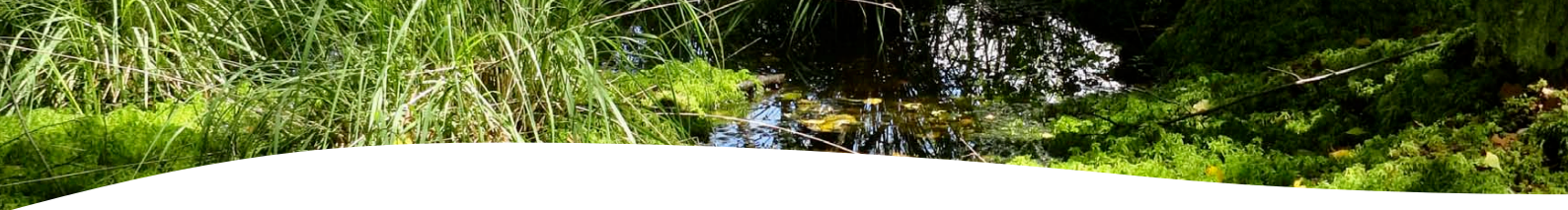


Panorama des services écosystémiques des tourbières en France

Quels enjeux pour la préservation
et la restauration de ces milieux naturels ?





Avant - propos

La Fédération des Conservatoires d'espaces naturels rassemble, en 2016, 29 Conservatoires d'espaces naturels régionaux ou départementaux qui gèrent près de 3000 sites naturels couvrant plus de 154 000 ha. La Fédération assure l'animation du réseau et coordonne des programmes d'action nationaux ou territoriaux.

Parmi ceux-ci, le Pôle-relais Tourbières a été créé en 2002 dans le cadre du Plan National d'Action pour les Zones Humides et après le succès d'un programme LIFE consacré aux tourbières de France. Ce Pôle-relais, comme les 4 autres (dédiés aux différents types de zones humides), a pour vocation de rassembler et diffuser l'information relative aux milieux qui le concernent, ainsi que de favoriser leur protection et leur bonne gestion ou restauration.

Cet ouvrage sur les services écosystémiques des tourbières s'inscrit pleinement dans ces missions. Il est en effet destiné à apporter des arguments supplémentaires à tous les défenseurs de la biodiversité pour la protection des sites encore peu dégradés, voire pour la restauration de ceux en mauvais état.

Se voulant accessible à un public non spécialiste de ces questions, ce document tente de fournir des explications et des exemples simplifiés, mais basés sur des études scientifiques sérieuses nécessaires à sa crédibilité.



Fédération des conservatoires d'espaces naturels
Pôle-relais Tourbières
Maison de l'environnement de Franche-Comté
7, rue Voirin
25 000 Besançon
Tél : 03.81.81.78.64
contact@pole-tourbieres.org

Coordination et rédaction : Grégory BERNARD, chargé de mission scientifique et technique

Directeur de la Publication : Pascal VAUTIER, Président de la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels

Citation de l'ouvrage :

- BERNARD G., 2016. *Panorama des services écosystémiques des tourbières en France. Quels enjeux pour la préservation et la restauration de ces milieux naturels ?* Pôle-relais Tourbières – Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 47p.

Mise en page : Agence Bleu de Mars - Belfort - 06 45 40 42 28

Photographie de couverture : Lac des Rouges-Truites [39] (© F. Muller)

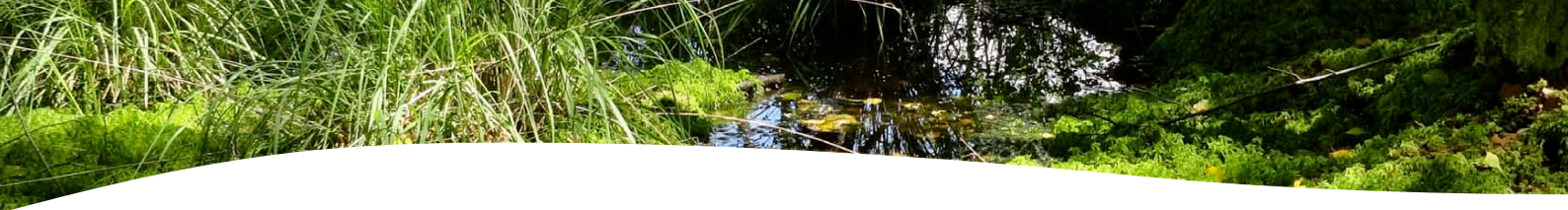
Remerciements : Hervé Cubizolle, Pierre Goubet, Arnaud Duranel, Daniel Gilbert, Jérôme Porteret, Francis Muller, Fabrice Darinot.

Pages

6	I. Définition des services écosystémiques	➔
7	II. Classification des services écosystémiques	➔
10	III. Définition et classification des tourbières	➔
11	IV. Impact des dégradations sur les services écosystémiques	➔
13	V. Possibilités de restauration du fonctionnement des tourbières et de leurs services écosystémiques	➔
14	VI. Bibliographie	➔
15	VII. Les fiches "services écosystémiques"	➔



PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉS



Introduction

C'est au cours de la décennie 1995 – 2005 que la notion de « services rendus par les écosystèmes » s'est peu à peu développée. Face au constat de perte continue de la biodiversité, suggérant une carence des politiques de protection de l'environnement, cette nouvelle approche a connu un essor important afin de convaincre, voire de contraindre, les « décideurs-aménageurs » de protéger les zones favorables à la biodiversité.

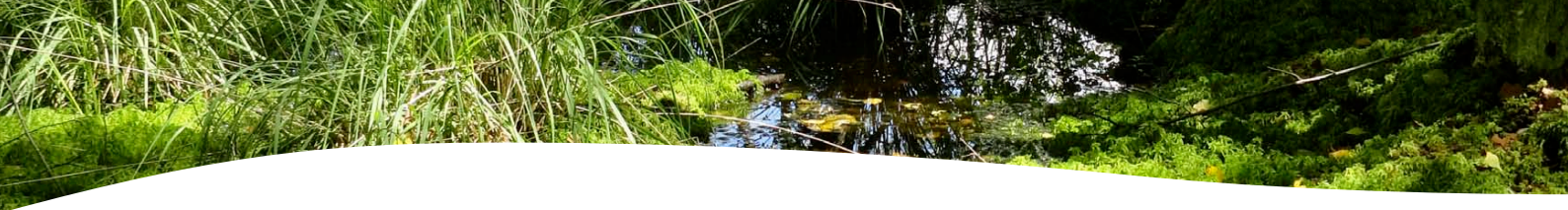
En 1997, paraît le premier article d'importance internationale sur l'évaluation économique des services rendus par les écosystèmes, publié dans la revue *Nature* (Costanza et *al.*, 1997). Une des autres études phares dans le domaine est celle l'*Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire* (Millenium Ecosystem Assessment - MEA), commandée par l'ONU. En 2005, cette évaluation mondiale de l'état de l'environnement présente ses résultats en termes de bénéfices que l'Homme tire des écosystèmes de façon directe ou indirecte.

La Direction de l'eau et de la biodiversité du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat (MEEDDM) a lancé en septembre 2008 une démarche d'évaluation nationale de l'état des écosystèmes en France et des services qu'ils rendent, en s'appuyant sur le cadre conceptuel du MEA. L'objectif de l'étude était de proposer une méthode de mesure de la contribution des écosystèmes au bien-être humain, sous la forme de services rendus (MEEDDM, 2009)



Concernant les zones humides, la question des fonctions et donc des services rendus avait déjà été abordée dans le cadre du Programme Nationale de Recherche sur les Zones Humides (1997 – 2001). Elle reste d'actualité comme le prévoit l'action N°8 de l'axe 2 du plan national d'action en faveur des milieux humides paru en 2014.

Ce document s'intéresse aux services écosystémiques rendus par les tourbières. Il tente de dresser un état des lieux des connaissances et des études réalisées sur les sites tourbeux français afin d'offrir aux gestionnaires et à tous ceux qui promeuvent une protection des tourbières des exemples transposables à leurs contextes.



I. DÉFINITION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Le concept de service écosystémique a fait l'objet de nombreuses polémiques à ses débuts. L'absence de définition consensuelle, notamment en ce qui concerne l'acception plus ou moins utilitariste qui pouvait être mise derrière ce terme, a semble-t-il été à l'origine de cette controverse (Levrel H., 2007). L'évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire a donné une base sémantique commune en définissant les services écosystémiques comme étant les « **biens et services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être** » (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005)

Il s'agit donc bien d'une vision anthropocentrée de la nature mais qui n'implique pas une logique strictement utilitariste. En effet, la notion de « bien-être humain » utilisée dans le MEA se base sur les notions de développement humain et de capabilités* qui se démarquent nettement de l'approche de la Banque Mondiale pour laquelle le « bien-être humain » est proportionnel au niveau de revenu des populations (Levrel H., 2007).

Le concept de services écosystémiques se veut être une approche simple n'abordant pas les fonctionnements complexes et interactifs des milieux naturels afin que cette notion soit facilement abordable et comprise. Elle met en avant l'importance des systèmes écologiques et donc de la biodiversité pour les sociétés, en faisant le lien entre ces deux entités. L'utilisation du concept des services écosystémiques permet de soutenir les efforts de conservation de la biodiversité en démontrant le rôle majeur joué par les écosystèmes pour le bien-être humain (Campagne et al., 2016).

Toujours dans un objectif d'argumentation pour la protection et l'utilisation rationnelle de ces milieux, s'est également développée, avec la notion de service écosystémique, celle de la valeur marchande de ses services. L'intégration des valeurs économiques de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes

dans les processus de prise de décision est notamment mise en avant dans le rapport « The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) » (Sukhdev et al., 2014).

Cette approche économique ne fait pas l'unanimité (certains estimant qu'elle pourrait ouvrir la porte à des dérives marchandes ou financières autour de la biodiversité), mais comme l'écrivait le bureau de la convention de Ramsar en 1997 « *Si ce nouveau paradigme porte en lui ses propres limites et ses propres risques, il serait utopique de l'ignorer et de fonder nos efforts en faveur de la conservation et de l'utilisation rationnelle des zones humides sur des valeurs entièrement différentes. Il faut donc donner une valeur quantitative aux biens et services fournis par les zones humides si l'on veut que la conservation l'emporte sur toutes les options possibles d'utilisation des terres ou de l'eau qui alimente les zones humides.* » (Barbier et al., 1997)

Dans ce document, la question de l'évaluation économique pourra être abordée sous forme d'exemples tirés d'études de cas, si ces données sont disponibles.

Finalement, le concept de services écosystémiques peut se résumer sous la forme d'un processus en cascade décrit page suivante montrant le lien entre structures, fonctions, services écosystémiques et bénéfices (Figure 1).

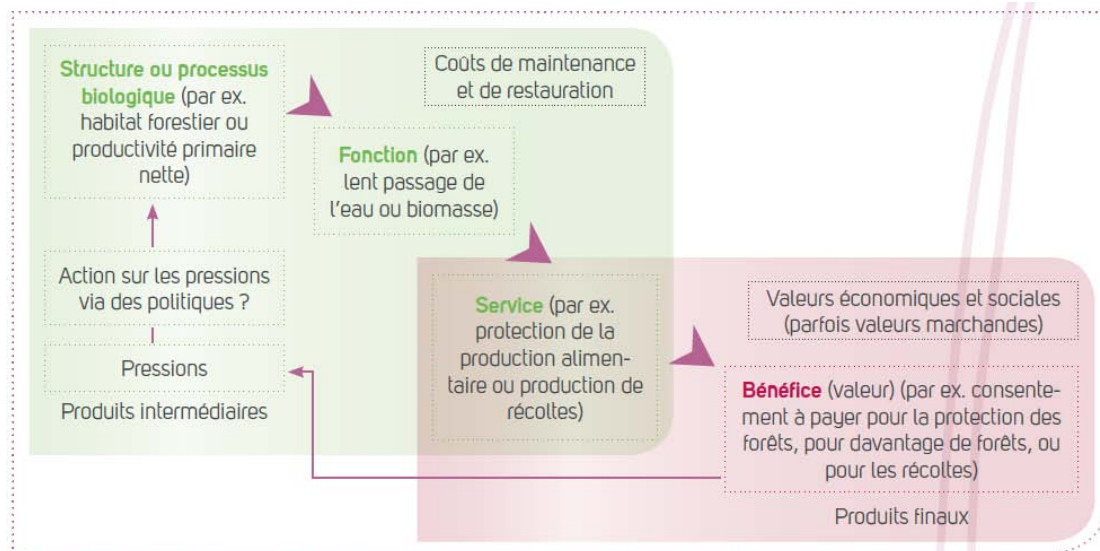


Figure 1 - Liens existants entre structures, processus et fonctions qui permettent la production de services écosystémiques et de bénéfices pour l'Homme (© UICN France, 2012)

II. CLASSIFICATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les services écosystémiques sont classiquement divisés en 4 grandes catégories (Figure 2) : services de support, services de régulation, services d'approvisionnement (ou de prélèvement) et services culturels.

- Services de support : ils sont définis par le MEA comme étant les services nécessaires pour la production de l'ensemble des autres services écosystémiques. Ces services sont issus des fonctions basiques des écosystèmes telles que la pédogénèse*, les cycles des nutriments, la pollinisation, la photosynthèse, etc.

- Services d'approvisionnement : ils sont obtenus grâce aux productions des écosystèmes telles que le bois, les fibres, certains combustibles, l'eau douce, la nourriture, etc.

- Services de régulation : il s'agit des services issus de la régulation des processus naturels, incluant la régulation du climat, la régulation de la qualité de l'air, l'épuration des eaux, la régulation des régimes hydrologiques, etc.

- Services culturels et sociaux : ils correspondent aux services non matériels obtenus des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, l'inspiration artistique ou les loisirs, le tourisme, etc.

Une évaluation économique de certains services d'approvisionnement rendus par 2600ha de tourbières dans le Tarn (Agout) estime par que la valeur liée à l'approvisionnement en eau potable (eau en bouteille) s'élève à 6000€/ha/an et génère 1 emploi pour 100 ha (EcoWhat, Actéon, 2009)

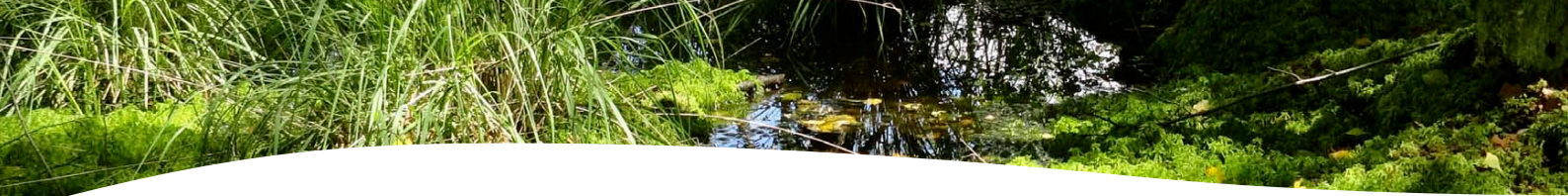
La plupart des zones humides du bassin du Mississippi ont été détruites par les détournements des cours d'eau et les drainages, ce qui a entraîné une perte de leur capacité à absorber les larges volumes d'eau liés aux inondations. Les dommages résultant des crues de 1993 sont estimés à des milliards de dollars. Tirant les leçons de ces catastrophes, une association de protection du bassin versant de la rivière Charles (Canada) a fait l'acquisition de 3400 ha de milieux humides pour maintenir une zone tampon naturelle et contrôler les inondations à un prix de 10 millions de dollars. L'alternative - construire barrages et digues - aurait coûté 100 millions de dollars (UICN France, 2012).



