





Les Habitats d'Intérêt Communautaire de Wallonie

Les habitats tourbeux

Philippe Frankard

avec la collaboration de Maurice Streel

> Juin 2021 - version I -

Publication du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole

(Service Public de Wallonie – Agriculture, Ressources naturelles et Environnement)

Série « Faune – Flore – Habitats », n°10



Citation recommandée :

Delescaille L.-M., Wibail L., Claessens H., Dufrêne M., Mahy G., Peeters A. et Sérusiaux E. (éditeurs) (2021). Les Habitats d'Intérêt Communautaire de Wallonie. Publication du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW ARNE), Série « Faune – Flore – Habitat » n° 10, Gembloux : 1011 p.

Chapitre:

Frankard P. (2021) Les habitats tourbeux. In : Delescaille L.-M., Wibail L., Claessens H., Dufrêne M., Mahy G., Peeters A. et Sérusiaux E. (éditeurs) (2020). Les Habitats d'Intérêt Communautaire de Wallonie. Publication du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW-DGARNE). Série « Faune – Flore – Habitat », n° 10, Gembloux : 113 p.

Coordination et homogénéisation finales :

Louis-Marie Delescaille, Lionel Wibail

Mise en page:

Studio Debie, Violaine Fichefet, Lionel Wibail

Editeur responsable:

Bénédicte HEINDRICHS, Directrice générale du Service public de Wallonie – Agriculture Ressources naturelles Environnement (SPW ARNE)

© 2021, SPW ARNE - DEMNA

Droits de traduction et de reproduction réservés pour tous pays. Aucune partie de cet ouvrage ne peut être reproduite par un quelconque procédé, photocopie, microfilm ou tout autre moyen. En outre, l'utilisation des informations contenues dans les tableaux et les graphiques est interdite pour un usage commercial sans l'autorisation écrite de l'éditeur.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm, or any other means, nor is it permitted to use data taken from tables or graphs in the book for commercial use, without written permission from the publisher.

Das Werk is einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfi Imungen oder anderen Möglichkeiten. Der Gebrauch der Informationen zu kommerziellen Zwecken (Tafeln und Abbildungen) ist ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers nicht gestattet.

Photos de couverture : Grande photo : © Pascal Ghiette / Bandeau : © Louis-Marie Delescaille



Remerciements

Les auteurs et les éditeurs tiennent à remercier toutes les personnes qui ont collaboré à l'aboutissement des différents chapitres de cette publication, depuis sa genèse jusqu'à sa réalisation finale.

Plusieurs collaborateurs du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole - Direction de la Nature et de l'Eau (DEMNA - DNE) ont aidé à la rédaction de cet ouvrage : Jean-Yves Baugnée (aspects patrimoniaux des habitats pastoraux, prairiaux et rocheux), Fabrice Etienne et Thierry Kervyn (conception des cartes), Sonia Vanderhoeven et Adrien Latli (espèces invasives), Alain Licoppe (impact du gibier), Luc Derochette (réseau Natura 2000), Laurence Delahaye (parasites des essences forestières).

D'autres collaborateurs du DEMNA-DNE ont fait part de leurs remarques et commentaires : Emmanuelle Bisteau, Hugues de Dormale, Pascal Dupriez, Fabrice Etienne, Vincent Fiévet, Pierre Gérard, Philippe Goffart, Gilles Maldague, Catherine Marneffe, Etienne Peiffer, Oliver Schott, Quentin Smits, Annick Terneus, Oliver Schott, Patrick Verté.

Certaines données statistiques forestières ont été fournies par Hughes Lecomte (Département de la Nature et des Forêts / DNF). La publication a également bénéficié d'une relecture et de commentaires avisés de Didier Marchal (DNF), Catherine Hallet (DNF), Christian Mulders (Département de l'Environnement et de l'Eau) et Olivier Miserque (DEMNA - Direction de l'Analyse Economique Agricole).

Plusieurs collaborateurs de l'Université de Liège ont également contribué à la rédaction ou fait part de leur expertise scientifique : Sophie Cordier et Marc-Antoine Haeghens (habitats forestiers), Maurice Streel (habitats tourbeux), Marie Legast et Julien Piqueray (habitats pastoraux), Pascal Hauteclair (habitats prairiaux), Serge Rouxhet (habitats prairiaux et pastoraux) et Eric Graitson (habitats rocheux et pastoraux).

Jean-Pierre Duvivier a fourni une liste de lichens caractéristiques des différents habitats rocheux.

La conception technique de l'ouvrage a bénéficié de l'aide de Christine Veeschkens (CREA) et Violaine Fichefet (DEMNA) a contribué de manière conséquente à la conception graphique des cahiers.

Les très nombreuses illustrations ont été fournies à titre gracieux par des photographes amateurs et professionnels. Qu'ils soient ici remerciés.

Le processus de rédaction et de publication de ces « Habitats d'Intérêt communautaire de Wallonie» ayant mis à contribution de nombreuses personnes, certaines ont pu être oubliées et les éditeurs s'en excusent.





Table des matières

Définitions	13
Introduction	13
I Présentation générale	13
1.1. Origine des milieux tourbeux	13
1.2. Contexte européen	17
1.3. Contexte wallon	20
2 Valeur patrimoniale	26
3 Services écosystémiques	34
3.1. Les services de production	34
3.2. Les services de régulation et de maintenance	34
3.3. Les services culturels et sociaux	38
4 Exigences écologiques et facteurs de qualité de l'habitat	40
5 Menaces	42
5.1. Les activités humaines	42
5.2. Les retombées atmosphériques	44
5.3. La colonisation spontanée par des espèces à caractère envahissant	45
5.4. Les changements climatiques	46
6 Principes d'évaluation des structures et fonctions	48
7 Mesures de gestion et de restauration	49
7.1. La gestion courante	49
7.2. La restauration	51
Fiches descriptives	59
► Les tourbières hautes actives (7110*)	61
► Les tourbières hautes dégradées (7120)	73
Les tourbières de transition et tremblantes (7140)	81
► La végétation des tourbes dénudées (7150)	91
► Les bas-marais alcalins (7230)	97
Références bibliographiques	106





Préface

Si notre époque est qualifiée de cruciale par tous les spécialistes de la biodiversité car étant celle des choix, le premier qui s'impose est d'entreprendre les efforts pour transférer aux générations qui nous suivent un environnement de qualité. Parmi les composantes fondamentales de cet environnement : les biotopes ou habitats.

Tantôt d'origine purement naturelle, tantôt générés et entretenus par des pratiques traditionnelles, ces habitats ont une valeur patrimoniale à la fois intrinsèque par les associations d'organismes qui les composent, mais aussi par les innombrables services qu'ils procurent à la société.

Protéger ces biotopes constitue une mission de première importance que s'est fixée l'Union Européenne à travers la Directive Habitats, qui établit une liste d'habitats d'intérêt communautaire à préserver en priorité.

Abritant 41 de ces habitats, dont certains peu représentés à l'échelle du continent, la Wallonie peut s'enorgueillir de détenir une part significative de cette nature européenne malgré l'exiguïté de son territoire. Par là-même, elle se doit d'assumer sa responsabilité dans ce devoir de conservation.

Beaucoup de ces habitats ont connu une dégradation historique parfois ancienne, liée à l'évolution des pratiques agricoles ou sylvicoles, à leur abandon, à leur destruction directe... et plus récemment aux changements climatiques. Protéger ces habitats, c'est

d'abord les connaître, caractériser leurs composantes, comprendre leur fonctionnement, leur fragilité et leur variabilité, les menaces qui pèsent sur leur maintien, et aider à mieux les gérer.

La présente publication est tout cela à la fois : un guide de compréhension et d'analyse établissant un socle solide sur lequel nos stratégies de gestion pourront s'appuyer. Elle vient combler un vide dans la diffusion des connaissances sur les habitats d'intérêt communautaire de Wallonie, et s'adresse aux acteurs impliqués dans la caractérisation et la gestion des habitats, mais aussi aux naturalistes et au grand public. Bien qu'il s'agisse d'un document scientifique, un effort didactique a été fourni pour rendre le texte compréhensible et de nombreuses illustrations ont été sélectionnées à cette fin.

Fruit d'une collaboration entre les universités et les experts de mon administration chargés de réaliser le suivi de la biodiversité, cet ouvrage fait la synthèse et met en valeur les connaissances sur ce volet de notre patrimoine naturel.

Soyons sûrs que les fruits de ce travail collaboratif contribueront à mieux connaître et faire connaître nos richesses régionales et partant, à mieux en garantir la pérennité.

Bénédicte Heindrichs

Directrice générale Service public de Wallonie – Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (SPW ARNE)



Présentation de l'ouvrage

La publication des « Habitats d'Intérêt Communautaire de Wallonie » (HICW) est le résultat d'une collaboration entre la Direction de la Nature et de l'Eau du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW-Agriculture, Ressources naturelles et Environnement) et plusieurs services universitaires en appui scientifique à la mise en œuvre du réseau Natura 2000 en Wallonie.

Cette collaboration s'est concrétisée par un ensemble de conventions de recherche établies entre 2002 et 2005 conduisant à la production de documents scientifiques relatifs à la typologie descriptive des habitats, à l'élaboration de clés d'identification de ces habitats, à la définition de la méthodologie de cartographie des sites Natura 2000, à la définition et à la description des habitats d'intérêt communautaire wallons, à la méthodologie d'évaluation de leur état de conservation et à la définition de lignes directrices de gestion de certains de ces habitats.

Le projet de publication des HICW a fait l'objet de marchés complémentaires en 2010. Dans un souci d'homogénéité et afin d'y intégrer de nouvelles informations, plusieurs chapitres ont été modifiés ou complétés depuis par les experts du DEMNA.

La publication se compose d'une introduction générale et de six chapitres thématiques regroupés par grands types d'habitats.

L'introduction générale présente le contexte géographique naturel et humain de la Wallonie, les concepts qui sous-tendent le réseau Natura 2000 et le rôle des habitats d'intérêt communautaire au sein de ce réseau. Sont ensuite développées les notions de qualité des habitats et les facteurs qui interviennent pour leur évaluation, de même que les pressions et les menaces qui pèsent sur eux. Ces notions sont importantes car elles sont utilisées pour rendre compte de l'état de conservation des habitats et de son évolution dans le cadre du rapportage périodique prévu à l'article 17 de la Directive Habitats.

L'introduction générale se termine par un chapitre développant la notion de services écosystémiques et le rôle des habitats d'intérêt communautaire dans la production de ces services.

La partie consacrée à la description des habitats est structurée en différents chapitres reprenant :

- ► Les habitats forestiers : hêtraies (9110, 9120, 9130, 9150), chênaies climaciques (9160, 9190), forêts de ravins et de pentes (9180), forêts alluviales (91E0, 91F0), boulaies tourbeuses (91D0);
- ► Les habitats aquatiques : plans d'eau (3130, 3140, 3150, 3160) et cours d'eau (3260, 3270, 7220*);
- ► Les habitats agropastoraux : landes (4010 et 4030), pelouses (2330, 6110, 6120, 6130, 6210, 6230) et genévrières (5130) ;
- ► Les habitats prairiaux : prairies de fauche (6410, 6510, 6520) et mégaphorbiaies (6430);
- ► Les habitats tourbeux (7110, 7120, 7140, 7150, 7230);
- ► Les habitats rocheux (8150, 8160, 8210, 8220), buxaies (5110) et grottes (8310).

Chaque chapitre dédié à un groupe d'habitats



comporte une partie introductive situant leur origine et leur intégration dans le contexte européen et wallon, leur intérêt patrimonial et les services écosystémiques qui leurs sont associés. Sont ensuite passées en revue les conditions nécessaires à leur existence, les menaces qui pèsent sur eux, les principes de leur évaluation qualitative et les mesures de gestion et de restauration.

Chaque habitat fait ensuite l'objet d'une fiche descriptive individuelle permettant de définir sa déclinaison wallonne, son appartenance phytosociologique et la correspondance entre les différentes typologies utilisées dans les publications scientifiques. Les caractéristiques de l'habitat sont ensuite passées en revue, avec les espèces diagnostiques, la variabilité de l'habitat à l'échelle régionale et sa répartition connue. Lorsque l'habitat peut être confondu avec un autre, les différences permettant de les distinguer sont indiquées. Ceci est particulièrement utile pour les habitats forestiers où des faciès sylvicoles peuvent prêter à confusion lors de leur identification. Enfin, l'habitat est replacé dans son contexte évolutif et ses rapports éventuels avec d'autres habitats sont décrits.

L'ensemble des différents chapitres est accompagné d'une abondante bibliographie tant régionale qu'internationale.

Les services universitaires et bureaux ayant participé à l'élaboration des documents scientifiques qui ont servi de base à la présente publication sous la coordination d'A. Peeters (RHEA– natural Resources Human Environment and Agronomy) sont :

▶ l'Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels de la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux – actuellement Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech / Département BIOSE / Gestion des Ressources forestières – habitats forestiers (sous la direction de H. Claessens);

- ▶ le laboratoire d'Écologie de la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux – actuellement Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech / Département BIOSE / Biodiversité et Paysages – habitats agropastoraux : landes, pelouses et nardaies (sous la direction de G. Mahy) ;
- ▶ l'aCREA (Conseils et Recherches en Écologie Appliquée) Université de Liège habitats rocheux, grottes, pelouses calaminaires et mégaphorbiaies (sous la direction d'E. Sérusiaux);
- ▶ le laboratoire d'Ecologie des Prairies Université catholique de Louvain habitats prairiaux (sous la direction d'A. Peeters).

Les experts Habitats de la Direction de la Nature et de l'Eau (DNE) du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA) du SPW qui ont (co)rédigé, actualisé, complété et restructuré le texte sont :

- ► Jean-Marc Couvreur : habitats prairiaux
- ► Louis-Marie Delescaille : habitats agropastoraux et habitats rocheux
- ► Philippe Frankard : habitats tourbeux
- ► Christine Keulen et Colette Delmarche : habitats aquatiques
- ► Lionel Wibail : habitats forestiers et habitats rocheux

avec la contribution des collègues de la DNE impliqués dans la relecture.

La coordination et l'homogénéisation finales des documents ont été assurées par L.-M. Delescaille et L. Wibail.





Les habitats tourbeux

Définitions

Les **tourbières** sont des étendues marécageuses au sein desquelles des conditions écologiques particulières permettent l'accumulation de matières organiques mal décomposées, la tourbe, sur lesquelles se développent des végétations spécialisées dominées par des bryophytes. Elles peuvent se développer selon deux processus différents, soit par le comblement ou le remplissage d'un plan d'eau par de la matière organique (phénomène d'atterrissement), soit par l'accumulation d'eau au sein de la végétation de sites mal drainés (phénomène de paludification) avec accumulation de tourbe au-dessus du sol minéral.

L'acidité du milieu permet d'opposer les **tourbières acides** (3 < pH < 5,5) aux **tourbières neutres à basiques** (ou neutro-alcalines) (5,5 < pH < 8).

Le niveau trophique, qui fait référence à la teneur du milieu en éléments nutritifs dissous, notamment en azote et en phosphore, permet de distinguer des **tourbières oligotrophes**, **mésotrophes** ou **eutrophes**.

L'épaisseur de tourbe permet de distinguer les tourbières basses (ou bas-marais), liées à la présence d'une nappe phréatique permanente, des tourbières hautes (ou hauts-marais) qui échappent à l'influence de ce type de nappe et qui sont alimentées uniquement par les

précipitations. On parle de **tourbières hautes actives** lorsque celles-ci supportent une végétation formatrice de tourbe (turfigène). Les **tourbières de transition** ou tremblantes ont des caractéristiques intermédiaires entre les bas-marais et les tourbières hautes (alimentation hydrique double).

Le mode d'alimentation en eau permet de définir les **tourbières minérotrophes**, alimentées par des eaux de ruissellement qui ont été en contact avec le substrat géologique, et des **tourbières ombrotrophes** qui ne sont alimentées que par les eaux météoriques (pluie, neige, brouillard).

Introduction

I | Présentation générale

I.I. Origine des milieux tourbeux

Des conditions hydrologiques, édaphiques, topographiques et climatiques particulières conditionnent l'apparition et le développement des milieux tourbeux. Un bilan hydrique positif est indispensable et les apports en eau (sources, ruissellement, précipitations, nappe phréatique, crues) doivent être égaux ou supérieurs aux pertes par écoulements latéraux ou verticaux, drainage naturel ou artificiel, évaporation et évapotranspiration.



Plusieurs facteurs contribuent à l'établissement d'un bilan hydrique positif : une pluviosité élevée combinée à des températures relativement basses, des sols plus ou moins imperméables ou à drainage très faible, une topographie permettant l'accumulation d'eau ou un écoulement lent (dépressions, pentes faibles, cols aplanis, replats).

Dans ces conditions, le sol est saturé en permanence par une eau stagnante ou peu mobile, très pauvre en oxygène. L'asphyxie du sol (anaérobiose) qui en résulte limite fortement les processus microbiologiques dus aux bactéries et champignons responsables de la décomposition et du recyclage de la matière organique. En conséquence, les matières organiques mortes ne se minéralisent que très lentement et très partiellement et s'accumulent progressivement sous forme de tourbe, au rythme moyen de 0,2 à 1 mm de hauteur par an.

Avec le temps, l'accumulation de tourbe modifie les conditions environnementales du milieu et transforme les habitats aquatiques en habitats semi-aquatiques, puis en bas-marais (ou tourbières basses minérotrophes) liés à la présence d'une nappe phréatique permanente alimentée par les eaux de ruissellement qui ont été en contact avec le substrat géologique. L'origine de l'alimentation hydrique permet de distinguer les **tourbières limnogènes** (issues de l'atterrissement progressif d'une pièce d'eau à partir de radeaux flottants), les **tourbières topogènes** (résultant de l'accumulation d'eau dans une dépression topographique), les **tourbières soligènes** (naissant

à la faveur d'écoulements lents et continus sur des pentes faibles) et les **tourbières fluviogènes** (issues de l'inondation périodique d'une vallée par un cours d'eau ou une nappe alluviale).

Les tourbières basses peuvent ensuite évoluer, si les conditions hydriques restent favorables, vers des tourbières hautes (ou haut-marais) par accumulation de la tourbe au dessus des surfaces environnantes. Ce phénomène d'accumulation de tourbe et d'exhaussement au-dessus de la nappe phréatique est appelé ombrotrophisation. Ces tourbières hautes sont exclusivement alimentées par les eaux météoriques, leur surface et leur végétation n'étant plus en contact avec la nappe et s'étant affranchies de son alimentation. Les communautés végétales dont les espèces sont adaptées aux conditions édaphiques et climatiques locales constituent des indicatrices de ces conditions

Les **tourbières de transition** ou tremblantes¹ ont des caractéristiques intermédiaires entre les bas-marais et les tourbières hautes. Elles constituent soit des stades évolutifs temporels ou des transitions spatiales du bas-marais vers la tourbière haute, soit des stades d'atterrissement des pièces d'eau.

Parmi les différents types de milieux tourbeux, certains sont naturels (essentiellement les bois tourbeux et les tourbières hautes actives, certaines tourbières de transition et zones de tourbe nue, quelques bas-marais), d'autres sont semi-naturels et se sont développés suite aux activités humaines de déboisement et

⁽¹⁾ Les tourbières tremblantes (ou tremblants tourbeux) sont composées de radeaux végétaux flottant à la surface de l'eau, qu'ils masquent parfois totalement. Les tourbières de transition et les tourbières tremblantes occupent une position intermédiaire entre les communautés de bas-marais minérotrophes et les tourbières hautes ombrotrophes, entre les communautés oligotrophes et mésotrophes ou entre les communautés neutro-alcalines et acidiphiles.





Profil de sol tourbeux



Tourbière topogène : bas-marais dans une dépression topographique



Tourbière fluviogène, le long du réseau hydrographique



Tourbière limnogène, issue de l'atterrissement d'un plan d'eau





Tourbière haute (surimpression de la photographie aérienne et du Lidar²): on remarque le caractère surélevé de l'habitat



Complexe tourbeux du Misten (surimpression de la photographie aérienne et du Lidar) : l'exploitation de la tourbe à l'est a remis à jour de nombreux lithalses (formes arrondies sur la photographie)

(2) La télédétection par laser ou lidar est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur. Elle permet notamment de cartographier avec précision le microrelief du sol.



d'agro-pastoralisme (landes tourbeuses, prairies tourbeuses, tourbières dégradées, la majorité des bas-marais, végétations de tourbe nue et tourbières de transition).

En Europe occidentale, les tourbières actuelles n'ont pu se mettre en place et se développer qu'une fois les conditions froides et arides de la dernière glaciation remplacées par des climats plus doux et humides qui s'installèrent au cours du Tardiglaciaire (18 000 / 11 500 ans BP³) (Cubizolle & Tholly 2015).

En Wallonie, les dépôts de tourbe les plus anciens sont d'époque Préboréale (11 700 ans / 10 000 ans BP) et sont apparus dans le fond des cuvettes de lithalses⁴. Ils se sont développés au sein de groupements aquatiques et palustres alimentés par des suintements plus ou moins riches en carbonates. Au cours des phases ultérieures de l'Holocène (période géologique qui fait suite au dernier épisode glaciaire), les cuvettes de lithalses se sont progressivement remplies de tourbe grâce à des groupements végétaux à sphaignes et cypéracées de plus en plus acidiphiles (Damblon 1996, Streel *et al.* 2019).

En dehors des lithalses, la tourbe la plus ancienne décrite en Wallonie est celle datée de 10 500 ans BP dans la vallée de la Helle au Grand-Bongard (Streel et al. 2019). Mais les recherches paléobotaniques ont révélé que c'est surtout à partir de la fin de l'époque Boréale (environ 8000 ans BP) et surtout au cours de l'Atlantique (7500 / 4750 ans) que vont progressivement s'installer les grands complexes tourbeux, qui intégreront finale-

ment la plupart des lithalses en les enfouissant (certains d'entre eux seront mis au jour à la suite de l'exploitation de la tourbe) (Streel et al. 2018). Ces complexes ont débuté par des stades oligo-mésotrophes de bas-marais, de tourbières de transition et de bois tourbeux, puis ont évolué vers des groupements oligotrophes de tourbières hautes à sphaignes et linaigrettes là où les conditions étaient favorables (Damblon 1996). Les dépôts de tourbe les plus profonds identifiés en Wallonie atteignent plus de 7 mètres d'épaisseur au cœur de la tourbière haute active du Misten (Hautes-Fagnes).

1.2. Contexte européen

En Europe, les milieux tourbeux sont présents dans toutes les régions biogéographiques, mais ils n'y sont pas uniformément distribués. D'après les cartes des sols, on estime qu'il y aurait approximativement 51,5 millions d'hectares de tourbières en Europe, avec les plus larges dépôts situés en Scandinavie, en Ecosse et en Irlande (Montanarella et al. 2006). Et si on inclut la partie européenne de la Russie dans les comptages, les dépôts tourbeux occupent alors plus de 100 millions d'hectares, soit 10 % de la surface totale (Tanneberger et al. 2017). Ils se répartissent selon un gradient climatique nord-sud et un gradient de continentalité ouest-est (Gore 1983; Manneville 1999). La formation de la tourbe est en effet prioritairement liée au climat. L'importance des précipitations détermine la disponibilité en eau du milieu, tandis que la température contrôle à la fois la production et la décomposition de la ma-

⁽³⁾ BP = before present. Par convention, les datations sont calculées à partir de l'année 1950 après J.-C.

⁽⁴⁾ Les lithalses sont des buttes qui se sont développées au cours de la période très froide du Dryas récent (entre 12 200 / 11 700 ans BP) par accumulation de lentilles de glace de ségrégation dans le sol (Pissart 2014 ; Juvigné et al. 2015). La fonte de la glace dans les buttes au début de l'Holocène a conduit à la formation de dépressions ceinturées de remparts (formant les actuelles traces de lithalses ou viviers) qui se sont remplies d'eau.



tière organique. Les tourbières sont dès lors surtout abondantes dans les régions froides et humides. Lorsque la balance entre les précipitations et l'évaporation est moins favorable, les milieux tourbeux sont seulement présents là où les particularités du milieu permettent l'accumulation permanente d'eau.

C'est dans les régions boréales et sub-arctiques qu'ils dominent. On y rencontre une vaste gamme de tourbières de couverture, de tourbières basses, de tourbières de transition et de tourbières hautes couvrant de vastes superficies. Parmi celles-ci existent plusieurs types d'habitats que l'on ne retrouve pas en dehors de ces ceintures bioclimatiques : les tourbières réticulées (« aapa », caractérisées par une succession de rides allongées couvertes d'une végétation à base de sous-arbrisseaux, herbacées et sphaignes et de dépressions étroites inondées dominées par des cypéracées, des sphaignes et/ou des mousses pleurocarpes), les tourbières à palses organiques (dans lesquelles de grosses buttes contenant de la glace de ségrégation se forment) limitées aux zones à pergélisol⁵ discontinu (Pissart 2014) et enfin, tout au nord, des tourbières polygonales dans des zones où la quasi-totalité du sol est gelée en permanence (pergélisol continu) et où les tourbières sont constituées de dépressions polygonales de 10 à 30 m de diamètre, colonisées par des graminées, des laîches et des mousses pleurocarpes et ceinturées par des crêtes sèches formant un réseau mis en relief par une végétation sporadique et très rabougrie constituée de lichens, de sous-arbrisseaux et arbustes prostrés et de sphaignes (Gore 1983; Joosten et al. 2017).

Dans le sud de l'Europe, les milieux tourbeux ne sont que faiblement représentés. Dans ces régions, seuls de petits bas-marais sont présents dans les plaines, tandis que les tourbières de transition et les tourbières hautes sont cantonnées dans les régions montagneuses.

Les régions océaniques de l'ouest de l'Europe sont très riches en tourbières de couverture (Marsden & Ebmeier 2012), un habitat qui est exclusivement présent dans des zones à climat relativement doux et à pluviosité très élevée, en Irlande, sur les façades ouest du Royaume-Uni et de la Norvège, ainsi que très localement sur la façade atlantique de l'Espagne. Il peut s'étendre sur de vastes superficies et couvrir tous les reliefs, quel que soit le substrat (à titre d'exemple 20 % de la surface de l'Ecosse sont couverts de tourbières de couverture). Il s'agit de tourbières exclusivement ombrogènes, car leur genèse est directement liée au climat et leur alimentation provient exclusivement des précipitations atmosphériques. Celles-ci sont remplacées plus à l'est par des bas-marais, des tourbières de transition et des tourbières hautes. Dans les steppes orientales, les milieux tourbeux ne sont plus que sporadiques.

