanges que, derrière leur richesse, la diversité des vécus et des manières d'appréhender les tourbières et leur gestion, transparait l'aspect subjectif de la gestion conservatoire actuelle. Les divergences de points de vue sur certains sujets, comme le boisement des tourbières, en sont une illustration parlante. En effet, en l'état actuel des connaissances sur le fonctionnement des milieux tourbeux, il n'est pas toujours possible de répondre de façon certaine aux questions des gestionnaires (ou des financeurs). Il faut alors que chacun, sous le coup d'une obligation de moyens plus que de résultats, fasse de réels choix de gestion, et soit à même par la suite de les expliquer, de les assumer et, éventuellement, de les faire évoluer. Cette démarche, qui laisse une place à l'aléatoire, devrait permettre de faire progresser la connaissance, et ce d'autant plus que les opérations auront intégré cet objectif dès le départ, en déterminant par exemple un suivi précis et standardisé qui pourra être comparé à celui effectué dans d'autres contextes.

Les personnes qui ont suivi le projet depuis le début auront aussi remarqué que deux chapitres initialement prévus n'ont pu trouver place dans ce livre. Il s'agit de ceux consacrés au cadre législatif et réglementaire des tourbières de montagne d'une part, et à la valorisation touristique de ces milieux de l'autre. Pour le premier, l'obstacle majeur était le constat qu'il nous serait difficile d'apporter des éléments nouveaux aux différentes publications existantes ; nous n'avons donc pas souhaité incorporer une partie qui ne serait qu'une redite d'éléments déjà rassemblés, ordonnés et accessibles. Dans le second cas, la matière existe, et le sujet gagnerait à être développé ; mais le format de cette publication, avec un nombre de page limité, n'a pas permis de revenir sur cet aspect - nous avons privilégié le plein développement des autres thématiques. Notons cependant qu'un programme sur l'ouverture raisonnée des tourbières au public est en cours, mené par le Pôle-relais Tourbières avec le soutien du Conseil régional de Franche-Comté, de la DREAL Franche-Comté et du fonds FEDER. Il devrait permettre de synthétiser les éléments existants, au moins à un niveau local, et constituer une base de réflexion adaptable aux différents secteurs du territoire national.



A noter également que la diversité des milieux tourbeux et associés dans les massifs définis par la loi « Montagne », évoquée en introduction, a été confirmée et illustrée par les divers exemples cités dans l'ouvrage. Les variations de topographie, d'hydrogéologie, de climat et de tant d'autres facteurs induisent des types de tourbières et des cortèges faunistiques et floristiques extrêmement diversifiés. L'objet de cet ouvrage n'était pas, comme nous l'avons précisé d'emblée, de réaliser une monographie décrivant cette diversité. Cependant, à l'heure du bilan, il apparaît que la réalisation d'un tel ouvrage constituerait une entreprise certes ardue - la connaissance n'est que parcellaire, et elle évolue rapidement - mais intéressante, permettant de synthétiser le savoir disponible lors de sa réalisation et de marquer le cheminement de la progression scientifique.

A sa façon, et dans un domaine plus technique, plus appliqué, c'est aussi l'ambition de cet ouvrage ; mais il constitue un jalon sur une route loin d'être achevée, et ne doit pas être pris comme un livre de recettes, un outil complet et infaillible. Ne serait-ce que parce que les expériences relatées sont souvent récentes (moins de 5 ans), et qu'il serait intéressant de pouvoir dans 5 ou 10 ans établir un bilan remis à jour. Les investigations sur les sites étudiés dans l'ouvrage de Dupieux (1998) ont bien montré que ces suivis sur le long terme, pourtant riches d'enseignements, étaient malheureusement rares, et souvent limités à des territoires « phares » concentrant une reconnaissance et des moyens importants, au détriment d'un réseau dont les enseignements seraient potentiellement intéressants. A ce titre nous ne pouvons qu'encourager une nouvelle fois les gestionnaires et scientifiques à échanger autant que faire se peut, tant apparaît évident l'intérêt de regards croisés (en termes de sites ou de disciplines), de comparaisons, de retours d'expériences. Bien sûr, la tendance actuelle est à une augmentation de la charge de travail ne permettant que trop rarement ces temps d'échanges, et ceci est regrettable, tant pour les gestionnaires que pour ceux qui ont besoin de leurs retours pour établir des documents de synthèse comme celui-ci. Mais le fait de confronter sa vision, ses expériences avec des collègues ou des spécialistes de disciplines jusqu'alors ignorées, en se basant sur des contributions comme la nôtre, devrait permettre d'améliorer encore la gestion des milieux « naturels ».