Photo 1 - Illustration de services non matériels: visite pédagogique de la tourbière grâce aux aménagements touristiques et utilisation du plan d'eau pour la pratique du kitesurf, Les Rousses [39] (© G. Bernard)



Figure 2 - Classification des différents types de services écosystémiques d'après le MEA (© UICN France, 2012)

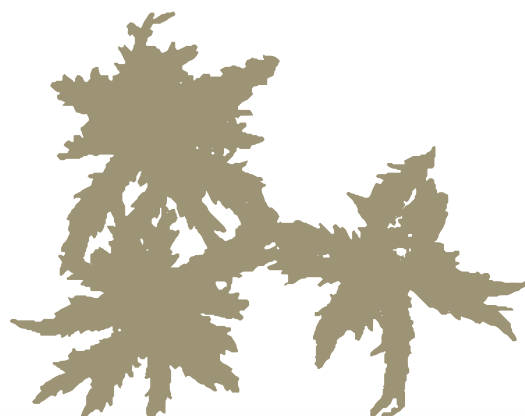


Au sein de ces catégories, le MEA France a défini 43 services écosystémiques (cf. Figure 3)

14 services d'approvisionnement (production de biens)	15 services de régulation (production de services)	13 services à caractère social (production de services)
Support de cultures alimentaires	Prévention des crues et des inondations	Qualité du paysage (esthétique)
Support de cultures énergétiques	Atténuation de l'effet des sécheresses	Qualité de l'environnement olfactif
Support pour l'aquaculture	Prévention des désordres géomorphologiques des cours d'eau	Qualité de l'environnement sonore
Production d'animaux pour la pêche professionnelle	Purification de l'eau	Valeur intrinsèque et patrimoniale de la biodiversité (espèces protégées, etc.)
Production de végétaux et de champignons pour la cueillette	Régulation de l'érosion et des coulées de boues	Communautés humaines spécifiques
Éléments minéraux pour l'extraction (granulats)	Limitation des avalanches	Source d'inspiration artistique
Support pour la production de fibres et autres matériaux	Maintien de la qualité des sols	Production d'animaux pour la chasse
Support pour la production de bois	Recyclage de la matière organique	Production d'animaux pour la pêche
Fourniture d'eau à usage domestique	Régulation de la dynamique des pathogènes et parasites	Support de sports de nature (eau douce, randonnée, aérien)
Production eau embouteillée (minérale et de source)	Régulation de la dynamique des espèces nuisibles et envahissantes	Support pour le tourisme et les loisirs de nature
Fourniture d'eau à usage agricole	Maintien de la pollinisation	Support pour le thermalisme et la thalassothérapie
Fourniture d'eau à usage industriel (dont la production d'énergie)	Purification et maintien de la qualité de l'air	Support de travaux de recherche
Réservoir du vivant	Régulation du climat local	Support pour le développement des savoirs éducatifs
Transport fluvial maritime	Régulation du climat planétaire	
	Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, maintien réciproque	

Figure 3 - Liste des 43 services écosystémiques classés par catégories selon le MEA France (© CREDOC et al., 2009)

Sans hiérarchiser *a priori* l'importance des tourbières pour l'un ou l'autre de ces 43 items, la liste des services écosystémiques qui sera passé en revue dans ce document s'inspirera notamment d'études spécialement dédiées aux tourbières (Bonn et al., 2010 ; Actéon et al., 2012 ; AEAG, 2009), elles-mêmes adaptées à partir du MEA.



III. DÉFINITION ET CLASSIFICATION DES TOURBIÈRES

Définition utilisée pour ce document

Une tourbière peut être définie comme un milieu humide possédant une végétation productrice et accumulatrice de tourbe (Manneville et *al.*, 1999). Cette définition inclut donc les tourbières hautes (ou encore bombées ou hauts-marais) et les tourbières basses (ou plates ou bas-marais). Toutefois, ces écosystèmes, même s'ils possèdent cette caractéristique commune, diffèrent notamment par leur fonctionnement hydrologique. Ces différences sont à l'origine des classifications présentées ci-dessous et auxquelles il pourra être fait référence dans les fiches « services écosystémiques ».

Notion de classification des tourbières

La caractéristique commune à toutes les tourbières est la présence quasi permanente d'eau (généralement peu mobile) dans l'*histosol**. Cette eau appauvrie en oxygène limite l'action des micro-organismes et ralentit donc la décomposition des restes végétaux. C'est ainsi que se forme la tourbe, sur des pas de temps de plusieurs siècles à plusieurs millénaires, dans un environnement toujours humide.

L'origine de cette eau (qui permet la création et le développement des premiers stades) sert à classer plusieurs types de tourbières. On distingue ainsi classiquement les tourbières limnogènes, soligènes, fluviogènes et ombrogènes (Figure 4)

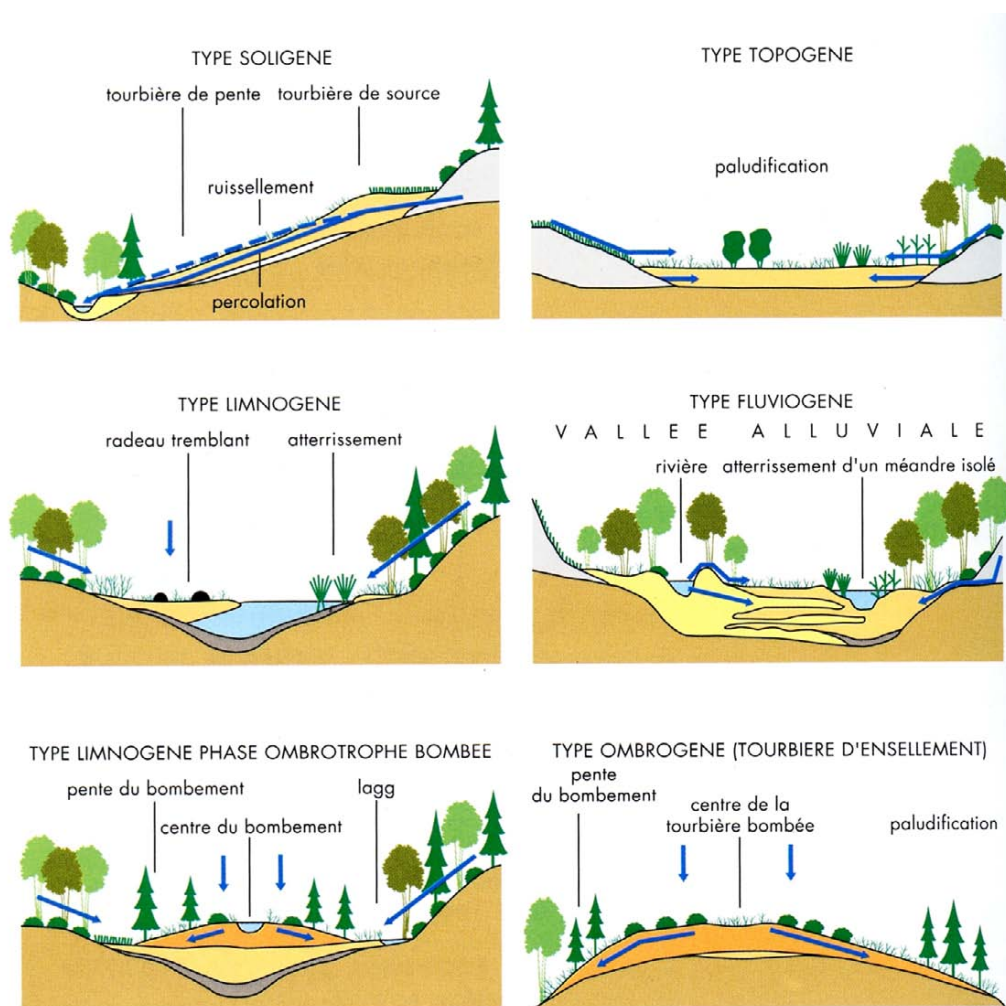
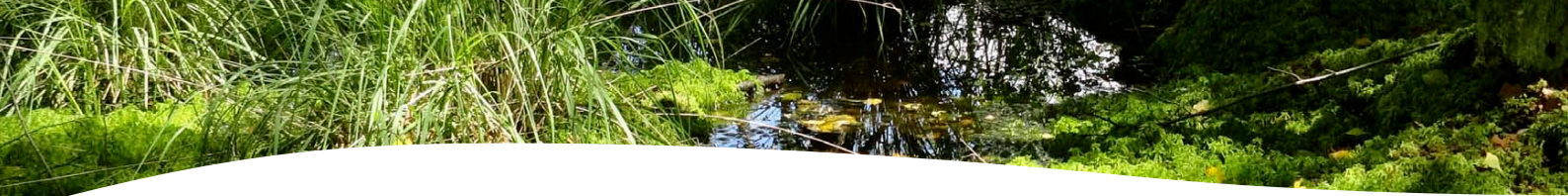


Figure 4 - Schémas du fonctionnement hydrologique des principaux types des tourbières (d'après G.M. Steiner). Les flèches indiquent les mouvements latéraux ou verticaux de l'eau. (© Manneville et *al.*, 1999)



Cette typologie peut être utile lorsque l'on s'intéresse aux services écosystémiques car elle implique des fonctionnements différents qui sont à l'origine des services rendus par ces milieux.

On peut par exemple se demander si les tourbières fluviogènes participent plus activement à la protection contre les inondations que les tourbières limnogènes. Ou encore si les tourbières soligènes sont plus importantes pour l'amélioration de la qualité de l'eau, etc.

Il existe une autre typologie qui distingue les tourbières ombrotrophes* des tourbières minérotrophes*. Les premières sont exclusivement alimentées en eau par les apports météoriques (pluie, neige, brouillard).

Les secondes sont alimentées par des eaux souterraines ou de surface, c'est-à-dire des eaux de ruissellement, de nappe, de cours d'eau, etc, souvent plus chargées en éléments minéraux.

Là encore, la connexion hydrologique entre la tourbière et les milieux environnants peut être importante en termes de services écosystémiques. Ces questions seront abordées dans les fiches, sous réserve d'informations assez précises.

IV. IMPACT DES DÉGRADATIONS SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Progressivement, au début et au milieu du XX^e siècle, les marais, tourbières et landes ont perdu leur utilisation extensive traditionnelle et ont été délaissés. Ceci a abouti à leur abandon total après la dernière guerre mondiale ou à leur destruction pure et simple, sous l'action du drainage et de l'intensification agricole ou des grands aménagements. De façon concomitante, les techniques d'extraction ont également évolué et ont fortement augmenté la vitesse de disparition des tourbières. (Manneville et *al.*, 2006). On estime ainsi qu'environ la moitié des tourbières de France ont disparu entre 1945 et les années 2000.

Entre 2000 et 2010, la situation ne s'améliore guère puisque l'enquête menée par le Ministère en charge de l'écologie dans le cadre du second plan national d'action en faveur des zones humides révèle que les tourbières font partie des zones humides (avec les pannes dunaires, les prairies et landes humides et les mangroves) qui connaissent l'évolution la plus défavorable aussi bien en termes de surfaces que d'état de conservation (CGDD-SOeS, 2012).

Les dégradations les plus couramment observées sont dues aux plantations, à l'extraction de tourbe, à la rectification de cours d'eau, au drainage (qui accompagne souvent les autres opérations) ou encore à l'abandon de pratiques agricoles extensives traditionnelles.

Il n'est pas utile ici de détailler l'effet de telle ou telle dégradation sur l'un ou l'autre des services écosystémiques (cela fera l'objet d'un paragraphe spécifique dans les fiches), mais il faut bien comprendre que, d'une façon générale, c'est le fonctionnement hydrologique des tourbières qui est à la base des services qu'elles remplissent. En conséquence, les modifications du fonctionnement hydrologique engendrées par les perturbations ne peuvent être sans conséquences sur les fonctions et donc sur les services écosystémiques.

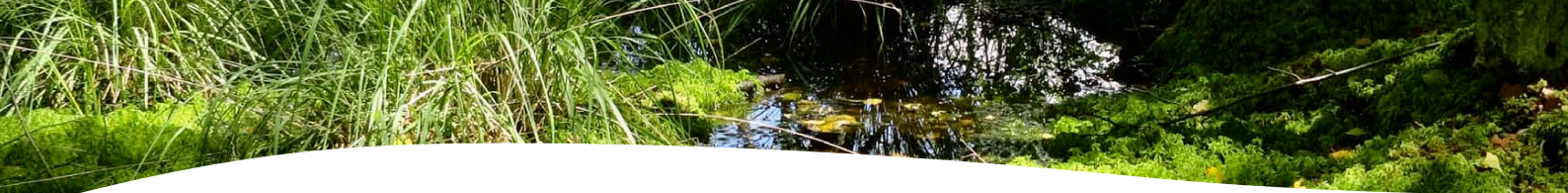


Photo 2 - Le drainage a été une pratique très courante en France, de nombreux sites ont subi ce type de dégradation. Ici le marais de Gû [25] (© G. Magnon)

D'autre part, il est important de souligner que certains services écosystémiques, ou plutôt leur utilisation, ont été des causes importantes de disparition et de dégradation des tourbières. L'exploitation de la tourbe, citée dans la liste ci-dessus, en est un bon exemple. Ce service d'approvisionnement, utilisé de façon industrielle pour la production de terreaux horticoles, entraîne des destructions bien souvent irréversibles.

La régulation de la qualité de l'eau est un autre exemple de service dont l'utilisation peut nuire à l'écosystème. S'il est vrai que les tourbières ont une certaine capacité d'épuration de l'eau, notamment vis-à-vis des nitrates, il n'est en aucun cas question de transformer ces milieux en stations d'épuration !

Il donc fondamental de ne pas confondre le fait de bénéficier « naturellement » d'un service et le fait d'exploiter ce service, souvent de façon délétère pour l'écosystème et donc au détriment d'autres services.



Photo 3 - L'extraction de tourbe pour différents usages a profondément modifié certains sites et leur fonctionnement (© G. Bernard)

V. POSSIBILITÉS DE RESTAURATION DU FONCTIONNEMENT DES TOURBIÈRES ET DE LEURS SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Au cours du dernier siècle, de nombreuses opérations de restauration d'écosystèmes dégradés (ou la création *ex nihilo* de nouveaux écosystèmes) ont été tentées afin de retrouver les processus physiques, chimiques, biologiques et les entités perdues à cause des destructions et dégradations. Toutefois, qu'il s'agisse de tourbières, de zones humides ou d'autres types d'écosystèmes, l'efficacité des actions de restauration dans l'amélioration de la biodiversité et des services écosystémiques n'a pas été globalement évaluée (Benayas et al., 2009 ; Moreno-Mateos et al., 2012).

La question de l'efficacité des travaux de restauration (sur une large variété d'écosystèmes) a été évaluée dans une étude de Benayas et al. en 2009. L'analyse de 89 cas montre que la restauration écologique permet de reconstituer une partie de la biodiversité et des services écosystémiques, mais souligne qu'on ne retrouve pas les mêmes niveaux que dans un écosystème intact.