Si les différences d'habitats observées s'expliquent d'abord par des facteurs climatiques et de continentalité, d'autres facteurs environnementaux jouent également un rôle tant dans la diversité des habitats et de leur évolution que dans la diversité des espèces présentes. Ce sont les types de sous-sols et de sols, le relief, les facteurs hydriques (liés à la quantité d'eau et à sa circulation), le pH, le niveau trophique...

⁽⁵⁾ Le pergélisol est l'adaptation française du terme anglais permafrost (sol gelé en permanence). Il désigne la fraction des sols gelée en permanence (toute l'année et plusieurs années consécutives) dans les régions froides. La partie supérieure peut éventuellement dégeler pendant la bonne saison.



Par ailleurs, beaucoup de surfaces tourbeuses sont aujourd'hui altérées et n'accumulent plus de tourbe ou ont disparu, principalement en raison des activités humaines (agriculture, sylviculture, extraction de la tourbe comme combustible ou milieu de culture pour l'horticulture). À l'échelle européenne, on estime que plus de 50 % de la superficie originelle

des tourbières est dégradée (30-40 %) ou a disparu (10-20 %) et ce taux peut dépasser 90 % dans certains pays (Joosten 1997 ; Joosten & Clarke 2002 ; Joosten *et al.* 2017).



Tourbière réticulée (Finlande)



Tourbière à palses (Norvège)



1.3. Contexte wallon

En Belgique, les milieux tourbeux (sensu lato) sont marginaux et ne couvrent que 0,8 % du territoire (Frankard et al. 2017). D'après la carte des sols de la Belgique (éditée par le Centre de Cartographie des Sols, sous la Direction scientifique de R. Tavernier), ils ont couvert environ 25 000 ha, parmi lesquels plus de 10 000 ha de milieux paratourbeux (< 40 cm de tourbe) et près de 15 000 ha de sols tourbeux (> 40 cm de tourbe). Les fortes épaisseurs (> 125 cm de tourbe) ne se rencontrent quasiment qu'en haute Ardenne et sont inexistantes en Flandre.

En Wallonie, les sols tourbeux ont couvert potentiellement près de 15 000 ha (tableau 1), auxquels il faut encore ajouter 1200 ha de sols tourbeux fossiles, aujourd'hui enfouis sous d'autres sédiments. Ces milieux ne couvrent donc potentiellement que moins de 0,9 % du territoire wallon. Ils se retrouvent principalement sur les crêtes ardennaises, depuis le massif de la Croix-Scaille au sud-ouest, jusqu'au massif des Hautes-Fagnes au nord-est, et de manière beaucoup plus localisée dans les hautes vallées d'Ardenne et de Lorraine belge, principalement dans les vallées de la Semois et de la Sûre. Quelques zones tourbeuses existent également dans le Hainaut, dans la vallée de la Haine.

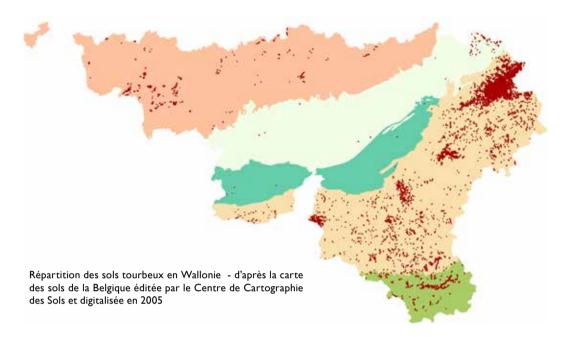
Les milieux tourbeux wallons sont fort diversifiés, du point de vue de l'épaisseur de la couche de tourbe, du niveau trophique, de l'acidité du milieu et du type d'alimentation en eau.

La plupart des milieux tourbeux wallons étaient boisés à l'origine. Les sols paratourbeux (< 40 cm de tourbe) étaient couverts par des chênaies pédonculées à bouleau pubescent et molinie (HIC 9190 Trientalo-Quercetum) dans les zones les moins humides ou par des boulaies pubescentes à sphaignes (HIC 91D0 uliginosi-Betuletum pubescentis) Vaccinio sur les sols plus humides. Les sols tourbeux (40 à 100 cm de tourbe) oligo-mésotrophes et acides étaient principalement couverts de boulaies pubescentes à sphaignes ou d'aulnaies-boulaies marécageuses à sphaignes (Carici laevigatae-Alnetum glutinosae) dans les zones de sources et de résurgences. Sur les sols faiblement tourbeux oligo-mésotrophes à eutrophes, neutro-alcalins et engorgés en eau, se développaient des aulnaies marécageuses (Carici elongatae-Alnetum glutinosae; Macrophorbio-Alnetum).

Seuls les sols avec une couverture tourbeuse de plus de 100 à 150 cm de tourbe étaient naturellement non boisés et couverts de tourbières hautes actives à sphaignes (HIC 7110 Oxycocco-Sphagnetea magellanici).

TABLEAU I Superficies des types de sols tourbeux d'après la carte des sols de Wallonie								
	Sols para-tour- beux	Sols tourbeux (tourbières sensu stricto)		Total sols tourbeux (sensu stricto)	Total sols tourbeux (sensu lato)	Sols fossiles		
Épaisseur de tourbe (cm)	< 40	de 40 à 125	> 125	de 40 à >125	de 0 à >125	-		
Superficie (ha)	6830	6805	1134	7939	14 769	1219		





Tous les types de milieux tourbeux ont fait l'objet d'une exploitation humaine principalement à partir du Moyen-Âge, d'abord modérée (extraction de tourbe pour le chauffage domestique, pratiques agropastorales, exploitation des forêts) puis beaucoup plus intensive à partir du milieu du XIX^e siècle.

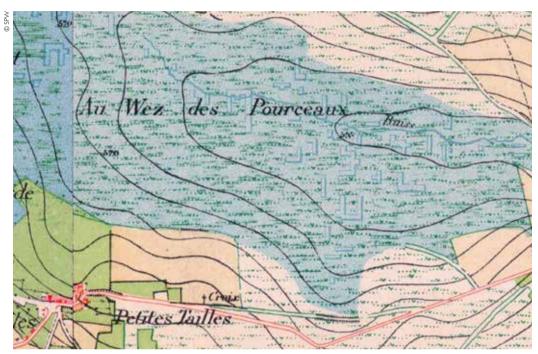
L'exploitation des forêts sur sols très hydromorphes, para-tourbeux et tourbeux a entraîné au fil des siècles une modification importante du paysage et l'apparition, puis l'extension sur de vastes superficies, de milieux secondaires dits semi-naturels, au détriment des forêts initiales (Damblon 1969; Dumont 1975, 1985; Schumacker & Noirfalise 1979): landes humides à tourbeuses (HIC 4010 - Calluno-Vaccinietum ericetosum; Ericetum tetralicis), bas-marais (Caricion fuscae en milieux acides; Caricion davallianae en milieux neutro-alcalins), mais aussi tourbières de transition (HIC 7140 - Caricion lasiocar-

pae; Rhynchosporion albae) dans les zones de suintements et dans les fosses d'extraction de tourbe. Les tourbières hautes actives ont drastiquement régressé à partir du XIV^e siècle, principalement à cause de l'exploitation domestique de la tourbe comme combustible (Hindryckx & Streel 2000) mais aussi suite à des activités agropastorales, pratiquées souvent de manière marginale (fauchage, stiernage⁶, pâturage extensif) (Froment 1968; Hoyois 1949). Ces activités se sont considérablement étendues à partir du XVIII^e jusqu'au milieu du XIX^e siècle (Damblon 1996).

À partir du milieu du XIX^e siècle, les pratiques agropastorales traditionnelles ont été progressivement abandonnées et dès la fin du même siècle, de vastes zones tourbeuses ont été drainées puis enrésinées, tandis que d'autres, plus proches des villages, ont été converties en cultures ou en pâtures (Froment 1968). Ces activités humaines relativement récentes ont

⁽⁶⁾ Opération au cours de laquelle les plantes fauchées sur les tourbières étaient ratissées avec les sphaignes pour servir de litière au bétail.





Carte historique du dépôt de la guerre (levée entre 1865 et 1880) avec fosses d'exploitation de la tourbe (formes géométriques à contour bleu) au Plateau des Tailles



Exploitation de la tourbe dans les Hautes-Fagnes au début du XX° siècle



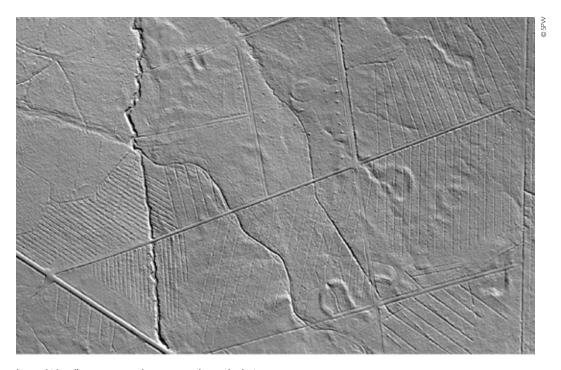


Image Lidar d'une zone tourbeuse avec réseau de drains



Ancien front d'exploitation de la tourbe dans la Fagne Wallonne



détruit de vastes zones d'une valeur patrimoniale exceptionnelle. De plus, les nombreux incendies qui ont sévi au cours du XX° siècle dans les reliques de tourbières asséchées les ont encore appauvries en favorisant une graminée sociale : la molinie (*Molinia caerulea*). En particulier, de vastes surfaces de tourbières hautes ont disparu suite au drainage et aux plantations d'épicéas, au point qu'elles sont devenues rarissimes et n'existent plus que sous forme de reliques, le plus souvent dégradées dans leur périphérie.

Selon les meilleures estimations, il subsisterait 120 ha de tourbières hautes presque intactes (HIC 7110), dont 90 ha dans le seul massif des Hautes-Fagnes, alors qu'elles ont couvert plus de 1100 ha sur les hauts plateaux ardennais, principalement sur les plateaux des Hautes-Fagnes et des Tailles et, beaucoup plus localement, sur les plateaux de Saint-Hubert, de Recogne, de la Croix-Scaille, ainsi que dans certaines hautes vallées ardennaises (notamment celles de la Sûre et de la Lienne) et lorraines (haute Semois) (Frankard 2001a et b; Frankard & Hindryckx 1998; Jortay & Schumacker 1988a et b). Selon Wibail et al. (2014), les tourbières dégradées susceptibles de régénération (HIC 7120), occuperaient encore plus de 2500 ha, les tourbières de transition (HIC 7140), environ 85 ha, et les bas-marais alcalins (HIC 7230), une dizaine d'hectares. Les végétations du Rhynchosporion (HIC 7150) occuperaient à peine plus d'un hectare. De nombreux massifs tourbeux sont protégés au sein de réserves naturelles domaniales, mais ils sont toujours très sensibles aux perturbations.

Le tableau 2 présente les principaux types de milieux naturels et semi-naturels se développant sur les sols tourbeux et para-tourbeux de Wallonie. Bien qu'étant des milieux tourbeux, les boulaies tourbeuses à sphaignes (HIC 91D0) sont traitées dans le chapitre relatif aux habitats forestiers. Les chênaies pédonculées à bouleau pubescent et molinie (HIC 9190) et les landes humides (HIC 4010) qui en dérivent, sur des sols para-tourbeux, ne sont pas considérées comme des habitats tourbeux car elles apparaissent aussi sur des sols hydromorphes non tourbeux. Ces habitats sont traités respectivement dans les chapitres « habitats forestiers » et « habitats pastoraux ».

Les autres types de milieux (bas-marais acides, roselières, magnocariçaies, peuplements de grands joncs, aulnaies marécageuses) ne sont pas décrits car ils ne sont pas repris à l'annexe I de la Directive Habitats, mais ils n'en présentent pas moins une valeur patrimoniale très élevée et constituent l'habitat de nombreuses espèces rares et/ou protégées.



Panneau signalant une zone D (interdite au public) dans une réserve naturelle domaniale



TABLEAU 2 Types et caractéristiques des tourbières de Wallonie Type d'alimentation Epaisseur de tourbe (cm) Acidité du milieu Niveau trophique Catégorie Code N2000 en eau 4010 < 40 Landes tourbeuses Minérotrophe Acide Oligotrophe 9190 < 40 Chênaies pédonculées Minérotrophe Acide Oligotrophe Oligo-Bas-marais acides Souvent < 40 Acide Minérotrophe à mésotrophe Oligo- à 7230 Bas-marais alcalins Souvent < 40 Minérotrophe Neutro-alcalin eutrophe Minéro-Méso- à Roselières sur tourbe Variable Neutro-alcalin ombrotrophe eutrophe Acide Méso- à < 40 Magnocariçaies Minérotrophe à neutro-alcalin eutrophe **Peuplements** Acide Méso-à < 40 Minérotrophe de grands joncs à neutro-alcalin eutrophe Généralement Minéro-91D0 Boulaies tourbeuses Acide Oligotrophe < 100 ombrotrophe **Aulnaies** Acide Oligo- à Souvent < 40 Minérotrophe à neutro-alcalin eutrophe marécageuses Tourbières de Minéro-Acide Oligo-7140 Variable transition ombrotrophe à neutro-alcalin à mésotrophe Dépressions Minéro-Variable 7150 Acide Oligotrophe sur tourbe nue ombrotrophe Tourbières hautes 7110 > 100 Acide Ombrotrophe Oligotrophe actives Minéro-om-Tourbières dégradées 7120 > 40 Acide Oligotrophe brotrophe

d'après Frankard 2007



Bas-marais acide à jonc à tépales aigus (Juncus acutilforus)



Magnocariçaie à laîche paniculée (Carex paniculata)

Lionel Wibail



2 | Valeur patrimoniale

Les tourbières au sens large abritent des biocénoses spécialisées, uniques, que l'on ne rencontre pas dans les autres écosystèmes. En outre, beaucoup des espèces caractéristiques des tourbières sont rares et/ou menacées à l'échelle régionale, voire européenne. À titre d'exemple, plus de 20 % des espèces végétales protégées en Wallonie sont susceptibles d'être présentes dans des milieux tourbeux au sens large. La plupart de ces espèces sont aussi inscrites dans la liste rouge des espèces végétales wallonnes (3 espèces éteintes, 42 espèces menacées d'extinction, 15 espèces en danger et 5 espèces vulnérables ; Saintenoy-Simon et al. 2006). Elles sont notamment un refuge pour diverses espèces reliques post-glaciaires à affinités boréomontagnardes (Schumacker & Noirfalise 1979). Parmi les espèces caractéristiques, on note des espèces plus ou moins inféodées à la tourbe (diverses espèces végétales et animales tyrphophiles ou tyrphobiontes7). Les espèces protégées par la Loi sur la Conservation de la Nature sont suivies d'un astérisque dans le texte qui suit. Celles qui figurent en outre aux annexes des Directives Habitats et Oiseaux sont signalées par un double astérisque.

Les tourbières hautes ombrotrophes (uniquement alimentées par les eaux de précipitations) (HIC 7110) ont un intérêt patrimonial exceptionnel notamment en raison de leur extrême raréfaction (Frankard 2005a). À cause des conditions écologiques souvent très contraignantes qui règnent dans cet habitat, diverses espèces caractéristiques ont développé des adaptations particulières. Certaines espèces sont « carnivores » (*Drosera* div. sp.*, *Utricu*-

laria div. sp.*) pour pallier la pauvreté du milieu en composés azotés, tandis que la plupart des éricacées des tourbières ont développé des symbioses mycorhiziennes pour augmenter l'absorption de l'azote ammoniacal et du phosphore. D'autres plantes ont développé des adaptations permettant de limiter les pertes en eau par évapotranspiration : des feuilles petites ou coriaces (ex. : Andromeda polifolia*, Empetrum nigrum*, Erica tetralix*, Vaccinium oxycoccos*) ou des feuilles enroulées et filiformes (ex. : Carex pauciflora*, Eriophorum vaginatum*, Trichophorum cespitosum). Les sphaignes (Sphagnum div. sp. **; 26 espèces en Wallonie), quant à elles, sont capables de stocker d'importantes quantités d'eau grâce à la présence dans leurs feuilles de grandes cellules mortes (les hyalocystes) qui se gorgent d'eau.

Les tourbières hautes sont aussi l'habitat de deux espèces de papillons diurnes : le nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris**) et le fadet des tourbières (*Coenonympha tullia**). Le premier voit ses populations augmenter là où d'importants travaux de restauration de tourbières ont eu lieu (Dufrêne *et al.* 2015 ; Frankard 2016). Par contre, le second a récemment disparu de Wallonie (Fichefet *et al.* 2008).

Les tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération naturelle (HIC 7120) peuvent toujours avoir localement un intérêt assez important, surtout dans les stades les moins perturbés abritant encore un cortège d'espèces caractéristiques diversifié. Le principal intérêt de cet habitat réside toutefois dans les potentialités de restauration par le biais d'actions de gestion visant à rétablir un fonctionnement écologique optimal.

⁽⁷⁾ Les espèces tyrphophiles sont des espèces qui sont inféodées, au moins à un moment donné de leur cycle de vie, aux milieux tourbeux. Les tyrphobiontes accomplissent l'entièreté de leur cycle de développement dans les milieux tourbeux.





- 1 Andromède (Andromeda polifolia) © Annick Pironet
- 2 Rossolis à feuilles rondes (Drosera rotundifolia) © Pascal Ghiette
- 3 Bruyère quaternée (Erica tetralix) © Roger Herman
- 4 Lycopode inondé (Lycopodiella inundata) © Violaine Fichefet
 5 Canneberge (Vaccinium oxycoccos) © Annick Pironet



Les tourbières de transition et tremblantes (HIC 7140) sont quant à elles un refuge pour diverses espèces végétales spécialisées, très rares et/ou menacées, dont il ne subsiste parfois plus que quelques stations en Wallonie : Calla palustris*, Carex diandra*, C. lasiocarpa*, C. limosa*, Hammarbya paludosa*.

Elles ont aussi un très grand intérêt pour les invertébrés. Elles abritent de très nombreux odonates, dont des espèces tyrphobiontes (Aeshna subarctica*, Somatochlora arctica*) et tyrphophiles (Aeshna juncea*, Coenagrion hastulatum*, Leucorrhinia dubia*, L. rubicunda*, Orthetrum coerulescens*, Sympetrum danae), ainsi que diverses autres espèces plus ou moins rares et/ou protégées en Wallonie: Lestes dryas*, Lestes virens*, Libellula quadrimaculata, Somatochlora metallica.

En outre, Leucorrhinia pectoralis**, une espèce inscrite aux annexes II-IV de la Directive Habitat, considérée comme régionalement éteinte dans l'atlas des odonates (Goffart et al. 2006), a colonisé les zones de tourbières restaurées sur les différents plateaux ardennais en 2012, au départ d'un afflux en masse à partir de populations migrant de l'Est (Goffart et al. 2012). Sa reproduction a depuis été observée dans les tourbières de transition des Hautes-Fagnes en 2013 et 2014. Ces observations constituent la première preuve de reproduction de cette espèce en Wallonie depuis plusieurs décennies (Kever 2014; Kever et al. 2014), mais il reste délicat de se prononcer sur l'avenir de ces populations.

Les populations de coléoptères aquatiques sont également importantes dans les tourbières de transition. On y rencontre notam-





Le calla (Calla palustris) et la malaxide des marais (Hammarbya paludosa), 2 espèces très rares en Wallonie, liées aux tourbières de transition et tremblantes (HIC 7140)





29

3 Agrion hasté (Coenagrion hastulatum) © Denis Parkinson 6 Aeschne des joncs (Aeshna juncea) © Charly Farinelle

5 Nacré de la canneberge (Boloria aquilonaris) © Jean Fagot

2 Cordulie artique (Somatochlora artica) © Piet Spaans



ment des espèces tyrphophiles (Agabus affinis, A. congener, Hydroporus incognitus, H. melanorius, H. morio, H. umbrosus) et tyrphobiontes (Ilybius aenescens, Rhantus suturellus) (Dopagne 2016).

Ces tourbières ont aussi une importance primordiale pour le nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris**), un papillon dont les chenilles se développent sur la canneberge (*Vaccinium oxycoccos**).

La végétation des tourbes dénudées (HIC 7150) est un habitat fugace, rarissime et caractérisé par des espèces rares et protégées. Il s'agit d'un habitat hautement spécialisé qui abrite un nombre assez limité d'espèces, extrêmement exigeantes sur le plan écologique, comme Drosera intermedia*, D. rotundifolia*, Erica tetralix*, Lycopodiella inundata**, Rhynchospora alba*, R. fusca* et diverses espèces du genre Sphagnum**.

Les bas-marais alcalins (HIC 7230) abritent diverses espèces végétales rares à très rares, dont beaucoup sont très menacées, notamment Blysmus compressus*, Carex davalliana*, encore signalé par Parent (1969) mais aujourd'hui disparu, C. dioica*, C. flava*, C. hostiana*, C. lepidocarpa*, C. pulicaris*, Dactylorhiza incarnata*, Epipactis palustris*, Eriophorum gracile*, E. latifolium*, Juncus subnodulosus*, Parnassia palustris*, Ranunculus lingua*, Thelypteris palustris*, Triglochin palustris*. C'est également le cas de nombreuses espèces de bryophytes, e.a. Aneura pinguis, Calliergon giganteum, Fissidens adianthoides, Palustriella commutata, Scorpidium cossonii, S. scorpioides, Straminergon stramineum, Tomentypnum nitens, Warnstorfia exannulata. Les tourbières basses alcalines sont également l'habitat d'Hamatocaulis vernicosus**, une espèce de mousse protégée au niveau européen.

Certains odonates sont également typiques de cet habitat : *Ischnura pumilio*, *Orthetrum brunneum* et *Somatochlora flavomaculata*.

Les milieux tourbeux constituent par ailleurs d'importants habitats (sites de nidification ou de nourrissage, relais migratoires, lieux d'hivernage) pour diverses espèces d'oiseaux, dont certaines sont reprises à l'annexe I de la Directive Habitats ou à l'article 4.2 de la Directive Oiseaux

Le tétras lyre (*Tetrao tetrix***) est l'oiseau emblématique des tourbières (tourbières hautes, tourbières boisées, landes tourbeuses). C'est une espèce en situation critique en Wallonie, dont la dernière petite population nicheuse, proche de l'extinction, survit dans les zones tourbeuses du plateau des Hautes-Fagnes (Poncin & Loneux 2012).

Les autres espèces d'oiseaux ne sont pas strictement inféodées aux milieux tourbeux mais certaines y trouvent toutefois des conditions particulièrement favorables.

C'est ainsi que les tourbières de transition comportant encore des zones aquatiques, ainsi que les secteurs de tourbières restaurés par ennoiement ou décapage, constituent des biotopes importants pour de nombreux oiseaux en haltes migratoires, dont la grue cendrée (*Grus grus***), la bécassine des marais (*Gallinago gallinago***), le chevalier aboyeur (*Tringa nebularia**), le combattant varié (*Philomachus pugnax***), le chevalier sylvain (*Tringa glareola***), le hibou des marais (*Asio flammeus***) (nicheur potentiel), le chevalier cul-blanc (*Tringa ochropus**), le petit gravelot (*Charadrius dubius**) (nicheur potentiel), la bécassine sourde (*Lym-*





31

3 Hamatocaulis vernicosus © Jean-Yves Baugnée





Tétras lyre (Tetrao tetrix)

nocryptes minimus), le canard souchet (Anas clypeata), le canard pilet (Anas acuta), le fuligule morillon (Aythya fuligula) (nicheur potentiel). Ils constituent également des zones de nidification privilégiées en Wallonie pour la sarcelle d'hiver (Anas crecca**) et l'oie cendrée (Anser anser), les tourbières des Hautes-Fagnes constituant le seul site wallon de nidification de cette espèce. La nidification de la bécassine des marais (Gallinago gallinago**) y a également été observée en 2017 (Collard 2018). C'est aussi dans ces habitats que les rares cas de nidification du pluvier doré (Pluvialis apricaria**) ont été rapportés (Ghiette 1998). Ils constituent en outre des zones de nourrissage importantes pour le faucon hobereau (Falco subbuteo*) en raison de l'abondance des odonates.

Les groupements à hautes herbes qui envahissent certains habitats tourbeux (roselières, mégaphorbiaies) peuvent en outre avoir un intérêt écologique particulier pour l'avifaune, notamment pour le phragmite des joncs (*Acrocephalus schoenobaenus***).

Enfin, d'une manière générale, les landes tourbeuses, les bas-marais, les tourbières de transition, les tourbières hautes actives ou dégradées sont des milieux de vie très favorables pour divers oiseaux des milieux ouverts, dont plusieurs espèces rares et/ou se raréfiant : les pies-grièches grises (*Lanius excubitor***) et écorcheur (*L. collurio***), l'alouette lulu (*Lullula arborea***), l'engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus***), le tarier des prés (*Saxicola rubetra***).





- **1** Bécassine des marais (Gallinago gallinago) ⊚ Pascal Ghiette
- 2 Oie cendrée (Anser anser) © Pascal Ghiette
- 3 Pluvier doré (Pluvialis apricaria) © Jonathan Lhoir
- 4 Grue cendrée et vanneau huppé (Fagne des Deux-Séries) © Pascal Ghiette



3 Services écosystémiques

3.1. Les services de production

Les sols tourbeux constituent des sols marginaux en Wallonie, offrant très peu de potentialités économiques. Ces milieux ont toutefois été intégrés dans l'ancienne économie rurale et l'exploitation de leurs maigres ressources a fait l'objet d'usages traditionnels extensifs variés, aujourd'hui pour la plupart abandonnés (ex.: exploitation de la tourbe, fauchage, stiernage, pâturage extensif, essartage).

L'extraction de tourbe pour le chauffage ou l'horticulture n'a pas (ou plus) d'intérêt économique en Wallonie. Il est également admis aujourd'hui que la sylviculture, tant feuillue que résineuse, n'a pas d'avenir sur les sols tourbeux, les coûts liés à la plantation, au drainage et à l'entretien des peuplements étant souvent supérieurs au revenu espéré (Claessens et al. 2001). De plus, les risques de chablis et de dégâts dûs aux scolytes, notamment l'ips typographe (Ips typographus), sont très importants dans les plantations d'essences résineuses sur tourbe qui, bien souvent, vivotent plus qu'elles ne se développent, ce qui limite encore davantage l'intérêt d'une tentative de valorisation sylvicole. L'intérêt agricole de la plupart des zones tourbeuses est également très faible.