Soulignons enfin que l'échelle de temps de la vie des tourbières est réellement différente de celle des préoccupations des gestionnaires et financeurs, de même que leur ancienneté est sans commune mesure avec celle de la protection de la nature ou de la gestion conservatoire. Il faut donc savoir relativiser les évolutions constatées sur le terrain, qu'elles soient jugées positives ou négatives. Et c'est peut-être, en définitive, la leçon principale qu'apporte cet ouvrage : sachons rester modeste face à la complexité de la nature...



Postface

Les tourbières représentent aujourd'hui un espace privilégié à évaluer, à valoriser socio-économiquement et, de fait, à préserver.

Dans les premières années de regain d'intérêt pour ces espaces et, plus largement, pour notre environnement, leur étude approfondie a été suivie de mesures de protection. Ces milieux devenaient alors de véritables laboratoires d'études à ciel ouvert.

Les inventaires de tourbières et, plus généralement, de zones humides, qui représentaient alors des études préalables à leur préservation, ont ensuite contribué à augmenter de façon significative le nombre de sites reconnus comme milieux tourbeux ou paratourbeux. L'emprise significative de ces espaces recensés dans des paysages parfois à des altitudes modestes, et bien souvent à proximité de zones de fortes activités humaines, ont incité les acteurs locaux à redoubler d'initiatives pour leur prise en compte sur les bassins versants.

Un regard nouveau est alors né avec de nouvelles générations d'intéressés. Ceux-ci se sont appropriés les travaux de recherche, tant fondamentale qu'appliquée, et qu'il s'agisse d'études locales ou de références internationales. Ils se sont inspirés de retours d'expériences concluantes de gestion, restauration et protection réglementaire des zones humides, initiées par des pionniers volontaires. Avec ce potentiel d'intervention, ils redéployent aujourd'hui des initiatives nouvelles d'études aux finalités claires, d'opération de restauration et de gestion porteuses d'avenir, au point même de parler de reconquête hydrologique et biologique de surfaces - et notamment pour les tourbières.

Le caractère pluriannuel des programmes d'intervention financiers des établissements publics de l'Etat comme des collectivités qui contribuent à cette démarche sont par ailleurs plus en harmonie avec le besoin d'appréhender le fonctionnement des tourbières sur plusieurs années. La concertation locale en leur faveur se veut alors plus aisée aujourd'hui qu'à cette époque d'épopée de protection des milieux.

Cet ouvrage rend hommage à ces générations d'entre nous qui ont contribué et contribuent toujours à cela.

Finalement, l'unanimité de la reconnaissance actuelle de ces milieux ayant une dynamique lente et un fonctionnement complexe, bien souvent distinct d'une tourbière à l'autre, crée une généralisation rapide de protection et de restauration de ces complexes tourbeux. Celle-ci est garante d'une pérennité essentielle pour la conservation de cette lenteur, rendue plus essentielle encore par l'inconnue des modifications du climat.

Eric Parent

Chargé d'études "zones humides / faune-flore"

Animateur de la stratégie "zones humides" du bassin Rhône-Méditerranée et du bassin de Corse

Agence de l'Eau RM&C



Table des sigles

ACR = Analyse Canonique de Redondance

ADN = Acide DésoxyriboNucléique

ADREE = Association pour le Développement des Recherches et de l'Enseignement sur l'Environnement

AE = Agence de l'Eau

AEP = Alimentation en Eau Potable

AOC = Appellation d'Origine Contrôlée

APPB = Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope

ARPE = Agence Régionale Pour l'Environnement

AVENIR = Agence pour la Valorisation des Espaces Naturels Isérois Remarquables (CEN Isère)

BRGM = Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CA = Chambre d'Agriculture

CBN = Conservatoire Botanique National

CBNFC = Conservatoire Botanique National de Franche-Comté

CBNMP = Conservatoire Botanique National des pyrénées et de Midi-Pyrénées

CDSL = Conservatoire Départemental des Sites Lozériens (CEN Lozère)