S'agissant plus spécifiquement des zones humides, Moreno-Mateos et al., (2012) ont réalisé une analyse de l'efficacité des travaux de génie écologique pour 401 zones humides restaurées et 220 créées. Les résultats, principalement basés sur l'analyse de la structure biologique (communautés végétales) et du fonctionnement biogéochimique (stockage du carbone dans les sols en particulier), montrent que ces deux paramètres demeurent respectivement 26% et 23% en dessous des valeurs observées pour les sites de référence.

Ces moyennes masquent toutefois une certaine hétérogénéité, l'efficacité des travaux de restauration variant en effet en fonction de nombreux paramètres. Ainsi, la nature et l'intensité de la perturbation, la surface restaurée et le temps, vont en partie conditionner l'atteinte des objectifs.



Photo 4 - Travaux de restauration du fonctionnement hydrologique de la tourbière de Frasne (25) dans le cadre du programme Life Tourbières du Jura (© F. Muller)

De plus, la destruction ou la dégradation des tourbières peut entraîner des pertes irréversibles de certains services écosystémiques. Il s'agit notamment des archives paléoécologiques conservées dans la tourbe, qui ne pourront être reconstituées après destruction (par extraction de tourbe notamment). De la même façon, les énormes stocks de carbone organique contenus dans la tourbe, une fois relargués dans l'atmosphère sous forme de CO₂, ne peuvent être reconstitués. Même si les travaux de restauration permettent sous certaines configurations de retrouver une fonction de puits de carbone, la reconstitution des stocks prendrait plusieurs milliers d'années.

À la lumière de ces résultats, il convient donc de conclure que la protection des milieux non perturbés doit être une priorité absolue et que les travaux de restauration fonctionnelle, qui permettent une amélioration substantielle en termes de services écosystémiques, ne doivent pas servir d'argument pour justifier de nouvelles destructions.

Les possibilités de restauration d'un service ou d'un bouquet de services écosystémiques seront évoquées dans les fiches correspondantes, en fonction des informations disponibles.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- ACTeon, Ecovia, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2012. *Amélioration des connaissances sur les fonctions et usages des zones humides : évaluation sur des sites tests. Le cas des tourbières du Cézallier*. 72p.

- Barbier, E.B., Acreman, M.C., Knowler, D., 1997. *Évaluation économique des zones humides: guide à l'usage des décideurs et planificateurs*. Bureau de la Convention de Ramsar, Gland.

- Benayas, J.M.R., Newton, A.C., Diaz, A., Bullock, J.M., 2009. *Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis*. Science 325, 1121–1124. doi:10.1126/science.1172460

- Bonn, A., Holden, J., Parnell, M., Worrall, F., Chapman, P., Evans, C.D., Termansen, M., Beharry-Borg, N., Acreman, M.C., Rowe, E., Emmett, B., Tsuchiya, A., 2010. *Ecosystem services of peat - Phase 1*. Defra, 140pp. (CEH Project Number: C03758 T1)

- Campagne, C.S., Tschanz, L., Tatoni, T., 2016. *Outil d'évaluation et de concertation sur les services écosystémiques : la matrice des capacités*. Science eau et territoires, la revue de l'IRSTEA, hors-série N°23. 6 p.

- CGDD-SOeS, 2012. *Résultats de l'enquête nationale à dire d'experts sur les zones humides. État en 2010 et évolution entre 2000 et 2010*. Paris : CGDD-SOeS. 96 p. (collection Études et documents, n 70)

- Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R. de, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Belt, M. van den, 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature 387, 253–260. doi:10.1038/387253a0

- CREDOC, Biotope, Asconit Consultants, 2009. *Étude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France, application du Millennium Ecosystem Assessment à la France*. Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat (MEEDDM). www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Synthese_Rapport.pdf



- EcoWhat, ACTeon, 2009. *Évaluation économique des zones humides – Synthèse*. Agence de l'Eau Adour-Garonne. 10p.

- Fustec, E., 2007. *Conserver les zones humides: Pourquoi ? Comment ?* Quae ; Educagri éditions, Versailles; Dijon.

- Fustec, E., Lefeuvre, J.-C., Barnaud, G., 2000. *Fonctions et valeurs des zones humides*. Dunod, Paris, 426 p.

- Haines-Young, R. and Potschin, M., 2013. *Common international classification of ecosystem services (CICES) : consultation on version, august-december 2012*. 34p.

- Levrel, H., 2007. *Étude de faisabilité pour la réalisation d'un millenium ecosystem assessment en France*. MNHN, 47p.

- Manneville, O., Vergne, V., Villepoux, O., le Groupe d'étude des tourbières, 2006. *Le monde des tourbières et des marais: France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. La Bibliothèque du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Paris, 320p.

- Millennium Ecosystem Assessment (Program) (Ed.), 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.

- Moreno-Mateos, D., Power, M.E., Comín, F.A., Yockteng, R., 2012. *Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems*. PLoS Biol. 10, e1001247. doi:10.1371/journal.pbio.1001247

- Sukhdev, P., Wittmer, H., & Miller, D., 2014. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) : Challenges and Responses, in D. Helm and C. Hepburn (eds), Nature in the Balance: The Economics of Biodiversity*. Oxford : Oxford University Press.

- Union mondiale pour la nature, Comité français, 2012. *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France*. Volume 1 : contexte et enjeux. Comité français de l'UICN, Paris.

**PARTIE 2 :
LES FICHES
« SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES »**

LES FICHES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

VII.1. Services de support

- Fiche 1 : La biodiversité des tourbières

VII.2. Services d’approvisionnement

- Fiche 2 : Les services d’approvisionnement des tourbières

VII.3. Services de régulation

- Fiche 3 : Régulation des régimes hydrologiques -
prévention du risque d’inondation
- Fiche 4 : Régulation des régimes hydrologiques -
soutien des débits d’étéage
- Fiche 5 : Régulation de la qualité de l’eau
- Fiche 6 : Régulation du climat

VII.4. Services culturels et sociaux

- Fiche 7 : Archéologie et paléoécologie



VII.1. SERVICES DE SUPPORT

LA BIODIVERSITÉ DES TOURBIÈRES

Comme présenté en première partie de ce document, les services de support sont définis comme étant les services nécessaires à la production de tous les autres services écosystémiques. Ils ne fournissent pas directement de bénéfices aux populations mais le font à travers la médiation des services secondaires d'approvisionnement, de régulation et culturels.

Bien que la biodiversité en tant que telle ne soit pas considérée par le MEA comme un service écosystémique, la plupart des services fournis par les tourbières dépendent finalement des organismes vivants qui les constituent, certaines espèces peuvent même être directement à l'origine de services d'approvisionnement ou culturels.

La valeur intrinsèque de la biodiversité des tourbières est un argument fort pour leur protection et leur restauration, ce qui est l'objectif premier de ce document. L'approche par les services écosystémiques

ne doit donc pas occulter cette valeur des tourbières, d'autant plus que la biodiversité est une composante de l'écosystème et de ses fonctions qui sont à la base des services rendus.

Rappelons donc que les tourbières ont été identifiées par la Convention de Ramsar comme étant le **type de zone humide le plus important en tant que support de biodiversité** (et pour la régulation des processus naturels) et font donc l'objet d'une attention particulière dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique (CBD) et de la Convention cadre des Nations-Unies pour le changement climatique (CCNUCC) (Bonn A. et *al.*, 2016).

Localement, il peut exister des enjeux forts pour la conservation d'un certain nombre d'espèces animales ou végétales. L'unique station française de Saxifrage œil-de-bouc (*Saxifraga hirculus*) est présente dans une tourbière du domaine jurassien, tout comme la déesse précieuse (*Nehalennia speciosa*) découverte en 2010.



Photo 5 - La Saxifrage œil-de-bouc, espèce extrêmement rare en France (© F. Muller)



Autre exemple plus général, les tourbières de Franche-Comté qui ne représentent que 0,2% de la surface du territoire, concentrent pourtant 19 % des papillons de jour, 20 % des taxons de flore et 58 % des taxons d'odonates présents sur la liste rouge régionale (Moncorgé & Gisbert, 2016). Il existe donc un enjeu de conservation de la biodiversité extrêmement important dans les tourbières.

Malgré cela, les tourbières demeurent le type de zone humide dont l'état de conservation est le plus altéré. À l'échelle du réseau européen Natura 2000, 75% des surfaces d'habitats tourbeux sont dans un état de conservation défavorable (inadéquat et mauvais) (Commission européenne, 2015)

Bibliographie



- Bonn, A., Allott, T., Evans M., Hans, J., Stoneman, R., 2016. *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy, and practice*. Ecological reviews. Cambridge University Press, Cambridge, 493 p.
- Commission européenne, 2015. *Lettre d'information Nature et Biodiversité – L'état de conservation de la nature dans l'EU*. N°38, juin 2015, 16p.
- Moncorgé, S. et Gisbert, M., 2016. *Plan d'action en faveur des tourbières de Franche-Comté 2016-2026, Tome 1 : état des lieux des tourbières francs-comtoises*. Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Conseil régional de Bourgogne – Franche-Comté, 222p.

VII.2. SERVICES D'APPROVISIONNEMENT

LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT DES TOURBIÈRES

Les populations humaines ont entretenu avec les marais et les tourbières des liens plus ou moins étroits en fonction des époques et des secteurs géographiques. Certaines sociétés ont vécu totalement immergées dans les marais, l'économie locale dépendait fortement des activités et produits extraits des marais et tourbières. On peut citer les exemples du Marais poitevin, de la Brière ou du Marais audomarois.

Les premières activités liées aux marais ont été la chasse et la pêche, alors que la cueillette de végétaux comestibles ne s'est jamais vraiment développée faute de plantes réellement utilisables, hormis les éricacées à baies (Manneville et al., 2006).

La chasse au gibier d'eau (Bécassines en particulier) compte parmi les activités traditionnelles encore présentes aujourd'hui.

Le pâturage extensif, ainsi que la fauche estivale manuelle du foin de marais (ou blache) étaient les principales activités agricoles traditionnelles, qui ont peu à peu disparu après les années 1950 avec l'intensification des pratiques et la mécanisation.

Approvisionnement en fibres : l'exploitation de la tourbe

Parmi les biens que peuvent offrir les tourbières, la tourbe est certainement le matériau le plus utilisé. Il existe différents usages plus ou moins répandus : la balnéothérapie (bains de tourbe répandus en Allemagne par exemple), l'utilisation pour la biofiltration (pour contrôler les odeurs provenant des bâtiments d'élevage ou pour filtrer les effluents de fosses septiques par exemple) ou encore l'utilisation en tant qu'absorbant biologique.

Mais la tourbe extraite est majoritairement utilisée à des fins horticoles et énergétiques pour alimenter des centrales thermiques.

L'Irlande, la Russie et la Finlande comptent parmi les plus grands utilisateurs de tourbe récoltée à des fins énergétiques (Campbell-Renaud E., 2014)

Cette utilisation n'existe plus en France mais a été largement répandue dans le passé.

Dans un premier temps, l'extraction se faisait de façon manuelle, ce qui ne signifie pas qu'elle était sans impact sur le milieu, la photo 6 illustre bien l'intensité avec laquelle les tourbières pouvaient être exploitées à l'époque.



Photo 6 - Exploitation traditionnelle de la tourbe dans une tourbière du Jura (© Collection personnelle de Michel Renaud)

Avec le développement de la mécanisation, l'exploitation de la tourbe s'est peu à peu modernisée, engendrant une dégradation toujours plus importante et plus rapide des tourbières.

Fort heureusement, l'extraction de tourbe est désormais marginale en France, limitant ainsi la destruction et la dégradation des sites. En effet, la préservation des archives et, plus généralement, de la valeur de l'héritage naturel ainsi que de la masse de carbone séquestrée dans les tourbières, demeure incompatible avec toute forme d'exploitation (Chapman et *al.*, 2003).

Toutefois, bien que l'extraction n'ait plus lieu aujourd'hui, les sites anciennement exploités conservent les stigmates de ces activités et une nouvelle action de l'Homme semble nécessaire pour remédier à l'état dégradé dans lequel sont laissées les tourbières après exploitation.

En effet, « *la régénération spontanée est l'exception plutôt que la règle. Dans le massif du Jura suisse, seulement 25% des surfaces de tourbières abandonnées après exploitation, et qui n'ont pas été colonisées par les arbres, montrent des signes de régénération spontanée (Matthey, 1996). Au Québec, moins de 10% des surfaces montrent une recolonisation par Sphagnum 30 ans après abandon (Price et Whitehead, 2001) »*

La perte de surface de tourbières est aujourd'hui presque entièrement due à l'agriculture et à la foresterie (Joosten et Clarke, 2002), qui constituent également des services d'approvisionnement.



Photo 7 - La restauration hydrologique, lorsqu'elle est possible, des tourbières exploitées de façon industrielle nécessite des travaux de grande envergure. Ici la tourbière de Frambouhans (Doubs) et les travaux réalisés dans le cadre du Programme Life Tourbières du Jura (© G. Bernard)

Approvisionnement en bois : tourbières et sylviculture

Il existe principalement deux grands types de sylviculture intensive : d'une part la populiculture dans les grandes tourbières eutrophes et d'autre part les plantations de conifères qui concernent essentiellement les landes tourbeuses acides et oligotrophes ou des tourbières de moyenne montagne (Manneville et *al.*, 2006). La populiculture et les nombreux essais de plantation de résineux ont été et sont encore des causes de destruction et de dégradation des milieux tourbeux.



Photo 8 - le pin Weymouth a été introduit dans la tourbière du Forbonnet (Frasne, 25) dans les années 1950. Face à son développement et son extension au détriment d'autres espèces typiques, un chantier de débardage par câble a été organisé afin de l'éliminer (© G. Bernard)

Services d'approvisionnement liés aux usages agricoles : pâturage et fauche

Les usages agricoles en tourbières ont été à la fois des causes importantes de dégradation, mais également de préservation de ces milieux. La frontière entre les deux ne réside pas uniquement dans les types d'usages mais également dans l'intensité avec laquelle ils sont mis en œuvre.

Nous ne reviendrons pas sur la « conversion » des tourbières en champs destinés à divers types de cultures qui a très largement contribué à leur disparition. Environ un tiers du marais de Lavours [01] a ainsi disparu au profit de la maïsiculture (Photo 9).



Photo 9 - le marais de Lavours [01] a fortement régressé à cause de la maïsiculture (© F. Darinot)

En revanche, la fauche et le pâturage extensif ont participé à façonner les paysages et à créer une diversité biologique. Avec l'arrivée de la mécanisation dans les années 1950, les pratiques traditionnelles de fauche manuelle ont progressivement été abandonnées tout comme ces milieux humides difficilement exploitables avec les machines de l'époque.

L'abandon quasi-total de ces espaces (tourbières basses en particulier) par les agriculteurs a entraîné une fermeture des milieux (boisement) défavorable aux espèces typiques et rares de ces milieux. L'arrêt des activités agricoles extensives constitue à ce titre une cause majeure de régression et de dégradation des tourbières basses de nombreuses régions (Manneville et *al.*, 2006).

C'est dans un objectif de conservation de la biodiversité que certaines tourbières ont retrouvé un usage agricole. Le pâturage extensif et la fauche tardive à visée conservatoire sont en effet des moyens adaptés et souhaitables pour la gestion et la restauration de ces milieux.