3.2. Les services de régulation et de maintenance

3.2.1. Les tourbières, puits de carbone

À l'échelle planétaire, les tourbières jouent un très grand rôle en tant que puits de carbone et contribuent à réguler naturellement le climat. En raison de l'engorgement permanent associé à des températures fraîches et à une faible diffu-



Plantation d'épicéas de mauvaise venue sur tourbe

sion de l'oxygène, les conditions sont fortement asphyxiantes (anoxiques) au sein des tourbières et l'activité microbienne y est fortement limitée, ce qui implique une faible décomposition et une forte accumulation de matière organique sous forme de tourbe. D'importantes quantités de carbone s'y retrouvent donc séquestrées durablement. On estime ainsi que les tourbières, qui représentent à l'échelle mondiale près de 3 % des terres émergées (Lappalainen 1996), ont accumulé, depuis la fin de la dernière glaciation, environ 450 Gt de carbone (Clymo 1983; Gorham 1991; Joosten 2010; Laine et al. 1996). Ce stock de carbone représenterait plus de 20 % de celui contenu dans l'ensemble des sols mondiaux, bien plus que celui contenu dans la biomasse de la totalité des forêts du monde et 60 % de tout le carbone atmosphé-



rique (Joosten & Clake 2002; Joosten et al. 2016; Lappalainen 1996).

Les stades pionniers aquatiques des tourbières sont toutefois des sources importantes de méthane, un autre gaz à effet de serre, mais au fur et à mesure de leur évolution vers des stades plus développés, l'accumulation de carbone finit par surpasser ces émissions exprimées en équivalents CO₂ (Charman 2002).

À l'inverse, les tourbières dégradées par les activités humaines constituent des sources importantes de gaz à effet de serre (gaz carbonique et méthane). Silvola (1986) a par exemple estimé qu'en Finlande, dans les tourbières drainées pour la sylviculture, les échanges de CO, ont été modifiés, passant d'un stockage d'environ 25 g/ m².an pour les milieux intacts à une émission d'approximativement 250 g/m².an. Nykanen et al. (1995) ont montré que la transformation de tourbières basses finlandaises en milieux agricoles a conduit à augmenter les émissions de gaz carbonique de 26 000 kg/ha.an. À l'échelle mondiale, les émissions de CO, liées à la dégradation des milieux tourbeux sont estimées à 2 - 3 milliards de tonnes par an, soit plus de 10 % du total des émissions (Couwenberg 2009 ; Joosten & Couwenberg 2009; Schumann & Joosten 2008). La moitié de ces émissions proviennent de l'Asie du Sud-Est où les taux de déforestation et de drainage, liés notamment à des plantations de riz ou de palmier à huile, sont élevés. En particulier, en Indonésie (qui est le troisième pays au monde abritant les plus vastes superficies tourbeuses, après la Russie et le Canada), 95 % des tourbières sont dégradées et celles-ci sont responsables de plus de 60 % des émissions totales de gaz à effet de serre du pays. D'immenses incendies y ont fait brûler la tourbe asséchée. Après l'Indonésie, c'est l'Union européenne qui est le deuxième plus grand émetteur mondial de gaz à effet de serre provenant des tourbières (Joosten *et al.* 2012). La préservation durable des écosystèmes tourbeux est donc primordiale dans un cadre global dépassant largement la seule protection de la biodiversité.

Les émissions de CO₂ liées à la dégradation des milieux tourbeux pourraient être fortement réduites par la réhumidification et la restauration des tourbières dégradées (Trumper *et al.* 2009). Toutefois, les travaux de restauration des tourbières par inondation ou réhumidification des milieux dégradés peuvent être, dans un premier temps, une source importante de gaz à effet de serre sous forme d'émission de méthane. Mais on estime que, sur le long terme (au minimum 50 ans), le bilan en terme d'accumulation du carbone dans les sites restaurés devient positif (Charman 2002; Hiraishi *et al.* 2014; Günther *et al.* 2015; Kotowski *et al.* 2016).

L'impact des changements climatiques actuels sur les tourbières et sur le cycle global du carbone est étudié, mais quels que soient les scénarios climatiques envisagés, les bilans globaux de carbone absorbé et/ou largué par les tourbières ne sont pas encore précisément établis. À l'heure actuelle, il est donc impossible d'affirmer que le changement climatique global aura un impact positif ou négatif sur le stockage du carbone au sein des milieux tourbeux et il est vraisemblable que la réponse variera fortement selon les types d'habitats, leur localisation et leur étendue spatiale (Charman 2002). La seule certitude, c'est que la dégradation des tourbières ne pourra que contribuer négativement aux changements climatiques globaux.



3.2.2. Les tourbières et le microclimat

Si le climat agit sur la genèse et le développement des tourbières, celles-ci jouent aussi un rôle dans la régulation des conditions climatiques à l'échelle locale, qui se manifeste par la constitution d'un microclimat froid et humide à leurs abords. L'importance de l'évapotranspiration en zones de tourbières conduit en effet 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 les surplombe (Cholet & Magnon 2010).

3.2.3. Les fonctions hydrologiques des tourbières

Les tourbières ont une très grande capacité de stockage de l'eau (la tourbe est constituée d'environ 90 % d'eau en volume). Seule une très faible proportion de l'eau stockée est toutefois échangée avec le milieu environnant et le rôle des tourbières dans la régulation des eaux (effet tampon des crues, soutien d'étiage) a souvent été exagéré (Charman 2002 ; Eggelsmann et al. 1993 ; Ingram 1983 ; Wastiaux 2008). Dans les tourbières épaisses, la masse principale de la tourbière (le catotelme) contient une grande quantité d'eau, mais cette eau est piégée quasi en permanence car la conductivité hydraulique est très faible. De ce fait, la

(8) Au sein des horizons tourbeux des tourbières hautes actives, on distingue deux couches aux fonctions différentes : une couche supérieure (acrotelme) de quelques décimètres d'épaisseur, active du point de vue de l'échange de matière et d'énergie avec l'environnement extérieur, où l'eau, plus ou moins abondante selon les saisons, circule latéralement et très lentement et où il y a une certaine décomposition de la matière organique, et une couche inférieure (catotelme), souvent très épaisse, inerte, où l'eau est piégée en permanence et où il n'y a presque pas de dégradation de la tourbe (Ingram 1978).



Les tourbières développent un micro-climat froid et humide

capacité des tourbières à transmettre cette eau vers l'aval ou en profondeur est fortement limitée. Les échanges d'eau ont essentiellement lieu dans la partie supérieure peu épaisse (quelques dizaines de centimètres) des tourbières, comportant la végétation vivante, les plantes mortes peu décomposées et la tourbe superficielle encore peu humifiée (l'acrotelme). Il en résulte que les tourbières sont des milieux qui sont toujours proches de la saturation hydrique et seule une petite partie des précipitations qui tombent sur ces milieux peut être stockée dans l'acrotelme. Une fois que celui-ci est saturé en eau, le reste des précipitations est évacué sous forme d'écoulement rapide de crue. De ce fait, le rôle des tourbières dans la régulation des crues et le soutien des étiages est généralement assez négligeable. Toutefois, au sein de tourbières dégradées, un drainage important peut à long terme changer considérablement la structure du sol et entraîner la formation de réseaux de canalisations souterraines et de macropores dans le catotelme. Ces canalisations et macropores favorisent l'exportation de grandes quantités d'eau à l'extérieur de la tourbière, ce qui peut localement augmenter les risques d'inondation en aval (Holden et al. 2004, 2006). Des études montrent aussi que certaines tourbières, se développant principalement dans les fonds de vallées, les grandes plaines alluviales ou les régions côtières (bas-marais ou tourbières boisées), peuvent avoir une action plus importante en terme de régulation des eaux, notamment en ce qui concerne l'atténuation temporaire des crues (Bonn et al. 2016; Charman 2002; Crassous & Karas 2007; Joosten & Clarke 2002; Platteeuw & Kotowski 2006; Porteret 2010).

Les tourbières jouent aussi un rôle de filtration et d'épuration des eaux (dénitrification, piégeage et stockage de sédiments et de nutriments, filtration des polluants). Toutefois, beaucoup de ces effets sont seulement importants dans certaines circonstances particulières (Charman 2002). L'impact des tourbières dans la régulation de la qualité de l'eau varie ainsi fortement en fonction du type d'habitat. Le rôle des tourbières hautes, alimentées exclusivement par les précipitations, est par exemple très différent de celui des bas-marais alimentés en eau par les précipitations et par des apports latéraux en provenance des milieux environnants : et le rôle des tourbières drainées est moindre que celui des tourbières intactes (Price et al. 2016). La régression de la couverture en sphaignes dans les tourbières du Peak District (Angleterre), liée à la combinaison de la pollution atmosphérique et de la dégradation des sites (drainage, ...), a par exemple provoqué la réduction de la rétention de l'azote atmosphérique et un lessivage des nitrates dans les eaux d'écoulement (Curtis et al. 2005). Les tourbières influencent également la qualité de l'eau par leur propriété de libérer du carbone organique dissous (DOC), généré par la décomposition incomplète de la matière organique en conditions d'anaérobie. Ce phénomène est généralement considéré comme une propriété négative en termes de fourniture d'eau potable, car il entraîne une nécessité de traitement de l'eau avant consommation. Ces dernières décades, on a mis en évidence que les concentrations en DOC augmentent dans les eaux issues des tourbières dégradées et il est clair aujourd'hui que la dégradation des tourbières a globalement un impact néfaste sur les fonctions de régulation de la qualité de l'eau des tourbières (Price et al. 2016).



3.3. Les services culturels et sociaux

3.3.1. Valeur scientifique

Les tourbières, surtout les tourbières hautes, présentent une grande valeur paléo-écologique, archéologique et ethnologique. Grâce aux conditions d'anaérobiose qui règnent dans leur sol, elles sont d'excellents milieux conservateurs qui piègent, fossilisent et conservent de nombreuses particules (pollens, spores, thécamoebiens9, microalgues, éléments chimiques, notamment) ou macrorestes (fragments végétaux ou animaux, bois, infrastructures humaines, notamment). Elles constituent de véritables archives écologiques. En particulier, les tourbières sont d'excellents enregistreurs des biocénoses et des climats qui se sont succédés ces onze derniers milliers d'années, ainsi que des actions humaines des époques passées (Damblon 1996; Mullenders & Knop 1962; Persch 1950; Schwickerath 1937; Streel et al. 2014; Trullemans 1971). L'étude de carottes de tourbe a ainsi grandement contribué à la compréhension des changements climatiques qui se sont produits depuis la fin de la dernière glaciation (Aaby 1976; Barber 1981; Deroche et al. 2006, De Vleeschouwer et al. 2012; Hughes et al. 2000 ; Mauquoy & Barber 1999 ; Streel et al. 2014).

La découverte de macrorestes d'origine anthropique (infrastructures routières, charrettes, barques, voire corps humains dans certaines tourbières européennes) a aussi permis de mieux comprendre l'organisation et le fonctionnement des civilisations humaines du Mésolithique jusqu'à l'époque actuelle. Aux époques de l'Âge du Bronze et de l'Âge

(9) Les thécamoebiens sont des amibes caractérisées par la présence d'une coque chitineuse ou siliceuse appelée thèque.

du fer, les tourbières européennes avaient une grande valeur spirituelle et étaient associées aux dieux (fertilité/fécondité), esprits et/ou ancêtres (Waylen et al. 2016). Des restes de corps humains, remarquablement préservés, ont ainsi été retrouvés dans diverses tourbières, en particulier au Danemark, en Allemagne, aux Pays-Bas et au Royaume Uni (Pieper 2003) et on a pu montrer qu'une partie de ces « hommes des tourbières » avait péri suite à des sacrifices rituels (Joosten & Clarke 2002). Tacite (historien latin du Ier siècle après J.-C.) évoque dans son récit « Germania » des sacrifices humains pratiqués dans les tourbières lors de la cérémonie du renouveau printanier, les associant à des pratiques religieuses. Il relate également des exécutions de lâches, traitres ou criminels (Pieper 2003; Waylen et al. 2016). Dans le sud de la Scandinavie, de très nombreux objets (fer, bronze, or, bois, ...), ensevelis dans la tourbe en offrandes, ont aussi été exhumés (Ilkjaer 2003; Vergne 1998). Ils témoignent de petits sacrifices liés à des coutumes religieuses ou à des remerciements au Dieu de la Guerre (enfouissement de butins de guerre par les vainqueurs de conflits). Des concentrations d'ossements d'animaux ont également été découvertes dans les tourbières danoises. Celles-ci au-



Fouille d'une voie antique (Hautes-Fagnes)

© Pascal Ghiette



raient une signification spirituelle et donnent notamment d'importantes informations sur la technique de la chasse à l'élan à la période du Préboréal (périodes de chasse, utilisation de chiens pisteurs, ...) (Hansen 2003).

En Wallonie, les premières traces d'occupation humaine dans les zones tourbeuses apparaissent au Néolithique, au cours du Subboréal (-4750/-3200 ans) et deviennent plus abondantes puis continues à partir du Subatlantique (< -3000 ans) (Damblon 1969, 1996). L'implantation humaine s'est toutefois principalement limitée à la périphérie des grandes zones tourbeuses, car les conditions de vie y étaient trop inhospitalières (Schumacker & Streel 1994). Néanmoins, leurs ressources ont été exploitées par les populations locales (pâturage extensif, production de foin, exploitation du bois et de la tourbe, ...) et des voies de communication les ont traversées. La mise à jour d'une voie antique d'époque mérovingienne traversant les tourbières des Hautes-Fagnes est à ce propos d'une très grande valeur archéologique (Corbiau 1981a et b; Corbiau 2005; Dalemans & Streel 1986: Hoffsummer et al., 2005: Otte & Streel 1994; Renson et al. 2005; Streel et al. 2005).

3.3.2. Valeur récréative et éducative

Du fait de leurs caractéristiques paysagères (vastes paysages ouverts ou semi-ouverts, présence de plans d'eau), de leur caractère « sauvage » (zones marécageuses difficilement praticables, fréquence des brouillards, par exemple), de l'originalité de leur flore et de leur faune (ex. : rareté, adaptations spectaculaires et fascinantes comme les plantes carnivores), les tourbières exercent sur beaucoup de gens un important attrait émotionnel. Mais cet attrait est assez récent. Avant les XVIIIe - XIX^e siècles, les milieux tourbeux étaient surtout perçus comme des régions inhospitalières et dangereuses.

Le plus fort potentiel économique des tourbières est donc sans doute le tourisme. Dans le massif des Hautes-Fagnes, on estime que la fréquentation annuelle de la réserve naturelle, principalement constituée de milieux tourbeux, varie entre 150 000 et 250 000 visiteurs. Une étude socio-économique (Standaert & De Clavel 2011) a par ailleurs révélé que cette réserve naturelle génère environ 1200 emplois directs dans le domaine du tourisme et que la dépense locale moyenne par touriste est de 19 euros par jour.



L'abondance des chutes de neige sur les hauts plateaux tourbeux contribue à leur attrait touristique





Caillebotis dans les Hautes-Fagnes

En de nombreux endroits, des expositions permanentes, des sentiers de découverte et des visites guidées se développent autour de ces biotopes qui, malgré leur fragilité, sont particulièrement attractifs sur le plan récréatif et intéressants sur le plan de l'éducation à l'environnement. Le développement des activités récréatives et éducatives doit cependant être soigneusement encadré, afin d'éviter des dégâts difficilement réversibles dus au piétinement ou au dérangement de la faune.

La beauté et l'âpreté des paysages attirent également une foule nombreuse de skieurs et de randonneurs. Les plus grands sites tourbeux sont de ce fait très fréquentés par un nombreux public (principalement les Hautes-Fagnes et le plateau des Tailles qui sont les deux plus grands massifs tourbeux de Wallonie, mais aussi le plateau de la Croix Scaille).

3.3.3. Valeur culturelle

Les tourbières et les hauts plateaux désolés qui les abritent ont occupé et occupent encore l'imaginaire collectif, depuis des temps immémoriaux. Elles ont alimenté la toponymie, le folklore (refuges de monstres et de créatures malfaisantes), la littérature (contes, légendes et, plus récemment, guides touristiques et livres richement illustrés par les photographes naturalistes), la peinture.

4| Exigences écologiques et facteurs de qualité de l'habitat

Comme mentionné précédemment, l'existence des milieux tourbeux est avant tout liée à un bilan hydrique positif provenant d'apports liés soit aux eaux de ruissellement et à la nappe phréatique soit directement aux eaux météoriques, soit encore à une combinaison de ces deux types d'alimentation hydrique. Toute perturbation du régime hydrologique peut s'avérer préjudiciable pour ces milieux.

La qualité des eaux d'alimentation est également primordiale pour garantir l'intégrité du cortège végétal. Les espèces caractéristiques des tourbières sont en effet très sensibles à toute modification qualitative de l'eau qui les alimente (pH, contenu en substances nutritives).

La connectivité joue un rôle fondamental pour ces milieux et en particulier pour les tourbières hautes, puisque leurs espèces phanérogamiques typiques ne constituent pas de banque de graines persistantes et toute disparition de petits éléments de l'habitat est définitive, ce qui contribue à isoler les habitats reliques et perturbe les possibilités de migration ou de colonisation des espèces. Les formes fragmentaires de l'habitat (buttes d'ombrotrophisation par exemple), isolées au



sein de milieux tourbeux de nature variée, doivent donc également faire l'objet de mesures de conservation strictes, notamment comme sources de diaspores.

La composition floristique des milieux tourbeux est, comme pour tous les autres habitats, un facteur de qualité essentiel. Les tourbières en bon état abritent des espèces typiques souvent inféodées à ces milieux et particulièrement sensibles aux perturbations. En particulier, la strate muscinale est très développée et joue un rôle essentiel dans le fonctionnement (édification de tourbe) du milieu.

En termes de structure, les communautés de tourbière haute active dans leur forme typique sont caractérisées par un complexe fait d'une juxtaposition de buttes et de gouilles (dépressions constamment détrempées) où le cortège d'espèces indicatrices est riche et diversifié. Cette juxtaposition spatiale de communautés diversifiées au sein de l'habitat et une grande

hétérogénéité structurale et dynamique sont des facteurs primordiaux pour une bonne qualité de l'habitat.

De même, pour les tourbières de transition et les bas-marais alcalins, la coexistence à une certaine échelle des différents stades dynamiques de succession végétale, depuis les stades aquatiques jusqu'aux buttes d'ombrotrophisation, est un facteur de qualité de l'habitat.

Par ailleurs, à l'exception des tourbières hautes actives et des tourbières boisées, la plupart des autres habitats tourbeux ouverts sont semi-naturels et nécessitent une gestion reproduisant les pratiques agropastorales et autres (mise à nu de la tourbe, creusement de dépressions) leur ayant donné naissance afin d'éviter le développement de la molinie ou le reboisement (voir point 7 relatif à la gestion).



Les plages de narthécies (Narthecium ossifragum) soulignent la présence de dépressions inondées en tourbière haute



5 | Menaces

5.1. Les activités humaines

Les milieux tourbeux sont fortement affectés par l'assèchement superficiel et la minéralisation de la tourbe résultant de son exploitation et surtout du drainage (Wastiaux 2000).

Au cœur même des reliques de tourbières hautes intactes, on observe une régression des espèces typiques et le ralentissement de l'activité turfigène, notamment en raison de perturbations hydrologiques à leur périphérie (Frankard & Hindryckx 1998; Hindryckx 1989, 1999; Hindryckx et al. 1990; Jortay & Schumacker 1988a et b, 1989). Dans les secteurs les plus dégradés, la dégradation ne se limite pas à la végétation de surface, mais touche également la tourbe en profondeur : la décomposition de la tourbe est affectée, les macrorestes et les pollens sont détruits.

La destruction directe de l'habitat menace encore certaines zones tourbeuses non protégées, qui sont plantées ou replantées (résineux ou peupliers) après drainage du sol. Des essais de valorisation comme pépinières ont aussi été tentés, après drainage du sol et pompage de l'eau, mais ils se sont rapidement révélés non rentables et ont été abandonnés. La récente réforme du Code forestier (2008), les mesures légales prises dans les sites Natura 2000 et les mesures garantissant l'accès aux fonds structurels européens du Plan de Développement Rural (PDR) limiteront toutefois à l'avenir les possibilités d'encore soumettre les tourbières à la sylviculture. Les zones tourbeuses de fonds de vallées peuvent aussi être détruites par le creusement d'étangs de pisciculture ou d'agrément. Très localement aussi, l'extraction de tourbe pour alimenter des centres de balnéothérapie est toujours pratiquée dans les Hautes-Fagnes.

L'agriculture intensive constitue aussi une menace pour certaines zones tourbeuses, principalement dans les fonds de vallées (lessivage des engrais, des amendements calcaires ou calcaro-magnésiens ; remblai, drainage, pâturage intensif, mise en culture). Il faut toutefois signaler que pour certains habitats (bas-marais, landes tourbeuses, tourbières dégradées), une activité agricole modérée et respectueuse de l'habitat est possible voire souhaitée (fourniture de foin et/ou de litière, pâturage très extensif pour l'entretien des habitats).

L'épandage de dolomie, dans les forêts situées au sein des bassins versants de tourbières, peut constituer une menace pour l'intégrité du cortège floristique des habitats tourbeux. Une partie non négligeable du calcium et du magnésium épandus est en effet évacuée directement dans les eaux de ruissellement via les drains, les coupe-feu et les chemins périphériques aux plantations (± 8 %). Après un an, on estime que 95 % des fertilisants seraient évacués par ruissellement sur le sol (Schumacker et al. 1989).

Il convient également de citer la pollution due aux sels de déneigement épandus sur le réseau routier en période hivernale (Defraiteur & Schumacker 1988).

La surfréquentation touristique peut être très néfaste aux milieux tourbeux car ceux-ci sont très sensibles au piétinement. Elle constitue également une source d'intrants (déchets divers) et de dérangement pour diverses espèces, par exemple le tétras lyre (*Tetrao tetrix*).





Plantation d'épicéas sur tourbe drainée



Erosion de la tourbe le long d'un drain



Tourbière dégradée par drainage



Incendie de zones tourbeuses



Tourbière après incendie. Seules les zones inondées sont intactes



Enfin, le tourisme de masse augmente fortement les risques d'incendies accidentels. En effet, le danger d'incendie est considérable dans les zones tourbeuses surtout pendant les périodes de sécheresse du printemps et de l'automne et tout particulièrement dans les secteurs riches en molinie (présence d'un épais tapis de fanes très inflammables). Un mégot ou un feu mal éteints suffisent à déclencher des incendies dévastateurs et dont la vitesse de propagation est extrêmement rapide (Collard & Bronowski 1993; Schumacker 1971; 1972). Les feux de printemps sont généralement les moins destructeurs car le sol est encore très humide. Il s'agit le plus souvent de feux courants qui brûlent les parties aériennes des plantes et tendent à favoriser la molinie (espèce pyrophyte) au détriment des espèces caractéristiques. Les feux de fin d'été - début d'automne peuvent être bien plus graves, car à cette période la tourbe superficielle est sèche. Dans ces conditions, le feu peut se propager au sol organique et consumer une couche plus ou moins épaisse de tourbe. Le milieu subit alors un bouleversement très important : modification du pH, de la richesse en éléments minéraux, de la capacité d'échange, du régime hydrique. Les dommages causés sont alors très importants, voire irréversibles (Froment 1975).

5.2. Les retombées atmosphériques

La pollution atmosphérique, principalement azotée, menace surtout les milieux oligo-mésotrophes. On sait notamment que les charges critiques en azote sont d'environ 5 à 10 kg d'azote par hectare et par an pour les tourbières hautes à sphaignes, 10 à 15 kg d'azote par hectare et par an pour les bas-marais acides et les tourbières de transition, 15 à

30 kg d'azote par hectare et par an pour les bas-marais alcalins (Bobbink & Hettelingh 2011; NU - ECE 2010), alors que les retombées sont actuellement de l'ordre de 15 à 20 kg d'azote par hectare et par an (Ponton & Leclercq 2007).

Les tourbières hautes ombrotrophes constituent l'habitat le plus impacté par les retombées atmosphériques, car les sphaignes, composantes principales de l'écosystème, sont particulièrement sensibles à l'augmentation des dépôts d'azote (Bobbink et al. 2003). La pollution azotée provoque notamment une diminution de la croissance de la plupart des espèces, stimule leur décomposition et augmente la quantité de nutriments disponibles pour les plantes vasculaires (Limpens & Berendse 2003). La composition spécifique des populations de sphaignes est aussi affectée par l'augmentation des retombées azotées, à l'avantage des espèces à croissance rapide. Aux Pays-Bas, Limpens (2003) a montré que Sphagnum fallax a tendance à s'étendre dans les tourbières au détriment des espèces les plus caractéristiques, cette augmentation étant directement liée à l'apport d'azote.

La pollution atmosphérique azotée entraîne donc une augmentation du recouvrement des plantes vasculaires, en particulier des éricacées, et une réduction de celui des sphaignes (Heijmans & Berendse 2000). La croissance de *Molinia caerulea* est aussi stimulée par l'azote (Tomassen *et al.* 2003). Ainsi, l'impact des retombées azotées amplifie les phénomènes de dégradation dûs à l'assèchement des tourbières (lié lui au drainage) : envahissement par des graminées et des arbres, développement des éricoïdes, déclin des espèces caractéristiques. La régression généralisée des recouvrements en sphaignes et les chan-



gements observés dans les assemblages de sphaignes des tourbières des Hautes-Fagnes (régression importante de *Sphagnum magellanicum* et *S. papillosum*; augmentation de *S. fallax* et apparition de *S. fimbriatum*) sont probablement des manifestations combinées de l'assèchement et de l'importance des retombées azotées sur le haut plateau (Frankard & Hindryckx 1998).