CEEP = Conservatoire des Espaces et Ecosystèmes de Provence CEN Provence-Alpes-Côte d'Azur

CEMAGREF = CEntre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts

CEN = Conservatoire d'Espaces Naturels

CEPA = Conservatoire des Espaces et Paysages d'Auvergne (CEN Auvergne)

CFD = Communauté de communes de Frasne-Drugeon

CG = Conseil Général

CI = Chargement instantané

CNASEA = Centre National pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles

CNRS = Centre National de la Recherche Scientifique

CPNS = Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie (CEN Savoie)

CREN = Conservatoire Régional d'Espaces Naturels

CRPF = Centre Régional de la Propriété Forestière

CSL = Conservatoire des Sites Lorrains (CREN Lorraine)

CSNP = Conservatoire des Sites Naturels de Picardie

DDEA = Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture (aujourd'hui Direction Départementale des Territoire)

DIREN = Direction Régionale de l'Environnement (désormais incluse dans la DREAL)

DREAL = Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EDYTEM = Environnements, DYnamiques, TErritoires de la Montagne

ENGREF = Ecole National du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

ENS = Ecole Normale Supérieure

EPSA = Etablissement Public des Stations d'Altitude

ETP = évapotranspiration

FCEN = Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels

FEADER = Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural

FEDER = Fonds Européen de Développement Régional

FRAPNA = Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature

GIEC = Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (en anglais : IPCC)

GPS = Global Positioning System

GSM = Global System for Mobile communications

HT = Hors Taxes

IGN = Institut Géographique National

INRA = Institut National de la Recherche Agronomique

IPA = Indice Ponctuel d'Abondance
IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change (en français : GIEC)

LIDAR = Light Detection And Ranging

LGV = Ligne à Grande Vitesse

LIFE = L'Instrument Financier pour l'Environnement

MAB = Man And Biosphere

MAE(t) = Mesure Agri-Environnementale (territorialisée)

MNT = Modèle Numérique de Terrain

MO = Matière Organique

MS = Matière Sèche

OFEV = Office Fédéral de l'Environnement

OLAE = Opération Locale Agri-Environnementale

ONF = Office National des Forêts

OPIE = Office Pour les Insectes et leur Environnement

OTC = Open-Top Chambers

PHAE = Prime Herbagère Agri-Environnementale (« Prime à l'herbe »)

PN = Parc National

PNR = Parc Naturel Régional

PNRZH = Plan National de Recherche sur les Zones Humides

RB = Réserve Biologique

RFF = Réseau Ferré de France

RN = Réserve Naturelle

RNF = Réserves Naturelles de France

RNN = Réserve Naturelle Nationale

RNR = Réserve Naturelle Régionale

SIG = Système d'Information Géographique

SYCOPARC = SYndicat de COopération pour le PARC (PNR des Vosges du Nord)

UGB = Unité Gros Bétail

UICN = Union Internationale pour la Conservation de la Nature

USA = United States of America

UTN = Unité Touristique Nouvelle

WSL = Wald, Schnee und Landschaft (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage - Suisse)

ZAC = Zone d'Aménagement Concerté





Avec le soutien financier des Agences de l'Eau Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée & Corse.



Les Agences de l'Eau, établissements publics de l'Etat fondés par la loi sur l'eau de 1964, perçoivent des redevances pour les prélèvements, la pollution ou la consommation de l'eau. Elles apportent grâce à cela des aides financières à diverses actions, notamment de préservation et de restauration de la qualité des milieux aquatiques, des zones humides et des espèces de faune et de flore inféodées à ces milieux. Le budget de fonctionnement de l'ONEMA (créé le 27 avril 2007, conformément à la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 et au décret du 25 mars 2007) provient des redevances sur les usages de l'eau collectées et administrées par les Agences de l'eau. Depuis 10 ans, les collaborations entre les Agences et les Pôles-relais « zones humides » nationaux s'insèrent dans cette politique d'intervention pour la préservation des milieux et de la biodiversité propres aux milieux aquatiques et humides des bassins hydrographiques et du littoral français.

Avec le soutien financier des Conseils Régionaux de Franche-Comté, Languedoc-Roussillon, Limousin et Lorraine.



Une publication du Pôle-relais Tourbières / Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, en partenariat avec la Communauté de communes Frasne-Druegeon.