De plus, en période de sécheresse prononcée, comme ce fut le cas en 2003, on peut constater un regain d'intérêt de la part des agriculteurs qui viennent à manquer de fourrage. Les zones humides et les tourbières basses peuvent alors offrir un complément alimentaire non négligeable.

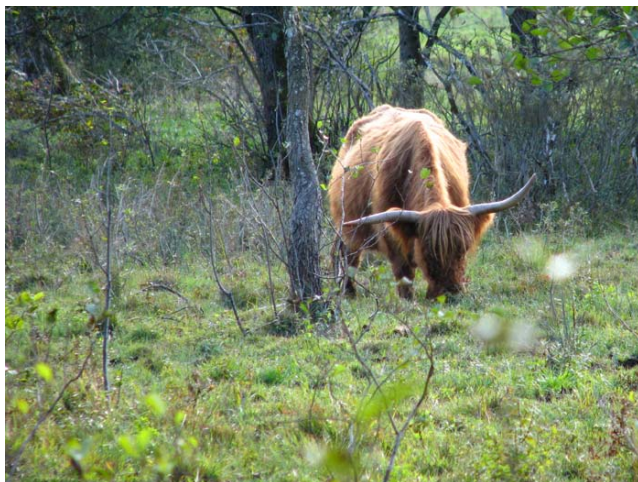


Photo 10 - le pâturage extensif par des races rustiques permet une certaine valorisation des tourbières basses et surtout le maintien d'une ouverture du milieu favorable pour la conservation d'espèces patrimoniales (© F. Muller)

Conclusion

À l'heure actuelle en France, les services écosystémiques d'approvisionnement offerts par les tourbières sont très limités et ne constituent certainement pas l'argument le plus fort pour leur protection.

La fauche et le pâturage, qui peuvent être considérés comme des services d'approvisionnement en nourriture (direct ou indirect), semblent être les seuls compatibles avec le maintien de la biodiversité et des autres services dans la mesure où ils sont mis en œuvre avec précaution et dans les milieux adéquats.

Bibliographie



- Campbell-Renaud, E., 2014. *L'exploitation des tourbières dans une perspective de développement durable*. Université de Sherbrooke, 93p.
- Chapman, S., Buttler, A., Francez, A.-J., Laggoun-Défarge, F., Vasander, H., Schloter, M., Combe, J., Grosvernier, P., Harms, H., Epron, D., Gilbert, D., Mitchell, E., 2003. *Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: a conflict between economy and ecology*. *Front. Ecol. Environ.* 1, 525–532
- Joosten, H., Clarke, D., 2002. *Wise use of mires and peatlands: background and principles including a framework for decision-making*. International Peat Society ; International Mire Conservation Group, 304p.
- Manneville, O., Vergne, V., Villepoux, O., le Groupe d'étude des tourbières, 2006. *Le monde des tourbières et des marais: France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. La Bibliothèque du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Paris, 320p.

VII.3. SERVICES DE RÉGULATION

RÉGULATION DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES : LE SERVICE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

Les zones humides jouent un rôle important dans le cycle hydrologique des bassins versants et doivent donc être considérées avec précaution dans la gestion de l'eau (Maltaby E., 2009). Entre autres fonctions de régulation hydrologique, on leur attribue fréquemment la capacité à limiter les phénomènes d'inondation. Cette fiche s'intéresse plus spécifiquement au rôle des tourbières pour la réalisation de ce service écosystémique.



Photo 11 - Meuse en crue débordant à Bannancourt [55] (© F. Muller)

Explications sur les fonctions qui permettent ce service écosystémique

Plusieurs fonctions principales permettent aux tourbières de fournir ce service de protection contre les inondations.

Tout d'abord leur capacité de stockage superficiel. Les tourbières sont par définition des milieux saturés d'eau mais dont le niveau de nappe varie naturellement au cours de l'année. Lorsque le niveau de nappe baisse, en fin d'été par exemple, la couche de tourbe désaturée

et la végétation (sphaignes en particulier) peuvent à nouveau retenir l'eau jusqu'à saturation. Le volume de stockage superficiel d'une tourbière dépend donc de paramètres tels que la superficie et les variations de niveau de nappe. Les caractéristiques de la tourbe, et en particulier sa porosité efficace, qui lui confèrent cette capacité de rétention d'eau, sont également des paramètres fondamentaux.



Photo 12 - La tourbe possède une porosité très élevée qui lui permet de retenir de grandes quantités d'eau (© F. Muller)

D'autre part la présence d'une végétation spécifique hygrophile (roseau, molinie, saules, bryophytes par exemple), va avoir pour effet de ralentir l'écoulement des précipitations (on parle de rugosité des végétations de surface) par rapport à d'autres milieux naturels ou par rapport à des surfaces artificialisées.

De plus, la faible pente dans les zones humides en général conduit à de plus faibles gradients hydrauliques et donc à un ralentissement des écoulements.

Ces phénomènes de ralentissement locaux peuvent éviter que toutes les précipitations convergent au même endroit et au même moment, permettant une désynchronisation des pics de crues.

Importance des tourbières pour ce service écosystémique

Le rôle des tourbières et leur importance pour ce service de régulation hydrologique demeure l'un des plus discutés (Cubizolle et *al.*, 2004). L'absence de conclusion péremptoire sur ce sujet semble surtout refléter la diversité et la complexité des situations. Il est donc nécessaire de considérer cette question avec circonspection et de différencier les configurations et typologies.

En ce qui concerne le type de tourbières, il faut tout d'abord distinguer les tourbières minérotrophes des tourbières ombrotrophes en raison des différences de fonctionnement hydrologique qui les caractérisent. En effet, dans les tourbières ombrotrophes, le niveau de nappe est maintenu proche de la surface la majeure partie du temps grâce à une conductivité hydraulique très faible de la tourbe, qui limite le drainage « naturel ». Ce type de tourbière ne présente donc pas *a priori* de fortes capacités de stockage.

Les travaux de recherche sur le fonctionnement hydrologique de la tourbière de l'Etui [42] (Porteret, 2008) évaluaient la capacité de stockage superficielle maximale de cette tourbière d'environ 4,5 ha, à 1500 m³ d'eau. La valeur peut paraître faible à l'échelle d'un site de petite taille mais il faut bien comprendre que c'est l'effet cumulé de l'ensemble des tourbières du bassin versant qui peut avoir des effets significatifs.



Photo 13 - tourbière de l'Etui [42] (© J. Porteret)

Par ailleurs, ces mêmes travaux ont également souligné l'importance du lag (ou marais de ceinture) dans la dynamique des écoulements. Ce dernier peut en effet aussi stocker de l'eau, mais également ralentir les écoulements. L'importance de ces structures périphériques dans la désynchronisation des pics de crue a été montrée dans d'autres études étrangères (Bragg, 2002). Malheureusement, les lags ont bien souvent disparu de la périphérie des tourbières et les bombements encore présents ne sont que les restes d'ensembles tourbeux bien plus vastes.



Photo 14 - Dans de nombreux cas, les usages (agriculture, urbanisation, etc.) en périphérie des zones tourbeuses, ont peu à peu empiété sur les marges en faisant disparaître les zones de transition telles que les lags, les prairies humides ou encore les mégaphorbiaies. On voit ici les limites bien nettes entre les pâtures et la tourbière de Chapelle-des-Bois [25] (© F. Muller)

Les tourbières minérotrophes où la nappe circule mieux, à la fois horizontalement et verticalement (Manneville et *al.*, 2006), peuvent ainsi offrir une capacité de stockage superficielle supérieure à celle des tourbières bombées, et donc participer de façon significative à la protection contre les inondations. Au sein de ces tourbières minérotrophes, une autre dichotomie peut être faite entre les tourbières fluviogènes (plutôt situées en plaine alluviale) et les tourbières soligènes (plutôt situées en tête de bassin). Le rôle des tourbières et des zones humides en contextes alluviaux dans l'écêtement des crues est très clair et incontesté (Bullock et Acreman 2003).



C'est bien ce qui a pu être observé sur certains sites français, l'étude de la tourbière de la Prenarde [42] par exemple (Porteret J. 2008) montre que « *la présence de tourbières basses contribue à absorber les précipitations lorsque la nappe de l'acrotelm s'abaisse (...) Elles ralentissent les écoulements par leur microtopographie de surface et par les faibles vitesses d'écoulement dans l'acrotelm, ce qui peut entraîner un retard de pic de crue.* »

Une autre étude (Martin C. et Didon-Lescot J-F., 2007) réalisée en Lozère, dans la plaine de la Ségrière a mis en évidence le rôle d'une grande tourbière de fond de dépression dans le fonctionnement hydrologique de son bassin versant par comparaison avec un bassin versant dépourvu de ce type de tourbière. Ces auteurs concluent que dans cette configuration, la tourbière joue bien un rôle d'atténuation des crues les plus fortes par désynchronisation. Une étude bibliographique sur les fonctions des zones humides de tête de bassin sur socle cristallin en moyenne montagne tempérée (contexte du Limousin, Duranel 2016), montre qu'une majorité des études passées en revue suggèrent un effet bénéfique pour les populations humaines vivant en aval avec une réduction des débits de pointe et une augmentation du temps de réponse. En revanche ces zones humides ne semblent pas avoir d'influence sur le volume total de la crue. Mais de nombreuses tourbières présentes sur notre territoire ont subi des atteintes plus ou moins lourdes, on peut donc se demander comment répondent ces tourbières au fonctionnement perturbé, vis-à-vis du service écosystémique de protection contre les inondations.

Effets des dégradations sur ce service écosystémique et possibilités de restauration

Plusieurs études ont tenté d'étudier l'effet des dégradations des tourbières (en particulier les effets du drainage et de l'exploitation de la tourbe) sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants et les risques d'inondations. Qu'il s'agisse de tourbières ombrotrophes ou minérotrophes, le drainage accentue la rapidité des écoulements et dans 80% des cas étudiés, il provoque une augmentation du pic de crue ainsi qu'une diminution de temps de

réponse (comm. pers. A. Duranel) conduisant à des inondations plus rapides et plus importantes en aval des têtes de bassins étudiées. Ces études réalisées sur les tourbières de couverture britanniques peuvent être extrapolables à d'autres types de tourbières, notamment ombrotrophes. En France, il existe au moins une étude sur le sujet (Martin et al., 2008), qui semble en adéquation avec les résultats des études réalisées dans d'autres pays. Il a ainsi été démontré que la tourbière drainée de la plaine de la Ségrière [48] réagit très vite et violemment aux précipitations en comparaison d'une autre tourbière du même type mais non drainée. De plus, l'assèchement dû au drainage va, à terme, provoquer une minéralisation puis une subsidence de la tourbe qui a pour conséquence de diminuer la capacité de stockage de la tourbière.

Ces changements de propriétés hydrauliques de la tourbe minéralisée et compressée ne sont pas totalement réversibles, même avec une remise en eau du système. Dans ce cas, la suppression de la couche de tourbe minéralisée peut être nécessaire, en complément de la restauration hydraulique (Bonn A. et al., 2016) En ce qui concerne l'effet des travaux de restauration hydrologique pour ce service écosystémique, l'argument de réduction des pics de crues est systématiquement mis en avant pour justifier de très gros travaux au Royaume-Uni.

L'effet négatif du drainage des tourbières dans la protection contre les inondations peut donc justifier des travaux de restauration hydrologique, d'autant plus que ces derniers bénéficieront également à la réalisation d'autres services écosystémiques, l'amélioration de la qualité des eaux par exemple.

Conclusion

Force est de constater qu'en France, les études sur le rôle des tourbières dans la protection contre les inondations sont assez peu nombreuses. L'effet bénéfique des tourbières fluviogènes et autres zones humides alluviales pour la protection contre les inondations a été bien démontré dans la littérature internationale, tout comme l'effet négatif du drainage et de la destruction des tourbières.

Le fonctionnement hydrologique des têtes de bassin et de leurs zones humides demeure plus complexe. Une amélioration des connaissances, voire une quantification des services rendus pourrait être réalisée grâce à la mise en place de programmes de recherche. Par ailleurs, l'amélioration de nos connaissances sur ces thématiques ne devrait pas se limiter aux événements extrêmes mais également se pencher sur le rôle de ces milieux dans le fonctionnement de base des bassins versants.

Bibliographie



- Bullock A. & Acreman M., 2003. *The role of wetlands in the hydrological cycle*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 7, 358-389
- Bonn A., Holden J., Parnell M., Worrall F., Chapman P., Evans C.D., Termansen M., Beharry-Borg N., Acreman M.C., Rowe E., Emmett B., Tsuchiya A., 2010. *Ecosystem services of peat - Phase 1*. Defra, 140pp. (CEH Project Number: C03758 T1)
- Bonn, A., Allott, T., Evans M., Hans, J., Stoneman, R., 2016. *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy, and practice*. Ecological reviews. Cambridge University Press, Cambridge, 493 p.
- Bragg O.M., 2002. *Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland*. Science of the total environment, 294, 111-129
- Cubizolle H., Sacca C., Tourman A., Porteret J. & Thébaud G., 2004. *Les tourbières du haut bassin versant de la Loire* (Massif central oriental), Norois [En ligne], 192 | 2004/3, mis en ligne le 26 août 2008, consulté le 08 août 2016. URL : <http://norois.revues.org/943> ; DOI : 10.4000/norois.943
- Duranel A., 2016. *Étude bibliographique relative à l'évaluation des services écosystémiques rendus par les têtes de bassin et proposition d'une approche expérimentale*. Rapport d'étude, Établissement Public Territorial du Bassin de la Vienne, Limoges, France, 119p.
- Grayson R., Holden J., Rose R., 2010. *Long-term change in storm hydrographs in response to peatland vegetation change*. Journal of hydrology, 389, 336-343
- Holden J., Chapman P.J. & Labadz J.C., 2004. *Artificial drainage of peatlands : hydrological and hydrochemical process and wetland restoration*. Progress in Physical Geography ; vol 28, n°1, p. 95-123
- Maltaby E., 2009. *Functional assessment of wetlands – Towards evaluation of ecosystem services*. Woodhead Publishing, 672p
- Manneville O., Vergne V., Villepoux O., le Groupe d'étude des tourbières, 2006. *Le monde des tourbières et des marais: France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. La Bibliothèque du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Paris, 320p.
- Martin C., Didon-Lescot J.F. et Marc V., 2002. *Étude du fonctionnement hydrologique des zones humides du Mont-Lozère : l'exemple de la tourbière des sagnes*. Ét. Géogr. Phys., vol. ?, p. 15-43
- Martin C. et Didon-Lescot J.F., 2007. *Influence d'une tourbière de moyenne montagne sur les écoulements : le cas de la tourbière des Sagnes sur le Mont-Lozère*. Ét. Géogr. Phys., vol. XXXIV, p. 27-43
- Porteret J., 2010. *Capacité de stockage de l'eau et rôle des tourbières basses minérotrophes dans le fonctionnement des têtes de bassin versant*. Coll. Tourbières, Ann. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald – 15 : 207-229
- Wastiaux C., 2008. *Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement ?* Bulletin de la Société géographique de Liège, 50, 57-66

VII.3. SERVICES DE RÉGULATION

RÉGULATION DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES : SOUTIEN DES DÉBITS D'ÉTIAGE

Pour ce service, comme pour celui de régulation des inondations (cf. fiche N°3), c'est la comparaison avec le fonctionnement d'éponge qui a conduit à la supposition que l'eau stockée dans la tourbe pouvait être restituée progressivement dans les milieux aquatiques environnants lors des épisodes de sécheresse, maintenant ainsi un débit minimum dans les cours d'eau.