5.3. La colonisation spontanée par des espèces à caractère envahissant

Là où l'activité turfigène des tourbières hautes est ralentie et où les conditions hydriques sont perturbées, ou suite à l'abandon ancien des activités agropastorales qui ont créé puis maintenu les milieux semi-naturels reliques (bas-marais, tourbières de transition), on constate une évolution de la végétation. Elle consiste en un reboisement spontané progressif par l'aulne glutineux, le bouleau pubescent, l'épicéa, le pin sylvestre et diverses espèces de saules arbustifs. La strate herbacée est envahie par la molinie (Molinia caerulea) sur les sols acides et, dans les zones mésotrophes et eutrophes, par la reine-des-prés (Filipendula ulmaria) ou le roseau commun (Phragmites australis) dans les zones mésotrophes à eutrophes (Frankard 2006; Frankard et al. 1998). Le reboisement spontané entraîne à son tour un abaissement de la nappe par augmentation de l'évapotranspiration, dont l'effet est souvent plus important que celui du drainage (Pyatt et al.



Embruyèrement et colonisation spontanée par le bouleau pubescent (Betula pubescens) d'une tourbière haute asséchée



1992 ; Shotbolt *et al.* 1998 ; Vompersky & Sirin 1997). Il accentue aussi les retombées azotées suite à l'augmentation de l'interception des précipitations (brouillard) par le feuillage.

5.4. Les changements climatiques

Dans nos régions, les effets probables des changements climatiques, déjà mentionnés dans l'introduction générale, seraient (CNC 2013; Natural England & RSPB 2014):

- ▶ une augmentation de la température, surtout en périodes estivales (avec une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur) ;
- ► peu de changements globaux du taux de précipitations annuelles, mais une modification de leur répartition, avec une augmentation des précipitations hivernales et une diminution de la pluviosité en été;
- ► une augmentation des phénomènes d'évapotranspiration en été, provoquant des périodes de sécheresse prolongées ;
- ▶ une augmentation des épisodes de fortes chutes de pluie sous forme d'orages violents.

Ces changements climatiques pourraient menacer l'ensemble des milieux tourbeux puisqu'ils sont très sensibles à toute modification, tant qualitative que quantitative, de leur approvisionnement en eau (Natural England & RSPB 2014; Schlumprecht *et al.* 2011; Schumacker *et al.* 1996). Les effets de ces changements climatiques sont toutefois très difficiles à prédire et pourraient varier fortement d'un endroit à l'autre, d'un habitat à l'autre. Les milieux tourbeux des plaines seraient toutefois plus menacés que ceux des plus hautes altitudes, à cause de l'augmentation des températures (Clark *et al.* 2010; Gallego-Sala *et al.* 2011).

On estime que les milieux tourbeux dégradés ou subissant de fortes pressions seront très vulnérables au réchauffement climatique. Ils n'ont en effet plus qu'une capacité affaiblie de résilience au changement, voire ont perdu cette capacité, car les activités humaines ont endommagé ou détruit les types de végétation permettant une telle résilience (Clark *et al.* 2010; Lindsay 2015; Marsden & Ebmeier 2012; Natural England & RSPB 2014). Dans ces habitats, les processus de dégradation seront exacerbés par l'augmentation des températures, des périodes de sécheresse et des évènements climatiques extrêmes (Gallego-Sala *et al.* 2016).

Les milieux intacts seraient nettement plus résilients, du moins à de petites modifications de la température. Diverses études paléo-écologiques ont d'ailleurs montré que les tourbières, au cours de leur existence depuis 11 000 ans, ont déjà subi des changements climatiques, parfois très brusques. Elles sont malgré tout restées des systèmes accumulateurs de tourbe, alternant des phases de forte accumulation et des phases de très faible accumulation (Damblon 1969; Lindsay 2010 & 2015; Streel et al. 2014). Toutefois, les changements climatiques projetés pour le XXIe siècle ont une amplitude plus importante que ceux subis par le passé par les tourbières et leur réponse pourrait être différente (Gallego-Sala et al. 2016).

L'augmentation de la température estivale combinée à une diminution des précipitations pourrait entraîner un abaissement durable de la nappe d'eau contenue dans la tourbe et un risque d'assèchement des habitats, ainsi que l'apparition de crevasses et de phénomènes d'érosion dans les massifs tourbeux. La compétition serait accrue entre les espèces



adaptées à des conditions de nappe basse et les espèces hautement spécialisées caractéristiques des milieux tourbeux. Ce phénomène pourrait mener à terme à la dominance de quelques espèces généralistes (molinie, ...) au détriment des espèces spécialistes. Cela rendrait aussi les tourbières plus sensibles aux risques d'incendies, qui augmenteraient encore la régression des communautés végétales et des espèces caractéristiques, au profit des pyrophytes (espèces résistant ou favorisées par les incendies, e.a. la molinie).

L'intensification de la fréquence des vagues de chaleur et des périodes de sécheresse a déjà des conséquences aujourd'hui sur l'augmentation de la fréquence des incendies accidentels dans les tourbières des régions boréales (Riordan *et al.* 2006). En 2010, par exemple, des conditions de sécheresse sans précédent, combinées à une vague de chaleur persistante, ont provoqué l'incendie de près de 2000 km² de forêts et de tourbières dans l'ouest de la Russie (Stocks *et al.* 2011).

L'augmentation de la fréquence d'épisodes de fortes précipitations sous forme d'orages pourrait jouer un rôle dans l'érosion des massifs tourbeux, surtout dans les tourbières drainées et dégradées.

Les changements climatiques pourraient également affecter la biodiversité des tourbières, avec, par exemple, une augmentation de la compétition entre les espèces boréomontagnardes et des espèces plus méridionales, entraînant des pertes potentielles pour les espèces boréomontagnardes (Natural England & RSPB 2014).

Des études scientifiques récentes ont aussi montré que sous l'effet d'un réchauffement climatique, la végétation des tourbières tendrait à évoluer vers une domination des plantes vasculaires de la famille des éricacées et une régression des recouvrements en bryophytes (sphaignes, mousses pleurocarpes), avec comme conséquence que de puits de carbone, les tourbières se transformeraient en source de carbone (Bragazza et al. 2012; Lindsay 2010). Par leurs fonctions de puits ou de sources de gaz à effet de serre, les tourbières pourraient dès lors jouer un rôle non négligeable dans les changements climatiques futurs

La restauration fonctionnelle des tourbières dégradées, et en particulier de leur hydrologie, est un enjeu majeur pour permettre à ces écosystèmes de lutter contre les changements climatiques (Lindsay 2010, 2015). Elle augmentera la résilience des habitats et réduira leur vulnérabilité aux impacts de ces changements (Gallego-Sala *et al.* 2016).



6 Principes d'évaluation des structures et fonctions

Les critères généraux utilisés pour évaluer les structures et fonctions ont été présentés dans l'introduction générale. Pour les milieux tourbeux, comme pour tous les milieux ouverts, les principaux critères sont liés au relevé de végétation : recouvrement et diversité des espèces typiques (y compris les bryophytes), mais aussi recouvrement des espèces constituant une menace et/ou traduisant une perturbation (drainage, abandon, eutrophisation), notamment les ligneux, les espèces herbacées envahissantes (molinie, roseau commun), ainsi qu'un fort développement des éricoïdes pour les tourbières hautes actives.

Par ailleurs, l'évaluation porte également sur des indicateurs décrivant la structure à proprement parler, à savoir :

- ▶ pour les tourbières hautes, la juxtaposition, au sein de l'unité d'habitat, des différents microhabitats caractéristiques de la végétation (buttes de sphaignes, dépressions éventuellement inondées) et la présence de zones de lagg¹⁰ (marais de ceinture des tourbières hautes bombées) ;
- ▶ pour les tourbières de transition et les tourbières alcalines, la présence à une certaine échelle de tous les stades dynamiques caractéristiques ;
- ▶ pour les végétations pionnières des tourbes dénudées, la présence de zones de tourbe nue car les espèces caractéristiques de cet habitat supportent très mal la concurrence d'autres espèces.



Juxtaposition de différents stades de développement de l'habitat au sein d'une tourbière de transition (HIC 7140)

Enfin, différents indicateurs sont liés à l'observation directe de perturbations, principalement la présence de drains dans tous les milieux tourbeux ou de zones d'érosion (tourbe nue) dans les tourbières hautes actives.

⁽¹⁰⁾ Lagg: mot d'origine suédoise désignant les zones marécageuses situées en périphérie des tourbières bombées et qui sont alimentées par les eaux issues de la tourbière bombée ainsi que par des écoulements latéraux enrichis en éléments minéraux. Elles sont constituées de bas-marais et de tourbières de transition (aussi appelées tourbières tremblantes ou tremblants tourbeux).



7 Mesures de gestion et de restauration

7.1. La gestion courante

La gestion courante a pour objectif prioritaire de conserver les tourbières qui subsistent et leurs espèces végétales et animales associées.

Les habitats tourbeux étant totalement tributaires de l'alimentation hydrique, il est primordial d'y préserver le régime hydrique naturel et la qualité des eaux. Il convient donc de s'assurer qu'aucune atteinte n'est portée à l'alimentation hydrique à l'échelle des bassins versants, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Il faut pour cela proscrire tout drainage, tout boisement ou mise en culture, tout apport d'intrants (amendements, engrais, pesticides). En dehors de ces préceptes généraux, la gestion courante varie selon le type de milieu concerné.

7.1.1. Les tourbières hautes actives (HIC 7110)

Dans les zones de tourbières hautes actives, qui constituent des milieux stables en l'absence de perturbations, la gestion courante est surtout « passive ». Toutefois, les grandes tourbières hautes ayant fait l'objet d'une utilisation humaine plus ou moins récente, elles sont toutes partiellement dégradées et asséchées au moins en périphérie, ce qui provoque la régression des espèces typiques, le ralentissement de l'activité turfigène, parfois jusqu'au cœur des zones presque intactes, l'apparition de fissures profondes dans le massif tourbeux, et l'effondrement de la tourbière à partir de ses bords (phénomène de subsidence). Diverses mesures de restauration et de gestion doivent donc être prises dans les zones de tourbières dégradées périphériques aux zones intactes, pour lutter contre la perte en eau au niveau des anciens fronts d'exploitation et pour restaurer les marais de ceinture (laggs) (voir restauration des tourbières hautes dégradées - HIC 7120). L'accès au public doit systématiquement être interdit car l'habitat est extrêmement sensible au piétinement.

7.1.2. Les tourbières de transition (HIC 7140)

La gestion des tourbières de transition est elle aussi le plus souvent passive et ne nécessite normalement aucune intervention. Sa dynamique est lente et doit être respectée et suivie. Cet habitat étant très engorgé ou aquatique, il est difficilement praticable et très sensible au piétinement. Il faut dès lors en interdire l'accès, souvent dangereux, aux usagers.

7.1.3. La végétation des tourbes dénudées (HIC 7150)

Il convient en priorité de préserver les milieux abritant ces végétations (landes tourbeuses, tourbières de transition, tourbières hautes) en garantissant leur intégrité fonctionnelle notamment du point de vue de leur alimentation hydrique, une humidité constante étant une condition *sine qua non* pour que l'habitat 7150 apparaisse. Ensuite, il faut veiller à favoriser l'ouverture du milieu notamment par la réalisation d'étrépages ponctuels. Les zones encore couvertes par cet habitat doivent être entretenues selon une périodicité à définir localement, dans le but de remettre partiellement le sol à nu.



7.1.4. Les bas-marais alcalins (HIC 7230)

Un entretien régulier par un pâturage extensif en période de végétation, avec une faible charge de bétail (maximum de 0,3 à 0,8 UGB/ha), ou une fauche permettent généralement de maintenir ces communautés dans un bon état de conservation (Tanghe & Herremans 1990).

Dans les sites les plus humides, le bétail le mieux adapté semble être le buffle d'eau. Lorsque les conditions de portance du sol sont meilleures, les bovins de race Galloway ou Highland donnent de bons résultats pour peu qu'ils aient été habitués dès leur plus jeune âge à de telles conditions.

Toutefois, la fauche est souvent préférée au pâturage, d'une part, parce que le bétail a tendance à concentrer son activité sur cer-

taines zones et sur certaines espèces et peut défoncer le sol généralement très peu portant et, d'autre part, parce que les bas-marais alcalins qui subsistent sont souvent de très faible superficie. La fauche doit se pratiquer de manière tardive (de août à mars), en mosaïque, en divisant chaque site en un certain nombre de parcelles qui sont fauchées à tour de rôle, tous les deux à trois ans, de manière à préserver des zones refuges pour la faune et la flore et à créer une mosaïque d'habitats hétérogènes du point de vue de leur structure verticale. Si des zones sont fauchées annuellement, elles ne doivent pas dépasser un tiers de la surface totale du marais. Les matériaux fauchés doivent être exportés. En raison de l'engorgement permanent du sol et de sa faible portance, il est souvent nécessaire d'utiliser du matériel spécialisé (motofaucheuse par exemple) pour travailler dans ces milieux qui, de surcroît, sont souvent exigus.



Fauche d'une tourbière basse alcaline



7.2. La restauration

Etant donné l'importance et la grande raréfaction des habitats tourbeux, il est nécessaire d'en augmenter les surfaces existantes par des mesures de restauration, de manière à atteindre des tailles critiques suffisantes, et d'améliorer ou de développer la connectivité du réseau d'habitats.

7.2.1. Les tourbières hautes actives (HIC 7110)

Lorsque les ligneux envahissent le milieu en raison d'une perturbation des conditions hydriques, ceux-ci doivent être éliminés (annelage pour le bouleau pubescent; coupe ou annelage pour les résineux) car ils participent à l'assèchement du milieu (forte évapotranspiration). Si des drains ont été creusés au sein même des zones intactes, ceux-ci doivent être barrés (barrages en panneaux de bois, palplanches en PVC) ou comblés avec de la tourbe (Frankard 2005a).

7.2.2. Les tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération naturelle (HIC 7120)

Dans les tourbières hautes dégradées, les processus d'élaboration et d'accumulation de la tourbe (turfigenèse) sont fortement perturbés (pour les stades les moins dégradés) ou ont cessé, mais une reprise de cette activité turfigène est envisageable moyennant une restauration des conditions écologiques.

La plupart des activités qui ont endommagé les tourbières hautes actives ont causé des modifications hydrologiques plus ou moins profondes des massifs tourbeux. En conséquence, les travaux de restauration développés doivent souvent miser au départ sur la restauration de conditions hydrologiques favorables aux espèces typiques des tourbières et particulièrement aux sphaignes, pour permettre le développement d'une nouvelle végétation turfigène, afin d'assurer la reprise des processus d'élaboration et d'accumulation de la tourbe (Frankard 2005a et b; 2016; Frankard & Janssens 2008). Ils consistent à :

- éliminer les espèces arbustives et arborescentes (feuillues et résineuses) qui envahissent les tourbières asséchées à partir des zones boisées périphériques;
- ► rehausser le niveau de la nappe perchée par la fermeture ou le comblement des fossés de drainage;
- ▶ décaper la tourbe dégradée (asséchée et minéralisée) jusqu'au niveau moyen de fluctuation de la nappe perchée (estimé par une étude piézométrique préalable), tant en périphérie des zones intactes que dans les secteurs totalement dégradés mais susceptibles de restauration ;
- ► remodeler les fronts et les soles d'exploitation de la tourbe, avec la création de bassins en terrasses pour les zones pentues ;
- ▶ inonder sous une faible lame d'eau (< 50 cm de profondeur d'eau) les zones dégradées, exploitées ou désenrésinées relativement plates (< 3 % de pente) via la création de digues minérales ou de tourbe (renaturation);
- ► fraiser superficiellement le sol et la végétation de zones de tourbières dégradées là où les variations de la nappe perchée restent faibles (zones anciennement fauchées notamment) pour activer la banque de diaspores, principalement de sphaignes.





Déplacement d'une pelleteuse sur plateaux de bois



Annelage d'épicéas isolés sur sol tourbeux



Colmatage d'anciens fossés de drainage



Restauration de tourbière haute par décapage, en périphérie d'une tourbière intacte



Extension de linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*) dans une tourbière restaurée par ennoiement



Par ces techniques, il est souvent difficile, voire impossible, de restaurer directement la végétation des tourbières actives. En revanche, leur mise en œuvre permet de restaurer les stades dynamiques antérieurs (végétations aquatiques, groupements des tourbes dénudées, bas-marais, tourbières de transition), qui pourront évoluer spontanément vers des complexes actifs si les conditions hydriques restent favorables.

Ces travaux de gestion s'inspirent pour la plupart de diverses méthodes de restauration des tourbières mises au point tant en Amérique du Nord (Boudreau & Rochefort 1999 ; Ferland & Rochefort 1997; Quinty & Rochefort 2003) qu'en Europe (Brooks & Stoneman 1997; Dupieux 1998; Parkyn et al. 1997; Wheeler & Shaw 1995; Wheeler et al. 1995). Certains travaux testés requièrent l'utilisation d'une machine de type rétro-pelleteuse, machine non adaptée à la circulation sur des sols fortement tourbeux et à faible portance. La construction de plateaux constitués de poutrelles métalliques supportant un tablier en bois, sur lesquels la machine roule exclusivement, permet de contourner cette difficulté et d'accéder quasiment partout avec un engin de 20 tonnes, sans causer le moindre dégât au sol et à la végétation en place.

Les travaux, testés depuis 1993 dans la réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes, montrent qu'induire des mécanismes de restauration dans les tourbières hautes dégradées est possible. Les travaux à réaliser sont toutefois difficiles à mettre en œuvre et fort coûteux et la recolonisation végétale est souvent très lente. Les principaux résultats observés dans les Hautes-Fagnes (Frankard 2005a, 2005b, 2012; Frankard & Janssens 2008) indiquent que :

- ▶ le barrage ou le comblement de drains considérés seuls ne permettent ni la restauration hydrologique de vastes zones de tourbières dégradées, ni la restauration à grande échelle de conditions adéquates au rétablissement des espèces typiques des tourbières et notamment des espèces turfigènes. Les effets du barrage des drains sur la remontée de la nappe perchée ne sont perceptibles qu'en périphérie immédiate des barrages. L'impact des barrages sur l'arrêt de l'érosion des massifs tourbeux est par contre important ;
- la restauration de végétations typiques des tourbières hautes dans des zones de tourbières dégradées décapées jusqu'au niveau moyen de fluctuation de la nappe perchée donne des résultats encourageants, mais la recolonisation végétale est lente et une source de diaspores typiques des tourbières est indispensable au rétablissement spontané de la végétation. En particulier, si les conditions hydriques sont favorables, Sphagnum cuspidatum et S. fallax colonisent progressivement les surfaces décapées. Par contre, l'établissement de sphaignes plus typiques des tourbières hautes, telles que Sphagnum magellanicum et S. papillosum apparaît très lent et sporadique.
- le remodelage des fronts d'exploitation et des soles d'exploitation des tourbières ainsi que la renaturation des tourbières dégradées, exploitées ou désenrésinées par inondation sous une faible profondeur d'eau, donnent rapidement de bons résultats en terme de reconstitution de milieux initiaux des tourbières (bas-marais ou tourbières de transition) qui peuvent, si les conditions hydrologiques restent adéquates, évoluer vers des groupements de tourbières hautes;
- ▶ le fraisage superficiel du sol permet l'ex-



pression de la banque de diaspores (éricacées et bryophytes) et favorise la reconstitution locale des groupements typiques des tourbes nues, là où des diaspores des espèces caractéristiques subsistent. Les zones fraisées sont aussi rapidement colonisées par la linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*), se développant à partir de semis éoliens (la présence de semenciers à proximité est toutefois nécessaire);

- ▶ les crypto-potentialités des histosols, et en particulier la banque de diaspores de sphaignes, peuvent être valorisées dans les zones les moins perturbées sur le plan hydrologique, ainsi que dans les zones où la linaigrette vaginée s'est bien réinstallé;
- ▶ la reconstitution des groupements végétaux typiques des tourbières hautes est très lente, tandis que celle des bas-marais et des tourbières de transition est nettement plus rapide et plus facile à obtenir.

Pour plus de détails concernant les techniques de restauration des tourbières hautes testées en Wallonie, voir Frankard 2001b, 2005a, 2005b, 2012, 2016; Frankard *et al.* 1998; Frankard & Doyen 1999; Frankard & Ghiette 2000; Frankard & Janssens 2008.

7.2.3. Les tourbières de transition et tremblantes (HIC 7140)

Des ligneux peuvent se développer au sein de ces formations, le plus souvent en raison d'une perturbation du régime hydrique. Dans ce cas, la colonisation ligneuse doit être contrôlée par abattage, annelage, coupe des rejets de souches ou arrachage des jeunes plants. Il convient également d'identifier les causes de perturbation hydrique et de prendre les mesures de restauration adéquates (barrage de drains, fermeture d'exutoires, ...).

Les techniques de restauration des tourbières hautes dégradées par ennoiement permettent, à cours ou moyen terme, de recréer de vastes surfaces de tourbières de transition, qui évolueront très lentement vers des habitats de tourbières hautes actives par ombrotrophisation.

7.2.4. La végétation des tourbes dénudées (HIC 7150)

La restauration de cet habitat se fait par étrépage, remettant le sol à nu au sein des landes tourbeuses, tourbières de transition et tourbières hautes, les espèces caractéristiques formant des banques de graines très persistantes.

7.2.5. Les bas-marais alcalins (HIC 7230)

Si le fonctionnement hydrique du bas-marais alcalin est perturbé, par exemple en raison d'un drainage, sa restauration doit être réalisée préalablement à toute autre action de gestion. À beaucoup d'endroits, les conditions hydriques ne sont plus réunies pour permettre la restauration de l'habitat et la priorité doit être donnée aux stations où il est restaurable et gérable à long terme.

La réalisation de décapages ou le creusement de petites mares pour reconstituer les stades initiaux aquatiques (groupements des eaux dystrophes à *Sparganium natans* et *Utricularia minor* ou communautés pionnières des tourbes dénudées) peuvent être préconisés là où ces stades pionniers font défaut.

La restauration des sites dégradés passe aussi par la coupe des ligneux qui les envahissent et/ou par l'étrépage, la fauche ou le pâturage extensif des espèces herbacées colonisatrices



(roseaux ou hautes herbes) (Tanghe & Herremans 1990). Ils doivent ensuite être entretenus régulièrement selon les modalités de gestion courante définies précédemment.

Le débroussaillement des ligneux doit se répéter, car les principales espèces colonisatrices rejettent abondamment de souche. Le pâturage seul ne peut venir à bout des rejets ligneux, ni des bouleaux ni des aulnes, ces deux espèces étant peu appétées. Le problème est particulièrement important en cas de pâturage en rotation (une année sur 2 ou 3) et un complément mécanique finit souvent par être nécessaire. La gestion par fauche annuelle permet de contrôler les ligneux, mais elle suppose une élimination préalable des souches par broyage.

Les bas-marais envahis par les roseaux peuvent être fauchés deux fois au cours d'une même saison de végétation (idéalement en juin-juillet puis en août-septembre) pour affaiblir les hélophytes. Ce traitement doit être répété sur plusieurs années. Les bas-marais à hautes herbes peuvent être restaurés par une fauche annuelle de fin de saison, répétée sur plusieurs années. Si la fauche annuelle conduit à stopper l'accumulation de litière, à rendre la roselière moins dense et moins haute, elle ne conduit que difficilement à éliminer le roseau, surtout si les conditions hydriques ne sont pas optimales. Un pâturage continu, de mai à octobre, permet par contre d'éliminer rapidement les roseaux. Les laîches, peu appétées, en sont favorisées. Cependant, les groupements envahissants (roselières, mégaphorbiaies) peuvent avoir un intérêt écologique particulier, notamment pour l'avifaune, par exemple le phragmite des joncs (Acrocephalus schoenobaenus), qui justifie leur maintien au moins partiel. Dès lors, le principe d'une

gestion en mosaïque peut être privilégié pour favoriser la juxtaposition de structures diversifiées et l'expression des différents faciès de l'habitat.





Restauration d'une zone tourbeuse par ennoiement



Tapis flottants de sphaignes dans une tourbière restaurée par ennoiement



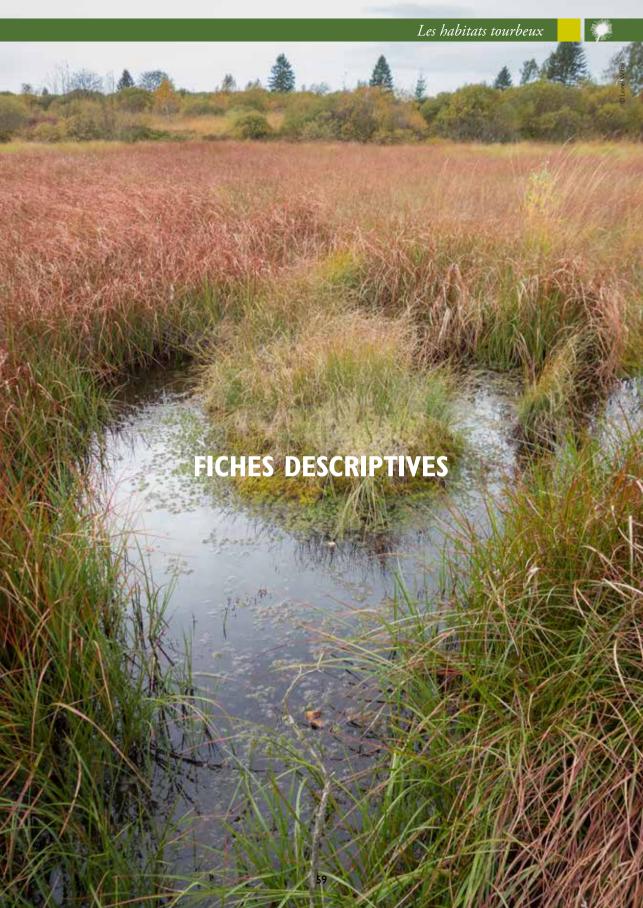


Tourbière basse alcaline après fauchage



Bas-marais alcalin après des travaux de déboisement









Les tourbières hautes actives (7110*)

I Définitions

I.I.Déclinaison wallonne de l'habitat

Les tourbières hautes actives sont des formations essentiellement ombrotrophes, à végétation et nappe perchée plus élevées que la nappe phréatique environnante, à surface généralement bombée. En Wallonie, elles se développent de façon optimale en haute Ardenne, au dessus de 550 à 600 m d'altitude. Elles sont oligotrophes, fortement acides et formatrices de tourbe. Elles comportent une végétation turfigène, principalement composée de buttes et de tapis de sphaignes d'où émergent des herbacées et des sous-arbrisseaux sclérophylles11 (surtout des éricacées), séparés par des dépressions humides ou inondées (gouilles) souvent soulignées par la narthécie des marais (Narthecium ossifragum) et des sphaignes très hygrophiles ou aquatiques. Leur végétation est constituée par un nombre assez limité d'espèces spécialisées, plus ou moins strictement acidiphiles, frugales en ce qui concerne les besoins en cations bivalents et en composés azotés, résistantes à la sécheresse physiologique et adaptées à la limitation de l'évapotranspiration (Tombal & Schumacker 1983). Parmi ces espèces, on note un contingent important d'espèces boréomontagnardes et atlantiques (Schumacker & Noirfalise 1979; Schwickerath 1944). Un grand nombre des espèces des tourbières hautes sont rares et menacées en Wallonie et leurs populations sont souvent fragmentées en îlots relictuels.

1.2. Synsystématique

Dans ses formes typiques, la végétation des tourbières hautes actives se compose d'un assemblage de différentes communautés étroitement imbriquées. Ces communautés composent un ensemble fonctionnel parfaitement cohérent mais relèvent, d'un point de vue phytosociologique, de classes tout à fait différentes. Les communautés de buttes et de tapis de sphaignes relèvent de la classe des Oxycocco-Sphagnetea. Les communautés des dépressions aquatiques sont constituées de groupements du Caricion lasiocarpae ou du Rhynchosporion albae (HIC 7140 et 7150, relevant de la classe des Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae) ou encore de groupements à sphaignes aquatiques et utriculaires relevant de la classe des Utricularietea intermedio-minoris (HIC 3160). Enfin, les végétations des laggs (marais de ceinture des tourbières bombées) sont constituées d'espèces des bas-marais acides ou des tourbières de transition, relevant de la classe des Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae. Seules les formations les plus caractéristiques des tourbières hautes actives relevant de la classe des Oxycocco-Sphagnetea et correspondant aux groupements réellement ombrotrophes sont détaillées dans cette fiche (Frankard et al. 1998; Jortay & Schumacker 1988a et b ; Lebrun et al. 1949; Schumacker & De Zuttere 1980; Streel 1959).

⁽¹¹⁾ Une espèce sclérophylle (ou sclérophyte) possède un feuillage persistant, avec des feuilles généralement de petite taille, coriaces et assez épaisses, adaptées à la sécheresse.



Lebrun et al. (1949) ont rangé les végétations des tourbières bombées dans le Sphagnion europaeum (Braun-Blanquet) Schwickerath 1940 au sein duquel ils distinguaient une association atlantique à Sphagnum papillosum et S. imbricatum (Sphagnetum papilloso-imbricati Jonas 1935) connue du district campinien et de la partie orientale du district ardennais et une association à Sphagnum magellanicum et S. rubellum (Sphagnetum medio-rubelli Schwickerath 1933), plus continentale, localisée dans la partie centrale du district ardennais et dans le district lorrain.

Actuellement, la plupart des auteurs rapportent les communautés de tourbières hautes à affinités atlantiques ou sous influence océanique à l'alliance de l'Oxycocco palustris-Ericion tetralicis Nordhagen & Tüxen 1937 (ordre des Erico tetralicis-Sphagnetalia papillosi Schwickerath 1940) et les communautés à affinités continentales et boréales à l'alliance du Sphagnion medii Kästner & Flössner 1933 (ordre des Sphagnetalia medii Kästner & Flössner 1933) (Bardat et al. 2004; Bensettiti et al. 2002)

1.3. Correspondances entre les typologies

PAL.CLASS. (CORINE): 51.1 Tourbières hautes subnaturelles

EUNIS: D1.11 Tourbières hautes actives, relativement peu dégradées

WALEUNIS : D1.11 Tourbières hautes actives

Syntaxonomie : Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici Braun-Blanquet & Tüxen ex Westhoff, Dijk & Passchier 1946

 communautés continentales et boréales du Sphagnion medii Kästner & Flössner

- 1933 (syn. *Sphagnion magellanici* Kästner & Flössner 1933);
- ► communautés atlantiques ou sous influence océanique de l'Oxycocco palustris-Ericion tetralicis Nordhagen & Tüxen 1937 (syn. Calluno vulgaris-Sphagnion papillosi Tüxen in Tüxen et al. 1972).

2 Caractéristiques diagnostiques de l'habitat

2.1. Structure, physionomie générale, description générale

Les tourbières hautes actives se développent sur des sols organiques constitués d'un dépôt de tourbe d'épaisseur variable, mais généralement de plus de 100 cm dans les formes les plus typiques. Ces dépôts de tourbe sont constamment gorgés d'une eau très faiblement minéralisée et fortement acide (pH compris généralement entre 3,5 et 4,5 ; au maximum 5,5). Au sein de ces massifs de tourbe, se développe une « nappe perchée » qui échappe à l'influence de la nappe aquifère. Dans les tourbières hautes actives, la nappe perchée est sub-affleurante et ses variations de niveaux sont faibles, au maximum 20 à 30 cm pendant les périodes de sécheresse. L'alimentation hydrique des formes typiques de l'habitat est ombrotrophique.

Les associations végétales des tourbières hautes sont essentiellement caractérisées par une strate muscinale épaisse, dans laquelle dominent les sphaignes (*Sphagnum magellanicum* et *S. papillosum* surtout, mais aussi *S. fallax* et *S. rubellum*) souvent accompagnées de *Polytrichum strictum* et de diverses hépatiques (Frankard *et al.* 1998 ; Schumacker & De Zuttere 1980 ; Schwickerath 1944 ; Streel

1959). Ces sphaignes forment des buttes, des coussins peu élevés et des tapis polychromes (teintes vertes de toutes les nuances, brunes, rouge sombre ou vif) d'où émergent un nombre restreint de phanérogames, surtout des éricacées (Andromeda polifolia, Calluna vulgaris, Erica tetralix, Vaccinium oxycoccos) et des cypéracées (Carex pauciflora, Eriophorum angustifolium, E. vaginatum). Localement, c'est Empetrum nigrum qui domine la strate phanérogamique. Ces buttes et tapis de sphaignes sont séparés par des dépressions humides ou inondées (gouilles), ainsi que par des rigoles d'écoulement des eaux souvent soulignées par Narthecium ossifragum et Sphagnum cuspidatum. Les buttes de sphaignes ont des dimensions variables, de quelques dizaines de cm jusqu'à près d'un mètre de hauteur. Elles se composent d'espèces de sphaignes dont la nature varie en fonction de la localisation de la tourbière (influence atlantique ou continentale) et de leur position au sein de ces buttes (gradient hydrique, de minéralisation et de pH depuis la base immergée jusqu'au sommet plus sec, oligotrophe et acide).

Dans leur forme typique, les tourbières hautes sont bordées d'une ceinture de végétation, le lagg, recueillant les eaux de la tourbière ainsi que des écoulements latéraux enrichis en éléments minéraux. Le lagg comporte des espèces de bas-marais acides et de tourbières de transition en mélange avec les espèces des tourbières hautes. Il peut toutefois faire défaut, notamment en raison des activités humaines du passé.

On rencontre localement des peuplements de roseau commun (*Phragmites australis*) sur couche tourbeuse épaisse, à la faveur de résurgences d'eau minéralisée (Hambuckers *et al.* 1995). Le roseau y est accompagné par des



Tapis de sphaignes rouges en tourbière haute

sphaignes et des espèces des tourbières hautes, ainsi que par quelques espèces transgressives des bas-marais acides, des prairies humides et des prairies du *Molinion*. Ces peuplements apparaissent souvent sur des « buttes » d'où suintent des résurgences d'eau mésotrophe.

2.2. Espèces diagnostiques

Les phanérogames suivantes sont considérées comme caractéristiques régionales des tourbières bombées : Andromeda polifolia, Carex pauciflora (RR), Drosera rotundifolia, Empetrum nigrum, Eriophorum vaginatum, Narthecium ossifragum, Rhynchospora alba, Trichophorum cespitosum subsp. cespitosum (RR), Vaccinium oxycoccos. Elles sont accompagnées de bryophytes : Aulacomnium palustre, Po-





- 1 Andromède (Andromeda polifolia) © Pascal Ghiette
- 2 Camarine (Empetrum nigrum) © Pascal Ghiette
- 3 Linaigrette vaginée (Eriophorum vaginatum) © Pascal Ghiette
 4 Narthécie (Narthecium ossifragum) © Jean-Louis Gathoye





- 6 Polytrichum strictum sur une butte de sphaignes © Pascal Ghiette
- 7 Sphaigne de Magellan (Sphagnum magellanicum) © Marc Sotiaux 8 Sphaigne papilleuse (Sphagnum papillosum) © Annick Pironet



lytrichum strictum, Hepaticae div. sp. dont Cephalozia connivens, C. macrostachya, Kurzia pauciflora, Odontoschisma sphagni.

Selon la situation microtopographique, elles sont en outre caractérisées par la présence de :

- ▶ sphaignes des buttes élevées (= « Bulten »), Sphagnum fuscum (RR), S. magellanicum, S. rubellum;
- ► sphaignes des tapis et coussins bas, Sphagnum affine (= S. imbricatum), S. fallax, S. papillosum, S. tenellum;
- ► sphaignes des gouilles (= « Schlenken »), Sphagnum auriculatum (= S. denticulatum), S. cuspidatum.

Les espèces compagnes sont des espèces de landes, de landes humides et de bas-marais acides: Calluna vulgaris, Erica tetralix, Eriophorum angustifolium, Sphagnum palustre, Vaccinium uliginosum, ainsi que Molinia caerulea et Sphagnum fimbriatum qui sont indicatrices de perturbations (assèchement, eutrophisation).

2.3. Variabilité de l'habitat

La variabilité de l'habitat est peu importante, ce qui est à mettre en relation avec les conditions de vie extrêmes de ces communautés végétales. Tout au plus y a-t-il une plus grande abondance d'espèces atlantiques dans certains sites (Erica tetralix, Narthecium ossifragum, Sphagnum papillosum) et une plus grande abondance d'espèces boréomontagnardes médioeuropéennes dans d'autres sites (Carex pauciflora, Empetrum nigrum, Sphagnum fuscum, S. magellanicum). Dans son stade optimum, la végétation est dominée par des bryophytes (essentiellement les sphaignes). Dans les stades plus secs, ce sont les éricacées qui dominent le tapis végétal.

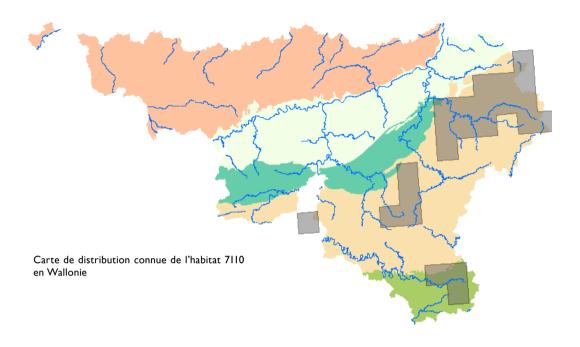
On peut distinguer différents types de tourbières hautes actives en fonction de la situation topographique de départ des zones où elles se sont installées, soit dans des amphithéâtres de sources ou pentes faibles (tourbières hautes de pente), soit sur des cols aplanis et peu marqués ou des replats (tourbières hautes en selle). Dans tous les cas, l'alimentation en eau se fait quasi exclusivement par les précipitations (tourbières ombrotrophes bombées) et le niveau trophique est oligotrophe.

Des formes fragmentaires (buttes d'ombrotrophisation), isolées au sein d'autres habitats tourbeux (bas-marais, landes tourbeuses, tourbières de transition, tourbières boisées), existent aussi. Dans ces variantes, l'épaisseur de tourbe peut être inférieure à 100 cm et l'alimentation en eau être minéro-ombrotrophe.

2.4. Répartition géographique

Ces formations se développent de façon optimale au dessus de 550 à 600 m d'altitude en haute Ardenne, sur la crête sud-ouest/ nord-est du massif ardennais. Le climat le plus favorable au développement de cet habitat est celui qui allie de fortes précipitations (au moins 1000 mm/an) et des températures moyennes basses (de l'ordre de 6 à 7 °C). En particulier, la nécessité d'un excédent d'apports en eau (précipitations, ruissellement) sur les pertes (évapotranspiration, écoulements, infiltration) agit comme facteur limitant dans la répartition zonale des tourbières hautes ombrogènes (Gore 1983; Manneville 1999). Ces milieux sont essentiellement présents sur les plateaux des Hautes-Fagnes et des Tailles, où ils sont devenus très rares et exceptionnels suite aux activités humaines. Sur les plateaux de Saint-Hubert, de Recogne, de la Croix Scaille et dans la Haute Semois ou la







Tourbière haute active de la Fagne Wallonne



Haute Sûre, ces formations sont rarissimes et fragmentaires (Frankard et al. 1998).

2.5. Confusions possibles avec d'autres habitats

Les tourbières hautes actives peuvent être confondues avec des landes tourbeuses lorsque la couverture de bruyère quaternée (Erica tetralix) est importante. En particulier, les activités humaines ancestrales de fauchage peuvent avoir favorisé des faciès de tourbières hautes riches en espèces des landes tourbeuses (principalement la bruyère quaternée et le scirpe cespiteux - Trichophorum cespitosum subsp. germanicum). L'épaisseur de la couche de tourbe permet de trancher : les landes tourbeuses apparaissent sur des sols para-tourbeux à faiblement tourbeux (de 0 à 40 cm de tourbe) et sont sous l'influence de la nappe phréatique, alors que les tourbières hautes ont une épaisseur de tourbe généralement supérieure à 100 cm et sont uniquement alimentées par des eaux de pluie (les sols tourbeux de 40-100 cm d'épaisseur sont naturellement boisés ou ont été transformés en bas-marais acides ou en tourbières dégradées par les activités humaines ; ces habitats ne peuvent être confondus avec les tourbières hautes actives). Des buttes d'ombrotrophisation peuvent toutefois apparaître au sein de landes tourbeuses, de bois tourbeux, de bas-marais ou de tourbières de transition. lorsque la végétation s'élève au-dessus du niveau de la nappe phréatique, formant ainsi progressivement des petites tourbières hautes fragmentaires.

2.6. Dynamique de la végétation

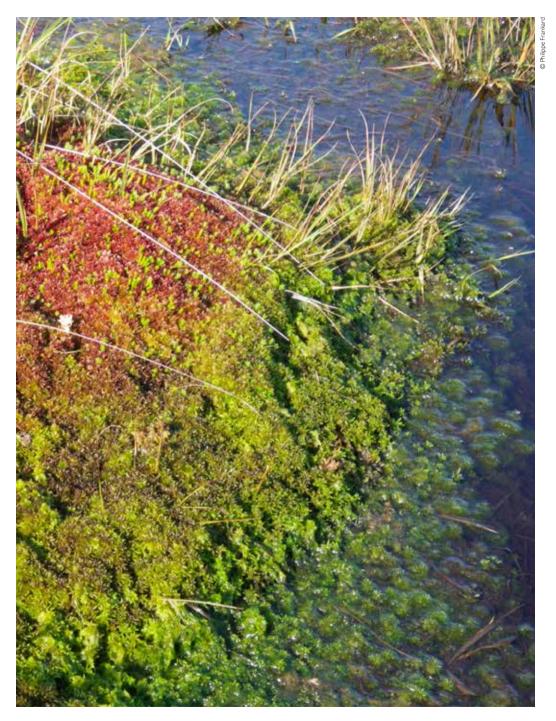
Les tourbières hautes sont issues de l'ombrotrophisation progressive de tourbières minérotrophes (bas-marais acides ou alcalins, tourbières boisées) ou minéro-ombrotrophes (tourbières de transition). Ces formations antérieures peuvent elles-mêmes dériver de stades aquatiques (Damblon 1996). Au sein des tourbières minérotrophes, apparaissent des coussins puis des buttes de sphaignes qui finissent par s'élever au-dessus de la nappe phréatique et s'en affranchir, pour ne plus être alimentés que par les eaux météoriques. Le développement progressif des buttes et tapis de sphaignes induit la formation et l'accumulation d'une importante couche de tourbe sous la végétation et au-dessus du sol minéral. Dès que la végétation perd le contact avec la nappe phréatique, les espèces caractéristiques des tourbières minérotrophes disparaissent au profit exclusif des espèces typiques des tourbières hautes qui se développent selon un complexe buttes/gouilles.

Au sein même des tourbières hautes actives. la végétation se caractérise surtout par la présence de buttes de sphaignes ombrotrophes, séparées par des gouilles plus ou moins



Canneberge (Vaccinium oxycoccos) sur une butte de sphaignes





Butte d'ombrotrophisation émergeant d'un plan d'eau



nondées dans lesquelles se développent des sphaignes très hygrophiles. Cette situation correspond au stade optimal de la dynamique de la végétation des tourbières hautes. Les buttes dérivent généralement de l'évolution dynamique progressive de stades de végétation antérieurs, aquatiques ou hygrophiles, au sein de gouilles et évoluent généralement elles-mêmes vers des stades moins hygrophiles selon une dynamique d'assèchement et de minéralisation pouvant conduire à terme à la fin du processus de formation de la tourbe (turfigenèse). Des phénomènes d'« effondrement » de la végétation peuvent régénérer la formation de nouvelles gouilles, où des sphaignes très hygrophiles se développent pour former de nouveaux tapis, puis des buttes.

Lorsque les conditions sont défavorables à la poursuite du développement des tourbières hautes pendant une longue période (par exemple des conditions climatiques devenant plus sèches), les biocénoses à sphaignes régressent voire disparaissent. La tourbe se minéralise sur une profondeur plus ou moins

grande et des espèces moins frugales et moins hygrophiles s'installent. Cette modification de la végétation se traduit par le développement de chaméphytes (éricacées, camarine), de peuplements paucispécifiques d'espèces herbacées (linaigrette vaginée, molinie, scirpe cespiteux) ou de ligneux (aulne glutineux, bouleau pubescent, piment royal, saule à oreillettes).

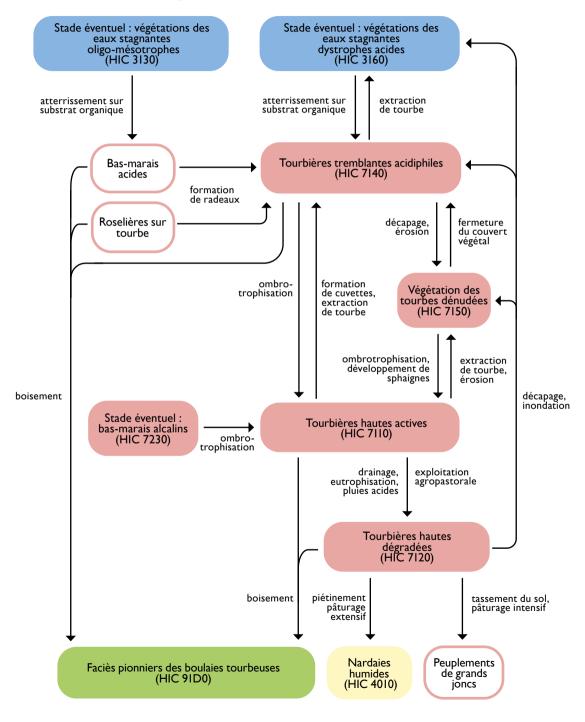
Cette évolution s'est produite à plusieurs reprises au cours des onze derniers millénaires, soit localement, soit d'une manière générale. Mais elle n'empêche pas la réinstallation ultérieure des végétations typiques des tourbières actives et la reprise de la tourbification, lorsque les conditions du milieu redeviennent favorables (par exemple lorsque le climat redevient plus humide). Des perturbations liées aux activités humaines (exploitation de la tourbe, drainage, boisement) peuvent conduire à la même évolution. Sous un climat très pluvieux et froid, le stade complexe buttes/gouilles peut constituer un stade climacique.



Développement d'éricacées dans une tourbière haute à régime hydrique perturbé



Diagramme évolutif des tourbières acidiphiles







Les tourbières hautes dégradées (7120)

I Définitions

I.I.Déclinaison wallonne de l'habitat

Les tourbières dégradées désignent principalement des tourbières hautes ayant subi des perturbations d'origine anthropique (drainage, exploitation de la tourbe, tentatives de boisement) touchant l'équilibre hydrique et entraînant un assèchement plus ou moins prolongé de la masse de tourbe, une minéralisation de la couche de tourbe superficielle, plus ou moins poussée et affectant une épaisseur variable en fonction des fluctuations de la nappe, un changement et une perte d'espèces, ainsi qu'un fort ralentissement ou l'arrêt de l'activité turfigène. Cette dégradation se traduit par la régression et, souvent, la disparition des espèces hygrophiles turfigènes caractéristiques des tourbières hautes actives et le développement, voire la forte dominance, d'espèces dotées d'un grand pouvoir de colonisation, adaptées aux nouvelles conditions du milieu notamment d'un point de vue hydrique (fortes fluctuations de la nappe perchée) et trophique (minéralisation de la tourbe superficielle). Dans les stades les plus dégradés, elles sont largement envahies par la molinie et les espèces caractéristiques ne sont plus que sporadiques. Ces tourbières hautes dégradées dominées par la molinie constituent un habitat très stable, mais qui peut être progressivement envahi par quelques ligneux (bouleau pubescent, épicéa commun, saule à oreillettes).

Les tourbières désignées ici ne concernent pas uniquement les stades dégradés des tourbières hautes ombrotrophes, mais aussi les stades dégradés des tourbières minéro-ombrotrophes initialement couvertes par des bois à base de bouleaux (sur les sols tourbeux de 40 à 100 cm de tourbe), dans lesquels se développent des éléments de tourbières hautes actives (présence de buttes de sphaignes d'ombrotrophisation) qui préfigurent de leur évolution vers des habitats de tourbières hautes actives si les conditions hydriques sont favorables.

1.2. Synsystématique

Les tourbières désignées ici ne constituent que des stades de dégradation des tourbières hautes actives (Oxycocco palustris-Ericion tetralicis Nordhagen & Tüxen 1937 et Sphagnion medii Kästner & Flössner 1933) et de bois tourbeux (Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis Tüxen 1937). Elles n'ont pas de position synsystématique particulière.

I.3. Correspondances entre les typologies

PAL.CLASS. (CORINE): 51.2 Tourbières hautes à molinie

EUNIS: D1.121 Tourbières hautes dégradées, inactives, envahies par *Molinia* WALEUNIS: D1.121 tourbières hautes dé-

gradées dominées par *Molinia caerulea*

Syntaxonomie:/



2 Caractéristiques diagnostiques de l'habitat

2.1. Structure, physionomie générale, description générale

Comme les tourbières hautes actives (HIC 7110), dont elles dérivent souvent, les tourbières dégradées se développent sur des sols holorganiques constitués d'un dépôt de tourbe d'épaisseur variable, mais généralement de plus de 100 cm d'épaisseur dans les formes typiques. Ces dépôts de tourbe sont alimentés par des eaux très faiblement minéralisées et fortement acides (pH compris généralement entre 3,5 et 4,5 ; au maximum 5,5) qui constituent une « nappe perchée » échappant à l'influence de la nappe phréatique.

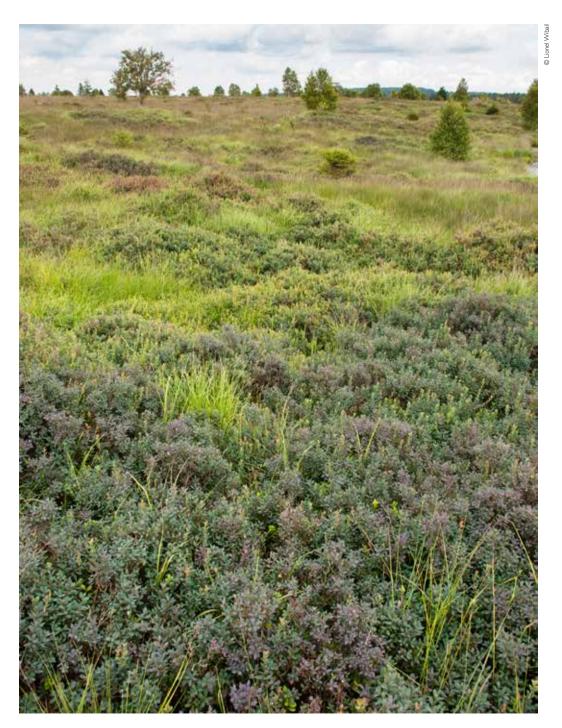
L'habitat 7120 intègre également les secteurs dégradés initialement couverts par des bois tourbeux à base de bouleaux (HIC 91D0) et les zones partiellement détourbées, dans lesquelles l'épaisseur de tourbe est inférieure et varie généralement entre 40 et 100 cm. Leurs stades de dégradation sont très proches de ceux rencontrés au sein des véritables tourbières hautes dégradées (exploitation ancestrale des arbres et de la tourbe, drainage et développement important de la molinie) et la restauration de ces sites est susceptible de permettre le développement de communautés de tourbières hautes actives ou de boulaies tourbeuses, toutes deux étant des habitats prioritaires.

Dans les tourbières dégradées, contrairement aux tourbières hautes actives où la nappe perchée est sub-affleurante et relativement stable, la nappe subit d'importantes fluctuations, avec une alternance saisonnière de phases sèches (rabattement de la nappe jusqu'à 60 cm de profondeur en périodes de sécheresse) et de phases humides (submersions éventuelles). Cet assèchement plus ou moins prolongé de la masse de tourbe conduit à une minéralisation du sol tourbeux plus ou moins poussée et touche une épaisseur variable allant jusqu'à plusieurs décimètres (Hindryckx 1999; Wastiaux 2000). L'alimentation hydrique des formes typiques de l'habitat est ombrotrophique. Là où la couche de tourbe est peu épaisse, l'alimentation en eau est minéro-ombrotrophique.

Ces tourbières hautes dégradées sont souvent caractérisées par leur grande monotonie, tant du point de vue spécifique que structural. Elles sont pauvres en buttes et tapis de sphaignes et sont largement dominées par la molinie en association avec la callune, la bruyère quaternée, la linaigrette vaginée (ainsi que d'autres éricoïdes moins abondantes telles Empetrum nigrum, Vaccinium myrtillus, V. uliginosum, V. vitis-idaea), des laîches (principalement Carex nigra et C. rostrata) et des joncs (principalement Juncus acutiflorus et J. effusus). Dans les stades les plus dégradés, elles consistent en peuplements quasi monospécifiques de la molinie, croissant le plus souvent en touradons pouvant atteindre plusieurs décimètres de hauteur, accompagnés par un nombre très faible d'espèces reliques des stades terminaux des tourbières (Frankard et al. 1998).

L'une des conséquences de l'assèchement des tourbières hautes est la réduction, voire l'effacement, de la microtopographie caractéristique des tourbières hautes actives (alternance de buttes et de gouilles).





Tourbière dégradée dominée par la myrtille de loup (Vaccinium uliginosum)



2.2. Espèces diagnostiques

La diversité spécifique de cet habitat est généralement très faible. C'est principalement la molinie qui domine, accompagnée d'espèces caractéristiques ou compagnes (principalement la callune) des tourbières (voir HIC 7110) et des boulaies tourbeuses (HIC 91D0), et qui se maintiennent à l'état relictuel.

2.3. Variabilité de l'habitat

La variabilité de cet habitat se manifeste essentiellement par son degré de dégradation qui dépend de la nature, de l'intensité et de l'ancienneté des perturbations.



Tourbière dégradée dominée par la molinie (Molinia caerulea) formant des touradons





Molinie (Molinia caerulea)



2.4. Répartition géographique

Les conditions stationnelles de développement des tourbières hautes dégradées sont identiques à celles des tourbières hautes actives et des boulaies tourbeuses dont elles dérivent. Ces formations sont majoritairement présentes au-dessus de 550 à 600 m d'altitude en haute Ardenne, sur la crête sud-ouest nord-est du massif ardennais.

2.5. Confusions possibles avec d'autres habitats

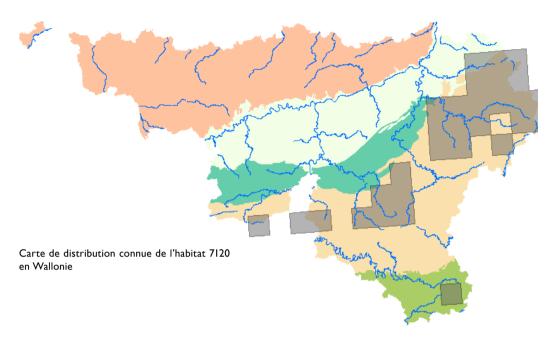
Il est possible de confondre cet habitat avec les landes tourbeuses dégradées dominées par la molinie. L'épaisseur de la couche de tourbe permet de trancher, les landes tourbeuses apparaissant sur des sols para-tourbeux à faiblement tourbeux (de 0 à 40 cm de tourbe). Cet habitat peut éventuellement aussi être confondu avec des landes submontagnardes (4030) dégradées et envahies par la molinie qui, elles, apparaissent sur des sols non tourbeux.

2.6. Dynamique de la végétation

Cet habitat résulte principalement de la dégradation artificielle des tourbières hautes actives à la suite d'un assèchement direct (front d'exploitation, drainage) ou indirect (prélèvement dans la nappe d'alimentation par pompages périphériques ou par boisements proches), ou de la dégradation de bois tourbeux (coupe des arbres, drainage) précédemment en voie d'évolution vers la tourbière haute par ombrotrophisation. L'assèchement de la masse de tourbe résultant du rabattement de la nappe perchée entraîne une minéralisation superficielle du sol qui se trouve confronté à des phénomènes d'aération, d'oxydation et de tassement. Cette combinaison de phénomènes induit une profonde modification de la végétation, d'autant plus importante que l'assèchement est prononcé. D'autres activités humaines comme le piétinement et la pratique ancestrale du stiernage (récolte de litière), ainsi que les incendies ont également eu des conséquences négatives sur la végétation des tourbières hautes actives (Dalimier *et al.* 1985; Frankard *et al.* 1998).

La dégradation des tourbières hautes se marque par l'envahissement de plus en plus important de la molinie qui finit par former des peuplements quasiment monospécifiques. Dans les stades les plus dégradés, cet habitat est très stable, mais peut être progressivement colonisé par les ligneux (bouleau pubescent, épicéa commun, saule à oreillettes), souvent après un incendie. La molinie est particulièrement bien adaptée aux zones subissant de fortes fluctuations du niveau de la nappe, avec une alternance de périodes où la surface du sol est submergée et de phases sèches où la nappe est profonde, phénomène auquel l'espèce est très tolérante et s'adapte notamment par son port en touradons.







Tourbière dégradée à molinie (teinte ocre), ceinturant une tourbière haute active (teinte grisâtre)





Les tourbières de transition et tremblantes (7140)

I Définitions

I.I.Déclinaison wallonne de l'habitat

Les tourbières de transition et tremblantes sont soit des stades évolutifs temporels ou des transitions spatiales du bas-marais vers la tourbière haute, soit des stades d'atterrissement des pièces d'eau (notamment les anciennes fosses d'extraction de tourbe où elles constituent des végétations cicatricielles secondaires). Elles sont alimentées à la fois par des eaux phréatiques et météoriques et sont minéro-ombrotrophes. Elles sont dominées par des cypéracées de taille petite à moyenne ou par d'autres phanérogames rhizomateuses, associées à des tapis bryophytiques abondants et recouvrants (sphaignes en stations acidiphiles, mousses pleurocarpes en stations basiphiles). Il s'agit d'associations turfigènes et hydrophiles, présentant une grande diversité de communautés végétales. Par leur situation intermédiaire, ces habitats contiennent souvent à la fois des espèces des bas-marais acides ou alcalins et des espèces des tourbières hautes actives.

En Wallonie, cet habitat se rencontre essentiellement en Ardenne et en Lorraine, où il est souvent rare, de faible superficie et fragmenté.

1.2. Synsystématique

Lebrun et al. (1949) ont rangé les végétations des tourbières de transition dans la classe des Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae Tüxen 1937, soit au sein du Rhynchosporion albae W. Koch 1926 (association à Carex limosa - Caricetum limosae W. Koch 1926). soit au sein du Caricion lasiocarpae Vanden Berghen in Lebrun et al. 1949, dans lequel ils distinguaient une association à Carex lasiocarpa (Caricetum lasiocarpae W. Koch 1926) et une association à Calla palustris (Calletum palustris Vanden Berghen 1949). Au sein des différentes associations, ils différenciaient en outre des sous-associations et des variantes à sphaignes (en milieux oligotrophes et acides) ou à mousses pleurocarpes (en milieux mésotrophes et alcalins).

La classification des tourbières de transition a peu changé. Tout au plus reconnaît-on aujourd'hui un plus grand nombre d'associations au sein du Rhynchosporion albae W. Koch 1926 et du Caricion lasiocarpae Vanden Berghen in Lebrun et al. 1949 (Bensettiti et al. 2002). On distingue aujourd'hui les associations à Carex limosa des gouilles des tourbières hautes (Caricetum limosae-sphagnetosum recurvae Hueck 1931) de celles des bas-marais alcalins (Caricetum limosae hypnetosum Vanden Berghen 1949), les variantes neutroclines à basiclines (Caricetum lasiocarpae W. Koch 1926) et acidiclines (Caricetum lasiocarpae-sphagnetosum recurvae Duvigneaud et Vanden Berghen 1945) des



tourbières de transition à Carex lasiocarpa, les variantes neutroclines à basiclines (Caricetum rostratae Rübel 1912 ex Osvald 1923) et acidiclines (Sphagno-Caricetum rostratae Steffen 1931) des tourbières de transition à Carex rostrata, les radeaux de sphaignes et Eriophorum angustifolium (Sphagno-Eriophoretum angustifolii [Hueck 1925] J. & R. Tüxen in J. Tüxen 1983), les tourbières tremblantes à Carex diandra (Caricetum diandrae Jon. 1932 em. Oberdorfer 1957), les tourbières tremblantes à Calla palustris (Calletum palustris Vanden Berghen 1949). La position synsystématique des tourbières tremblantes à Menyanthes trifoliata et Comarum palustre est encore mal établie.

I.3. Correspondances entre les typologies

PAL.CLASS. (CORINE): 54.5 Tourbières de transition

54.51 Tourbières de transition à laîche filiforme

54.52 Tourbières tremblantes à laîche arrondie

54.53 Tourbières tremblantes à laîche à bec

54.54 Tourbières de transition à laîche des bourbiers

54.58 Radeaux de sphaignes et linaigrettes

54.59 Radeaux de trèfle d'eau et comaret

54.5A Tourbières à calla

EUNIS - WALEUNIS:

D2.31 Gazons à Carex lasiocarpa

D2.32 Tourbières tremblantes à Carex diandra

D2.33 Tourbières tremblantes à Carex rostrata

D2.34 Gazons à Carex limosa

D2.38 Radeaux de *Sphagnum* et d'*Eriophorum* D2.39 Radeaux de *Menyanthes trifoliata* et de

Potentilla palustris

D2.3A Tourbières à Calla palustris

Syntaxonomie : *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae* Tüxen 1937

Caricion lasiocarpae Vanden Berghen in Lebrun et al. 1949:

- ► Caricetum lasiocarpae W. Koch 1926;
- Caricetum lasiocarpae-sphagnetosum recurvae Duvigneaud et Vanden Berghen 1945;
- ► Caricetum diandrae Jon. 1932 em. Oberdorfer 1957;
- Caricetum rostratae Rübel 1912 ex Osvald 1923 :
- ► Sphagno-Caricetum rostratae Steffen 1931 ;
- ► Sphagno-Eriophoretum angustifolii [Hueck 1925] J. & R. Tüxen in J. Tüxen 1983;
- ► Calletum palustris Vanden Berghen 1949.

Rhynchosporion albae W. Koch 1926:

- ► Caricetum limosae Braun-Blanquet 1921
- ► Caricetum limosae-sphagnetosum recurvae Hueck 1931
- ► Caricetum limosae hypnetosum Vanden Berghen 1949

2 | Caractéristiques diagnostiques de l'habitat

2.1. Structure, physionomie générale, description générale

Les tourbières de transition et tremblantes occupent une position intermédiaire entre les communautés de bas-marais minérotrophes et les tourbières hautes ombrotrophes, les communautés oligotrophes et mésotrophes, les communautés neutro-alcalines et acidiphiles. Elles se développent dans des situations très humides, parfois aquatiques, où l'alimentation hydrique est mixte, à la fois minérotrophique (avec des apports d'eaux plus ou moins riches en nutriments et plus ou moins acides) et ombrotrophique (alimentation par les précipitations atmosphériques dans des valeurs de pH comprises entre (3,5) 4,5 - 7,5 (8).





Tourbière de transition à linaigrette à feuilles étroites (Eriophorum angustifolium)

Elles se rencontrent à différentes échelles, depuis de petites communautés morcelées et imbriquées dans des végétations de tourbières hautes ou de bas-marais où elles forment des mosaïques (cuvettes, gouilles, laggs, fosses d'extraction), jusqu'à des systèmes plus étendus formant à la surface de certaines pièces d'eau (notamment les traces de lithalses), des radeaux flottants intervenant dans les processus d'atterrissement du plan d'eau et de genèse de tourbières hautes de type limnogène. Elles peuvent également occuper de vastes superficies sur des substrats non aquatiques mais constitués d'une tourbe très fortement engorgée, plus ou moins liquide, où elles forment des gazons tremblants. Elles se développent aussi fréquemment dans les anciennes fosses d'extraction de tourbe et dans certaines zones où des travaux de restauration de tourbières

dégradées sont menés. Dans ces conditions, elles constituent une végétation cicatricielle secondaire, essentielle aux processus de régénération de la végétation des tourbières hautes.

Les formes aquatiques peuvent évoluer vers des formes hygrophiles par les processus naturels d'atterrissement, de fermeture et d'ombrotrophisation du milieu, et tous les stades intermédiaires existent. Au sein même des tourbières de transition et des tremblants tourbeux, il existe souvent une microtopographie caractéristique associant des dépressions aquatiques, des buttes de sphaignes, des zones où le substrat est mis à nu et des zones plus ou moins colonisées par les ligneux.





- 1 Trèfle d'eau (Menyanthes trifoliata) © Lionel Wibail
- 2 Comaret (Comarum palustre) © Jean-Fagot
- Linaigrette à feuilles étroites (Eriophorum angustifolium) © Annick Pironet
- 4 Laîche filiforme (Carex lasiocarpa) © Lionel Wibail
- 5 Laîche des bourbiers (Carex limosa) © Louis-Marie Delescaille
- 6 Laîche à bec (Carex rostrata) © Lionel Wibail



Le fond de la végétation est typiquement constitué de cypéracées (Carex div. sp., Eriophorum angustifolium) qu'accompagnent d'autres phanérogames (Comarum palustre, Equisetum fluviatile, Hydrocotyle vulgaris, Menyanthes trifoliata), entre lesquelles se développe un tapis bryophytique souvent abondant et recouvrant (sphaignes en situation généralement acidiphile, mousses pleurocarpes en situation plus ou moins basiphile). La dominance de l'une ou l'autre espèce caractérise le type de tourbière de transition et tremblante (voir le point relatif à la variabilité de l'habitat). Par sa situation intermédiaire, cet habitat contient souvent des espèces transgressives des bas-marais acides ou neutro-alcalins (Carex canescens, C. echinata, C. nigra, Eriophorum gracile, Narthecium ossifragum, Sphagnum div. sp.) et des tourbières hautes (Andromeda polifolia, Drosera intermedia, D. rotundifolia, Sphagnum div. sp., Vaccinium oxycoccos).

2.2. Espèces diagnostiques

(d'après Frankard et al. 1998, Lebrun et al. 1949, Schumacker 1980, Schwickerath 1944).

Les phanérogames suivantes sont considérées comme caractéristiques régionales : Calla palustris, Carex diandra, C. lasiocarpa, C. lepidocarpa, C. limosa, C. rostrata, C. panicea, Comarum palustre, Eriophorum angustifolium, E. gracile, E. latifolium, Hammarbya paludosa, Hydrocotyle vulgaris, Menyanthes trifoliata, Parnassia palustris, Pedicularis palustris.

Les bryophytes Aneura pinguis, Calliergon giganteum, Campylium stellatum, Hamatocaulis vernicosus, Scorpidium scorpioides, Sphagnum auriculatum, S. cuspidatum, S. fallax, S. flexuosum, S. teres, S. warnstorfii sont également caractéristiques de ces habitats. Les espèces compagnes sont des espèces de tourbières hautes, de landes tourbeuses et de bas-marais acides : Andromeda polifolia, Carex canescens, C. echinata, C. nigra, Drosera intermedia, D. rotundifolia, Equisetum fluviatile, E. palustre, Galium uliginosum, Juncus acutiflorus, Narthecium ossifragum, Rhynchospora alba, Succisa pratensis, Vaccinium oxycoccos, Viola palustris notamment.

2.3. Variabilité de l'habitat

La variabilité de cet habitat s'organise essentiellement selon deux axes : le niveau trophique et le pH des eaux d'alimentation. L'habitat apparaît soit dans des milieux oligotrophes, soit dans des milieux plutôt mésotrophes. Certains groupements végétaux sont plutôt baso-neutrophiles, d'autres neutrophiles ou acidiphiles, alors que certains sont assez indifférents au pH.

On en distingue sept types en Wallonie (d'Ansembourg 1948; Brasseur *et al.* 1978; De Sloover *et al.* 1980; Duvigneaud 1948; Fabri *et al.* 1985; Lebrun *et al.* 1949; Parent 1972; Schumacker 1980; Schwickerath 1944).

Les cariçaies à *Carex lasiocarpa* sont des tourbières tremblantes plus ou moins aquatiques d'atterrissement des laggs et des gouilles de tourbières hautes et des dépressions très humides sur sols tourbeux, dominées par *Carex lasiocarpa*. Elles se rencontrent dans des eaux faiblement acides (*Carex lasiocarpa y* est alors associé à des sphaignes, à *Eriophorum angustifolium* et *Menyanthes trifoliata*) ou dans des eaux neutro-alcalines ; dans ce cas, *Carex lasiocarpa* est associé à des mousses pleurocarpes, à *Carex diandra*, *Eriophorum gracile*, *Menyanthes trifoliata* notamment.



Les tourbières tremblantes à *Carex dian-dra* sont des groupements qui se développent en association avec d'autres cypéracées (*Carex lasiocarpa*, *C. lepidocarpa*, *C. limosa*, *Erio-phorum gracile*) et des mousses pleurocarpes, dans des eaux neutro-alcalines.

Les cariçaies à *Carex rostrata* sont des communautés constituant habituellement des végétations basses, paucispécifiques et clairsemées qui se développent dans les plans d'eau libre des mares et des dépressions tourbeuses ou qui forment des franges d'atterrissement des gouilles, en milieu acide à légèrement basique et oligo-mésotrophe. Elles sont dominées par *Carex rostrata* associé avec des sphaignes ou parfois avec des mousses pleurocarpes dans les situations les moins acides.

Les cariçaies à *Carex limosa* constituent des communautés ouvertes des dépressions dans les tourbières hautes ou des prairies flottantes à la surface de nappes d'eau peu profondes, faiblement acides à neutro-alcalines, au sein de bas-marais alcalins. Elles sont dominées par *Carex limosa*, en association avec d'autres cypéracées (*Carex lasiocarpa, C. panicea, Erio-phorum angustifolium, Rhynchospora alba*), des sphaignes et des mousses pleurocarpes.

Les radeaux à sphaignes et linaigrettes constituent des tapis flottants d'*Eriophorum angustifolium*, de *Sphagnum auriculatum*, *S. cuspidatum* et *S. fallax* dans des eaux très acides et très oligotrophes. Ils sont notamment présents dans les traces de lithalses (buttes périglaciaires formées grâce à une accumulation de glace de ségrégation dans le sol à la fin de la dernière période glaciaire) et dans les fosses d'extraction de tourbe (végétation cicatricielle secondaire).

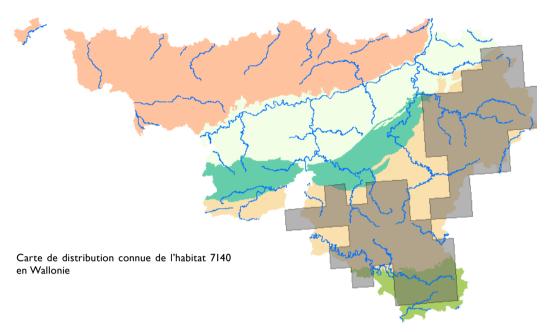
Les **tourbières** à *Calla palustris* constituent des tapis flottants dominés par des hélophytes rhizomateux ou riches en ces formes biologiques, dont *Calla palustris*, et des sphaignes, dans des eaux oligo-mésotrophes.

Les radeaux de *Menyanthes trifoliata* et de *Comarum palustre* forment des tapis flottants pionniers. Ils sont caractérisés par la dominance d'hélophytes au système racinaire robuste, indifférents au pH de l'eau (*Menyanthes trifoliata* et *Comarum palustre*). L'entrelacs racinaire sert de support à des tapis de sphaignes (dans les eaux acides) ou à des mousses pleurocarpes (dans les eaux neutro-alcalines). Les radeaux à *Comarum* et *Menyanthes* sont très hygrophiles et apparaissent au sein de groupements relevant du *Caricion fuscae* ou du *Caricion lasiocarpae*.

2.4. Répartition géographique

Cet habitat, dont le développement requiert des précipitations suffisantes pour assurer la transition de la végétation depuis des groupements minérotrophes vers des groupements ombrotrophes, se rencontre essentiellement en Ardenne et en Lorraine, où il est souvent rare, de faible superficie, fragmenté et très menacé.







Radeau flottant de trèfle d'eau (Menyanthes trifoliata)



2.5. Confusions possibles avec d'autres habitats

Les différents types de cet habitat sont constitués d'espèces permettant de qualifier assez facilement le groupement. Cependant des confusions sont possibles dans la mesure où cet habitat se trouve à l'interface et en contact étroit, spatial et dynamique, avec des végétations de bas-marais et de tourbières hautes (HIC 7110) dont il possède certains éléments, mais également parce que ces végétations forment une transition entre les groupements aquatiques et terrestres, présentant ainsi des caractéristiques intermédiaires.

Il peut arriver que certains hélophytes comme Carex acutiformis, C. paniculata, Phragmites



Cariçaie flottante à laîche à bec (Carex rostrata)

australis, constituent des roselières ou des magnocariçaies tremblantes. Ces formations relèvent des *Phragmiti australis-Magnocarice-tea elatae* et ne doivent pas être considérées comme des tourbières de transition.

Carex rostrata, espèce à large amplitude écologique, peut former des cariçaies en nappe qui relèvent plutôt des bas-marais acides et, dans ce cas, les autres espèces typiques des tourbières de transition sont absentes.

2.6. Dynamique de la végétation

Les végétations de tourbières de transition apparaissent et se développent dans diverses situations. On les rencontre au contact ou au sein de bas-marais alcalins ou acides (où elles assurent la transition spatiale et dynamique entre les tourbières basses et hautes), au sein des tourbières hautes (cuvettes, gouilles, fosses d'extraction), ou encore à la surface de pièces d'eau où elles forment des radeaux flottants (atterrissement des pièces d'eau).

Ces végétations évoluent, lentement, selon une dynamique progressive tendant à la fois vers l'oligotrophisation, l'acidification et l'ombrotrophisation. Ainsi, les communautés de transition neutro-alcalines voient leur cortège d'espèces caractéristiques évoluer avec l'apparition et le développement progressif d'espèces acidiclines ou acidiphiles, qui s'installent en pionnières de l'évolution de la végétation vers des groupements de tourbières hautes ombrotrophes (si les conditions hydriques, notamment pluviométriques, le permettent). L'acidification du milieu s'accompagne généralement d'une évolution du tapis bryophytique avec l'individualisation de buttes de sphaignes oligotrophes et acidiphiles (buttes d'ombrotrophisation). Dans de



rares cas, il existe un stade intermédiaire dans lequel des espèces de sphaignes mésotrophes (*Sphagnum teres, S. warnstorfii*) apparaissent au sein des tourbières de transition neutro-alcalines. Dans les communautés de transition initialement acidiphiles et oligotrophes, le processus d'acidification progressive est moins net et le changement d'espèces moins marqué, les espèces acidiphiles étant présentes dès le départ.

Dans les zones d'atterrissement de pièces d'eau, le tapis végétal flottant s'épaissit progressivement par l'accumulation de matière végétale et finit par s'élever au-dessus de la nappe phréatique et s'en affranchit, l'alimentation ombrotrophique prenant alors une importance de plus en plus grande. Dans ces conditions, des espèces à tendance plus ombrotrophe s'implantent, notamment des espèces de sphaignes qui individualisent des

buttes d'ombrotrophisation, sur lesquelles prendront progressivement place des espèces de plus en plus acidiphiles et ombrophiles (*Andromeda polifolia, Drosera* div. sp., *Vaccinium oxycoccos*).

Ainsi, lorsque les conditions climatiques sont favorables (apports en eau supérieurs aux pertes), les groupements de tourbières de transition évoluent progressivement, quelles que soient leurs caractéristiques initiales, vers des groupements de tourbières hautes. Des évolutions régressives sont possibles, notamment à la suite de perturbations anthropozoogènes (ex. : piétinement, creusements de bauges ou de fosses). Enfin, le boisement des stades évolués est possible avec l'apparition, dans les zones les moins hygrophiles, d' d'aulne glutineux, de bouleau pubescent et de diverses espèces de saules.



Ombrotrophisation progressive des buttes de sphaignes au sein d'une tourbière de transition





La végétation des tourbes dénudées (7150)

I Définitions

I.I.Déclinaison wallonne de l'habitat

La végétation des tourbes dénudées correspond à des communautés hydrophiles des stades dynamiques initiaux (primaires ou secondaires) des tourbes dénudées ou des substrats humifères avec un niveau élevé de la nappe aquifère. Il s'agit de communautés souvent d'origine anthropozoogène ayant une existence généralement éphémère et possédant un cortège limité d'espèces caractéristiques assez peu recouvrantes mais constantes, exclusives et rares (Lebrun *et al.* 1949; Schumacker 1980; Schwickerath 1944).

1.2. Synsystématique

Lebrun *et al.* (1949) ont rangé les végétations des tourbes dénudées dans l'alliance du *Rhynchosporion albae* W. Koch 1926, au sein de l'association à *Rhynchospora* (*Rhynchosporetum albae* W. Koch 1926). La position synsystématique du groupement n'a pas changé depuis.

I.3. Correspondances entre les typologies

PAL.CLASS. (CORINE) : 54.6 Communautés des dépressions nues

EUNIS: D2.3H Communautés des tourbes et des sables humides, ouverts et acides, avec *Rhynchospora alba* et *Drosera*

WALEUNIS : D2.3H Communautés de tourbes dénudées

Syntaxonomie : *Rhynchosporion albae* W. Koch 1926

► Rhynchosporetum albae W. Koch 1926

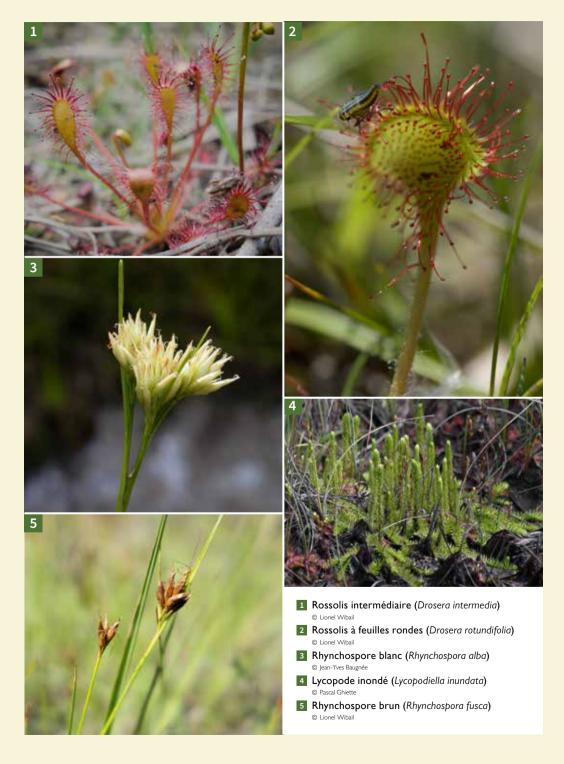
2 Caractéristiques diagnostiques de l'habitat

2.1. Structure, physionomie générale, description générale

L'habitat se rencontre en mosaïque au sein de la végétation des landes tourbeuses, des tourbières de transition et des tourbières hautes, dans des secteurs où le substrat est mis à nu par des phénomènes naturels d'érosion ou par l'activité d'animaux (piétinement, bauges). Il constitue aussi un habitat de cicatrisation là où le substrat a été mis à nu par les activités humaines (extraction de tourbe, piétinement, étrépage).

Ces végétations hygrophiles constituent un stade initial de la série des groupements de landes humides et tourbeuses ainsi que des tourbières. Elles se développent sur des substrats oligo-mésotrophes acides (pH : 4 à 5). Il s'agit soit de tourbe, soit de sables ou d'argiles humifères. Le substrat est constamment humide et connaît souvent une phase temporaire d'immersion hivernale accompagnée d'une phase d'exondation estivale. L'alimentation hydrique est assurée soit par le biais d'eau fluente (sources, suintements) minérotrophe, soit par la présence d'une nappe restant proche de la surface.







Il s'agit de communautés pionnières de plantes basses et peu recouvrantes, laissant des espaces de sol dénudé, abritant un nombre limité d'espèces parfois exclusives. Ces espèces peuvent être accompagnées de sphaignes clairsemées et de phanérogames typiques annonçant l'évolution vers des landes humides ou des tourbières hautes.

2.2. Espèces diagnostiques (d'après Lebrun et al. 1949, Schumacker 1980)

Les espèces caractéristiques régionales sont Drosera intermedia (RR), D. rotundifolia, Eleocharis multicaulis (RR), Lycopodiella inundata (RR), Rhynchospora alba, R. fusca (RR), Sphagnum div. sp.

Les espèces compagnes sont des espèces de landes humides et de bas-marais : Erica tetralix, Eriophorum angustifolium, Gymnocolea inflata, Juncus bulbosus, Molinia caerulea, Sphagnum cuspidatum, S. fallax, Trichophorum cespitosum.

2.3. Variabilité de l'habitat

Cet habitat est très peu variable, le cortège végétal présentant une grande homogénéité. Néanmoins, étant donné la très grande rareté de la plupart des espèces caractéristiques, ce cortège est souvent réduit à la présence de l'une ou l'autre espèce caractéristique accompagnée de sphaignes et de quelques espèces compagnes.

2.4. Répartition géographique

Les communautés végétales du *Rhynchos*porion sont présentes en Ardenne et en Lorraine, où elles sont souvent très rares et de faible superficie. Il en subsiste quelques fragments très isolés et réduits en Campine hennuyère (région limoneuse).

2.5. Confusions possibles avec d'autres habitats

La physionomie et le cortège d'espèces caractéristiques rendent difficile la confusion de cet habitat avec un autre.

2.6. Dynamique de la végétation

Les groupements pionniers colonisateurs des surfaces de tourbe nue ou de sables humifères sont éphémères (souvent moins d'une dizaine d'années). Supportant assez mal la concurrence, les espèces caractéristiques du *Rhynchosporion* se trouvent rapidement supplantées par des espèces plus concurrentielles des landes tourbeuses, des tourbières hautes et des tourbières de transition. À la faveur de zones nouvellement mises à nu, soit naturellement, soit par action anthropozoogène, l'habitat peut réapparaître à partir de la banque de diaspores viables contenues dans le sol (crypto-potentialité pouvant subsister plusieurs dizaines d'années dans la tourbe).



Végétation à rhynchospore blanc (Rhynchopora alba) au sein d'une tourbière haute active



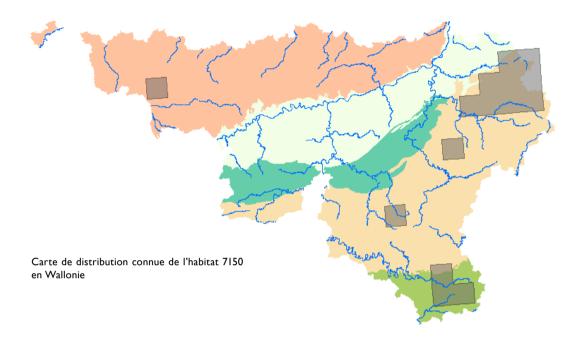


Végétation à rhynchospore brun (Rhynchospora fusca) et rossolis intermédiaire (Drosera intermedia)



Habitat développé au sein de bauges à sanglier dénudant la tourbe







Groupement dominé par le lycopode inondé (Lycopodiella inundata) au sein d'une tourbière de transition



Les bas-marais alcalins (7230)

I Définitions

I.I. Déclinaison wallonne de l'habitat

Les bas-marais alcalins correspondent à des communautés végétales de bas-marais topogènes ou soligènes apparaissant sur des sols inondés ou engorgés quasi en permanence par des eaux neutro-alcalines, riches en bases et souvent chargées en calcaire. Le tapis végétal est dominé par les cypéracées (principalement de petites laîches) et des bryophytes (mousses pleurocarpes aussi appelées « mousses brunes »); il comporte une flore calcicole diversifiée, abritant de nombreuses espèces très rares.

En Wallonie, l'habitat est limité à la Lorraine, où il est lié à des résurgences d'eau alcaline au contact de sables calcaires du Sinémurien surmontant une couche d'argile imperméable. La formation de tourbe est infra-aquatique.

1.2. Synsystématique

Lebrun et al. (1949) ont rangé les végétations des bas-marais alcalins dans l'alliance du Caricion fuscae Koch 1926 (syn. Caricion davallianae Klika 1934), mais ils ne décrivent pas les associations présentes en Lorraine belge. Actuellement, la plupart des auteurs rangent les communautés des marais alcalins dans l'ordre des Caricetalia davallianae Braun-Blanquet 1949 et l'alliance du Caricion davallianae Klika 1934.

I.3. Correspondances entre les typologies

PAL.CLASS. (CORINE): 54.2 Bas-marais alcalins (Tourbières basses alcalines)
FUNIS:

D4.13 Bas-marais subcontinentaux à Carex davalliana

D4.15 Bas-marais à Carex dioica, Carex pulicaris et Carex flava

WALEUNIS:

D4.13 Bas-marais à *Carex davalliana* D4.15 Bas-marais à *Carex dioica*, *Carex pulicaris* et *Carex flava*

Syntaxonomie : Caricion davallianae Klika 1934

► Caricetum davallianae Dutoit 1924 em. Görs 1963



Bas-marais de Villers-Tortru



2 Caractéristiques diagnostiques de l'habitat

2.1. Structure, physionomie générale, description générale

Les bas-marais neutro-alcalins sont des milieux inondés *quasi* en permanence, baignés par des eaux neutro-alcalines et carbonatées de pH 5,5 à 8, apparaissant en régions calcaires, le plus souvent sur des substrats organiques fréquemment tourbeux, mais de faible épaisseur, parfois au voisinage de dépôts tufeux. Cet habitat est étroitement dépendant de son alimentation hydrique, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif (la nappe reste proche du niveau du sol, même en été).

Dans leur forme typique, les bas-marais alcalins sont dominés par des petites laîches et d'autres cypéracées calciphiles en association avec des tapis de mousses pleurocarpes neutro-calcicoles et une flore phanérogamique diversifiée comportant une multitude d'espèces aux floraisons généralement fort colorées, notamment des orchidées (d'Ansembourg 1948; Duvigneaud 1948; Lebrun *et al.* 1949; Overal 1977a et b; Parent 1983; Vanden Berghen 1946, 1952). Localement, *Juncus subnodulosus* peut être dominant et imprimer à la végétation une physionomie prairiale.

Ces communautés sont souvent intriquées au sein de magnocariçaies, de mégaphorbiaies ou de roselières à *Phalaris arundinacea* ou *Phragmites australis*.

2.2. Espèces indicatrices

Les espèces de phanérogames suivantes sont considérées comme caractéristiques de l'habitat : Blysmus compressus, Carex davalliana (disparu), C. dioica (rarissime), C. flava, C. hostiana, C. lepidocarpa, C. panicea, C. pulicaris, C. vesicaria, Dactylorhiza incarnata, D. majalis, Eriophorum gracile, E. latifolium, Eleocharis quinqueflora, Epipactis palustris, Gymnadenia conopsea, Juncus subnodulosus, Liparis loeselii (probablement disparu), Parnassia palustris, Triglochin palustris.

Elles sont accompagnées de bryophytes: Aneura pinguis, Calliergon giganteum, Fissidens adianthoides, Hamatocaulis vernicosus (espèce figurant à l'annexe II de la Directive Habitats), Palustriella commutata, Scorpidium cossonii, S. revolvens, S. scorpioides, Straminergon stramineum, Tomentypnum nitens, Warnstorfia exannulata.

Les espèces compagnes, signalant fréquemment une évolution liée à l'abandon, sont des espèces de roselières, de mégaphorbiaies, de bas-marais ou de bois marécageux : Aconitum napellus subsp. lusitanicum, Carex div. sp., Cicuta virosa (disparu), Cladium mariscus (disparu), Eupatorium cannabinum, Glyceria maxima, Lysimachia vulgaris, Pedicularis palustris, Peucedanum palustre (disparu), Phalaris arundinacea, Phragmites australis, Ranunculus lingua, Thelypteris palustris, Typha div. sp.











2.3. Variabilité de l'habitat

Selon l'influence biogéographique de la région dans laquelle il se trouve, cet habitat comporte une proportion variable d'espèces atlantiques, médioeuropéennes ou boréomontagnardes. On a distingué deux types de bas-marais alcalins en Wallonie

Le bas-marais à *Carex davalliana* correspond à des communautés de dépressions marécageuses alimentées par des eaux neutro-alcalines peu oxygénées, dominées par diverses laîches de petite taille, dont *Carex davalliana*, accompagnées de plantes rares et de mousses pleurocarpes, à distribution continentale. Cet habitat, qui n'était connu que d'une station en Wallonie (Parent 1969) aurait disparu depuis plusieurs dizaines d'années, mais doit être recherché dans la région où il existait auparavant (environs de Bonnert).

Le bas-marais à *Carex dioica*, *Carex pulicaris*, *Carex flava s.l.* correspond également à des communautés des dépressions marécageuses alimentées par des eaux neutro-alcalines peu oxygénées, dominées par des petites laîches, mais cet habitat a une distribution plus atlantique.

En outre, dans les formes pionnières de l'habitat, sur tourbe partiellement dénudée, la végétation est dominée par de petites espèces telles *Eleocharis quinqueflora*, *Parnassia palus*tris, *Triglochin palustris*.

En dehors des formes typiques des bas-marais alcalins, cet habitat regroupe également un certain nombre de communautés moins caractéristiques qui dérivent de l'habitat type : les bas-marais alcalins à hautes herbes et les bas-marais alcalins envahis par des hé-

lophytes. Ces végétations peuvent constituer une menace pour les bas-marais alcalins typiques auxquels elles ont tendance à se substituer. Une telle dynamique peut être évitée par la mise en œuvre d'une gestion adaptée. Localement, ces formations sont en contact avec des prairies du *Molinion* ou ont été drainées et remplacées par ces prairies avec lesquelles elles possèdent un certain nombre d'espèces en commun, e.a. *Carex panicea, C. pulicaris, Dactylorhiza majalis, Gymnadenia conopsea*.

2.4. Répartition géographique

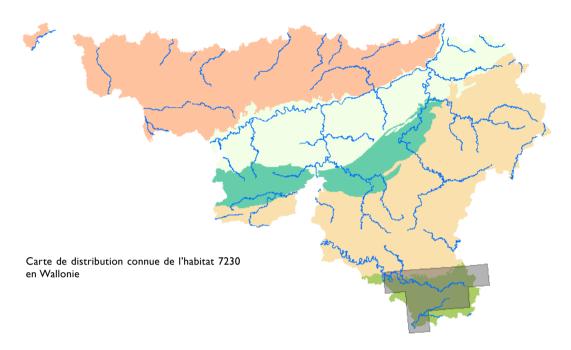
Ces groupements végétaux sont essentiellement présents dans le district lorrain (Haute-Semois), où ils ont fortement régressé et sont souvent de faible superficie, fragmentés et très menacés.

2.5. Confusions possibles avec d'autres habitats

Dans sa forme typique, c'est à dire en présence d'un cortège de petites laîches caractéristiques et d'une couverture de mousses pleurocarpes (« mousses brunes ») se développant sur un substrat gorgé d'eau, souvent tourbeux, la confusion entre le bas-marais alcalin et d'autres habitats est difficile.

Par contre, lorsque l'habitat ne se trouve pas sous sa forme caractéristique, des confusions sont possibles avec la végétation des roselières, des magnocariçaies, des mégaphorbiaies, ou des prairies humides du *Molinion*. Dans ce cas, seules les formations comportant encore des éléments caractéristiques des bas-marais alcalins peuvent être assimilées à l'habitat 7230 et possèdent de ce fait un potentiel de régénération si une gestion de restauration adéquate est appliquée.







Aspect typique de l'habitat, sous forme de gazon sur un tapis de mousses pleurocarpes («mousses brunes»)



Floraison de succise (Succisa pratensis)





Floraison de gymnadénie moucheron (Gymnadenia conopsea) dans un bas marais alcalin



Faciès dégradé évoluant vers la mégaphorbiaie et la magnocariçaie

2.6. Dynamique de la végétation

Les bas-marais alcalins se forment selon deux processus : soit ils sont issus de l'atterrissement progressif de plans d'eau stagnante neutro-alcaline, notamment des anciennes fosses d'extraction de tourbe, soit ils s'installent directement sur le sol minéral, à la faveur de suintements sur des pentes marneuses (paludification).

Soustraits à toute action d'entretien, ils évoluent progressivement, et plus ou moins rapidement, vers des magnocariçaies, des mégaphorbiaies (lorsque le niveau trophique est méso-eutrophe) ou des roselières (dans les sites les plus humides). Ces diverses formations, y compris les bas-marais alcalins, peuvent être colonisées par des essences fo-



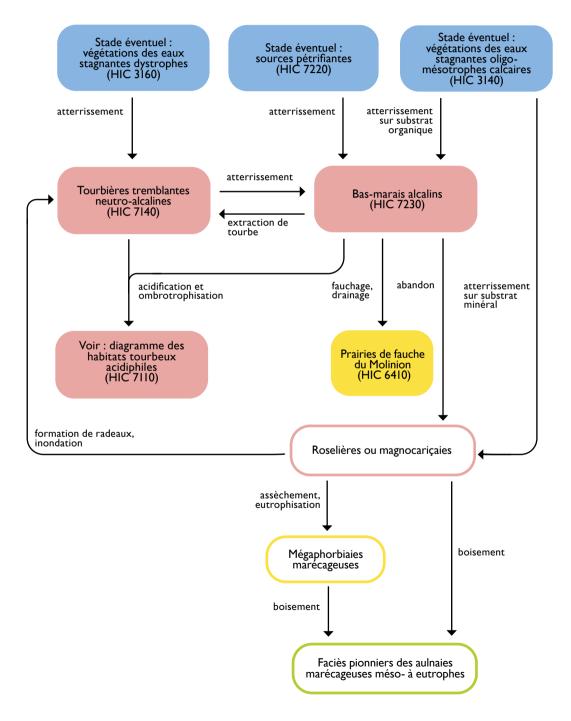
Envahissement du roseau commun (Phragmites australis) dans un bas marais alcalin abandonné

restières de sols marécageux, principalement l'aulne glutineux, la bourdaine et des saules qui amorcent la reconstitution de forêts marécageuses de l'*Alnion glutinosae*.

Enfin, les communautés de bas-marais alcalins peuvent être colonisées par des sphaignes formant des tourbières de transition (HIC 7140) lorsque s'individualisent des buttes de sphaignes tolérantes aux pH relativement élevés (ex.: Sphagnum squarrosum, S. teres, S. warnstorfii), préfigurant ainsi une évolution possible vers les tourbières hautes acidiphiles (HIC 7110). Dans ce cas, les espèces typiques des bas-marais alcalins peuvent temporairement côtoyer des espèces des bas-marais acides ou des tourbières acidiphiles, jusqu'à ce que l'acidification du milieu engendrée par les sphaignes les élimine.



Diagramme évolutif des tourbières neutro-alcalines





Références bibliographiques

Aaby B. (1976) Cyclic climatic variations in climate over the past 5500 yr reflected in raised bogs. Nature 263: 281-284

Barber K. E. (1981) Peat stratigraphy and climatic change. A palaeoecological test of the theory of cyclic peat bog regeneration. A. A. Balkema, Rotterdam: 219 p.

Bardat J., Bioret F., Botineau M., Boullet V., Delpech R., Géhu J.-M., Haury J., Lacoste A., Rameau J.-C., Royer J.-M., Roux G. et Touffet J. (2004) Prodrome des végétations de France. Coll. Patrimoines naturels 61. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris: 171 p.

Bensettiti F., Gaudillat V. et Haury J. (coord.) (2002) Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3. Habitats humides. La Documentation française, Paris : 457 p. + cédérom.

Bobbink R., Ashmore M. R., Braun S., Fluckiger W. and van den Wyngaert I. J. J. (2003) Empirical critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. In Achermann B. and Bobbink E. (Eds): Empirical critical loads for nitrogen. Swiss Agency for the Environment, Forests and Lanscape: 164 p.

Bobbink R. and Hettelingh J.-P. (Eds.) (2011) Review and revision of empirical critical loads and dose response relationships. Coordination Center for Effects, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven: 244 p.

Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (2016) Peatland restoration and ecosystem services: an introduction. In Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (Eds): Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge: 1-16.

Boudreau S. et Rochefort L. (1999) Établissement de sphaignes réintroduites sous diverses communautés végétales recolonisant les tourbières après l'exploitation. Écologie 30 (1): 53-62.

Bragazza L., Parisod J., Buttler A. and Bardgett R. D. (2012) Biogeochemical plant-soil microbe feedback in response to climate warning in peatlands. Nature Climate Change: 5 p.

Brasseur F., De Sloover J.R., Devillez F., Dumont J.-M., Goossens M., Isérentant R., Jouret M.-F. et Lebrun J. (1978) La végétation de la Réserve naturelle domaniale des Anciennes Troufferies (Libin). Ministère de l'Agriculture, Service de la Conservation de la Nature, Travaux 9 : 64 p.

Brooks S. and Stoneman R.E. (1997) Conserving bogs. The management handbook. Stationary Office, Edinburgh: 286 p.

Charman D. (2002) Peatlands and environmental change. Wiley, Chichester: 301 p.

Cholet J. et Magnon G. (2010) Tourbières des montagnes françaises - Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion et de gestion. Pôle-relais Tourbières/Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels : 188 p.

Claessens H., Lecomte H., Lejeune P. et Rondeux J. (2001) Plante-t-on l'épicéa n'importe où ? L'apport d'une analyse objective de la pessière wallonne. Forêt Wallonne 49-50 : 45-51.

Clark J., Gallego-Sala A., Allot T., Chapman S., Farewell T., Freeman C. House J., Orr H., Prentice I. and Smith P. (2010) Assessing the vulnerability of blanket peat to climate change using an ensemble of statistical bioclimatic envelope models. Climate Research 45: 131-150.

Clymo R.S. (1983) Peat. In Gore A.J.P. (ed.): Ecosystems of the world. 4A. Mires: swamp, bog, fen and moor. General studies. Elsevier, Amsterdam: 159-224.

Collard A. (2018) Un nicheur exceptionnel en Hautes-Fagnes. Hautes Fagnes 309: 12-14.

Collard J. et Bronowski V. (1993) Le guide du plateau des Hautes-Fagnes. Collection "Détours". Éditions de l'Octogone, Bruxelles : 433 p.

Corbiau M.-H. (1981a) La "Via Mansuerisca", étude archéologique du tracé et des structures. Archaeologia Belgica 235 : 5-31.

Corbiau M.-H. (1981b) La "Via Mansuerisca", liaison routière entre Trèves et Maastricht. Les Études Classiques 49: 327-341.

Corbiau M.-H. (2005) Nouvelles recherches archéologiques pluridisciplinaires sur le parcours de la voie médiévale dite la *Via Mansuerisca* et découverte d'un véhicule dans la Fagne Raskin (Lg.). Archaeologia Mediaevalis, Chronique 28: 6-9.

Couwenberg C. (2009) Emission factors for managed peat soils. An analysis of IPCC default values. Wetlands International, Ede: 14 p.

Crassous C. et Karas F. (2007) Guide de gestion des tourbières et marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale. Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Pôle-relais Tourbières : 203 p.



Cubizolle H. et Tholly J. (2015) Les tourbières et le climat, une vieille histoire. Le rôle du climat dans l'apparition et le développement des tourbières. L'Écho des Tourbières 21 : 6-9.

Curtis C. J., Emmet B. A., Grant H. *et al.* (2005) Nitrogen saturation in UK moorlands: the critical role of bryophytes and lichens in determining retention of atmospheric N deposition. Journal of Applied Ecology 42: 507-517.

Dalemans C. et Streel M. (1986) La *Via Mansuerisca*, enfouie dans la Fagne des Wez, est mérovingienne, pas romaine. Hautes Fagnes 184: 93-102.

Dalimier I., Damblon F., Schumacker-Lambry J., Schumacker R. et Streel M. (1985) Étude de l'évolution récente de la végétation dans la fagne de Cléfaye, par l'analyse pollinique des cespites de linaigrettes et de molinies. Hautes Fagnes 179: 89-90.

Damblon F. (1969) Étude palynologique comparée de deux tourbières du plateau des Hautes Fagnes de Belgique: la Fagne Wallonne et la Fagne de Clefaye. Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique 39: 17-45.

Damblon F. (1996) Les dépôts tourbeux et l'histoire de la végétation sur le plateau des Hautes-Fagnes (Belgique). Annales de la Société géologique de Belgique 117 : 259-276

d'Ansembourg V. (1948) Près de Vance, il y a marais et fanges. Natura Mosana 1 : 53-56.

Defraiteur M.-P. et Schumacker R. (1988) Plateau des Hautes-Fagnes ou plateau des Fontaines-Salées? Une nouvelle atteinte à la réserve naturelle : les sels de déneigement. Hautes Fagnes 189 : 9-13.

Deroche F., Gerrienne P. et Streel M. (2006) Il y a 8000 ans, le climat et la végétation des Hautes-Fagnes ont changé considérablement en quelques centaines d'années. Hautes Fagnes 262 : 25-29.

De Sloover J.R., Goossens M. et Lebrun J. (1980) Un groupement à *Calla palustris* en Ardenne. In Gehu J.-M. (éd.): Colloques Phytosociologiques VII. La végétation des sols tourbeux: 203-212.

De Vleeschouwer F., Pazdur A., Luthers C., Streel M., Mauquoy D., Wastiaux C., Le Roux G., Moschen R., Blaauw M., Pawlyta J., Sikorski J. and Piotrowka A. (2012) A millennial record of environment change in peat deposits from the Misten (East Belgium). Quaternary International 268: 44-57.

Dopagne C. (2016) Hydradephaga de Belgique. Téléchargeable depuis : http://www.econet.ulg.ac.be/dytiscidae/ hydradephaga.htm Dufrêne M., Frankard P., Plunus J., Cristofoli S., Pironet A. et Parkinson D. (2015) Le méta-projet de restauration des tourbières de Haute Ardenne. Hautes Fagnes 300 : 24-42

Dumont J.M. (1975) L'homme et la végétation au plateau des Tailles. Thèse de Doctorat, Université catholique de Louvain : 278 p.

Dumont J.M. (1985) L'homme et la forêt en Ardenne. Ardenne et Gaume 40 (2): 50-65.

Dupieux N. (1998) La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques. Orléans, Espace naturels de France, programme Life « Tourbières de France » : 244 p.

Duvigneaud P. (1948) Contribution à l'étude des tourbières de la Lorraine. La tourbière eutrophe à *Carex lasiocarpa* (*Caricetum diandro-lasiocarpae*) dans les marais de la Haute-Semois, entre Sampont et Vance. Lejeunia 12: 5-28.

Eggelsmann R., Heathwaite A.L., Grosse-Brauckmann G., Küster E., Naucke W., Schuch M. and Schweickle V. (1993) Physical processes and properties of mires. In Heathwaite A.L. and Göttlich K. (eds): Mires: Process, Exploitation and Conservation. Wiley, Chichester: 171-262

Fabri R., Dumont J.-M., Duvigneaud J., De Sloover J.R. et Jeannerod Y. (1985) *Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze observé à nouveau dans le district ardennais (Belgique). Dumortiera 4: 4-11.

Ferland C. and Rochefort L. (1997) Restoration techniques for *Sphagnum*-dominated peatlands. Canadian journal of Botany 75: 1110-1118.

Fichefet V., Barbier Y., Baugnée J.-Y., Dufrêne M., Goffart P., Maes D. et Van Dyck H. (2008) Papillons de jour de Wallonie (1985 - 2007). Publication du Groupe de Travail Lépidoptères *Lycaena* et du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW - DGARNE), série «Faune - Flore - Habitats» n°4, Gembloux : 320 p.

Frankard P. (2001a) Les bas-marais et les tourbières de l'Ardenne. In Actes des Colloques « Année mondiale des zones humides ». Ministère de la Région Wallonne. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement. Direction de la Nature, Travaux n° 21 : 153-172.

Frankard P. (2001b) Peat bog rehabilitation works in Wallony, Southern Belgium. 58° Eurosite Workshop: « *Sphagnum* or not? Variation in peat forming vegetation in relation to restored water levels » (10-14 October 2000). Eurosite 58: 24-25.



Frankard P. (2005a) Bilan de 12 années de gestion conservatoire des tourbières hautes dans la réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes (Est de la Belgique). Géocarrefour 79 (4): 269-276.

Frankard P. (2005b) Restitution von Hoochmooren und nassen Heiden im Hohen Venn (Ost-Belgien): Eine Bilanz 10-jähriger Feldversuche. Telma 35: 95-106.

Frankard P. (2006) Les techniques de gestion des milieux naturels et semi-naturels mises en œuvre depuis 1994 dans la RND des Hautes-Fagnes. 2. Évaluation des techniques de restauration des landes sèches, des landes tourbeuses et des genévrières testées sur le plateau des Hautes-Fagnes. Hautes Fagnes 264 : 21-29.

Frankard P. (2007) Les potentialités d'accueil de la vie sauvage en milieux humides et aquatiques. Les milieux tourbeux. Rapport analytique sur l'État de l'Environnement Wallon 2006-2007. DGARNE, Cellule État de l'Environnement Wallon. Études - Expertises : 11 p.

Frankard P. (2012) L'impact des travaux de restauration menés dans le cadre du projet LIFE Hautes-Fagnes sur la flore et les habitats de tourbières et de landes. Les premières tendances. Hautes Fagnes 288 : 22-25.

Frankard P. (2016) Bilan de 25 ans de restauration et de gestion des milieux tourbeux en Wallonie. Forêt.Nature 138: 33-45.

Frankard P. et Doyen A. (1999) La restauration des tourbières hautes de la Réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes. Les Cahiers des Réserves naturelles RNOB 13: 19-27

Frankard P. et Ghiette P. (2000) La gestion des tourbières hautes des Hautes-Fagnes. In Actes des Colloques « Année mondiale des zones humides ». Ministère de la Région Wallonne. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement. Direction de la Nature, Travaux n° 21: 387-401.

Frankard P., Ghiette P., Hindryckx M.-N., Schumacker R. and Wastiaux C. (1998) Peatlands of Wallony (S-Belgium). Suo 49 (2): 33-47.

Frankard P. et Hindryckx M.-N. (1998) Évolution de la végétation du secteur sud de la tourbière haute active de la fagne Wallonne, au cours de ces 60 dernières années (plateau des Hautes-Fagnes, Belgique). Belgian Journal of Botany 131: 28-40.

Frankard P. and Janssens X. (2008) Raised bogs rehabilitation on the Hautes-Fagnes plateau (East Belgium). An assessment after 15 years of management trials. Symposium Ecological Restoration. Towards a sustainable future for European ecosystems. Providing restoration guidelines for Natura 2000 habitats and species, SER2008, Ghent: 4 p.

Frankard Ph., Paelinckx D., Wastiaux C. and Schumacker R. (2017) Belgium. In: Joosten H., Tanneberger F. and Moen A. (Eds): Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart: 299-309.

Froment A. (1968) L'ancienne économie rurale de l'Ardenne et son incidence sur la végétation des Hautes-Fagnes. Bulletin de la Société géographique de Liège 4 : 23-39.

Froment A. (1975) Les premiers stades de la succession végétale après incendie de tourbe dans la réserve naturelle des Hautes-Fagnes. Vegetatio 29 (3) : 209-214.

Gallego-Sala A., Booth R. K., Charman D., Prentice I. C. and Zicheng Y. (2016) Peatland and climate change. In Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (Eds): Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge: 129-150.

Gallego-Sala A., Clark J., House J. L. *et al.* (2011) Bioclimatic envelope model of climate change impacts on blanket peatlands distribution in Great Britain. Climate Research 45: 151-162.

Ghiette P. (1998) Nidification du pluvier doré (*Pluvialis apricaria*) en Wallonie. Aves 35 : 171-181.

Goffart P., De Knijf G., Anselin A. et Tailly M. (2006) Les libellules (Odonata) de Belgique: répartition, tendances et habitats. Publication du Groupe de Travail Libellules Gomphus et du Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois (MRW-DGRNE), Série « Faune - Flore - Habitats » n°1, Gembloux: 398 p.

Goffart P., Motte G. et Vandevyvre X. (2012) Un afflux exceptionnel de Leucorrhine à gros thorax (*Leucorrhinia pectoralis*) en Wallonie en 2012. Les Naturalistes Belges 93 (4): 85-94.

Gore A.J.P. (1983) Introduction. In Gore A.J.P. (ed.): Ecosystems of the world. 4A. Mires: swamp, bog, fen and moor. General studies. Elsevier, Amsterdam: 1-34.

Gorham E. (1991) Northern peatland: role in the carbon cycle and the probable responses to climatic warming. Ecological Application 1: 182-195.

Günther A., Huth V., Jurasinski G. and Glatzel S. (2015) The effect of biomass harvesting on greenhouse gas emissions from a rewetted temperate fen. GCB Bioenergy 7: 1092-1106.

Hambuckers A., Schumacker R., Remacle J. et Frankard P. (1995) La présence de groupements végétaux à caractère mésotrophe au milieu des tourbières des Hautes-Fagnes (Belgique) est-elle liée à des intrusions de tonalite dans les couches reviniennes ? Belgian Journal of Botany 128 (1): 48-56.



Hansen K. M. (2003) Pre-Boreal elkhunting in Denmark. In Bauerochse A. and Haßmann H. (Eds): Peatlands: archaeological sites – archives of nature – nature conservation – wise use. Verlag Marie Leidorf, Rahden: 99-106.

Heijmans M. and Berendse F. (2000) Effects of elevated ${\rm CO}_2$ and increased nitrogen deposition on a bog ecosystem in the Netherlands: 11th International Peat Congress (Québec, 2000): 98-105.

Hindryckx M.-N. (1989) Évolution régressive récente de la dégradation de la végétation de la partie centrale de la tourbière de la fagne Wallonne (Hautes-Fagnes, Belgique). Université de Liège, Mémoire de Licence en Sciences botaniques: 97 p. + annexes.

Hindryckx M.-N. (1999) Évolution récente de la végétation des tourbières hautes à sphaignes en haute Ardenne (Hautes-Fagnes, Belgique). Université de Liège, Thèse de Doctorat en Sciences : 269 p. + annexes.

Hindryckx M.-N., Damblon F. et Schumacker R. (1990) Nécessité des études paléoécologiques pour une gestion raisonnée des tourbières hautes. L'exemple des Hautes-Fagnes. Région Wallonne. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement. Conservation de la Nature, Travaux n° 15 (2): 443-458.

Hindryckx M.-N. et Streel M. (2000) L'altération des bords de la tourbière active du Misten par l'exploitation de la tourbe pourrait dater du début du 14° siècle. Hautes Fagnes 240 : 95-101.

Hiraishi T., Krug T., Tanabe K. *et al.* (eds) (2014) 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: wetlands. Geneva, IPCC 354 p.

Hoffsummer P., Damblon F., Eeckhout J., Gerards T., Gerrienne P., Renson V., Streel M., Thorez J., Vanguestaine M., Van Ruymbeke et Wastiaux C. (2005) Premier bilan des analyses récentes du "Pavé Charlemagne" dans les Hautes-Fagnes, Waimes (Lg.). Archaeologia Mediaevalis, Chronique 28: 26-27.

Holden J., Chapman P. J. and Labadz J. C. (2004) Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. Progress in Physical Geography 28: 95-123.

Holden J., Evans M. G., Burt T. P. and Horton M. (2006) Impact of land drainage on peatland hydrology. Journal of Environmental Quality 35: 1764-1778.

Hoyois G. (1949) L'Ardenne et l'Ardennais. L'évolution économique et sociale d'une région. Tome I. Éditions universitaires Bruxelles-Paris. Duculot, Gembloux : 441 p. Hughes P. D. M., Mauquoy D., Barber K. E. and Langdon P. G. (2000) Mire-development pathways and palaeoclimatic records from a full Holocene peat archive at Walton Moss, Cumbria, England. The Holocene 10 (4): 465-479.

Ilkjaer J. (2003) The bog-finds from South Scandinavia. In Bauerochse A. and Haßmann H. (Eds): Peatlands: archaeological sites – archives of nature – nature conservation – wise use. Verlag Marie Leidorf, Rahden: 115-125.

Immirzi C.P., Maltby E. and Clymo R.S. (1992) The global status of peatlands and their role in carbon cycling. A report for Friends of the Earth by the Wetland Ecosystems Research Group. Dept Geography, University of Exeter, London: 145 p.

Ingram H.A.P. (1978) Soil layers in mires: function and terminology. Journal of Soil Science 29: 224-227.

Ingram H.A.P. (1983) Hydrology. In Gore A.J.P. (ed.): Ecosystems of the world. 4A. Mires: swamp, bog, fen and moor. Elsevier, Amsterdam: 67-158.

Joosten H. (1997) Mores and mires: ethical considerations on bog conservation. In Parkyn L., Stoneman R.E. and Ingram H.A.P. (Eds). Conserving Peatlands. CAB International, Wallingford: 411-423.

Joosten H. (2010) The global peatland CO₂ picture. Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Wetland International: 36 p.

Joosten H. and Clarke D. (2002) Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Saarijärvi: 304 p.

Joosten H. and Couwenberg C. (2009) Are emission reductions from peatlands MRV-able? Wetlands International, Ede: 14 p.

Joosten H., Sirin A., Couwenberg J., Laine J. and Smith P. (2016) The role of peatlands in climate regulation. In Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (Eds): Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge: 63-76.

Joosten H., Tanneberger F. and Moen, A. (eds) (2017) Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart: 780 p.

Joosten H., Tapio-Biström M.-L. and Tol S. (eds) (2012) Peatlands guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Wetland International. Food and Agriculture, FAO: 96 p.



Jortay A. et Schumacker R. (1988a) La réserve domaniale des Hautes-Fagnes deviendra-t-elle un observatoire Géo-Biosphère ? 1. L'évolution des végétations de tourbière haute active sur le plateau des Hautes-Fagnes. Hautes Fagnes 191 : 61-64.

Jortay A. et Schumacker R. (1988b) La réserve domaniale des Hautes-Fagnes deviendra-t-elle un observatoire Géo-Biosphère ? 2. L'évolution du couvert végétal dans la réserve naturelle des Hautes-Fagnes. Hautes Fagnes 192 : 93-95.

Jortay A. und Schumacker R. (1989) Zustand, Erhaltung und Regeneration der Hochmoore im Hohen Venn (Belgien). Telma 2: 279-293.

Juvigné E., Damblon F. et Streel M. (2015) Des remparts de viviers revisités. Hautes Fagnes 298 : 20-23.

Kever D. (2014) Le suivi des populations d'Odonates dans le cadre de l'After-LIFE « Hautes-Fagnes » : présentation, premières tendances et perspectives. Hautes Fagnes 294 : 7-11.

Kever D., Schott O. et Goffart P. (2014) Les Odonates des Hautes-Fagnes : effets positifs du récent projet LIFE de restauration des tourbières. Les Naturalistes Belges 95 (3-4) : 33-70.

Kotowski W., Ackerman M., Grootjans A., Klimkowska A., Rößling H. and Wheeler B. (2016) Restoration of temperate fens: matching strategies with site potential. In Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (Eds): Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge: 170-191.

Laine J., Silvola J., Tolonen K., Alm J., Nykanen H., Vasander H., Sallantaus T., Savolainen I., Sinisalo J. and Martikainen P.J. (1996) Effect of water-level drawdown on global climatic warming - northern peatlands. Ambio 25: 179-184.

Lappalainen E. (1996) General review on world peatland and peat ressource. In: Lappalainen E. (Ed.): Global peat ressourses. International Peat society: 53-56.

Lebrun J., Noirfalise A., Heinemann P. et Vanden Berghen C. (1949) Les associations végétales de Belgique. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique 81 : 105-207.

Limpens J. (2003) Prospects for *Sphagnum* bogs subject to high nitrogen deposition. Thesis, Wageningen University: 143 p.

Limpens J. and Berendse F. (2003) Growth reduction of *Sphagnum magellanicum* subjected to high nitrogen deposition: the role of amino acid nitrogen concentration. Oecologia 135: 339-345.

Lindsay R. (2010) Peatbogs and carbon. A critical synthesis. University of East London, Environmental Research Group, London: 315 p.

Lindsay R. (2015) La restauration fonctionnelle des tourbières : un enjeu pour la résilience des écosystèmes tourbeux face aux changements climatiques. L'Écho des Tourbières 21 : 16-19.

Manneville O. (1999) Le monde des tourbières et des marais (France, Suisse, Belgique et Luxembourg). Delachaux et Niestlé, Lausanne : 320 p.

Marsden K. and Ebmeier S. (2012) Peatlands and climate change. SPICe Briefing 12/28: 35 p.

Mauquoy D. and Barber K. E. (1999) Evidence for climatic deteriorations associated with the decline of *Sphagnum imbricatum* Hornsch. ex Russ, in six ombrotrophic mires from northern England and the Scottish Borders. The Holocene 9 (4): 423-437.

Montanarella L., Jones R. J. A. and Hiederer R. (2006) The distribution of peatland in Europe. Mires and peat 1.: 1-10.

Mullenders W. et Knop C. (1962) Recherches palynologiques dans les Ardennes belges. I. La tourbière du Grand Passage. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique 94 (1): 163-175.

Natural England and RSPB (2014) Climate Change Adaptation Manual. Evidence to support nature conservation in a changing climate: 221 p.

NU - ECE/EB.AIR/WG.1/2010/14 (2010) Charges critiques empiriques et relations dose-effet. Rapport du centre de coordination pour les effets de l'équipe spéciale du Programme international concerté de modélisation et de cartographie des niveaux et charges critiques ainsi que des effets, des risques et des tendances de la pollution atmosphérique. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance. Groupe de travail des effets. 29e session (Genève, 22-24 septembre 2010). Nations-Unies - Conseil économique et social - Commission économique pour l'Europe : 9 p.

Nykanen H., Alm J., Lang K., Silvola J. and Martikainen P.J. (1995) Emissions of $\mathrm{CH_4}$, $\mathrm{N_2O}$ and $\mathrm{CO_2}$ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. Journal of Biogeography 22 : 351-357.

Otte M. et Streel M. (1994) La *Via Mansuerisca*: première victoire sur l'obstacle naturel. In Quenon J., Schumacker R. et Streel M. (Eds): Les hommes et les Hautes-Fagnes. Université de Liège, Haute Ardenne a.s.b.l., Liège: 22-31.

Overal B. (1977a) La richesse floristique actuelle du marais de Heinsch (Lorraine belge). Bulletin des RNOB: 80-81.



Overal B. (1977b) La végétation du marais de Heinsch. Dumortiera 7-8 : 31-37.

Parent G.H. (1969) L'herborisation de la Société Royale de Botanique de Belgique dans le district lorrain belge et la vallée de la Chiers, 1-3 juin 1968. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique 102 : 435-466.

Parent G.H. (1972) Les sites Jean Massart du Bas Luxembourg. Deuxième partie. Parcs Nationaux 27 (1): 16-38.

Parent G.H. (1983) Les paysages de la Lorraine belge. Bulletin des Réserves Naturelles 5 : 3-15.

Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M. and Stringer L. (Eds.) (2008) Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands international, Wageningen: 215 p.

Parkyn L., Stoneman R. E. and Ingram H. A. P. (1997) Conserving peatlands. Cab International, Wallingford: 500 p.

Persch F. (1950) Zur postglazialen Wald-und Moorentwicklung im Hohen Venn. Decheniana 104: 81-93.

Pieper P. (2003) Peat bog corpses. In Bauerochse A. and Haßmann H. (Eds): Peatlands: archaeological sites – archives of nature – nature conservation – wise use. Verlag Marie Leidorf, Rahden: 107-114.

Pissart A. (2014) Les « viviers » des Hautes-Fagnes. Traces spectaculaires de la dernière glaciation. Haute Ardenne ASBL: 57 p.

Platteeuw M. and Kotowski W. (2006) Floodplain restoration contributes to nature conservation. In Blackwell M. S. A. and Maltby E. (Eds.): Ecoflood Guidelines: how to use floodplains in flood risk prevention. European Commission, Bruxelles: 60-70.

Poncin P. et Loneux M. (2012) État des lieux du suivi tétras lyre. Hautes Fagnes 288 : 26.

Ponton E. et Leclercq L. (2007) Influence des pluies azotées sur les milieux de tourbières, de bas-marais et de landes tourbeuses : effets à court et moyen termes sur les algues (desmidiacées, diatomées) et à moyen terme sur les bryophytes et les phanérogames acidophiles et acidobiontes. Convention 142 MRW (DGRNE)-ULg (Station Scientifique des Hautes-Fagnes), Laboratoire des milieux humides et des eaux, Robertville : 80 p. + annexes.

Porteret J. (2010) Capacité de stockage de l'eau et rôle des tourbières basses minérotrophes dans le fonctionnement des têtes de bassin versant. Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière Vosges du Nord-Pfälzerwald 15: 207-229.

Price J., Evans C., Evans, M, Allott T. and Shuttleworth E. (2016). Peatland restoration and hydrology. In Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (Eds): Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge: 77-94.

Pyatt D., John A., Anderson A. and White I. (1992) The drying of blanket peatland by 20-year-old conifer plantations at Rumster Forest, Caithness. In Bragg O., Hulme P., Ingram H. and Robertson R. (Eds): Peatland ecosystems and man: an impact assessment. University of Dundee, Dundee: 153-158.

Quinty F. and Rochefort L. (2003) Peatland restoration guide, 2d edition. Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Ressources and Energy, Québec: 106 p.

Renson V., Fagel N., Nekrassoff S., Streel M. et De Vleeschouwer F. (2005) Pourquoi une route pavée (*Via Mansuerisca*?) au travers des tourbières? Enfin une hypothèse ... qui tient la route. Hautes Fagnes 258: 22-24.

Riordan B., Verbyla D. and McGuire A. D. (2006) Shrinking ponds in subartic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images. Journal of Geophysical Research 111.

Saintenoy-Simon J. avec la collaboration de Barbier Y., Delescaille L.M., Dufrêne M., Gathoye J.-L. et Verté P. (2006) Première liste des espèces rares, menacées et protégées de la Région Wallonne (Ptéridophytes et Spermatophytes). Version 1 (7/3/2006). Téléchargeable depuis : http://biodiversire.wallonie.be/fr/liste-des-taxons.html?IDC=3076&IDD=1755

Schlumprecht H., Bittner T., Gellesch E., Gohlke A., Jaeschke A. and Nadler S. (2011) Climate change and Natura 2000. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 78 p.

Schumacker R. (1971) L'incendie du 27 octobre 1971 dans la Réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes. Historique, bilan et leçons (1ère partie). Hautes Fagnes 124 : 203-213.

Schumacker R. (1972) L'incendie du 27 octobre 1971 dans la Réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes. Historique, bilan et leçons (2ème partie). Hautes Fagnes 125 : 14-40.

Schumacker R. (1980) Groupements du Caricetum limosae (Paul 1910) Osv. 1923, du Rhynchosporetum albae Koch 1926, du Caricetum lasiocarpae Koch 1926 et à Carex rostrata-Sphagnum apiculatum en haute Ardenne nord-orientale. In Géhu J.-M. (éd.): Colloques Phytosociologiques VII. La végétation des sols tourbeux: 461-475.



Schumacker R. et De Zuttere P. (1980) Aperçu de la végétation de la tourbière du Misten (Eupen, province de Liège, Belgique). Réflexions sur les associations des Oxycoc-co-Sphagnetea en Belgique. In Géhu J.-M. (éd.): Colloques Phytosociologiques VII. La végétation des sols tourbeux: 437-459.

Schumacker R., Fraiture A., Loneux M. et Marchal A. (1989) Conséquences des fumures sur l'écosystème forestier et la qualité des eaux. Environnement, numéro spécial: 28 p.

Schumacker R. et Noirfalise A. (1979) Les Hautes-Fagnes. 3e édition corrigée. Liège, Parc naturel Hautes-Fagnes/Eifel et Fédération du tourisme de la province de Liège : 48 p. + 1 carte hors texte.

Schumacker R. et Streel M. (1994) Les Hautes-Fagnes, une nature hostile. In Quenon J., Schumacker R. et Streel M. (Eds): Les hommes et les Hautes-Fagnes. Université de Liège, Haute Ardenne a.s.b.l., Liège: 10-21.

Schumacker R., Wastiaux C. et Hindryckx M.-N. (1996) L'avenir des tourbières hautes à sphaignes en Europe tempérée, à l'exemple des Hautes-Fagnes belges. Colloques Phytosociologiques XXIV. Fitodinamica. I differenti aspetti della dinamica vegetale: 273-284.

Schumann M. and Joosten H. (2008) Global peatland restoration manual. Institute of Botany and Landscape Ecology, Greifswald University, Germany: 64 p.

Schwickerath M. (1937) Die nacheiszeitliche Waldgeschichte des Hohen Venns und ihre Beziehung zur heutigen Vennvegetation. Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge 184: 7-31

Schwickerath M. (1944) Das Hohe Venn und seine Randgebiete. Pflanzensoziologie 6: 278 p.

Shotbolt L., Anderson A. and Townend J. (1998) Changes to blanket bog adjoining forest plots at Bad a' Cheo, Rumster Forest, Caithness. Forestry 71: 311-324.

Silvola J. (1986) Carbon dioxide dynamics in mires reclaimed for forestry in eastern Finland. Annales Botanica Fennici 23: 59-67.

Standaert S. et De Claevel B. (2011) Étude de l'impact socio-économique de la conservation et de la restauration de la nature dans les Hautes-Fagnes. RCD Environment : 86 p.

Stocks B., Fromm M., Goldammer J., Carr R. and Sukhinin A. (2011) Extreme forest fire activity in Western Russia in 2010: fire danger conditions, fire behavior and smoke transport. Geophysical Research Abstracts, 13.

Streel M. (1959) Étude phytosociologique de la fagne wallonne et de la fagne de Cléfaye. Structure et évolution des associations végétales à sphaignes dans les Hautes-Fagnes de Belgique. Mémoires de l'Académie royale de Belgique, Classe des Sciences 31 (1): 109 p.

Streel M., Beghin J., Gerrienne P., Hindryckx M.-N., Luthers C., Court-Picon M., Frankard P., Allan M. and Fagel N. (2014) Late Subatlantic history of the ombrotrophic Misten Bog (Eastern Belgium) based on high resolution pollen, testate amoebae and macrofossil analysis. Geologica Belgica 17 (2): 148-160.

Streel M., Hindryckx M.-N. et Gerrienne P. (2019) Quoi de neuf dans les tourbières des Hautes-Fagnes ? (1ère partie). Hautes Fagnes 313 : 13-15.

Streel M., Paillet M., J. Beghin J., Leclef T., Lamentowicz M., Kamran K., Court-Picon M., Allan M., Fagel N. and P. Gerrienne (2018) Reconstructing Early Atlantic to Early Subatlantic peat-forming conditions of the ombrotrophic Misten Bog (eastern Belgium) on the basis of high-resolution analyses of pollen, testate amoebae and geochemistry. Geologica Belgica 21 (3-4): 129-142.

Streel M., Renson V., Fagel N., Nekrassoff S. et De Vleeschouwer F. (2005) La route pavée au travers des tourbières de la fagne des Wez (*Via Mansuerisca*?) est-elle romaine ou mérovingienne? La vérité est-elle ... à mi-chemin? Hautes Fagnes 259: 20-25.

Tanghe M. et Herremans J.-P. (1990) La gestion des marais de la Hautes-Semois. Région Wallonne. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement. Conservation de la Nature. Travaux n° 15 (1): 93-112.

Tanneberger F., Tegetmeyer C., Busse S., Barthelmes A., Shumka S., Moles Mariné A., Jenderedjian K., Steiner G.M., Essl F., Etzold J., Mendes C., Kozulin A., Frankard P., Milanović D., Ganeva A., Apostolova L., Alegro A., Delipetrou P., Navrátilová J., Risager M., Leivits A., Fosaa A.M., Tuominen S., Muller F., Bakuradze T., Sommer M., Christanis K., Szurdoki E., Oskarsson H., Brink S.H., Connolly J., Bragazza L., Martinelli G., Aleksāns O., Priede A., Sungaila D., Melovski L., Belous T., Saveljić D., de Vries F., Moen A., Dembek W., Mateus J., Hanganu J., Sirin A., Markina A., Napreenko M., Lazarević P., Šefferová Stanová V., Skoberne P., Heras Pérez P., Pontevedra-Pombal X., Lonnstad J., Küchler M., Wüst-Galley C., Kirca S., Mykytiuk O., Lindsay R. and Joosten H. (2017) The peatland map of Europe. Mires and Peat 19 (22): 1-17.

Tomassen H. B. M., Smolders A. J. P., Lamers L. P. M. and Roelofs J. G. M. (2003) Stimulated growth of *Betula pubescens* and *Molinia caerulea* on ombrotrophic bogs: role of high levels of atmospheric nitrogen deposition. Journal of Ecology 91: 357-370.



Tombal P. et Schumacker R. (1983) Pour une politique de protection des tourbières. 2. Essai d'approche scientifique des tourbières. In : Inventaire des tourbières de France. Institut européen d'Écologie (éd.). Région lorraine, Metz: 1-14.

Trullemans D. (1971) Etude palynologique de la tourbière de Ste Gertrude en Ardenne belge. Mémoire du Laboratoire de Palynologie et Phytosociologie, Université de Louvain: 90 p.

Trumper K., Bertzky M., Dickson B., van der Heijden G., Jenkins M. and Manning P. (2009) The natural fix? The role of ecosystems in climate mitigation. A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme, UNEPWCMC, Cambridge, UK: 65 p.

Vanden Berghen C. (1946) Notes de botanique brabançonne: II. Les marécages alcalins. Les Naturalistes Belges 27 (1-2): 1-8.

Vanden Berghen C. (1952) Contribution à l'étude des bas-marais de Belgique. Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique 22 : 1-64.

Vergne V. (1998) L'archéologie des tourbières. La Garance Voyageuse 41 : 50-51.

Vompersky S. and Sirin A. (1997) Hydrology of drained forested wetlands. In: Trettin C., Jurgensen M., Grigal D., Gale M. and Jeglum J. (Eds). Lewis Publishers, Boca Raton: 189-211.

Wastiaux C. (1990) Végétation et régime hydrologique d'une tourbière haute drainée : dégradation et régénération (Deux-Séries, Hautes-Fagnes, Belgique). Université de Liège, Mémoire de Licence en Sciences géographiques : 83 p. + annexes.

Wastiaux C. (2000) Facteurs hydrologiques de la dégradation des tourbières hautes à sphaignes des Hautes-Fagnes. Université de Liège, Thèse de Doctorat en Sciences : 223 p.

Wastiaux C. (2008) Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement ? Bulletin de la Société Géographique de Liège 50 : 57-66.

Waylen K. A., Van De Noort R. and Blackstock K. (2016) Peatlands and cultural ecosystem services. In Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H. and Stoneman R. (Eds): Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge: 114-128.

Wheeler B.D. and Shaw S.C. (1995) Restoration of damaged peatlands. Department of the Environnement, London: 211 p.

Wheeler B. D., Shaw S. C., Fojt W. J. and Robertson A. (eds.) (1995) Restoration of temperate wetlands. Wiley, Chichester: 562 p.

Wibail L., Goffart P., Smits Q., Delescaille L.-M., Couvreur J.-M., Keulen C., Delmarche C., Gathoye J.-L., Manet B. et Derochette L. (2014) Évaluation de l'état de conservation des habitats et espèces Natura2000 en Wallonie. Résultats du Rapportage Article 17 au tirte de la Directive 92/43/CEE pour la période 2007-2012. DGOARNE, Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole - Direction de la Nature et de l'Eau, Gembloux: 277 p.