Rôle des tourbières pour ce service écosystémique

L'importance des tourbières pour la réalisation de ce service écosystémique ne semble pas claire, les études scientifiques sur le sujet offrent des résultats contradictoires et il est difficile de dégager une tendance quant à l'effet des tourbières sur les débits d'étiage.

En France, quelques études ont été menées dans le Parc National des Cévennes. La première (Martin et al., 2002) compare les caractéristiques hydrologiques de deux bassins versants contigus contenant respectivement 33% et 12% de tourbières. Seul l'un des bassins comporte une tourbière de fond de dépression en bon état de conservation. Cette étude conclut à un effet négatif de la présence de la tourbière de fond de dépression sur le débit d'étiage.

La seconde étude (Martin et al., 2008) utilise la même approche méthodologique mais la tourbière de fond de dépression a subi des travaux de drainage en 1976 et a fait l'objet de tentatives de restauration hydrologique en 2002. La pose de seuil n'a toutefois pas permis une remontée générale de la nappe d'eau, le drainage est encore actif sur le site. Dans cette configuration, contrairement aux résultats de l'étude précédente, la tourbière contribue de façon significative au débit d'étiage.



Photo 15- Travaux de restauration de la tourbière de la Sénégrière (© PN Cévennes)

Ces conclusions ne sont pas très surprenantes puisque dans une tourbière non drainée, la très faible conductivité hydraulique de la tourbe limite fortement les échanges avec les cours d'eau (Cubizolle et al., 2004). En revanche, l'objectif du drainage étant d'évacuer l'eau de la tourbière, celle-ci devient effectivement disponible pour alimenter les débits d'étiage.

Attention toutefois, car l'eau évacuée des tourbières drainées peut être fortement chargée en polluants divers (cf. fiche N°5 « régulation de la qualité de l'eau »). Et il faut surtout insister sur l'incompatibilité du drainage avec beaucoup d'autres services écosystémiques (séquestration du carbone, conservation des archives, maintien d'un paysage et d'une biodiversité typique, épuration des eaux, etc.) Une récente synthèse de la littérature portant spécifiquement sur les zones humides de tête de bassin versant sur socle cristallin en moyenne montagne tempérée (Duranel, 2016) montre qu'une courte majorité d'études concluent à un effet négatif des tourbières sur le soutien des débits d'étiage, par rapport à des milieux ouverts non humides. Cet effet est lié à une évapotranspiration plus importante du fait de la faible profondeur de la nappe.



Toutefois, cette synthèse montre que les conclusions des études sont radicalement différentes selon les méthodes utilisées pour quantifier cette fonction. Les comparaisons avant et après drainage, ainsi que les comparaisons de bassins versants couplés (ne différant en théorie que par l'absence ou la présence de tourbières) concluent majoritairement à un effet négatif des zones humides (diminution du débit). En revanche, les études qui comparent les débits en entrée et en sortie de la zone humide, et celles qui analysent les débits à l'exutoire d'une grande quantité de bassins versants avec différentes proportions occupées par les tourbières, tendent plutôt à montrer un effet positif des tourbières sur le débit d'étiage (augmentation ou maintien du débit).

Les difficultés méthodologiques et la diversité des situations rendent donc difficiles des conclusions catégoriques sur cette question du maintien des débits d'étiage par les zones tourbeuses. La faible conductivité hydraulique de la tourbe et les sorties d'eau du corps tourbeux se faisant majoritairement pas évapotranspiration, il ne serait pas très surprenant que les tourbières ne participent pas (ou de façon négligeable) au soutien des débits d'étiage. Toutefois, certaines études récentes suggèrent que certaines tourbières minérotrophes pourraient jouer un rôle de régulation des transferts entre les aquifères minéraux et les cours d'eau. Un important effort de recherche serait nécessaire pour clarifier ces fonctions.

Bibliographie



- Cubizolle, H., Sacca, C., Tourman, A., Porteret, J., Thébaud, G., 2004. *Les tourbières du haut bassin versant de la Loire (Massif central oriental): Intérêts paléoenvironnemental et phytocénotique, enjeux socio-économiques*. Norois 95–115. doi:10.4000/norois.943
- Duranel, A., 2016. *Étude bibliographique relative à l'évaluation des services écosystémiques rendus par les têtes de bassin et proposition d'une approche expérimentale*. Rapport d'étude, Établissement Public Territorial du Bassin de la Vienne, Limoges, France, 119p.
- Martin, C., Didon-Lescot, J.F., Marc, V., 2002. *Étude du fonctionnement hydrologique des zones humides du Mont-Lozère: l'exemple de la tourbière des Sagnes*. Etudes Géographie Phys. 29, 15–43
- Martin, C., Duguépéroux, F., Didon-Lescot, J.F., 2008. *Fonctionnement hydrologique d'une tourbière drainée: la plaine de la Sénagrière (Lozère)*. Etudes Géographie Phys. 35, 3–23

VII.3. SERVICES DE RÉGULATION

RÉGULATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

La capacité des zones humides à améliorer la qualité de l'eau est connue de longue date.

« Les marais sont utilisés pour le recyclage de la ressource en eau depuis des siècles. Les premières installations d'envergure qui témoignent de l'utilisation volontaire d'une zone humide pour l'épuration datent du début du XX^{ème} siècle, au début de la mise en place de systèmes de traitement des eaux dans les villes » (Fustec et *al.*, 2000)

Explications sur les fonctions qui permettent ce service écosystémique

Les processus biogéochimiques qui se déroulent dans les zones humides permettent à ces écosystèmes de jouer un rôle clé dans la qualité de l'eau et le contrôle des pollutions. En ce qui concerne les tourbières, leur influence sur la qualité de l'eau est étroitement liée à leur capacité à accumuler de la matière organique (Bonn A. et *al.*, 2016). Or cette capacité d'accumulation de la matière organique est en grande partie conditionnée par la profondeur et la variabilité de la nappe, qui sont donc d'une importance capitale pour un grand nombre de processus biogéochimiques dans les tourbières et la qualité chimique des eaux en aval de celles-ci.

- Les tourbières sont notamment connues pour leur capacité de dénitrification, processus mettant en jeu différentes enzymes qui transforment (en conditions anaérobies) étape par étape le nitrate en di-azote ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$) ;

- Les tourbières sont également reconnues pour leurs capacités épuratrices des métaux. Leur fonction de puits inclut sans s'y limiter l'aluminium, le cadmium, le cobalt, le cuivre, le fer, le plomb, le manganèse, le nickel, le zinc, l'argent, le mercure, etc (Rothwell & Evans; Sobolewski 1999; Brown, Gill & Allen 2000; Ringqvist, Holmgren & Öborn 2002; Tipping et *al.* 2003; Rothwell et *al.* 2008; Szkokan-Emilsson et *al.* 2013) ;

- On notera également leur capacité à filtrer certains éléments radioactifs tels que l'uranium ou le thorium (Owen & Otton, 1995 ; Lidman, Mörtz & Laudon, 2012).

Importance des tourbières pour ce service écosystémique

Il existe des différences significatives entre les tourbières ombrotrophes et minérotrophes pour ce service de régulation de la qualité de l'eau.

Les entrées de nutriments et de polluants dans les tourbières ombrotrophes proviennent uniquement de l'atmosphère. Elles peuvent ainsi recevoir différents composés sous forme de dépôts atmosphériques (ammonium, nitrate, sulfate). La plus grande partie de l'azote minéral (N) est séquestré par les tapis de sphaignes qui agissent comme un puits pour l'azote atmosphérique (Francez et *al.*, 2011)

Les tourbières minérotrophes reçoivent des quantités de nutriments et de polluants bien plus importantes que les tourbières ombrotrophes car elles sont, en plus, alimentées par des eaux de nappes, de cours d'eau, de ruissellements du bassin versant, etc. Ainsi, les tourbières minérotrophes recevant des eaux de ruissellement enrichies par les intrants agricoles sont capables de réguler la qualité de l'eau en aval grâce au processus de dénitrification, à l'assimilation des nutriments, à la séquestration des métaux et au piégeage des sédiments (Bonn A. et *al.*, 2016).

Il est important de préciser que ces apports de nutriments peuvent conduire à la dégradation écologique du milieu lui-même (Photo 16). Dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CEE-ONU), la charge critique pour les hauts-marais sensibles a été fixée à 5-10 kg N/ha/an et s'élève à 15-25 kg N/ha/an pour les bas-marais mésotrophes (CEE-ONU 2003, Achermann & Bobbink 2003).



Photo 16 - Exemple d'eutrophisation dans un bas-marais alcalin. Au centre de l'image on peut observer la progression d'une végétation de mégaphorbiaie ainsi que la présence d'orties dans la tourbière. La fertilisation des pâtures adjacentes est très certainement responsable de cette eutrophisation (© RNN du lac de Remoray).

Des études telles que celles d'A.J. Francez (1999) sur les tourbières du Cézaillier, montrent que l'évaluation quantitative du processus de dénitrification est de l'ordre de 70 à 110 kg/ha/an.

Effet des dégradations sur ce service

Les effets des dégradations (surpâturage, drainage, brûlage, ...) sur ce service écosystémiques sont relativement clairs. En Angleterre par exemple, la synergie d'une gestion (trop) intensive et de la pollution aérienne a conduit à une moindre rétention des composés azotés par les tourbières du Peak District et par un relargage massif de nitrates dans les eaux de surface. Des observations similaires ont été rapportées pour les composés sulfatés, avec un phénomène d'acidification des eaux de surface (Bonn A. et al., 2016).

Il apparaît donc que le maintien d'une nappe superficielle et stable est nécessaire pour perpétuer le stockage des polluants et l'amélioration de la qualité de l'eau, notamment grâce au processus de dénitrification.

D'autre part, les tourbières ont une influence sur la qualité de l'eau car elles peuvent être des sources de carbone organique dissout (COD) ou particulaire (COP). Ces composés peuvent devenir problématiques dans l'eau destinée à la consommation humaine. En effet, les eaux chargées en COD, d'une teinte brune (Photo 17) favorisent le développement bactérien dans les systèmes de distribution d'eau et forment en présence de chlore des trihalométhanes cancérigènes (Chow A.T. et al., 2003 ; Pattinson V.A. et al., 1994)



Photo 17 - Exemple d'une eau riche en COD qui se mélange avec l'eau du cours d'eau à l'exutoire de la tourbière (© G. BERNARD)

La dynamique du COD est complexe, mais de très nombreuses études ont montré que la libération de COD par les tourbières est favorisée par la baisse et l'augmentation de la variabilité du niveau de la nappe (Freeman *et al.* 2001; Clark *et al.* 2005, 2009; Strack *et al.* 2008; Fenner *et al.* 2013).

De plus, outre le COD, les métaux et éléments radioactifs qui sont stockés dans la tourbe sont également susceptibles d'être relâchés dans les hydrosystèmes en aval en cas de minéralisation de la matière organique.

Dans une tourbière du nord de l'Angleterre, Rothwell *et al.* (2009, 2010, 2011) ont ainsi montré que la présence de drains peu profonds conduisait à l'abaissement de la nappe et à l'augmentation de sa variabilité, et en conséquence à la remobilisation et au relargage dans le cours d'eau de l'arsenic séquestré dans la tourbe, la tourbière devenant alors une source d'arsenic. Dans les zones non drainées et saturées en quasi-permanence, ce phénomène n'a pas été observé. Autre exemple, Schöner *et al.* (2009) ont montré dans des tourbières allemandes que 80% de l'uranium séquestré peut être remobilisé si la tourbe est exposée à des conditions oxydantes (entrée d'oxygène en cas de baisse du niveau de nappe).

Outre la perte de leurs capacités d'épuration des nutriments en cas de dégradation, il est important de souligner que les tourbières dégradées peuvent aussi devenir des sources importantes de polluants qu'elles ont accumulés et stockés au cours du temps.

Effets des travaux de restauration fonctionnelle

Fort heureusement, ces dégradations et la perte de ce service semblent réversibles. En effet, Il a été prouvé que le comblement ou le blocage des drains réduit significativement la quantité de COD en aval des tourbières impactées (Wallage *et al.* 2006; Armstrong

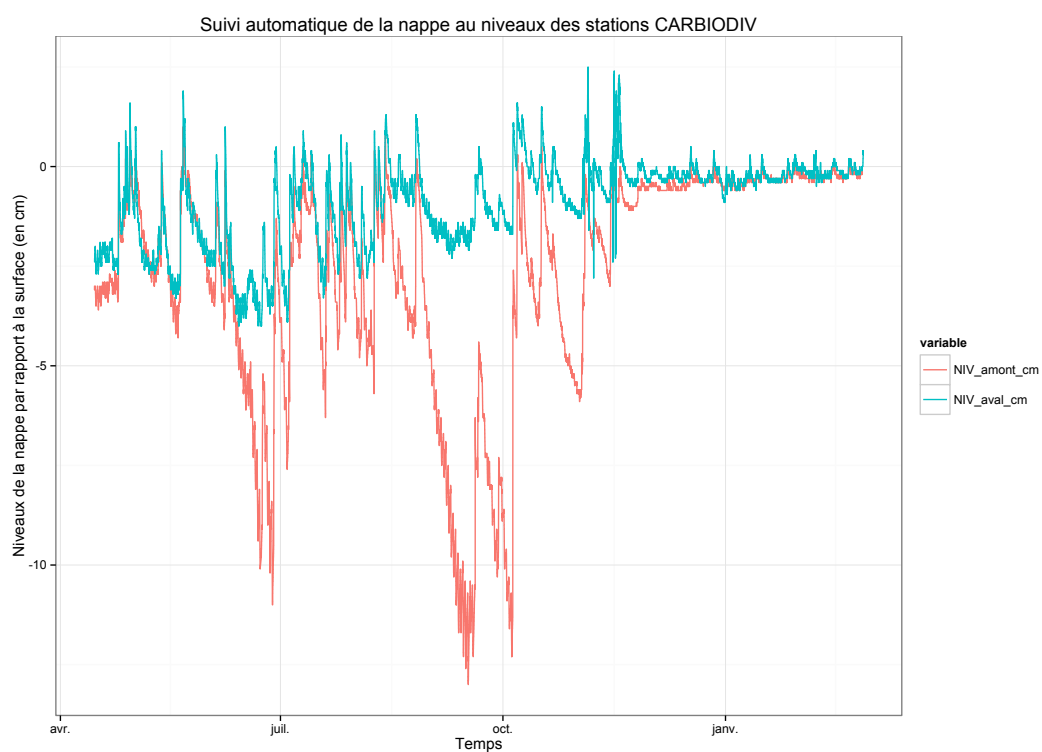
et al. 2010), tout comme la restauration des zones érodées ou décapées (Höll *et al.* 2009; Parry *et al.* 2014).

En France, peu d'expériences existent, mais les résultats semblent confirmer ce qui a été observé sur d'autres types de tourbières. Dans le Cher par exemple, la tourbière de la Guette [18] se compose de 2 sous-systèmes hydrologiques indépendants, tous deux équipés d'une station de mesure de différentes variables dont le carbone organique dissout. En 2014, des travaux de génie écologique ont été réalisés pour restaurer le fonctionnement hydrologique de la tourbière qui avait été perturbé par la construction d'une route départementale (Photo 18).

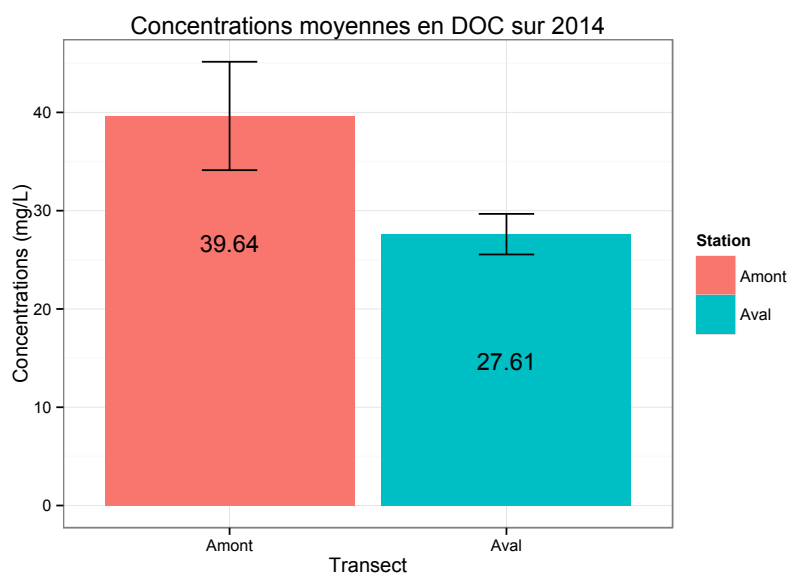


Photo 18 - Travaux de restauration hydrologique visant à limiter l'impact de la route départementale qui traverse la tourbière de la Guette [18] (© F. Laggoun-Defarge)

Ces travaux sont récents mais les premiers résultats sont d'ores et déjà très encourageants. D'une part, les travaux de génie écologique ont bien permis de limiter la battance de la nappe (Graphique 1 - Cf page suivante) et d'autre part cette stabilisation a permis de réduire de façon significative la quantité de COD exportée à l'exutoire de la tourbière (Graphique 2 - Cf page suivante).



Graphique 1 - Variations du niveau de nappe dans les deux sous-systèmes hydrologiques de la tourbière de la Guette [18] ; le système aval a fait l'objet des travaux de restauration (© F. Laggoun-Defarge)



Graphique 2 - Concentrations moyennes en COD, pour l'année 2014, dans chaque sous-système hydrologique de la tourbière de la Guette [18] (© F. Laggoun-Defarge)

Conclusion

Pour ce service écosystémique l'importance des tourbières est clairement démontrée. Il ne faut cependant pas en conclure que les tourbières peuvent être utilisées comme des stations d'épuration ou de lagunage car il existe un seuil au-delà duquel les tourbières ne sont plus en mesure d'assurer ce service. Un excès de nutriments conduira à une dégradation écologique du milieu.

Un des exemples souvent cité de prise en compte de ce service écosystémique dans la gestion qualitative de l'eau est celle de la ville de New-York, qui a fait l'acquisition de 46 000 ha de zones humides afin de les maintenir dans un bon état écologique et ainsi bénéficier d'une alimentation en eau potable de qualité sans traitements lourds et onéreux.

Bibliographie



- Achermann B. & Bobbink R. (Eds.), 2003: *Empirical Critical Loads for Nitrogen*. Expert Workshop held under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Berne, 11-13 November 2002, Proceedings. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Environmental Documentation No. 164, Berne.
- Agence de l'eau Adour-Garonne. 2009. *Évaluation économique des zones humides*. EcoWhat, ACTeon, 10 p.
- Bonn, A., Allott, T., Evans M., Hans, J., Stoneman, R., 2016. *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy, and practice*. Ecological reviews. Cambridge University Press, Cambridge, 493 p.
- Brown, P.A., Gill, S.A., Allen, S.J., 2000. *Metal removal from wastewater using peat*. *Water Res.* 34, 3907–3916
- CEE-ONU, 2003 : *Atelier d'experts sur les charges critiques empiriques pour les dépôts d'azote sur les écosystèmes (semi-) naturels*. Résumé analytique établi par les organisateurs. Nations Unies, Commission Economique pour l'Europe, Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Groupe de travail des effets. EB.AIR / WG.1 / 2003 / 14.
- Chow, A.T., Tanji, K.K. & Gao, S., 2003. *Production of dissolved organic carbon (DOC) and trihalomethane (THM) precursor from peat soils*. *Water Research*, 37, 4475–4485.
- Fustec, E., Lefeuvre, J.-C., Barnaud, G., 2000. *Fonctions et valeurs des zones humides*. Dunod, Paris, 426 p.
- Lidman, F., Mörtz, C.M., Laudon, H., 2012. *Landscape control of uranium and thorium in boreal streams – spatiotemporal variability and the role of wetlands*. *Biogeosciences* 9, 4773–4785
- Owen, D.E., Otton, J.K., 1995. *Mountain wetlands: Efficient uranium filters — potential impacts*. *Ecol. Eng.* 5, 77–93
- Pattinson, V.A., Butcher, D.P. & Labadz, J.C., 1994. *The management of water colour in peatland catchments*. *Water and Environment Journal*, 8, 298–307.
- Ringqvist, L., Holmgren, A., Öborn, I., 2002. *Poorly humified peat as an adsorbent for metals in wastewater*. *Water Res.* 36, 2394–2404
- Rothwell, J.J., Evans, M.G., Daniels, S.M., Allott, T.E.H., 2008. *Peat soils as a source of lead contamination to upland fluvial systems*. *Environ. Pollut.* 153, 582–589
- Sobolewski, A., 1999. *A Review of Processes Responsible for Metal Removal in Wetlands Treating Contaminated Mine Drainage*. *Int. J. Phytoremediation* 1, 19–51
- Szokan-Emilson, E.J., Kielstra, B., Watmough, S., Gunn, J., 2013. *Drought-induced release of metals from peatlands in watersheds recovering from historical metal and sulphur deposition*. *Biogeochemistry* 116, 131–145
- Tipping, E., Smith, E.J., Lawlor, A.J., Hughes, S., Stevens, P.A., 2003. *Predicting the release of metals from ombrotrophic peat due to drought-induced acidification*. *Environ. Pollut.* 123, 239–253

VII.3. SERVICES DE RÉGULATION

SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE DE RÉGULATION DU CLIMAT

Le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014) estime que les changements climatiques sont à 95% attribuables aux activités humaines. Différents scénarii esquissent les impacts de ces changements climatiques pour différentes élévations de température. L'objectif de maintenir le réchauffement global sous la barre des deux degrés nécessite de fortes réductions des émissions de gaz à effet de serre au cours des prochaines décennies, notamment en procédant à des changements très importants dans les systèmes de production d'énergie, ainsi que dans l'usage des terres.

L'objectif de réduction de 40 à 70 % des émissions mondiales d'ici 2050 (par rapport au niveau de 2010) nécessite une action sur l'ensemble des facteurs permettant de limiter les émissions, voire de promouvoir les systèmes de stockage. L'utilisation des terres, notamment au travers des pratiques agricoles, est un secteur important d'émission de gaz à effet de serre (GES).

Les tourbières qui sont à la fois d'importants stocks de carbone et des écosystèmes capables d'absorber du carbone, peuvent jouer un rôle non négligeable dans l'atteinte de ces objectifs.

Explications sur les fonctions qui permettent ce service écosystémique

Les conditions particulières des tourbières (anaérobiose* en particulier, mais aussi températures basses et pH acide), limitent l'activité des micro-organismes décomposeurs. C'est pour cette raison que les végétaux morts ne sont pas totalement décomposés et que leurs restes forment la tourbe.

Ainsi, environ 10% du carbone atmosphérique capté par les végétaux lors de la photosynthèse se retrouve stocké à long terme dans la tourbe (Figure 5). De cette façon, les tourbières accumulent depuis plusieurs milliers d'années des quantités de carbone, loin d'être négligeables. On parle généralement de fonction de puits de carbone pour désigner ce processus.

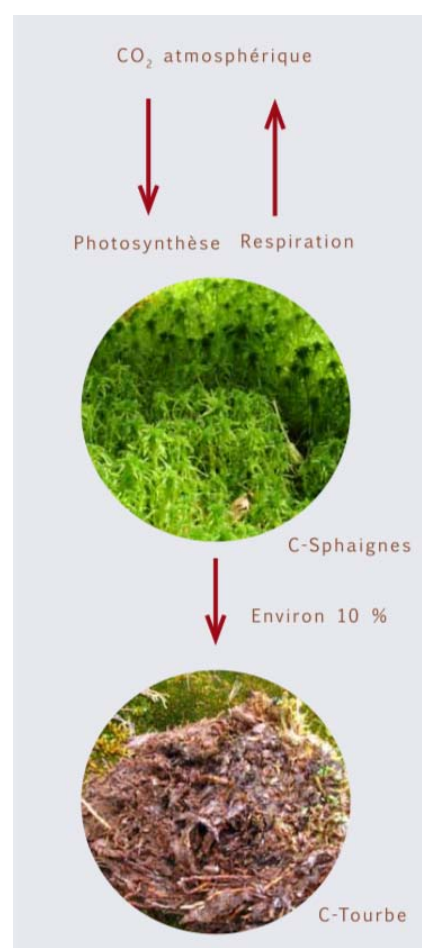


Figure 5 - Représentation simplifiée du mécanisme de stockage du carbone dans la tourbe (© G. Bernard)



Toutefois, les conditions qui permettent le captage et la séquestration du CO_2 atmosphérique sont aussi à l'origine de la production de méthane (CH_4), gaz à effet de serre au pouvoir radiatif 25 fois plus important que celui du CO_2 (12,5 fois si l'on pondère par la durée de vie de ces molécules). Bien que les tourbières en émettent à l'état naturel, le bilan global de carbone est tel que les tourbières demeurent des puits de carbone, avec une absorption par ces écosystèmes qui représente 12% des émissions anthropiques (Moore, 2002).

Si l'on s'intéresse au service de régulation du climat par les tourbières, il faut également tenir compte des oxydes nitreux, le protoxyde d'azote en particulier (N_2O) qui possède un pouvoir radiatif 300 fois supérieur à celui du CO_2 . Ce dernier est produit de façon naturelle par les tourbières intactes, mais en très faible quantité. En revanche, les tourbières dégradées sont susceptibles d'en émettre en quantité plus importante (Bortoluzzi et al., 2006).

Importance du service rendu

Les tourbières, considérées dans leur ensemble, constituent d'énormes stocks de carbone. Les estimations les plus récentes, évaluent à 550 Giga tonnes équivalent CO_2 (Gt éq. CO_2) la quantité de carbone emmagasinée dans l'ensemble des tourbières du monde (Parish et al., 2008). Cela représente quasiment le double (Bortoluzzi et al., 2006) du carbone stocké dans toute la biomasse forestière, 75% du carbone de l'atmosphère et 30% du carbone contenu dans l'ensemble des sols (Parish et al., 2008). Malgré leur surface restreinte (environ 3% à 5% des terres émergées), les écosystèmes tourbeux possèdent néanmoins les plus fortes densités de carbone, mais également le stock le plus important de tous les écosystèmes terrestres (Joosten & Couwenberg, 2009).

En conséquence, les scientifiques estiment que **les tourbières constituent l'écosystème terrestre le plus efficace pour le stockage de carbone à long terme** (Parish et al. 2008). À l'échelle de la France les stocks de carbone sont estimés par Hans Joosten (2009) à 150 Mt de carbone en 1990 et à 137 Mt en 2008.

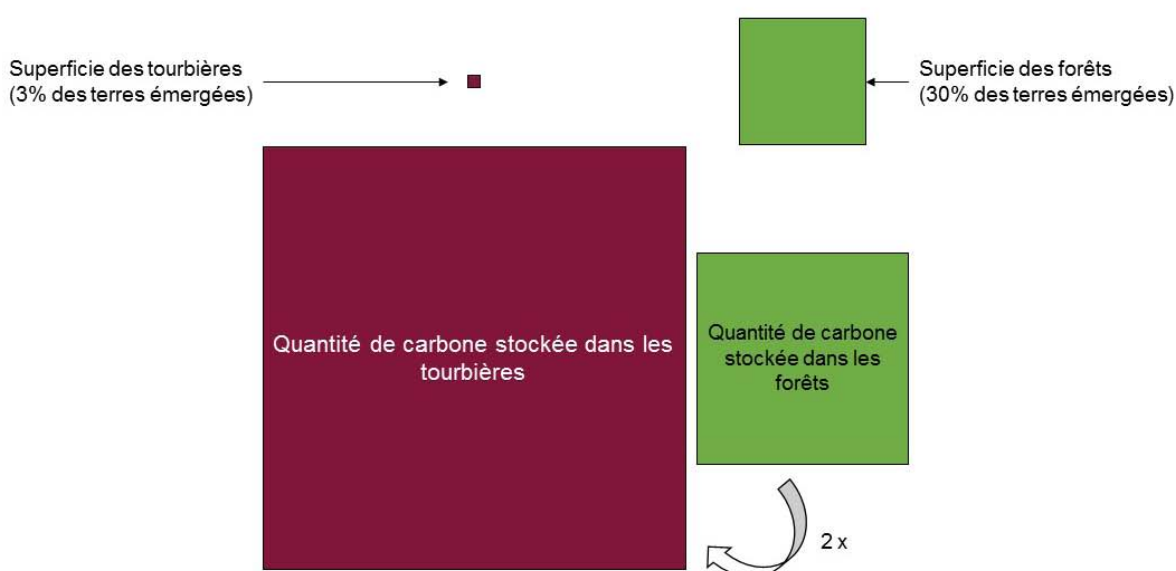


Figure 6 - Illustration de la disproportion de carbone stocké dans les tourbières par rapport à leur surface en comparaison avec les forêts (© G. Bernard)

Effets des dégradations sur la fonction de puits de carbone

Comme expliqué dans le second paragraphe, le stockage du carbone est lié à la limitation de la décomposition microbienne, elle-même limitée par l'anoxie (absence d'oxygène gazeux), mais aussi l'acidité du sol et de l'eau qui y circule.

Logiquement, toute modification du fonctionnement hydrologique qui contribuerait à un assèchement de la masse tourbeuse nuirait donc à cette fonction de stockage de carbone. En effet, en l'absence d'eau, l'air circule dans le sol et réactive les processus microbiens de dégradation de la matière organique. Dans ce cas, non seulement la tourbière n'accumule plus de carbone (arrêt de la turfigénèse*) mais elle va également progressivement perdre le carbone stocké, qui retourne dans l'atmosphère sous forme de CO_2 . La photo 19 illustre de façon spectaculaire ce phénomène : la tourbière de Holme (Comté du Cambridgeshire, Royaume-Uni) est une tourbière bombée relictuelle. Quand la tourbière minérotrophe périphérique a été drainée en 1953, le propriétaire a scellé un poteau dont le sommet était au niveau de la surface de la tourbière. Depuis, la tourbière s'est constamment asséchée, rétrécie et affaissée sur une hauteur d'environ 4 mètres.



Photo 19 - Illustration du phénomène de minéralisation et de subsidence de la tourbe : avant drainage du site, le sommet du poteau se trouvait à la surface du sol de la tourbière
(© R. Lindsay)

Les tourbières drainées émettent du CO_2 et du N_2O plusieurs centaines d'années après le drainage initial. Les émissions continuent jusqu'à ce que toute la tourbe soit minéralisée ou que le système de drainage s'effondre.

Les tourbières drainées émettent ainsi 2-3 Gt CO_2 -eq par an à l'échelle planétaire.

Après l'Indonésie, l'Union européenne est le deuxième plus grand émetteur mondial de GES provenant des tourbières. Dans les 27 pays de l'UE, la culture et le pâturage sur sols organiques* sont responsables de presque 80% des émissions de CO_2 provenant de toutes les terres consacrées à l'agriculture (Joosten H. et al., 2012).

Pour la France, ces émissions sont estimées en 2008 à 2,7 Mt CO_2 -eq par an (Joosten H., 2009).

Effets des travaux de restauration fonctionnelle sur la fonction de puits de carbone

Les travaux de restauration fonctionnelle ont pour principale vocation de relancer l'accumulation de tourbe en essayant de retrouver les conditions hydrologiques qui existaient dans la tourbière avant sa modification. Il s'agit généralement de rehausser les niveaux de nappes en bouchant les drains, en remplaçant les cours d'eau dans leurs anciens méandres lorsqu'ils ont été rectifiés, en coupant des ligneux, etc.... Cette remise en eau amène logiquement la question de son effet sur le bilan des GES.

La littérature scientifique internationale sur le sujet est très abondante et la plupart des conclusions vont dans le même sens : « La plupart de ces émissions [de GES provenant des tourbières dégradées] pourraient être évitées grâce à la remise en eau et à la restauration des tourbières » (Trummer et al., 2009)



Toutefois, la restauration des tourbières doit être soigneusement conçue pour réduire les émissions de méthane tout en séquestrant le carbone du sol. En effet, la remise en eau des tourbières drainées est un moyen efficace de réduire les émissions de CO₂ et de N₂O, mais ravive les émissions de CH₄ (Kimmel et Mander, 2009). Cette augmentation est particulièrement importante lors de la remise en eau de tourbe riche en nutriments. Lorsque la végétation inadaptée aux conditions humides meurt et se décompose suite aux travaux de restauration, la forte disponibilité en nutriments stimule la production de méthane. Ce phénomène est moins marqué pour les tourbes pauvres en nutriments. Les émissions de méthane se poursuivent généralement jusqu'au rétablissement d'une végétation caractéristique de tourbière pour revenir ensuite à un niveau qui ne diffère pas significativement de celui relevé pour des sites non perturbés (Hiraishi et al., 2014)

A moyen et long terme, la restauration hydrologique conduit à une réduction substantielle du bilan des GES par rapport à une tourbière drainée (Joosten, 2009).

Une autre conclusion importante met en lumière l'urgence des interventions, en particulier pour les tourbières exploitées de façon industrielle. Il est nécessaire d'engager rapidement les remises en eau après exploitation pour optimiser les chances de restauration. Si les délais d'attente sont trop longs, les modifications irréversibles de la structure de la tourbe peuvent entraver le rétablissement de la sphagne et donc empêcher la restauration de la fonction de puits de carbone (Waddington et al., 2002).



Photo 20 – Trop longtemps exposée à l'air et à la chaleur, la tourbe se modifie totalement et perd toutes ses propriétés. Sur la photo ci-dessus, cette ancienne tourbe blonde est réduite à l'état de poussière (© F. Muller)

Plus proche de nos contextes locaux de tourbières de moyenne montagne, une étude suisse (Paul et al., 2013) a été menée afin d'évaluer l'importance des tourbières helvètes dans l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de GES, auxquels la Suisse s'est engagée dans le protocole de Kyoto. Il en ressort deux points particulièrement intéressants :

- d'une part, l'étude montre qu'environ 20 ans après restauration, les tourbières étudiées ont recouvré leur fonction de puits de carbone et sont capables de stocker 2,5 à 6,7 t de CO₂-eq (par ha/an).
- d'autre part le bilan global à l'échelle nationale, malgré des surfaces de sols organiques relativement faibles, montre que l'estimation des émissions de GES des tourbières drainées représente 18% de l'engagement de réduction de la Suisse.

La restauration fonctionnelle des tourbières, du point de vue de la régulation du climat, est donc adaptée et nécessaire pour :

- maintenir les stocks de carbone en place
- éventuellement poursuivre le stockage de carbone.



Photo 21 - Travaux de restauration du fonctionnement hydrologique du marais du Châtelet (Saint-Laurent-en-Grandvaux, 39). Le reméandrement de la Lemme permet d'améliorer l'alimentation en eau de cette tourbière (© F. Muller)

Quelle valeur peut-on attribuer à ces stocks de carbone ?

En France, quelques études ont tenté de chiffrer la valeur de ce carbone stocké pour un ensemble de tourbières d'un secteur géographique limité.



Dans le Cézallier (pour une surface d'environ 30 ha de tourbières), la valeur de ce service de régulation du climat, est estimée à 50 000€/an, soit environ 1666€/ha/an (ACTeon & EcoVia, 2011).

Pour les tourbières de l'Agout, l'estimation atteint 1 100 à 1 400 € par hectare et par an (EcoWhat et ACTeon, 2009).

Le troisième exemple est celui des marais du Cotentin et du Bessin pour lesquels la valeur est estimée à 1 800€/hectare (CGDD, 2011)

Ces estimations de la valeur économique se basent toutefois sur la valeur de la taxe carbone, qui évolue au cours du temps. En France par exemple, « La composante carbone s'élève à 14,50 €/tonne de CO₂ en 2015. Elle évoluera à 22 €/tonne de CO₂ en 2016 et à 30,5 €/tonne de CO₂ en 2017 » (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-fiscalite-carbone.html>). L'évaluation économique de ce service écosystémique reflète donc la valeur de la tonne de carbone à un instant donné.

Les émissions de CO₂ évitées grâce aux travaux de restauration des tourbières sont, dans certains pays, convertis en quota carbone dont la vente (aux particuliers ou aux entreprises) permet de financer les travaux de restauration. L'Allemagne et le Royaume-Uni se sont engagés en ce sens grâce à deux programmes : Peatland code (<http://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/peatland-code>) et Moor futures (<http://www.moorfutures.de/>)

Conclusion

Les nombreuses études sur la fonction de puits de carbone des tourbières (il s'agit d'une des fonctions les plus étudiées (Kimmel et Mander, 2010)) permettent des conclusions assez claires sur leur importance pour ce service écosystémique.

Le MEA considère qu'un des services écosystémiques les plus importants des tourbières se trouve dans leur effet de régulation du climat (Kimmel et Mander, 2010) puisqu'il s'agit des écosystèmes terrestres les plus efficaces (rapport quantité/surface) pour le stockage du carbone.

Cette gestion des stocks de carbone doit donc s'envisager sur le moyen/long terme et dans tous les cas être prise en compte dans les travaux de restauration. La hauteur de nappe est en particulier un paramètre important puisqu'il conditionne en grande

partie les émissions de CH₄ qui peuvent compenser l'absorption de CO₂.

Les tourbières constituent d'énormes réserves de carbone qu'il faut conserver stocké. La protection des tourbières intactes est indispensable pour cela. Et inversement, la destruction ou la dégradation de très petites surfaces peuvent être à l'origine d'émissions de CO₂ conséquentes, renforçant ainsi l'enjeu de leur protection. Dans un contexte de changement climatique global, la protection des tourbières intactes et la restauration des tourbières dégradées peuvent être justifiées du simple point de vue de leur impact sur le climat.



Bibliographie

- ACTeon, EcoVia, 2011. *Amélioration des connaissances sur les fonctions et usages des zones humides : évaluation économique sur des sites tests*. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 91 p.
- Bortoluzzi E., Epron D., Siegenthaler A., Gilbert D., Buttler A., 2006. *Carbon balance of a European mountain bog at contrasting stages of regeneration*. New Phytologist 172(4), 708-718.
- Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), 2011. *Évaluation économique des services rendus par les zones humides – Enseignements méthodologiques de monétarisation*. Collection « Études et documents » N°49, 220 p.
- EcoWhat, ACTeon, 2009. *Évaluation économique des zones humides – Synthèse*. Agence de l'Eau Adour-Garonne, 10 p.
- GIEC, 2014. *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.



- Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., et al., 2014. *2013 supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Wetlands*. Geneva : IPCC.
- Joosten H., 2009. *The Global Peatland CO₂ Picture – Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world*. Wetlands International, 35 p.
- Joosten H., Couwenberg J., 2009. *Are emission reductions from peatlands MRV-able ?* Wetlands International, Ede, 14 p.
- Joosten H., Tapio-Biström M-L., Tol S. (eds.), 2012. *Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use*. FAO and Wetland International, 114 p.
- Kimmel K. & Mander U, 2010. *Ecosystem services of peatlands : implications for restoration*. Progress in Physical Geography 34(4), 491-514.
- Moore P.D., 2002. *The future of cool temperate bogs*. Environmental Conservation, 29(1), pp. 3–20.
- Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minaeva T. & Silvius M. (eds), 2008. *Assessment on peatlands, biodiversity and climate change*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International Wageningen, 179 p.
- Paul S., Alewell C., 2013. *Moorregeneration als Klimaschutzmassnahme : eine Recherche zur neuen Kyoto-Aktivität Wetland Drainage and Rewetting*. Universität Basel, 61 p.
- Trumper K., Bertzky M., Dickson B., van der Heijden G., Jenkins M., Manning P., 2009. *The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation*. A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Program, UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 68 p.
- Waddington J-M. and McNeil P., 2002. *Peat oxidation in an abandoned cutover peatland*. Can. J. Soil Sci. 82 : 279–286.

VII.4. SERVICE CULTUREL

ARCHÉOLOGIE ET PALÉOÉCOLOGIE, VALEURS HISTORIQUE ET SCIENTIFIQUE DES TOURBIÈRES

Les tourbières possèdent une importance considérable dans le domaine de la reconstitution des paléoenvironnements. En effet la tourbe peut conserver pendant des millénaires des archives naturelles et des objets archéologiques dont l'analyse renseigne sur l'évolution du climat et l'utilisation des milieux au cours des 10 000 dernières années.

Explications sur les fonctions qui permettent ce service écosystémique

Comme pour beaucoup d'autres services écosystémiques des tourbières, c'est principalement l'anoxie*, conséquence de la présence permanente d'eau, qui permet la conservation d'éléments organiques piégés dans la tourbe (grains de pollen, graines, bois, carapaces d'insectes, frustules de diatomées, etc.). Dans certains contextes, le froid ou encore l'acidité du milieu participent également à la conservation des témoignages d'un passé plus ou moins lointain.

Importance du service rendu

La valeur patrimoniale des tourbières a longtemps été jugée uniquement à la lumière des espèces végétales et animales présentes sur les sites.

« Pourtant, les tourbières font l'objet depuis le XIX^e siècle de prélèvements de tourbe pour l'analyse des grains de pollen et des macrorestes végétaux, à des fins de reconstitution de l'histoire de la végétation et des paysages (Priem, 1894 : Larbaletrier, 1901). Les premiers diagrammes polliniques représentant des variations de pourcentage des différents taxons ont été publiés en 1916 par le scientifique suédois L. von Post (1916). En France, c'est G. Dubois qui publia en 1932 le premier

article consacré à l'analyse pollinique. Après la Seconde Guerre mondiale, ce type d'étude s'est multiplié, l'analyse pollinique devenant un outil privilégié des reconstitutions de l'évolution des milieux naturels. À partir de 1950, la possibilité de réaliser des datations par le radiocarbone a renforcé l'intérêt pour cette approche paléoécologique. Néanmoins, le travail des palynologues n'a été pris en considération que très récemment dans la réflexion sur la valeur patrimoniale des tourbières. » (Sacca et Cubizolle, 2008)

Ainsi ce n'est que récemment que les données paléoécologiques et archéologiques des tourbières ont été prises en compte dans la valeur patrimoniale globale de ces écosystèmes, bien qu'ils constituent une des principales sources d'informations sur les changements de paysages induits par les activités humaines et les phénomènes naturels (Burnning, 2001).

Effets des dégradations

Les enregistrements archéologiques et paléoécologiques courent un risque face à toutes activités qui perturbent les couches de tourbe dans lesquelles ils ont été déposés. Les menaces identifiées par Huckerby & al. (2009) comprennent le drainage, la pollution, l'agriculture, la sylviculture, le feu, l'exploitation de la tourbe, le développement des fermes éoliennes, etc... L'assèchement qui résulte de ces différentes pratiques constitue la cause principale de dégradation.

Il faut certainement différencier les atteintes qui vont lentement détruire les restes paléoécologiques par un processus de minéralisation dû à l'assèchement, des destructions pures et simples qui s'observent par exemple en cas d'exploitation industrielle.



Photo 22 - L'exploitation industrielle, en prélevant et en exportant les couches de tourbe, détruit les sources d'informations qu'elles renferment. L'assèchement et la minéralisation participent également à ces pertes mais de façon plus lente (Tourbière de Baupte [50] - © F. Muller)

« Et on ne trouve plus de ces étranges défunts : les tourbières ont été drainées et transformées en terre agricole, les dernières exploitations sont mécaniques, les machines hachent menu les derniers rois des aulnes. La tourbe alimente l'horticulture industrielle en substrat de culture et les jardinerie en terreaux divers pour les particuliers. La dernière vague de découvertes a coïncidé avec la situation de pénurie énergétique de l'après-guerre, quand l'extraction a repris avec des moyens de fortune. » (Insula, 2011)



Photo 23 - Reconstitution de l'Homme de Tollund (par T. Schley, Pavillon des sciences de Montbéliard), l'un des plus célèbres corps momifiés retrouvés dans la tourbe (© F. Muller)

Effets des travaux de restauration fonctionnelle

Comme expliqué au paragraphe précédent, la minéralisation et la subsidence de la tourbe qui succèdent aux opérations de drainage sont des processus qui se déroulent généralement sur plusieurs décennies. Les travaux de restauration hydrologique peuvent logiquement stopper ces processus et donc permettre la conservation des archives encore présentes au moment de l'intervention.

Mais il faut bien garder à l'esprit que ce qui a été détruit est définitivement perdu.

Témoignages d'acteurs

Valeur scientifique de la tourbière de la Grande Pile (Saint-Germain, 70) : un site mondialement connu pour son rôle clé dans les études palynologiques.

Par Michel Campy pour le dossier de création de la Réserve naturelle régionale de la Grande Pile

La Grande Pile constitue sans doute une zone humide dont la faune et la flore méritent protection. Mais il se trouve surtout que **ce site est mondialement connu dans la communauté des paléoécologues et paléoclimatologues** de par l'immense intérêt des dépôts lacustres et palustres Pléistocènes qui en constituent le soubassement. En effet, la dynamique glaciaire a préservé de la destruction la dépression de la Grande Pile depuis son creusement au cours de l'avancée de la glaciation de Linxert. Depuis cette période, les dépôts progressivement accumulés dans la dépression, ont reçu les pluies polliniques de la végétation environnante sans interruption et de manière continue. **Ces conditions exceptionnelles en font une archive chrono climatique unique des deux dernières périodes glaciaires.**

En effet, c'est grâce aux travaux de Geneviève M. Woillard (Université de Louvain – Belgique) que les scientifiques découvrent pour la première fois en Europe occidentale un enregistrement lacustre continu depuis la fin de l'avant-dernière glaciation, sur une durée d'environ 140.000 ans, et traversant tout un cycle climatique jusqu'à nos jours. C'est une

découverte extraordinaire. Elle a été le point de départ d'une prise de conscience sur l'intérêt des longues séquences lacustres, donnait les moyens d'autres explorations et découvertes [...] et qui ont donné naissance aux recherches rétrospectives sur le changement climatique.

Quarante ans après sa découverte et vingt ans après la dernière publication dédiée à sa séquence sédimentaire, ce site clef n'a pas livré tous ses secrets. Les experts estiment ainsi que son récent classement en Réserve naturelle régionale devrait s'accompagner d'une part de nouveaux travaux de recherche et d'autre part d'une valorisation de son caractère de site paléontologique remarquable, qui semble ignorée par beaucoup de Francs-Comtois.

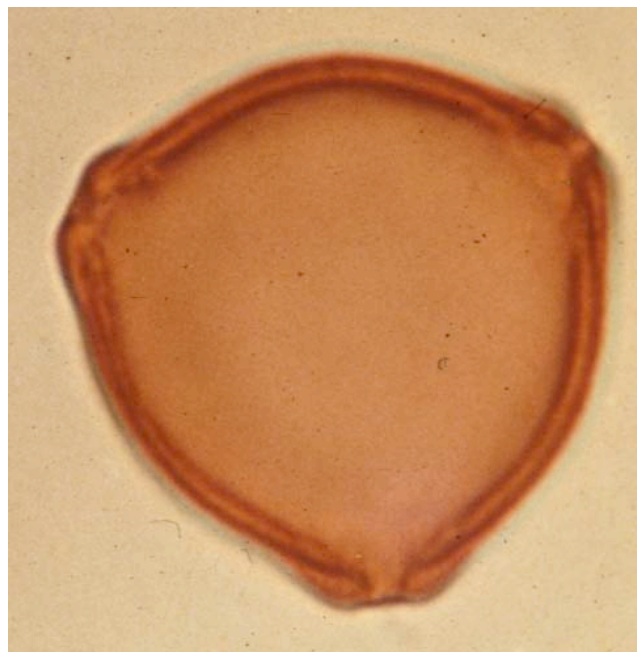


Photo 24 - Les pollens conservés dans la tourbe depuis plusieurs milliers d'années constituent des sources d'informations parfois uniques. Exemple d'un grain de pollen de noisetier (© J. Argant)

Étude et compréhension du fonctionnement des tourbières par l'étude des macrorestes.

Par Pierre Goubet – Bureau d'études Sphagnum

Parce que les tourbières ont cette particularité d'enregistrer l'histoire de leur formation et de leur fonctionnement, l'analyse des macrorestes fossiles en tourbières peut notamment apporter des informations sur :

- Les différentes communautés qui ont occupé la tourbière, notamment les végétations turfigènes qui ont construit l'édifice tourbeux.
- Les changements dans le temps de la répartition des différentes communautés, qui peut être mis en relation avec des facteurs allogènes et autogènes.
- L'évaluation de l'impact de perturbations comme le feu, le piétinement, etc. et l'évaluation de la résilience du système face à ces perturbations.

L'acquisition de ces connaissances est d'ailleurs fondamentale pour la gestion de ces milieux. Les données macrorestes acquises ces dernières années en France, croisées avec d'autres éléments de connaissance, ont permis de réévaluer les modèles de fonctionnement de certaines tourbières.

Par exemple, un travail sur les tourbières du plateau d'Hauteville, dans l'Ain, ont fait émerger la notion de tourbière haute d'origine anthropique, tourbière issue d'une modification profonde de bas-marais alcalins induite par le pâturage.

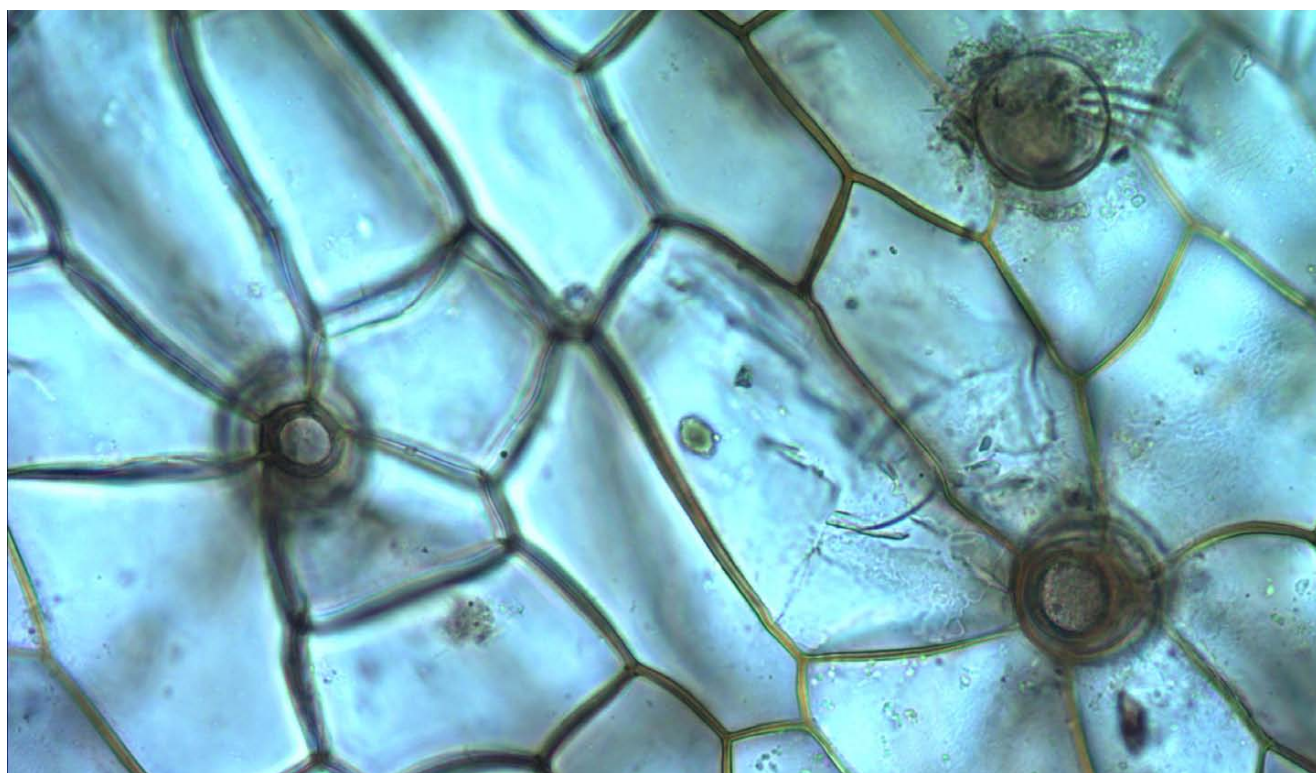


Photo 25 - Exemple de macroreste conservé dans la tourbe, ici des tissus de nénuphar (© P. Goubet)

Conclusion

Les tourbières sont donc comparables, pour qui sait « lire dans la tourbe », à des bibliothèques où est inscrite l'histoire de la tourbière, de son environnement, du climat ou encore de l'utilisation des terres faite par les Hommes, etc.

Ces éléments conservés dans les tourbières grâce à leur fonctionnement particulier (présence permanente d'eau) constituent donc des archives archéologiques et paléoécologiques au même titre que d'autres vestiges.

Le MEA considère d'ailleurs que cette valeur scientifique des tourbières constitue un des services écosystémiques les plus importants (avec la régulation du climat).



Bibliographie

- Bonn, A.; Holden, J.; Parnell, M.; Worrall, F.; Chapman, P.; Evans, C.D.; Termansen, M.; Beharry-Borg, N.; Acreman, M.C.; Rowe, E.; Emmett, B.; Tsuchiya, A.. 2010. *Ecosystem services of peat - Phase 1*. Defra, 140pp. (CEH Project Number: C03758 T1)
- Burnning R., 2001. *Archaeology and peat wastage on the Somerset Moors*. Environment and Property Department Somerset County Council
- Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, Pôle-relais Tourbières, 2016. *Monographie de la Tourbière de la Grande Pile à St-Germain [70]*. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 20 p.
- Huckerby E., Cook J., Quatermaine J., Gajos P., 2009. *Upland Peats – Managerial Assessment. Unpublished report for English heritage*. Landcaster : Oxford Archaeology North.
- Insula, le blog de la bibliothèque des sciences de l'Antiquité (Lille 3) – ISSN 2427-8297
<http://bsa.biblio.univ-lille3.fr/blog/2011/02/tacite-et-les-morts-des-tourbieres/>
Consulté le 05/07/2016



CONCLUSION GENERALE

À la lumière des informations récoltées pour la rédaction de cet ouvrage, il est possible de dégager des grands enjeux relatifs aux services écosystémiques des tourbières.

Ainsi, la régulation du climat et la conservation d'archives paléo-écologiques constituent des enjeux forts identifiés sans équivoque dans la littérature internationale.

Pour l'amélioration de la qualité de l'eau, la capacité de filtre pour de nombreux types de polluants est aussi clairement démontrée. Toutefois pour ce service écosystémique, il existe un seuil au-delà duquel la tourbière ne peut plus assurer cette fonction et se trouve elle-même dégradée.

Concernant le service de protection contre les inondations, le rôle bénéfique des tourbières de plaines alluviales est clairement démontré alors que la situation en tête de bassin versant semble plus complexe et moins bien connue. Les quelques études françaises sur le sujet s'orientent tout de même vers un effet bénéfique, mais de plus amples recherches seraient nécessaires pour améliorer notre compréhension du rôle des tourbières (et des zones humides en général) dans le fonctionnement hydrologique de ces têtes de bassins, puisqu'elles constituent un élément incontournable dans la gestion qualitative et quantitative de l'eau.

Pour le maintien des débits d'étiage, la situation est plus floue et les synthèses les plus récentes mettent en évidence les difficultés méthodologiques pour étudier cette question mais également l'influence de ces méthodes sur les conclusions des études.

Par ailleurs, notre attention se focalise sur les situations extrêmes voire catastrophiques que sont les inondations et les étiages, mais il serait également important de mieux comprendre le rôle des tourbières et des autres zones humides dans le fonctionnement hydrologique « de base » des bassins versants.

Compte tenu des nombreuses atteintes qu'ont subi et subissent encore les tourbières, l'effet des dégradations et des destructions commence à être mieux compris. Il est très intéressant de constater que la destruction peut non seulement limiter voire annihiler la réalisation d'un ou de plusieurs services écosystémiques mais surtout aggraver des phénomènes allant à l'encontre du bien-être de l'Homme. Les exemples sont nombreux : aggravation de l'effet de serre et de toutes ses conséquences désastreuses générées par la remobilisation des stocks de carbone contenus dans la tourbe ; forte détérioration de la qualité de l'eau de consommation humaine ; catastrophes naturelles (inondations par exemple) plus fréquentes et plus intenses ; etc, etc, etc.

Fort heureusement, il semble possible de limiter l'effet de ces dégradations ou tout du moins d'en limiter les conséquences désastreuses par des travaux de restauration.

La restauration des tourbières dégradées est donc un enjeu très fort, d'autant plus que des phénomènes globaux diminuent déjà leur résilience : le changement climatique et les dépôts atmosphériques de polluants en particulier. Il est donc nécessaire de redonner une capacité de résistance à ces milieux en agissant sur les mécanismes que nous pouvons en partie maîtriser, l'hydrologie en particulier.

Outre la restauration, il est évident que la protection des sites en bon état de conservation doit être une priorité non négociable. Trop de tourbières et de zones humides ont déjà été détruites en peu de temps (50% entre 1960 et 1990) et ce sont autant de services écosystémiques dont les populations humaines se sont déjà privées.

la mer est agitée par

bar-na-hass). Alchim.

(a-bar-ta-mènn). Al-

S'abasourdir, v. pr. S'étourdir : Ils s'ABA-

SOURDISSENT avec le bruit continuel qu'ils font.

— Syn. Abasourdi, ébahi, ébaubi, stupé-

qu'elle le doit, c'est à l'eau-de-vie. (A. Le

Pileur.) Les plus heureux naturels s'ABÂTAR-

DISSSENT dans l'oisiveté. (Acad.) Les talents

s'ABÂTARDISSENT. (Balz.)

A son fermier, un jour, Roch vantait sa noblesse;

Le manant, très-sensé, sur-le-champ repartit :

Tant pis pour vous, monsieur, car, je vous le confesse,

Tant pis pour moi, car, j'en suis sûr, j'en suis sûr, j'en suis sûr.

miers de voir au dehors et de

avec l'extérieur.

— Par anal. Epèee de visi-

rement en taffetas vert, qui se

les yeux d'une trop vive lumi-

quelle et un ABAT-JOUR en taff-

d'archal tout crasseux annonce

précautions pour se déguiser,

blesse d'yeux assez concevable



GLOSSAIRE

- **Anaérobiose** : ensemble des conditions de vie des organismes vivants dans un milieu sans oxygène. On appelle « milieu anaérobie » un milieu où il n'y a pas présence d'oxygène sous forme de dioxygène (O₂).
- **Anoxie** : absence d'oxygène gazeux.
- **Capabilités** : désigne la possibilité pour les individus de faire des choix parmi les biens qu'ils jugent estimables et de les atteindre effectivement. Cette notion s'oppose à la notion de développement d'un pays et du bien-être des individus basée sur le PIB par habitant.
- **Histosol** : il s'agit d'un sol composé de matière organique et d'eau. Le solum se construit à partir de débris végétaux morts qui se transforment lentement, en conditions d'anaérobiose, en raison de son engorgement permanent ou quasi permanent. Un histosol est constitué presque exclusivement d'horizons histiques H.
- **Pédogénèse** : processus de formation et d'évolution des sols.
- **Ombrotrophe** : type d'alimentation hydrique par des eaux météoriques (neige et pluie) acides et très pauvres en minéraux, donc oligotrophes ; ceci correspond à un isolement par rapport au substrat géologique originel.
- **Minérotrophe** : type d'alimentation hydrique par des eaux plus ou moins riches en sels minéraux récupérés sur ou dans le substrat minéral où elles ont circulé.
- **Sol organique** : est un sol provenant (et se développant encore) de l'accumulation et de la décomposition progressives de matériaux végétaux et animaux, au fil des années ; généralement soit plus de la moitié de la couche de sol comprise entre 0 et 80 cm est organique ou la roche mère est recouverte directement d'une quelconque épaisseur de matière organique.
- **Lagg** : dépression périphérique d'une tourbière bombée récupérant l'ensemble des eaux. Synonyme de marais de ceinture.
- **Turfigénèse** : production de tourbe par la végétation qui est alors dite « turfigène ». On utilise également le terme de tourbification. Attention à ne pas confondre turfigène et tufigène, qui produit du tuf.



Photo 27 - Réserve naturelle nationale de la Truchère-Ratenelle (© G. BERNARD)

Ce document a été réalisé grâce au soutien financier de la Région et de la DREAL Bourgogne-Franche-Comté et de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse