

A photograph of a misty forest. Tall, dark green pine trees are the main focus, their branches reaching upwards. The ground is covered in a dense carpet of green grass. In the foreground, a wooden boardwalk made of grey planks leads into the forest. The overall atmosphere is soft and ethereal due to the mist.

Rédaction

Jérémie Cholet - Pôle-relais Tourbières



CHAPITRE 6

Quelle place pour les arbres en tourbière ?

> 1.	Introduction	p.130
> 2.	Le boisement des tourbières : chance ou fatalité ?	p.131
	2.1. <i>Modifications hydrologiques</i>	p.131
	2.1.1. <i>L'évapotranspiration en tourbière</i>	p.131
	2.1.2. <i>Interception des précipitations</i>	p.132
	2.2.3. <i>Impact global sur la nappe de la tourbe</i>	p.134
	2.2. <i>Un rôle de couvert protecteur</i>	p.135
	2.3. <i>Modification de l'histosol</i>	p.136
	2.4. <i>Impacts sur la géochimie de la zone humide</i>	p.137
	2.5. <i>Interception de la lumière</i>	p.137
	2.6. <i>Paysage</i>	p.138
	2.7. <i>Les tourbières boisées, des milieux et des espèces d'intérêt</i>	p.138
	2.7.1. <i>Habitats</i>	p.138
	2.7.2. <i>Intérêt floristiques et fongiques</i>	p.138
	2.7.3. <i>Intérêts faunistiques</i>	p.140
> 3.	Origine, signification et avenir du boisement	p.140
	3.1. <i>La tourbière boisée, stade terminal ou phase transitoire ?</i>	p.140
	3.1.1. <i>Place du boisement dans l'évolution du site</i>	p.140
	3.1.2. <i>L'aspect transitoire du boisement</i>	p.140
	3.2. <i>Origine du boisement</i>	p.141
	3.3. <i>Avenir du boisement</i>	p.143
	3.3.1. <i>Quelle place pour l'arbre dans les tourbières françaises ?</i>	p.143
	3.3.2. <i>Etude des dynamiques de boisement des tourbières</i>	p.144
	3.3.3. <i>Exemples de dynamiques sur les sites tourbeux de montagne</i>	p.144
> 4.	Interventions sur des boisements tourbeux	p.145
	4.1. <i>Pourquoi intervenir ?</i>	p.145
	4.2. <i>L'hydrologie, un levier d'intervention</i>	p.146
	4.3. <i>Techniques de déboisement</i>	p.147
	4.3.1. <i>PNR du Morvan : le câble-mât, intervenir sans dégâts</i>	p.147
	4.3.2. <i>Cerclage : les expériences en Franche-Comté</i>	p.148
	4.3.3. <i>RNN du lac Luitel : quand l'ONF déboise...</i>	p.148
> 5.	Conclusion	p.148
> 6.	Bibliographie thématique	p.149

1. INTRODUCTION



Zone réouverte sur la tourbière du Grand Essart à Cuttura [39] / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

Les arbres, pourtant symboles forts et visibles de la Nature - en particulier lorsqu'elle reprend ses droits sur des territoires anthropisés, pâturages, cultures ou constructions - ont souvent mauvaise presse chez les gestionnaires d'espaces naturels. Exception faite, bien entendu, des milieux forestiers, où l'arbre, architecte, unité élémentaire, est l'objet de toutes les attentions, depuis sa naissance jusqu'après sa mort, la tendance limitation lutte, voire à l'éradication des ligneux. Ainsi pelouses sèches, marais et tourbières ne s'accommoderaient guère de boisements...

La relation culturellement antagoniste qu'entretient trop souvent le gestionnaire de tourbières avec les arbres a ainsi été qualifiée de façon imagée de « stratégie du castor », c'est-à-dire un comportement compulsif de coupe des ligneux et de construction de barrages.

Ceci peut pour partie s'expliquer par la forte représentation de milieux ouverts et d'espèces héliophiles dans les listes définissant les taxons et habitats protégés et/ou patrimoniaux. En considérant que l'état de référence correspond aux milieux issus de plusieurs siècles d'aménagement humain du territoire, en particulier à travers l'agro-pastoralisme, les milieux arborés se trouvent de fait

relégués en marge. Cependant cet état des lieux, dont les limites commencent à être pointées du doigt, ne tient ainsi pas compte de l'état transitoire de bon nombre de ces milieux - les dynamiques naturelles induisant généralement la disparition (temporaire ou durable) des habitats et espèces pionniers.

Une autre explication repose sur un certain nombre de reproches faits aux arbres, parfois justifiés et avérés par des publications scientifiques, et repris dans les publications techniques. Reproches rarement tempérés, cependant, par les apports méconnus des boisements tourbeux.

Enfin les épisodes de tentatives de valorisation forestière de divers milieux, dont les tourbières, lors des siècles écoulés, ont laissé des traces parfois importantes dans les paysages et les écosystèmes.

Mais Cubizolle & al. (*sous presse*) rappellent que la présence d'arbres sur les tourbières n'est pas systématiquement perçue comme un problème.

« Ainsi en est-il au Canada, en Fennoscandie et en Sibérie, où se trouvent l'essentiel des zones tourbeuses de la planète et où l'arbre est présent sur de nombreux sites de façon très naturelle. (Birks, 1975), reprenant les travaux de Carlisle et Brown (1968), rappelle à juste propos que les tourbières bombées sont un des habitats naturels du pin sylvestre. En France, l'association forestière spécialisée *Betulo pubescentis-Abietetum* caractérise les marges tourbeuses de certaines tour-

bières bombées du Massif Central oriental, dans les Monts du Forez et les Bois Noirs (Thébaud & al., 2003). Ainsi des sapins blancs (*Abies alba*) centenaires en très bonne santé poussent dans des histosols épais de près de deux mètres. »

Ce chapitre vise à apporter les éléments les plus récents en termes de réflexion sur la place des arbres en tourbière, qu'ils soient présents de façon clairsemée ou sous forme de boisements plus denses, plantés ou pas. Il aborde divers éléments à prendre en compte pour évaluer au mieux la situation, puis décider d'agir - ou non. En étudiant l'origine et la dynamique du boisement, les effets induits sur les espèces et milieux, et en comparant avec les exemples donnés, nous souhaitons que le lecteur soit à même de se forger une opinion qu'il pourra retranscrire en actions adaptées sur le site dont il a la charge. En effet, une fois de plus, les recettes « clé en main » ne sont pas de mise quand il s'agit d'aborder cette problématique complexe, pour laquelle, là encore, chaque site ou presque constitue un cas unique.

Des préconisations techniques clôturent le chapitre, et présentent notamment des expériences de débardage par câble-mât permettant de minimiser les effets sur le milieu par rapport à un débardage classique, où les grumes sont traînées au sol, provoquant ainsi un bouleversement des horizons de surface et des ornières parfois profondes.

2. LE BOISEMENT DES TOURBIÈRES : CHANCE OU FATALITÉ ?



Tourbière du Grafenweiher [57] / PNR des Vosges du Nord

Pour justifier l'interventionnisme vis-à-vis de la colonisation des arbres en tourbière, un certain nombre d'arguments sont avancés, tendant à les déclarer incompatibles avec la survie de ces milieux. La modification évidente de ces derniers par boisement (fermeture) entraîne évidemment des changements notables dans les habitats et espèces présentes ; de plus, les ligneux perturberaient la dynamique turfigène, notamment en abaissant la nappe de la tourbe. Cependant les recherches ne sont pas toujours aussi catégoriques, et le premier enseignement est que les effets des boisements sur les autres taxons et le fonctionnement de la tourbière sont très variables selon les espèces d'arbres considérées, mais aussi les sites et leurs contraintes locales (cortèges floristiques, nature et épaisseur de l'histosol, climat...).

Cette partie reprend un certain nombre d'études permettant d'illustrer cette diversité de configurations, qui plaide pour une analyse fine de chaque cas avant toute décision d'intervention sur les ligneux.

2.1. Modifications hydrologiques

2.1.1. L'évapotranspiration en tourbière

L'évapotranspiration (ETP) est la quantité d'eau restituée à l'atmosphère par un milieu donné ; elle correspond à la somme de l'évaporation (pour les plans d'eau et les sols) et de la transpiration des végétaux. Elle constitue dans le bilan hydrologique (voir chapitre 3) l'une des voies de sortie de l'eau.

On distingue l'ETP potentielle et l'ETP réelle. La première correspond à l'évapotranspiration « maximale », celle d'un couvert végétal alimenté en eau sans restriction ; elle peut être calculée à partir de diverses formules, plus ou moins complexes, se basant principalement sur des données climatiques. La validité de ces formules est discutée : pour Verry (1997), l'évapotranspiration réelle en zone humide est généralement proche de l'évaporation potentielle, calculée à partir des données climatiques (à 15% près) ; pour Rydin & Jeglum (2006), en revanche, aucune des formules proposées (Thornthwaite, Penman) ne permet d'estimer convenablement l'ETP en tourbière.

L'ETP réelle, quant à elle, peut être déduite du bilan hydrologique (voir chapitre 3) ou mesurée sur le terrain de différentes manières (lysimètres...) ; là encore les divergences entre études et les erreurs potentielles sont nombreuses.

Payette & Rochefort (2001) indiquent que l'évapotranspiration constitue une voie importante de pertes d'eau dans les zones humides, et même souvent la principale (notamment dans les zones tempérées) ; résultat auquel aboutit aussi l'étude menée sur la tourbière de Covey Hill par Véronique Fournier (2008). En mai et juin, Payette & Rochefort (*op. cit.*) indiquent que l'évapotranspiration dans un marécage forestier du Canada a été mesurée à 3,8 mm/j en moyenne, soit 97% des pertes d'eau estivales. Mais là encore, la variabilité est grande et de nombreux facteurs influencent l'évapotranspiration :

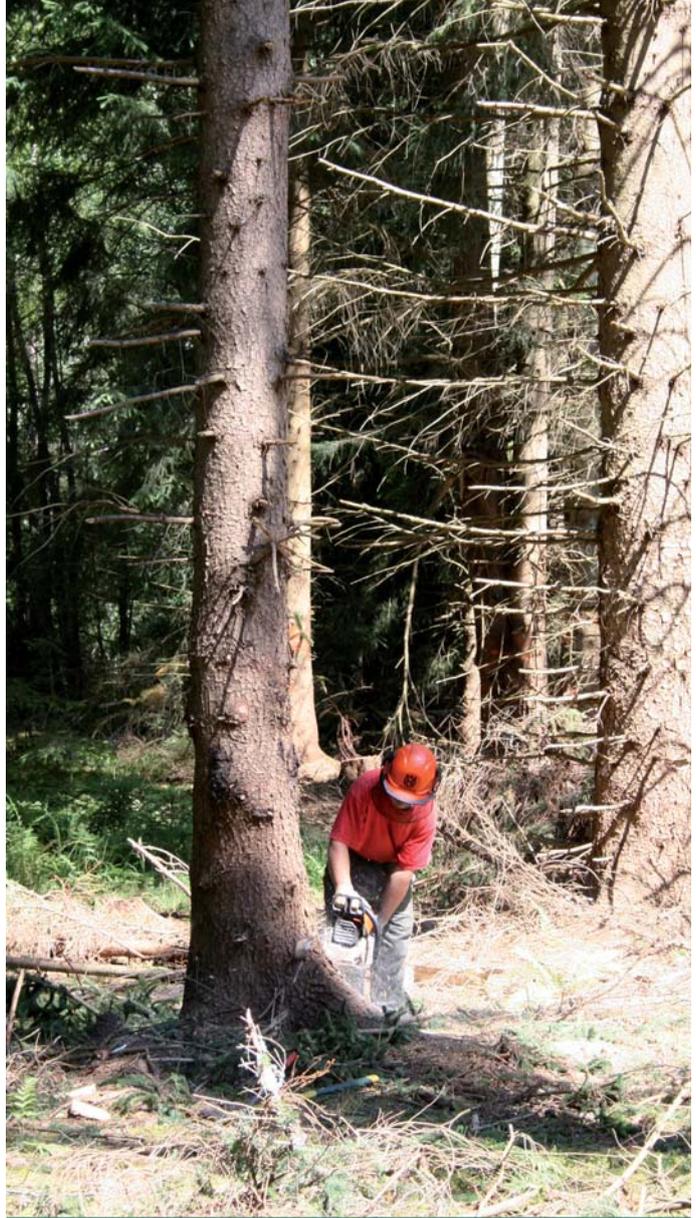
● facteurs stationnels

- biotiques : le type de végétation, ainsi que son stade de développement, sa structure,

ses propriétés aérodynamiques...

- abiotiques : l'humidité du sol, le niveau de la nappe de l'acrotelme (les propriétés du catotelme étant très différentes, avec des échanges verticaux limités) : le taux ETP réelle/ETP potentielle diminue lorsque le niveau de la nappe s'abaisse (Verry, 1997).

● **facteurs climatiques** : le rayonnement solaire, les températures, le taux d'humidité de l'air, les précipitations... Pour Price & al. (2005), les études menées durant 10 ans dans une tourbière basse subarctique montrent que l'ETP semble d'abord liée à la hauteur cumulée des précipitations. Le vent augmente aussi le pouvoir évaporant de l'atmosphère ; Robinson (1998) confirme d'ailleurs l'idée selon laquelle l'équation de Penman, utilisée pour calculer l'évapotranspiration, conduirait à la sous-estimer pour des sites ventés ; il conclut donc que la différence entre l'ETP estimée pour des végétations basses et celle mesurée pour des sites boisés est en fait surestimée.



Bûcheronnage manuel / PNR du Morvan

Pour ce qui est de la comparaison de l'ETP d'une zone humide avec l'évaporation d'une surface correspondante en plan d'eau, la littérature ne permet pas de trancher.

Pour ce qui est de la comparaison des différents types de tourbières, Verry (1997) indique que certaines expériences concluent que les tourbières dominées par les bryophytes évaporaient un peu moins que la valeur maximale calculée, les bas-marais à Cypéracées un peu plus, et un haut-marais boisé à peu près autant. Mais la généralisation semble une fois de plus impossible, d'autres expériences sur le terrain ou en hors-sol n'ayant pas montré de différence significative entre des tourbières à bryophytes ou à Cypéracées.

Pour ce qui est de l'influence des ligneux, Payette & Rochefort (2001) estiment que si l'ETP est plus importante en présence d'arbres sur sols minéraux, l'effet inverse semble être observé en tourbière ; ceci serait dû aux effets cumulés de l'emmagasinage de chaleur dans la biomasse, du réseau de la voûte forestière et de la résistance aérodynamique.

Des expériences menées dans la partie européenne de la Russie ont montré que

l'ETP d'une tourbière basse était supérieure de 3 à 10% à celle d'une tourbière bombée, et de 20 à 25% à celle d'une tourbière à sphaignes avec buissons.

Cubizolle & Sacca (2004) rapportent également une étude canadienne de Munro qui, en 1984, a prouvé que l'évapotranspiration est plus faible dans une tourbière à sphaignes boisée que dans une tourbière à sphaignes sans arbres.

D'autres études, plus nombreuses, sur les peuplements forestiers en tourbière, sont liées aux tentatives d'afforestation, principalement en Fennoscandie et Amérique du Nord ; or il faut bien avoir à l'esprit que

les conséquences étudiées sont dans ce cas une combinaison des impacts des travaux de drainage précédant la plantation d'une part, et des interactions postérieures entre les arbres et le milieu d'autre part. Elles ne nous renseignent donc pas sur le seul impact des ligneux en tourbière ; cependant elles montrent une tendance globale qui combine :

- dans un premier temps une réduction de l'ETP (liée à l'ombrage des jeunes arbres, qui diminue l'évaporation) ;
- puis une augmentation de la transpiration au cours de la croissance des arbres, avec au final des valeurs d'ETP pouvant dépasser les données initiales.



Les précipitations peuvent aussi se faire sous la forme de neige ou de brouillard / F. Muller - Pôle-relais Tourbières

2.1.2. Interception des précipitations

Price & Waddington (2000), dans leur étude sur l'hydrologie des zones humides canadiennes, rappellent que dans les tourbières boisées, des différences locales de précipitations sont constatées, notamment imputables aux modifications des vents (turbulences liées à la résistance des branches et de la canopée) et à l'interception des précipitations par les houppiers. Ces impacts sont prouvés et d'ores et déjà pris en compte, par exemple lors de l'installation de stations météorologiques - qui sont préférentiellement implantées loin des secteurs boisés ou des lisières, pour obtenir des données considérées comme représentatives.

Le taux d'interception varie selon de nombreux facteurs, comme le type de précipitation considéré (le taux de précipitation intercepté étant par exemple supérieur lors des faibles précipitations), la météorologie, le stade de développement des arbres ou la période de l'année.

Si la majeure partie des précipitations est ensuite évapotranspirée, il faut aussi noter

qu'une partie arrivera finalement au sol après ruissellement le long des branches et du tronc ; cette fraction, variable elle aussi selon la structure de la canopée, de l'écorce, l'intensité des précipitations, etc. reste cependant faible : en climat tempéré, Lunt (1934) mentionne des valeurs de l'ordre du pourcent pour les épicéas, et jusqu'à 13% pour des hêtres ; Johnson & Lehmann (2006) rapportent une étude

espagnole le chiffrant à 0,45% pour un peuplement de pin sylvestre, et une amplitude globale allant de 0,07 à 22% ! Dans les contextes hyperhumides, où les brouillards sont fréquents, la condensation de l'eau sur les branches et l'écoulement le long des troncs peuvent cependant constituer des apports non négligeables (Porteret, 2008). La chimie de cette eau est par ailleurs modifiée (voir 2.4.).



Rémanents au sol après une coupe forestière au Luitel [38] / C. Desplanque - ONF

Le tableau ci-dessous illustre la variabilité de ces paramètres à travers la compilation de différentes études.

Quelques valeurs d'interception des précipitations et d'écoulement le long du tronc relevées dans la littérature

Site d'étude	Type de couvert	% d'interception	% d'écoulement le long du tronc	Remarques	Sources
Finlande	Buissons bas	7-46	?	variabilité selon l'importance des précipitations	Rydin & Jeglum (2006)
Est des Etats-Unis (zone tempérée)	Bois durs	10	?		Helvey & Patric (1965)
Québec	Résidus d'exploitation forestière	12	?		Price & Waddington (2000)
Amérique du Nord	Conifères	21	?		Price & Waddington (2000)
Finlande	<i>Betula pubescens</i> (peuplement mature)	20	?	mesure au cours de la période végétative, en tourbière drainée	Päivänen (1966) in Rydin & Jeglum (2006)
Finlande	<i>Pinus sylvestris</i> (peuplement mature)	20-25	?	mesure au cours de la période végétative, en tourbière drainée	Päivänen (1966) in Rydin & Jeglum (2006)
Finlande	<i>Picea abies</i> (peuplement mature)	23-35	?	mesure au cours de la période végétative, en tourbière drainée	Päivänen (1966) in Rydin & Jeglum (2006)
Sud-ouest de l'Angleterre	Bouleaux (20 ans d'âge)	>30	?	sur plus de 30% des observations	Price & al. (2003)
France	Forêt de résineux de montagne	30-50	1-5	10-25% d'évaporation directe (données compilées)	RN Haute Chaîne du Jura
Québec	Pruche (<i>Tsuga canadensis</i>), bouleau jaune	33	?		Payette & Rochefort (2001)
Angleterre	Jeunes épicéas	64	?		Jackson (1975) (d'après documents en ligne de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)
Québec	?	35-41	?		Payette & Rochefort (2001)

Ainsi une partie non négligeable des précipitations incidentes est-elle interceptée par les arbres ; par la suite, cette fraction sera majoritairement restituée à l'atmosphère par évapotranspiration, et donc perdue pour la tourbière.

2.1.3. Impact global sur la nappe de la tourbe

Au final, la grande variabilité des résultats expérimentaux rend, une fois de plus, toute généralisation hasardeuse. Il est acquis que les arbres peuvent avoir un impact réel sur la nappe de la tourbière, en agissant sur son niveau, ainsi que sur l'intensité et la fréquence des variations de ce dernier.

L'INRA de Nancy estime ainsi que les arbres « consomment » de 60 à 80% des précipitations, majoritairement par évapotranspiration. Les différentes espèces d'arbres n'auront pas la même demande en eau : elle sera considérée comme forte pour des peupliers ou des saules, moyenne pour des épicéas et faible pour des pins.

Dans une tourbière forestière du Québec, l'évapotranspiration a été identifiée comme le principal facteur influençant la nappe phréatique. De nombreux suivis piézométriques montrent des variations journalières du niveau de la nappe, qui baisse en journée (période de photosynthèse) et remonte la nuit.

Fay & Lavoie (2009) relèvent aussi que des études antérieures ont montré qu'une population dense de bouleaux sur une tourbière anciennement exploitée pouvait rabaisser, au moins temporairement, la nappe de la tourbe.

Price & al. (2003) rapportent que les études dans le sud-ouest de l'Angleterre montrent des différences des niveaux de nappe dépassant 20 cm dans les secteurs boisés par rapport aux zones voisines à molinie, espèce pourtant connue pour augmenter les pertes par transpiration des tourbières exploitées en voie de restauration.

Dans la vallée de la Borne, sur la commune de Félines [43], des travaux hydroclimatologiques avaient été lancés par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Loire et de ses Affluents de Haute-Loire, en collaboration avec l'Université de St-Etienne. L'idée était de mesurer les différences de comportement de la nappe phréatique entre une parcelle en prairie naturelle (Canche cespiteuse, Grande ortie, laïches) et une parcelle plantée en épicéas. 5 piézomètres ont été implantés pour former un transect permettant de suivre les variations de la



Pins sylvestres en tourbière dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57]
L. Duchamp - SYCOPARC

nappe, avec couplage des données météorologiques. A l'issue de la première année d'étude, il est apparu que le niveau de la nappe était, de manière permanente, plus bas dans la zone boisée que dans la zone non boisée. De plus, le niveau de la nappe avait tendance à chuter plus rapidement au cœur de la plantation qu'en lisière de celle-ci. L'hypothèse a été avancée que cette constatation était liée à une plus grande concentration de racines, et donc une plus forte demande hydrique, à l'intérieur du boisement. Malheureusement cette étude prometteuse a été abandonnée par la suite. Les observations de cette seule année ne permettent donc pas d'émettre un avis définitif, et on peut regretter que l'expérience n'ait pas été poursuivie - notamment jusqu'à l'élimination des épicéas et à l'étude du comportement de la nappe sur la parcelle déboisée, qui aurait permis de confirmer que les variations étaient liées aux arbres.

Robinson (1998) a lui étudié durant près de 30 ans l'hydrologie d'un site tourbeux

dans les « hautes terres » du Nord de l'Angleterre, qui a vu succéder à des milieux ouverts soumis à un pâturage extensif des travaux de drainage et de plantation de conifères (majoritairement l'Epicéa de Sitka, *Picea sitchensis*). Il apparaît que l'impact hydrologique des travaux de drainage (réduction de l'évapotranspiration et des temps de réponse des débits des cours d'eau en cas d'orage, augmentation des débits d'étiage), opposé à l'impact habituellement décrit pour les forêts, est majoritaire durant une période pouvant atteindre la moitié du cycle d'exploitation de la plantation. Par la suite, la croissance des arbres inverse le processus.

Dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57], le suivi d'un réseau de piézomètre semble indiquer que les Pins sylvestres n'ont que peu d'effet sur la nappe, contrairement à la molinie et aux aulnes.

L'encadré page 145 résume les effets d'une coupe en tourbière boisée.

2.2. Un rôle de couvert protecteur

Selon leur implantation, en particulier en bordure de tourbière, les ligneux peuvent constituer des tampons préservant au moins partiellement les végétaux plus bas d'apports en éléments chimiques nutritifs ou toxiques : dépôts atmosphériques, apports d'eau latéraux enrichis en nutriments...

Au niveau du microclimat de la tourbière, un couvert forestier suffisamment léger pourrait aussi avoir des impacts positifs sur certains taxons : en diminuant l'énergie solaire incidente et la vitesse du vent, les arbres tendent à maintenir une humidité atmosphérique relativement élevée, et à diminuer l'évapotranspiration des strates inférieures. Cette action serait particulièrement importante dans les hauts-marais, où les sphaignes constituent des espèces-ingénieurs participant à l'édification du milieu ; un boisement permettrait ainsi de les préserver sur un site dégradé et/ou dans des conditions climatiques (température, vent, importance et fréquence des précipitations) critiques, voire défavorables. Ainsi les ligneux pourraient-ils, dans certains cas, favoriser la régénération d'une tourbière.

Différentes observations vont dans ce sens :

- Bretschneider (2008), dans son travail sur les tourbières du Schleswig-Holstein (Allemagne), conclut que le degré de couverture par les bouleaux n'est pas déterminant pour le bilan hydrique de surface, contrairement au relief et aux capacités d'évacuation des eaux ; au contraire, des taches de sphaignes sèches ont été observées dans des secteurs où le peuplement clairsemé de bouleaux avait été abattu l'hiver précédent ;
- le plan de gestion de la tourbière du Peuil [38], réalisé par AVENIR en 2001, note que « les sphaignes se maintiennent au pied des bouleaux car l'ombrage des arbres permet de diminuer leur évapotranspiration » ;
- sur les Hautes Chaumes du Forez, la tourbière du Gros Fumé [42] a subi un incendie il y a quelques années ; il semble que seule *Sphagnum compactum* arrive à recoloniser la tourbe à nu, tandis qu'au niveau des bosquets de bouleaux restants d'autres espèces de sphaignes se maintiennent malgré les impacts importants à l'échelle du complexe tourbeux ;

- dans les Bois Noirs [03, 42, 63], des communautés de sphaignes variées et abondantes ont été observées sous un couvert de Pins sylvestres ;
- dans le Massif central, où il n'est pas indigène, l'épicéa, quand il croît sur tourbe peu épaisse, semble permettre localement le développement de *Sphagnum capillifolium*, mais se comporte à l'inverse comme un colonisateur efficace qui destructure tapis herbacé et bryophytique sur tourbe épaisse ;
- sur le site de la Prénarde-Pifoy [42], dans les Monts du Forez, où un boisement s'est développé, les observations montrent que ni le niveau de la nappe, ni la végétation turfigène (*Sphagnum palustre*, *S. teres*, *S. angustifolium*, *Carex nigra*...) n'en sont affectés pour l'instant (Cubizolle & Sacca, 2004). Au contraire, la dynamique des sphaignes est incontestablement plus forte sous les arbres que dans la zone non boisée où *Juncus acutiflorus* est l'espèce dominante. Le rôle protecteur de la canopée (limitation de l'apport énergétique solaire et de l'évapotranspiration, augmentation sensible de l'humidité relative) semble constituer un facteur déterminant dans cette partie sud des monts du Forez où, au cours de la saison chaude, les précipitations tombent sous forme d'orages dont la fréquence est très irrégulière ;



Dispositif de suivi de l'hygrométrie atmosphérique dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57] / L. Duchamp - SYCOPARC

- dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57], sur des sites perturbés par l'homme et en

présence de Pin sylvestre, a été constaté le développement de buttes de sphaignes ombrophiles (*Sphagnum capillifolium*) ; deux thermohygromètres ont d'ailleurs été installés dans un boisement de pins, à deux hauteurs différentes (ras du sol et 1,40 m) pour mesurer les températures et surtout l'hygrométrie. Les premiers éléments de suivis semblent indiquer des températures maximales légèrement inférieures sous la pineraie. Pour le reste, l'expérimentation suit son cours afin d'amasser assez de données pour pouvoir conclure. Des analyses de macrorestes ont également révélé qu'au cours de leur mise en place, qui a débuté il y a environ 7000 ans, la plupart des sites tourbeux était boisés au moins partiellement. Si la densité de boisement reste inconnue, on sait en revanche que les espèces rencontrées sont les mêmes qu'aujourd'hui : Aulne glutineux, Bouleau pubescent, Pin sylvestre ;



Les sphaignes sous couvert arboré restent dynamiques : tourbière du Roc de Chère [74] / J. Cholet

- on retrouve de la même façon des tourbes fortement décomposées à macrorestes de *Pinus sylvestris* et *Betula* spp., et d'autres à Cypéracées, à la base d'autres profils pédologiques. Ils correspondent à des végétations non ombrotrophes (Cubizolle & al., *sous presse*) qui ont efficacement permis la mise en place des hauts-marais .

Sur le site de Montbé [58], le profil pédologique indique également que la turfigénèse a débuté dans un milieu arboré.



Tourbe à bois issue de la tourbière basse de la Prenarde-Pifoy [42] / H. Cubizolle - Université de Saint-Etienne

L'hypothèse selon laquelle les arbres, et notamment ceux sans impacts directs sur la strate muscinale (pas d'allélopathie, pas de feuilles mortes recouvrant les sphaignes), tamponneraient l'humidité atmosphérique et favoriseraient ainsi les sphaignes qui y sont adaptées (*Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum*, indépendantes de l'humidité édaphique) est séduisante. Elle permettrait d'expliquer les observations, dans différents secteurs (Massif central, Vosges) et par différentes personnes, de la coexistence de boise-

ments à Pins sylvestres et de sphaignes (*Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum*, *S. magellanicum*, *S. rubellum*, *S. russowii*). Elle doit cependant encore être validée scientifiquement.

Certains boisements présenteraient ainsi plus d'avantages que d'inconvénients dans les moments les plus critiques pour la survie des sphaignes (absence prolongée de précipitation au cours de journées à forte insolation et vent important) (Goubet, 2008).

2.3. Modification de l'histosol

Un autre impact, surtout lié aux travaux de drainage accompagnant la majorité des plantations en tourbière, est la transformation plus ou moins profonde de l'histosol.

La tourbe s'assèche, s'oxyde et se minéralise ; elle s'enrichit de fait en matières nutritives. Sa structure évolue aussi : dans un premier temps, la zone supérieure, désaturée, permet de stocker (temporairement) des quantités d'eau supérieures ; ainsi l'écoulement est moindre en cas de faible pluie, les pics de crues décalés en cas de fortes pluies, et les débits minimaux plus importants (soutien d'étiage). Mais par suite de la

minéralisation, la granulométrie se modifie (plus de particules fines) et la masse volumique augmente. Le taux de pores moyens et gros diminue, la rétention d'eau augmente, la conductivité hydraulique diminue, de même que la capacité de stockage. En parallèle, l'épaisseur de la frange capillaire augmente. Verry (1997) estime que celle-ci peut atteindre la surface avec une nappe à 60 cm de profondeur si la tourbe est bien décomposée (degré d'humification selon von Post de H7 à H10), contre 30 à 40 cm si la décomposition est moindre. Il en résulte aussi une augmentation du ruissellement. A terme, l'histosol perd ses caractéristiques, et

tend vers un humus classique en même temps qu'une nouvelle pédogénèse se met en place.

La faible conductivité hydraulique verticale de la matière organique partiellement dégradée est à l'origine du maintien de l'humidité et de l'arrêt des flux ascendants provenant du substrat minéral. Ce processus se réalise lors de l'apparition des hauts-marais, la mise en place de ce médium « isolant » pouvant aussi éventuellement surélever légèrement la végétation par rapport au milieu environnant, écartant ainsi d'autant plus facilement les eaux de ruissellement (Goubet & al., 2004).

*Cubizolle & Sacca (2004) donnent l'exemple de la tourbière bombée des Roussis [42], dans les Bois Noirs : d'une superficie de 10 ha, située à 900 m d'altitude, elle est aujourd'hui densément boisée (1 arbre tous les 10 m²), mais les individus semblent en mauvais état. La surface de la tourbière présente de nombreuses traces d'anciennes fosses et rigoles de drainage, qui sont à mettre en relation avec des tentatives d'exploitation de la tourbe, la volonté d'améliorer la qualité de cette zone de pacage et des essais de plantations de Pin Weymouth (*Pinus strobus*), d'Épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*) et de Sapin de Nordmann (*Abies nordmanniana*). Bien que mal connu, cet aspect de l'histoire récente de la tourbière est de toute évidence directement responsable de l'installation des Pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) en partie centrale et des bouleaux (*Betula pubescens*) en périphérie, qui dominent la strate arborée. Les carottages et les analyses pédologiques ont permis de mettre en évidence, immédiatement sous les sphaignes et surmontant un niveau de tourbe partiellement minéralisée, un horizon humifère non tourbeux de type A_h épais de*

3 à 5 cm, prouvant que la turfigenèse a cessé pendant quelques décennies : l'abaissement de la nappe suite aux tentatives de valorisation (plantation) a permis la minéralisation de la tourbe et l'amorce du développement d'un sol brun. Le calage chronologique de cette évolution pédologique est possible, puisque l'arrêt de l'exploitation agricole du secteur est daté avec certitude des années 1930-1935 : l'âge des arbres sur le bombement tourbeux étant inférieur à 50 ans, on doit admettre qu'il y a eu des tentatives de boisement postérieures à la Seconde Guerre Mondiale. Finalement, le site a été totalement délaissé, ce qui a entraîné l'effacement progressif des fosses et des rigoles, permis la remontée des niveaux piézométriques et l'arrêt du processus de minéralisation de la tourbe, ainsi que la reprise de la croissance des sphaignes (qui recouvrent les nombreux troncs gisant sur le sol) et de l'accumulation de tourbe. Le dépérissement des pins (la plupart ont un aspect rabougri, malade, et leur diamètre n'excède guère 15 cm pour une hauteur de 5 ou 6 m) confirme le retour à une situation plus conforme aux conditions écologiques du site.



Horizon de tourbe minéralisé (le mètre indique l'épaisseur) issu de la tourbière basse de la Prenarde-Pifoy [42] / H. Cubizolle - Université de Saint-Etienne

Cette transformation est en soi irréversible, c'est-à-dire que les horizons modifiés ne pourront plus revenir à l'état de tourbe ; en revanche, une dynamique turfigène reste possible (voir 3.3.).

A l'inverse, certaines forêts sur tourbe, bien que possédant les attributs hydromorphologiques des hauts-marais, ne montreraient plus d'accumulation de tourbe. (Goubet & al., 2004).

2.4. Impacts sur la géochimie de la zone humide

Ils sont là encore variables selon les espèces considérées ; on peut citer l'acidification et la libération de phénols toxiques par la litière des résineux, et l'enrichissement en matières nutritives par décomposition des feuilles au sol, ou par les apports des écoulements le long des troncs (significativement enrichis par rapport aux précipitations en azote, phosphore, soufre, mais aussi éléments métalliques : cuivre, fer, zinc, manganèse).

Des taux élevés d'azote et de phosphore, outre une modification des cortèges floristiques, permettent aussi aux saprophytes une meilleure activité (Goubet & al., 2004).

Le drainage peut également entraîner un affaissement (subsidence de la tourbe minéralisée) et une inversion de relief dans le cas où le secteur central s'enfoncé davantage que la périphérie ; on pourra ainsi assister à la mise en place d'une végétation minérotrophe, ou au moins plus hygrophile, au centre du haut-marais, créant un équivalent du lagg (marais de ceinture) en position atypique.

2.5. Interception de la lumière

Selon les espèces (plus ou moins couvrantes, sempervirentes ou pas...), les saisons et la densité du couvert forestier, une partie importante de la lumière peut être interceptée par la canopée. Ce facteur important étant modifié, les équilibres de compétition vont évoluer et la végétation du site va se modifier : évolution vers des espèces tolérant davantage d'ombrage, au détriment de taxons héliophiles souvent considérés comme plus typiques et intéressants. L'ombrage et la diminution de l'humidité du sol sont les principaux facteurs de déclin de la végétation typique de tourbière lors du boisement ; la vitesse de régression dépend d'abord de l'humidité et du niveau trophique du site, ainsi que du peuplement arboré originel (Sarkkola, 2006). Au Luitel [38], l'ombrage des houppiers des épicéas (plantés) aux branches basses très développées a entraîné une disparition des espèces typiques de tourbière.

Selon les espèces de ligneux se développant sur le site, l'accumulation de litière plus ou moins bien dégradée peut aussi recouvrir les végétaux bas, et notamment les bryophytes, modifiant la dynamique de la tourbière. Ainsi au Luitel [38] 15 à 20 cm de litière d'aiguilles d'épicéa non décomposée, issue des arbres plantés, ont radicalement modifié la végétation présente.

Pour Payette & Rochefort (2001), la lumière est en effet le facteur déterminant la répartition des sphaignes le long d'un transect en lisière de forêt, les espèces de *Sphagnum* ayant des exigences différentes ; bosquets, grands arbres et taillis d'arbustes peuvent par ailleurs engendrer des gradients de luminosité locaux en tourbière « ouverte ».



Ombrage des ligneux sur la tourbière de Houn-de-Piet [65] J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

2.6. Paysage

Le boisement des tourbières modifie les paysages typiques, en particulier en haut-marais (secteurs ouverts avec un caractère « nordique » marqué, contrastant avec les entités paysagères alentour, et souvent apprécié et valorisé), et aboutissent à des paysages forestiers jugés plus communs et/ou moins intéressants.

Nous avons vu précédemment que de nombreuses tourbières, en particulier en montagne, ont souffert de tentatives d'enrésinement massives, majoritairement liées au Fonds Forestier National. Ces tentatives de valorisation de « terres vaines, vagues » ont souvent été un échec, mais ont marqué fortement et durablement les milieux humides et les paysages. Ces plantations transforment d'autant plus les paysages que la fermeture est rapide, et que les arbres ont des dispositions géométriques souvent très visibles. Un exemple parlant est le lac Luitel [38] : en 1937, on peut se rendre compte que le paysage est très ouvert. Mais l'aménagement forestier de 1943 classe en section d'enrésinement les cantons de Trissarot, Luytel et Léautour (Léautour correspondant pour partie à la



Vue du lac-tourbière du Luitel [38] en 1937 et 2002 : les plantations de résineux ont radicalement modifié le bassin versant / ONF

tourbière du col) ; des plantations d'épicéas sont alors programmées et réalisées. Il est probable que des plantations aient été réalisées dans la bordure de la tourbière ; cette hypothèse est confirmée par un carottage des arbres réalisé à l'aide d'une tarière de Pressler, qui a permis d'évaluer l'âge des grands épicéas présents sur la tourbière à 60 - 70 ans.

De plus, certaines plantations ont été réalisées avec des espèces allochtones - Pin de Weymouth, Epicéa de Sitka, Sapin de Douglas... renforçant la méfiance à leur égard.

Dans certains cas, les populations locales - et les élus ! - qui ont vu se fermer les milieux ou

leurs abords sont demandeuses d'opérations de réouverture, ce qui pourra amener le gestionnaire à intervenir ; c'est ce qui s'est passé sur le marais de Panesière [39], où le conseil municipal de Chaux-des-Crotenay a, avec d'autres partenaires, insisté pour que les plantations d'épicéas soient exploitées (notamment en périphérie du bas-marais). Sur la tourbière des Entre-Côtes à Foncine-le-Haut [39], le CREN Franche-Comté a dû couper et évacuer des bouleaux cerclés qui étaient morts sur pied, à la demande des élus locaux qui n'appréciaient guère leur présence dans le paysage. L'aspect paysager est d'autant plus ardu à prendre en compte qu'il reste subjectif.

2.7. Les tourbières boisées, des milieux et des espèces d'intérêt



Panorama sur la partie sud du Grand Essart [39], zone réouverte par le PNR du Haut-Jura / J. Cholet - Pôle-relais Tourbières

2.7.1. Habitats

Les tourbières boisées (91D0), comprenant les boulaies et pessières à sphaignes ainsi que les tourbières boisées à Pins sylvestre et à crochets, sont considérées comme prioritaires dans le cadre de la directive européenne « Habitats », qu'elles soient primaires ou secondaires (la végétation ne permet pas forcément de les différencier).

En revanche le boisement de certains secteurs des complexes tourbeux peut entraîner la fragmentation des milieux ouverts, avec des répercussions sur la dynamique, voire la viabilité de populations d'espèces inféodées à ces milieux. Ainsi le PNR du Haut-Jura a-t-il réouvert partiellement un boisement dans la combe du Grand Essart à Cuttura [39] pour permettre des échanges génétiques entre deux stations de Liparis de Loesel situées de part et d'autre.

2.7.2. Intérêts floristiques et fongiques

Si de nombreuses espèces héliophiles régressent ou disparaissent logiquement dans les tourbières boisées, ces dernières abritent des cortèges d'espèces intéressantes, qui souffrent parfois d'être moins bien connus et/ou étudiés : bryophytes, champignons...

Pour les végétaux supérieurs, on peut par exemple citer le bouleau nain (*Betula nana* - protection nationale) ou la

Listère à feuilles en cœur (*Listera cordata* - protection régionale en Alsace, Corse, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Aquitaine, Lorraine, Auvergne). Certaines espèces ligneuses ont aussi une forte valeur intrinsèque, liée à leur rareté et/ou statut, comme le Bouleau des Carpathes (*Betula pubescens* subsp. *glutinosa*), protégé à l'échelle nationale ; pour d'autres, le type de peuplements fera l'intérêt des boisements : on trouve ainsi dans

les tourbières boisées de Lorraine l'expression optimale de l'Airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*) ou du Lycopode à rameaux d'un an (*Lycopodium annotinum*) ; ces écosystèmes abritent aussi des populations indigènes d'épicéa (*Picea abies*).

Les bryophytes (mousses et hépatiques) peuvent retrouver sous un couvert forestier des conditions qui les favorisent et leur permettent de se développer largement

(Manneville & al., 2006) ; c'est le cas en Lorraine, où de nombreuses espèces, dont *Bazzania trilobata*, ont une expression optimale en tourbière boisée.

Concernant les champignons, la thèse de Pierre-Arthur Moreau (2002) sur les tourbières des Alpes du Nord (Savoie et Isère) constitue un ouvrage important. Dans sa liste des espèces à forte valeur patrimoniale, on remarque que certaines sont inféodées aux boisements tourbeux. *Amanita friabilis* est une espèce prioritaire de la Convention de Berne que l'on trouve dans les aulnaies ; sur les 33 taxons considérés comme rares à très rares en Europe continentale, 17 se rencontrent dans des milieux boisés (voir tableau ci-contre).

« La gestion des zones humides tend souvent à favoriser les milieux ouverts aux dépens des boisements hygrophiles ; le mycologue apporte des éléments descriptifs importants en faveur du maintien des boisements tourbeux (qui abritent, tous relevés confondus, 87% de la diversité totale en espèces [pour les sites étudiés dans les Alpes du Nord, NdA]), par ailleurs souvent pauvres en animaux menacés et en plantes remarquables. »
P.A. Moreau, 2002

Espèces	Ecologie
<i>Lactarius scoticus</i>	Tourbières continentales à bouleau
<i>Lactarius musteus</i>	Tourbières boisées à pins
<i>Suillus flavidus</i>	Tourbières boisées à pins
<i>Cortinarius flos-paludis</i>	Boulaies ombrotrophes (pref.)
<i>Cortinarius uliginosus</i> var. <i>luteus</i>	Saulaies sphagneuses
<i>Entoloma prismatospermum</i>	Saulaies
<i>Hebeloma atrobrunneum</i>	Saulaies tourbeuses acidophiles
<i>Hebeloma candidipes</i>	Saulaies et boulaies tourbeuses
<i>Inocybe egenula</i>	Pessières tourbeuses
<i>Lactarius aspidius</i>	Saulaies acidoclines
<i>Leccinum holopus</i>	Boulaies ombrotrophes
<i>Pseudobaeospora</i> spp. (toutes espèces confondues)	Aulnaies
<i>Russula aquosa</i>	Boulaies ombrotrophes
<i>Cortinarius betulinus</i>	Tourbières limnogènes à bouleaux
<i>Lactarius tuomikoskii</i>	Pessières subalpines à sphaignes (pref.)
<i>Xeromphalina picta</i>	tourbières boisées (pref.)

Pref. : écologie préférentielle mais non exclusive ; sinon, espèces strictement associées au milieu.

Là encore, les différents types de boisements tourbeux ne se révèlent pas égaux, selon les arbres présents, mais aussi leur densité :

- les pinèdes sphagneuses sont très intéressantes, surtout lorsqu'elles ne sont pas trop denses et présentent des gouilles à *Scheuchzeria* où les espèces les plus hygrophiles peuvent se maintenir ; *Suillus flavidus* et *Lactarius musteus* sont particulièrement spécifiques de ces milieux en Europe tempérée (espèces plus répandues en Europe du Nord) ;
- les boulaies pionnières ou ombrotrophisées sont dans la moyenne des milieux tourbeux ; elles abritent des espèces associées aux sphaignes, mais aussi d'autres taxons plus ubiquistes ; les boulaies très atterries sont en revanche moins intéressantes ;

- les pessières n'abritent que peu d'espèces réellement spécifiques ; diverses espèces (notamment dans les *Cortinarius* et *Russula*) préfèrent ce milieu, mais ce sont surtout des acidophiles qui profitent de l'humidité, et que l'on retrouve plus ou moins fréquemment aussi dans les milieux équivalents plus secs comme les myrtiliaies boisées ; quant aux espèces associées aux sphaignes, elles disparaissent sous les pessières ;
- le cas des saulaies nécessiterait des recherches plus poussées. En effet, il ressort aussi du travail que les lacunes dans la connaissance des espèces, de leur écologie et/ou de leur répartition amènent à relativiser ces conclusions.



Cortinarius chrysolithus est un champignon mycorhizique de tous les arbres en milieu tourbeux, jusque sur les tremblants, typiquement montagnard-subalpin
P.A. Moreau



Suillus flavidus est lié aux pins
P.A. Moreau



Le solitaire des tourbières (*Colias palaeno*) est inféodé à l'Airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*) / L. Bettinelli - CREN Franche-Comté

2.7.3. Intérêts faunistiques

Ils sont extrêmement variables selon les espèces d'arbres considérées, ainsi que l'âge, la densité et la structure du peuplement.

- Les cahiers d'habitats font mention de l'intérêt cynégétique des tourbières boisées ;
- les cônes des résineux permettent le nourrissage d'une avifaune intéressante (pic tridactyle, mésange noire, mésange huppée...), même si elle n'est pas réellement inféodée aux boisements tourbeux ;
- dans les Vosges du Nord, une étude montre aussi que 20 territoires occupés par la chevêchette d'Europe au printemps ou

en automne 2007 ont comme caractéristiques communes d'être situés dans des zones froides et humides en cuvette, fond de vallon ou zone tourbeuse, occupée par une forêt âgée et bien structurée avec des chênes (pour les cavités de pics) et des épicéas (pour le couvert) ;

- sur la réserve des Quatre-Vents, en Belgique, quelques Pins sylvestres ont été préservés lors des opérations de déboisement pour leur rôle de perchoir durant les parades nuptiales du pipit des arbres ;
- une structure paysagère comprenant des bosquets d'arbres ou arbustes est favorable à

bon nombre de taxons d'insectes (Rhopalocères, Odonates...); en revanche, la fermeture totale des milieux humides constitue l'une des menaces majeures pour ces mêmes taxons ;

- les zones de tourbières s'avèrent importantes pour le Grand Tétrás, qui vit dans des boisements clairs, se nourrit de myrtilles et d'aiguilles d'épicéas, mais a également besoin lors de sa reproduction d'arbres isolés (perchoirs) et de zones ouvertes (places de chant) que peuvent lui fournir les secteurs de tourbières ; ainsi la plus importante zone de reproduction de l'espèce en Suisse est-elle constituée par un ensemble de complexes tourbeux.

3. ORIGINE, SIGNIFICATION ET AVENIR DU BOISEMENT

Une question importante que le gestionnaire doit se poser est celle de la dynamique de boisement sur sa tourbière ; l'origine de la colonisation des ligneux, ainsi qu'une mise en perspective à des échelles de temps adaptées (mais souvent inhabituelles) seront en effet à même de lui apporter des éléments sur les conséquences prévisibles de cette fermeture, et l'opportunité d'une intervention.

3.1. La tourbière boisée, stade terminal ou phase transitoire ?

3.1.1. Place du boisement dans l'évolution du site

Pour Sarkkola (2006), dans certains cas, les boisements, notamment au regard des similitudes dans les structures des peuplements avec des stades évolués sur sols minéraux, sont considérés comme un stade avancé, plus ou moins stable, de l'évolution d'une tourbière, voire un climax.

De même, Cubizolle & Sacca (2004) considèrent, en accord avec Thébaud, que l'association du *Betulo-Abietetum* constituerait le climax stationnel des hauts-marais non perturbés de la sapinière au nord des Monts du Forez, actuellement en progression sur la plupart d'entre eux ; il se réfère en particulier au site de la Sagne Bourrue [42].

Goubet & al. (2004) expliquent en revanche que l'on peut considérer le haut-marais (non boisé) comme un climax, le boisement étant consécutif à une perturbation allogène d'origine climatique ou anthropique. En effet, des boucles de rétroaction entre production et dégradation de la matière organique pilotent l'édification du haut-marais jusqu'à un état d'équilibre (production de surface = dégradation sur l'ensemble du profil) atteint à conditions environnementales constantes ; cependant, les conditions d'exclusion des compétiteurs restent en théorie valables à cette étape. Seules des perturbations allogènes influant l'activité turfignène de la végétation seraient

à même de modifier ces conditions limitant la compétition. Ce schéma global est aussi à nuancer du fait des variabilités de milieux et de dynamiques à l'échelle du haut-marais (gouilles, buttes...).

Une fois de plus, l'unicité de chaque site et la variabilité des facteurs locaux rendent difficile toute généralisation.

3.1.2. L'aspect transitoire du boisement

Quoi qu'il en soit, il est certain que l'absence ou la présence d'arbres sur un complexe tourbeux peuvent varier au cours du temps.

La centaine de sites du Massif central oriental ayant fait l'objet de carottages et d'études

stratigraphiques présentent ainsi des niveaux de bois à la base du profil, dans les couches basales de tourbe ou dans les faciès organo-minéraux qui matérialisent la transition entre la tourbe et la formation superficielle ou le substratum géologique sous-jacents. Ces restes témoignent des milieux boisés enfouis sous la tourbe après démarrage de la turfigénèse, à la suite de modifications des bilans hydriques qu'ils ont pu initier ou accentuer (Cubizolle & al., *sous presse*). On retrouve ces niveaux de bois à la base des profils de nombreux autres sites en France, comme par exemple celui de Montbé [58], où les études ont montré que la construction du massif tourbeux serait essentiellement le résultat de l'activité turfigène d'une boulaie à sphaignes.

Nicolas Dupieux relevait dans son ouvrage (1998) que les études paléo-environnementales ont montré qu'au cours des siècles précédents, de nombreux sites ont connu des phases de boisement, correspondant vraisemblablement à des variations climatiques ayant un temps modifié l'équilibre de l'écosystème. Cubizolle & al. (*sous presse*) rappellent

qu'à l'échelle de l'Holocène d'autres phases de colonisation des tourbières par les arbres ont très souvent été décrites, notamment pour les tourbières des îles Britanniques, et que Chambers (1997, *in* Cubizolle & al., *op. cit.*) estime que les phases d'expansion des arbres sur les tourbières représentent 20 % de la durée de l'Holocène. Leur signification paléoclimatique est cependant discutée : existence de périodes climatiques plus chaudes et plus sèches, modification des conditions hydro-climatologiques locales et stationnelles, et/ou interventions humaines ?

Cubizolle & al. (*sous presse*) rappellent que les changements climatiques affectent davantage le degré d'humidification de la tourbe par le biais de l'impact sur l'hydrologie des sites que la végétation elle-même. Mais là encore, la littérature ne permet pas de trancher : ainsi, pour certains auteurs, les niveaux de bois sont considérés comme correspondant à une période relativement plus sèche et plus chaude (exemple du « *grenzhorizont* » de Weber matérialisant le passage entre le Subboréal et le Subatlantique). Mais d'autres études associent ces horizons

avec bois à des conditions d'humidité très favorables à l'accumulation de tourbe, en se basant sur l'idée que, pour que les troncs et les branches soient conservés, il faut un enfouissement rapide dans la sphaigne ; à l'inverse, une sécheresse limiterait la production de biomasse et aboutirait à la décomposition du bois mort.

L'interprétation de la présence de bois dans l'histosol reste donc complexe, mais dans tous les cas les stades boisés n'ont constitué qu'une phase transitoire dans la trajectoire de la tourbière, qui a vu se succéder au fil du temps divers stades hydro-bio-pédologiques, peut-être liés au modèle de régénération cyclique des buttes et dépressions lors de la croissance de la tourbière.

Là encore chaque site est spécifique : ainsi la tourbière de la Grande Pile [70] aurait, quant à elle, engendré durant 180 000 ans des tourbes de qualités diverses mais toujours dépourvues de bois, et ce malgré des fluctuations climatiques, puis des interventions anthropiques drastiques (glaciation, déglaciation, tourbage...).

3.2. Origine du boisement

Les mêmes doutes concernent les boisements actuels, et le développement des ligneux en tourbière qui a été largement observé au cours du XXe siècle, au Canada, en Suède, en Allemagne ou en France (Cubizolle & al., *sous presse*). Les origines de cette dynamique restent là encore difficiles à définir : elles sont probablement multiples et variables selon les sites, et définir les importances respectives de divers processus en interrelation, qu'ils soient auto-gènes (boucles de rétroaction au sein de l'écosystème) ou allogènes (changements climatiques, activités humaines) reste à ce jour une gageure. Les lacunes en termes de données hydro-climatologiques, et parfois historiques, ainsi que dans la connaissance du fonctionnement des écosystèmes, sont à l'origine de ces difficultés.



Plantations de résineux sur les Hautes Chaumes des Monts du Forez [42]
H. Cubizolle - Université de Saint-Etienne

Ces interrogations excluent bien entendu le cas des plantations, où l'origine des arbres peut la plupart du temps être documentée de façon précise. La disposition, voire les espèces de ligneux sont caractéristiques. De nombreuses tourbières ont fait l'objet de tentatives de plantation (en particulier d'enrésinement en montagne), souvent associées à des travaux de drainage visant à favoriser la croissance des arbres (creusement de fossés, plantation sur les bourrelets en bordure des drains...). Les milieux tourbeux ont ainsi souvent été victimes d'une perception de « terres vaines, vagues » et inutiles qu'il convenait de valoriser. La tradition initiale de boisement de l'ONF, aggravée par le Fonds Forestier National, a engendré de nombreuses atteintes aux tourbières, dont la gravité et la durabilité sont très variables. Les évolutions des mentalités et des principes de gestion des forestiers (instruction ONF de 1993 sur la biodiversité), ainsi que les fréquents échecs de ces tentatives de boisement (croissance faible ou nulle, dépérissement des arbres) ont permis de stopper cette dynamique. Les zonages de gestion actuels (séries d'intérêt écologique particulier, réserves biologiques) permettent une meilleure prise en compte des tourbières, qui ne sont plus réduites à des « vides » boisables ou non. La mise en place de solutions techniques pour restaurer les sites dégradés reste potentiellement complexe, et en particulier dans des contextes de propriété privée (Drapier, 2008).

Cubizolle & al. (*sous presse*) ont étudié le cas du Massif central oriental, où depuis quelques décennies de nombreuses tourbières se boisent, avec notamment *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens* et *B. pendula*, et moins souvent *Salix* sp. ou *Abies alba*. Passant en revue divers facteurs pouvant expliquer cette constatation, ils ne constatent pas de logique systématique dans les sites colonisés par les ligneux et ne dégagent pas de cause nette et exclusive.

- Pas de corrélation du phénomène ni à la latitude, ni à l'altitude, ni au type de substrat géologique (granitique ou volcanique), ni au type d'alimentation hydrique, ni à la superficie des complexes tourbeux étudiés, puisqu'à chaque fois existent des sites dépourvus d'arbres, comme autant de contre-exemples ;

- la piste du facteur climatique partait notamment de l'hypothèse que des étés anormalement secs et chauds auraient pu entraîner un abaissement saisonnier des nappes suffisant pour permettre une germination massive des arbres ; elle a été localement infirmée sur la tourbière de l'Etui [42] par des analyses dendrochronologiques qui ont montré que les germinations des pins étaient sensiblement moins nombreuses au cours de la décennie 40 (marquée par des étés chauds et secs) qu'au cours des décennies 60 et 70, climatiquement plus proches de la normale - avec respectivement 7,4 % de germinations contre 18,5 % et 17,3 % ;

- la question de l'apport d'éléments organiques d'origine anthropique, comme l'azote ou des particules organiques, par les courants atmosphériques a été peu étudiée.

L'hypothèse est jugée peu probable dans l'état actuel des connaissances, car :

- les espèces de ligneux considérées ne sont pas nitrophiles,
- les analyses chimiques sur les sites étudiés n'ont pas révélé de teneurs anormales en azote,
- les données phytosociologiques disponibles n'indiquent aucun changement anormal dans la dynamique végétale, notamment dans l'évolution des communautés de *Sphagnum* (ces études sont toutefois peu nombreuses, et la question de l'impact de l'azote atmosphérique n'a jamais l'objet de travaux spécifiques) ;

- l'arrêt de l'utilisation traditionnelle des sites peut expliquer l'explosion des populations de bouleaux sur certains sites comme la Prénarde-Pifoy [42], mais n'est pas valable pour toutes les tourbières ;

L'exemple de la Prénarde-Pifoy [42]

Située à 1125 m d'altitude dans le sud des monts du Forez, cette tourbière basse minérotrophe a été pâturée, et Juncus acutiflorus fauché jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale. Les vaches et les chèvres étaient conduites par les enfants sur la zone humide et à travers la forêt et les landes. L'étude du cadastre de 1826 atteste la fonction de pâture de la tourbière dans un contexte d'agriculture traditionnelle. Tous les témoignages, ainsi que l'étude dendrochronologique, prouvent que la tourbière était à peu près totalement dépourvue d'arbres à la fin de la Seconde Guerre Mondiale.

*Après 1945, l'exode rural et le recul de l'agriculture ont été rapides et le site a été totalement abandonné. Les Pins sylvestres, mais aussi les Bouleaux pubescents (*Betula pubescens*) et quelques Saules à oreillettes (*Salix aurita*), ont rapidement gagné du terrain. Le comptage des cernes de croissance des pins montre que la très grande majorité d'entre eux a effectivement poussé après 1950. En 2008, seules deux clairières « représentant environ 25 % de la superficie totale du site » sont seulement arborées, le reste étant entièrement boisé - et encore l'extension des bouleaux, l'arbre le plus dynamique sur cette tourbière, a-t-elle été ralentie dans les années 1995-2005 par la pression très forte exercée sur la végétation par une population de chevreuils (*Capreolus capreolus*) exceptionnellement abondante.*

- la présence d'une couverture arborée autour du site semble jouer un rôle (foyer de colonisation, rôle d'abri des plantations d'épicéa favorisant le bouleau), sans qu'il s'agisse d'une explication exclusive ;

- sur les rares sites concernés (une dizaine sur le secteur d'études), le drainage lié à l'exploitation de la tourbe a eu un effet très net ; en bouleversant l'hydrologie par abaissement significatif de la nappe, il a entraîné une véritable explosion de l'arbre. Sur la tourbière bombée de Vérines [42], dans les Monts du Forez, exploitée entre 1940 et 1980, après l'arrêt de l'extraction, *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens* ont envahi la plus grande partie du bombement résiduel, la zone à schlenken résistant seule au boisement.

Le marais de Limagne [43] illustre les cas où une forte variabilité demeure inexpliquée : les suivis ne montrent pas d'eutrophisation, les niveaux piézométriques sont souvent très haut, et le site n'a a priori subi ni reboisement artificiel, ni pâturage intensif, ni drainage.

Mais les arbres rares et de petite taille, voire absents tout au long de la première moitié du XXe siècle ont commencé à envahir le site en 1967 (photo aérienne).

Après cette phase d'expansion, combinant une augmentation de la densité et des peuplements plus dynamiques et en meilleur état sanitaire, un rapide dépérissement des arbres a été constaté dans certains secteurs, et en particulier sur les Pins sylvestres. Il semble que cette évolution soit concomitante de la forte pluviométrie des années 2007 et 2008.

Tous les auteurs sont d'accord pour constater l'importance des facteurs autogènes et locaux dans la mise en place et le développe-

ment des tourbières ; cependant les facteurs allogènes, qui plus est mal connus et évalués, peuvent également jouer un rôle important.



Vue du marais de Limagne [43] / Université de Saint-Etienne

3.3. Avenir du boisement

3.3.1. Quelle place pour l'arbre dans les tourbières françaises ?

Les arbres européens sont dépourvus d'adaptations aux conditions anoxiques, telles que l'aérenchyme (tissu permettant à l'air de circuler en profondeur, jusqu'à 230 cm pour *Carex rostrata*) présent chez de nombreuses espèces de zone humide.

Si certains peuvent se développer sur sites tourbeux, ils ne résistent donc guère aux sites les plus extrêmes (notamment en termes d'hydromorphie et d'anoxie), et prolifèrent principalement sur des sites dégradés. Payette & Rochefort (2001) estiment qu'en l'absence d'adaptation leur permettant de tolérer une submersion prolongée, ils peuvent cependant être naturellement favorisés en bordure des tourbières bombées, où l'acrotelme (couche aérobie) est plus épais ; de plus, ils y bénéficient d'une eau en provenance du centre du bombement, enrichie en minéraux et éléments nutritifs.

Ailleurs, l'excès d'eau limite les apports en oxygène des racines, qui ne peuvent se développer en profondeur et restent cantonnées à la zone de surface, plus aérée. Il en résulte des difficultés pour l'alimentation en eau (en période sèche) et sels minéraux, ainsi qu'un ancrage qui reste superficiel. La concurrence des bryophytes et des herbacées peut aussi avoir un impact non négligeable sur les populations de ligneux. De plus, dans de nombreux sites, les arbres ont tendance au cours de leur développement à s'enfoncer

dans la tourbe sous l'effet de leur propre poids, entraînant leur mort par asphyxie.

Le drainage accompagnant les plantations permet quant à lui d'améliorer l'aération des horizons supérieurs de l'histosol, au moins en surface et à proximité des fossés (jusqu'à 15 m), ce qui a pour conséquences d'améliorer la croissance des arbres en place (qui après quelques années peuvent retrouver un taux de croissance comparable aux arbres sur sol minéral de fertilité équivalente), ainsi que le taux de survie des semis. La croissance des plants de ligneux serait d'ailleurs davantage corrélée à la profondeur d'aération et la teneur en eau qu'à la profondeur de la nappe, puisque des mécanismes complexes président à la redistribution de l'eau dans les histosols.

Quoi qu'il en soit, ces effets sont plus marqués à proximité des drains, avec une aire d'influence variant entre autres selon la largeur et la profondeur du drain, ainsi que les caractéristiques de l'histosol. Sous l'effet combiné de l'oxygénation du sol (variable selon les caractéristiques de rétention en eau de la tourbe) et de la diminution de sa conductivité thermique (induisant des variations de température plus marquées en surface, dont un réchauffement de l'ordre de quelques degrés au printemps et en été), la minéralisation est accrue et une perte de volume s'ensuit, qui entraîne un affaissement

allant de quelques centimètres à quelques décimètres (selon différents paramètres, dont le temps). Conjugué à une meilleure rétention de l'eau (microporosité et capillarité accrues), cet effet contrebalancerait la diminution de l'évapotranspiration liée à l'abaissement de la nappe, d'après des études canadiennes. Ainsi les pertes par évapotranspiration d'une tourbière déboisée et drainée du Québec sont similaires à celles d'un site non perturbé situé à proximité.

Le peuplement a aussi tendance à voir sa diversité spécifique augmenter, et sa canopée se refermer. Les jeunes arbres, avec un faible diamètre, réagissent souvent plus fort à ces modifications du milieu. La densité du peuplement augmente, au moins durant quelques décennies. Les modifications de la strate herbacée et l'augmentation de la compétition entre les arbres entraînent ensuite l'accroissement de la mortalité.

Pour plus d'informations, le lecteur se reportera aux ouvrages de Payette & Rochefort (2001) et Sarkkola (2006), dont sont tirées les données ci-dessus.

On le voit, l'arbre, s'il n'est pas inconnu dans les tourbières, n'y est pas non plus fort à son aise, au moins en France ; constat qui pourrait permettre au gestionnaire de relativiser ses craintes quant à l'envahissement d'un site.

3.3.2. Etude des dynamiques de boisement des tourbières

Les mêmes incertitudes pèsent sur la question de l'évolution du boisement que sur celle de son origine : faute d'une connaissance suffisamment fine des mécanismes en jeu, de leurs parts respectives, de leurs synergies ou antagonismes, et plus encore de leur quantification, il n'est pas possible de prédire assurément ce que deviendra spontanément un boisement sur tourbe.

Ainsi les données climatiques, particulièrement à l'échelle du site, restent rares et souvent récentes, voire incomplètes et/ou inutilisables pour mener une étude diachronique de qualité. Il en va de même, dans une moindre mesure peut-être, de la connaissance du reste de l'hydrologie des sites. Les activités humaines, quant à elles, sont souvent mieux documentées ;

cependant la quantité et qualité des connaissances restent comme toujours très variables d'un site à l'autre, et des éléments importants, comme la pression d'un pâturage traditionnel, peuvent s'avérer impossibles à retrouver.

L'évolution récente de la couverture végétale peut néanmoins être retracée en combinant plusieurs méthodes :

- l'examen des photographies aériennes des différentes campagnes (variables selon les secteurs) ;
- le recours à des témoignages divers recueillis auprès des habitants, utilisateurs ou gestionnaires des sites ;

● les carottages des arbres à la tarière de Pressler, et le comptage des cernes de croissance (opération notamment réalisée au Luitel [38] et à Lac-des-Rouges-Truites [39]) ;

● à des échelles de temps différentes, les observations des stratigraphies et analyses des macro-restes végétaux au sein de l'histosol.

Tous ces éléments permettent au gestionnaire de mesurer la tendance sur son site, ainsi que de se forger une idée de la rapidité d'un éventuel phénomène de colonisation par les ligneux. Un suivi diachronique du bassin versant, qui peut utiliser les mêmes méthodes, pourra également apporter de précieuses informations.

3.3.3. Exemples de dynamiques sur les sites tourbeux de montagne

Les retours d'expériences montrent bien que la situation sur le terrain est contrastée. Cubizolle & al. (sous presse) ont mis en évidence, sans pouvoir forcément les expliquer clairement, trois types d'évolution dans le Massif central oriental :

- le développement de l'arbre est très important, et à peu près tout le site est boisé ; le processus a démarré dans les années 1940, comme à la Prénarde [42] (voir ci-dessus), ou à la fin des années 1960, comme pour la tourbière ombrotrophe du Marais de Limagne [43], qui se situe à 900 m d'altitude dans le massif du Devès ;
- après une phase d'expansion rapide jusqu'aux années 1960, le développement de l'arbre semble stoppé : c'est le cas des tourbières bombées du système tourbeux de la Pigne [42], dans les Monts du Forez (altitude : 1360 m), où les photographies aériennes et les observations de terrain ne font pas apparaître d'évolution significative depuis 1962 ;
- aucun développement de l'arbre n'est constaté : c'est le cas à la Morte [42], une tourbière haute à buttes de sphaignes et schlenken, installée sur un épaulement glaciaire au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus* des Monts du Forez, à 1300 m d'altitude.

Dans les Vosges du Nord, au sein de la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche, différentes situations ont également été observées suite à l'arrêt des activités anthropiques (déboisement, drainage, plantation, pâturage, fauche, création de plans d'eau).

Sur tourbe drainée abandonnée se met en place une moliniaie quasi monospécifique, dont les principales caractéristiques sont :

- une forte densité ralentissant la mise en place de semis de ligneux ;
- une amplification de l'amplitude du battement de la nappe ;
- le développement possible du Saule à oreillettes (*Salix aurita*) le long des fossés de drainage ;
- le retour des sphaignes minérotrophes dans les fossés non entretenus.

Le Pin sylvestre et/ou le Bouleau pubescent s'installent quant à eux, hors planta-

tions, dans deux cas de figure :

- sur les buttes de sphaignes s'asséchant au sommet ;
- lorsque la végétation au sol n'est pas trop dense ou que le sol est décapé (tourbe peu minéralisée ou sable oligotrophe), et que le niveau d'eau en saison de végétation reste inférieur à la surface du sol.

L'évolution constatée semble corrélée au niveau de la nappe :

- si celle-ci ne remonte pas significativement :
 - développement à long terme de la pineraie, pouvant évoluer vers une pineraie à Myrtille des marais (*Vaccinio uliginosi-Pinetum*) ;
 - augmentation de l'hygrométrie atmosphérique et maintien à un niveau élevé toute l'année, développement de sphaignes ombrophiles (*Sphagnum capillifolium*) en buttes ;
 - si les sphaignes sont très envahissantes, l'asphyxie des pins est possible, entraînant la formation de clairière à buttes ombrotrophes de sphaignes surmontées d'Ericacées, de canneberge et de *Polytrichum* sp.

- en cas de remontée significative de la nappe :
 - développement d'espèces de bas-marais acides, dont des sphaignes minérotrophes (*Sphagnum fallax*, *S. flexuosum* et *S. palustre*) ;
 - asphyxie progressive des pins, déstabilisation et chablis ;
 - formation de clairières et apparitions d'espèces hygrophiles, héliophiles et acidiphiles (drosera, canneberge...).



Moliniaie sur tourbe drainée abandonnée dans la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche [57] / L. Duchamp - SYCOPARC

4. INTERVENTIONS SUR DES BOISEMENTS TOURBEUX

Si le gestionnaire peut lutter localement contre certaines dégradations du système réputées favorables au développement des ligneux (en particulier en ce qui concerne la quantité et la qualité des eaux d'alimentation), il semble en revanche vain de vouloir éradiquer des arbres dont l'implantation et le développement relèvent de causes profondes, à des échelles spatio-temporelles qui le dépassent. Comment modifier à l'échelle de son site les apports azotés atmosphériques, les précipitations, les températures ? L'intervention sur les boisements tourbeux devra donc être mûrement réfléchie (voir chapitre 1), et ne pas faire l'objet d'une programmation systématique.

4.1. Pourquoi intervenir ?

Nous avons vu précédemment les différents impacts, parfois mal connus, que peuvent avoir les arbres sur les tourbières. Une intervention aura pour objectif de remédier à ces problèmes, et pourra donc viser à :

- maintenir des conditions favorables à la préservation d'espèces-cibles héliophiles (pour les végétaux) ou dépendantes d'une structure paysagère ouverte (pour la faune) ; dans ce cas l'intervention n'est nécessaire que si un boisement rapide et généralisé menace le site, et que les espèces-cibles et leurs besoins sont clairement identifiés ;
- préserver des habitats d'intérêt (approche écologique et/ou administrative, notamment dans le cadre de Natura 2000) ;
- préserver un paysage ouvert (aspect esthétique, demande sociale) ;

Sur le plateau de Montselgues [07], un déboisement sélectif a été opéré, qui a été complété par une extension des parcours ovins et caprins et la mise en place de zones-relais (mares) pour l'entomofaune, groupe d'intérêt le plus menacé par la fragmentation du réseau de tourbières.



Vue d'une tourbière du plateau de Montselgues [07] cernée par la forêt / F. Grégoire

- (re)créer des corridors biologiques au sein d'un complexe pour favoriser des populations d'espèces-cibles animales ou végétales ;
- éliminer des arbres susceptibles d'affecter la tourbière (semenciers, sources de litière) qui se seraient développés dans ou en bordure du site suite à des dégradations anthropiques connues et sur lesquelles on ne peut intervenir rapidement : remblai, drainage (abaissant la nappe et modifiant la topographie, avec par exemple un bourrelet issu du creusement du drain et présentant des conditions plus sèches) ;
- après une restauration fonctionnelle dont on ne sait pas si elle permettra l'élimination des ligneux implantés lors de la dégradation du site, ou pour hâter leur disparition ;
- éventuellement contribuer à une réhabilitation hydrologique du site (voir ci-dessous).

Quels sont les effets de la coupe de ligneux sur l'hydrologie locale ?

Des études au Canada et en Fennoscandie ont montré que la coupe forestière des peuplements sur tourbe entraînait une remontée de la nappe, qui était même à l'origine de l'expansion des tourbières par paludification de sites minéraux humides. 50% des apports supplémentaires en eau seraient liés à une moindre interception des pluies par les arbres.

La réalité semble - comme toujours - plus complexe, et le niveau de la nappe avant intervention constitue un paramètre crucial.

A ce sujet, Verry (1997) distingue deux cas :

- si la nappe était superficielle (de 0 à -30 cm), - pas de remontée (Payette & Rochefort (2001) parlent même d'un léger abaissement du niveau d'eau par augmentation de l'évaporation) ;
- le niveau d'eau moyen pendant la saison de végétation reste à peu près égal (sauf précipitations exceptionnelles) ;
- les variations hebdomadaires sont amplifiées (niveau un peu plus haut pendant ou juste après les pluies, un peu plus bas en l'absence prolongée de précipitation) ;
- on ne note que les effets de la moindre interception de la canopée, de l'augmentation de la biomasse de Cypéracées et l'effet dessiccateur du vent, mais qui tendent à se compenser.

- dans le cas contraire, on constate une remontée d'ampleur variable, en

fonction notamment des caractéristiques du sol - Payette & Rochefort (2001) rapportent diverses études montrant que cette remontée est d'ordre centimétrique (4 à 7 cm), et dépasse les seules parcelles exploitées (elle peut être mesurée jusqu'à 3 m à l'intérieur des zones restées boisées). Cette remontée est potentiellement réversible si de nouveaux arbres réussissent à s'implanter.

Autre élément intéressant, la coupe partielle des arbres (coupes d'éclaircies) semble avoir un effet notable sur la nappe de la tourbe.

En plantation, on a observé une remontée du niveau de la nappe proportionnelle à l'intensité de l'intervention : si on enlève 50% des arbres, la nappe atteint un niveau égal à 50% de celui qu'elle atteindrait en cas de coupe à blanc.

En sites tourbeux non drainés, on a même noté que la suppression de 40% de la surface terrière ramenait la nappe à un niveau équivalent à celui atteint en cas de coupe totale.

A noter : les opérations forestières selon des méthodes d'exploitation classiques ont tendance à diminuer la conductivité hydraulique de la tourbière en déstructurant les couches supérieures et en ramenant en surface de la matière organique plus décomposée et moins perméable.

4.2. L'hydrologie, un levier d'intervention

S'il souhaite impacter des peuplements de ligneux se développant en tourbière, le gestionnaire gagnera à s'intéresser aux causes de ce développement, en particulier au niveau de l'hydrologie du site (voir chapitres 3 et 4). En effet, intervenir sur les seuls arbres revient à traiter les symptômes du « mal », et non pas ses causes. En l'occurrence, sans modifications des conditions de l'écosystème, il y a fort à parier que la dynamique de boisement repartira de plus belle sur les sites d'intervention (remise en lumière, rejets des souches, dispersion de semis...). Le gestionnaire risque ainsi de perdre beaucoup de temps, d'argent (les travaux en tourbières restent longs et complexes !) et de crédibilité face à ce tonneau des Danaïdes.

A l'inverse, en se fixant des objectifs de restauration fonctionnelle, il pourra arriver à terme à la disparition des ligneux, si ceux-ci se retrouvent dans des conditions où ils ne sont plus compétitifs - en particulier en cas de remontée de la nappe (voir 3.3).

Fay & Lavoie (2009), qui travaillent au Canada sur les semis de bouleaux (*Betula papyrifera*) colonisant une tourbière exploitée, concluent qu'une pression de l'eau dans le sol inférieure à -100 mb semble réhibitoire pour l'implantation et le développement des sphaignes, bryophytes physiologiquement incapables d'absorber de l'eau plus fortement retenue. En revanche, ces dernières sont particulièrement compétitives par rapport au bouleau dans les sites à faible teneur en azote et forte teneur en eau ; ainsi, sur des sites exploités, une remontée du niveau de

la nappe à 20 cm sous la surface topographique en été pourrait éviter l'envahissement par le bouleau, et favoriser l'implantation d'autres espèces (joncs, linaigrettes) que certaines études présentent comme facilitant l'implantation ultérieure des sphaignes (effet d'abri des touffes et/ou de la litière).

En France, le Conservatoire des Sites Lorrains considère que la gestion hydraulique est une façon durable de maîtriser la colonisation ligneuse jugée indésirable tout en relançant la dynamique de turfigène à partir d'habitats pionniers sur tourbe. Cette technique est pérenne dans son efficacité, mais aussi économique en temps de travail et en argent. Elle ne doit cependant être mise en œuvre qu'après avoir identifié et hiérarchisé les enjeux et exploré

le fonctionnement hydraulique du complexe tourbeux concerné.

L'expérience en a été faite sur la tourbière de la Morte-Femme, commune de Gérardmer [88]. La configuration du site (et notamment la topographie) s'y prêtant bien, les anciennes fosses de tourbage colonisées par les bouleaux ont été remises en eau en érigeant un simple merlon de tourbe au niveau de leur exutoire. En 10 ans, le taux de mortalité des bouleaux, laissés sur pied et donc ennoyés, est de 100% (dès 3 ans après la mise en eau), et malgré les craintes initiales d'anaérobiose du plan d'eau artificiel par décomposition de nécromasse, on constate une explosion des populations reproductrices d'odonates et une redynamisation des sphaignes des berges (Ragué, *comm. pers.*).



Vue de la fosse de tourbage avec les bouleaux ennoyés sur le site de la Morte-Femme - Gérardmer [88]
F. Muller - Pôle-relais Tourbières

Une autre opportunité provient de l'imperméabilisation de la tourbe minéralisée : le gestionnaire peut tirer profit de cette propriété et favoriser une circulation hydrique en nappe sur une tourbière dégradée, qui (sous réserve d'une alimentation hydrique adaptée en qualité et quantité) pourra favoriser la réinstallation de sphaignes pionnières (*S. capillifolium*, *S. cuspidatum*...), qui seront remplacées ensuite par des sphaignes turfigènes qui reconstruiront un acrotelme fonctionnel secondaire. Cette chronoséquence a notamment été observée à la suite de la gestion hydraulique des tourbières de la

Bouyère à Jussarupt [88], de Jemnaufaing à Rochesson [88] ou du Grand Etang à Gérardmer [88], où la flore secondaire de chaméphytes et phanérophytes ligneux continue à régresser au profit des bryophytes.

Bien sûr, tous les sites ne se prêtent pas à des actions avec un tel rapport coût/effets ; la topographie, mais aussi la connaissance de l'hydrologie sont deux paramètres importants. Il ne faudrait ainsi pas, en voulant relever la nappe, inonder des secteurs d'intérêt avec des eaux trop chargées en calcium ou en éléments nutritifs...

Un autre bémol à apporter à cette approche est le fait qu'un certain nombre de facteurs indépendants du gestionnaire et/ou encore mal connus peuvent empêcher la dynamique visée de se mettre en place : apports azotés atmosphériques enrichissant le milieu, boucles de régulation au sein du complexe tourbeux...

Attirons enfin l'attention sur les démarches administratives nécessaires à de telles opérations, qui renvoient à la réglementation en vigueur concernant notamment la création de plan d'eau.



Exploitation de résineux par câble-mât dans le Morvan / PNR du Morvan

4.3. Techniques de déboisement

Le lecteur pourra se reporter aux ouvrages de Dupieux (1998) et Crassous & Karas (2007) pour les descriptions des diverses méthodes d'intervention ; la plaquette « Tourbières et forestiers » du Pôle-relais Tourbières présente aussi les conseils concernant une intervention en milieu tourbeux boisé. Nous nous contenterons donc de détailler ici certains exemples d'interventions sur des sites tourbeux de montagne impliquant des techniques particulières.

4.3.1. PNR du Morvan : le câble-mât, intervenir sans dégâts

A Champeau-en-Morvan [21], le PNR du Morvan a engagé, en partenariat avec la commune (propriétaire) et l'Office National des Forêts (gestionnaire), un programme de restauration sur 6 ha de parcelles tourbeuses plantées en épicéa au début des années 1950. Le secteur était classé en Natura 2000 et l'opération s'est déroulée dans le cadre du programme LIFE « Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée ».

L'objectif était d'assurer la transformation intégrale du peuplement résineux vers des essences feuillues spontanées, encore présentes en mélange par bouquets (bouleau, aulne).

L'enjeu était de permettre l'exploitation des épicéas sans impacter les sols et en dégageant une valorisation économique des produits pour la commune.

Les arbres, du fait des contraintes du milieu, étaient à enracinement très superficiel, fortement branchus et d'une hauteur moyenne proche de 12 m.

Les estimations de martelage donnaient les chiffres suivants :

Volume total à exploiter : 1377 m³
Volume à l'hectare : 228 m³
Nombre de tiges à l'hectare : 245
Volume moyen par arbre : 0,94 m³

L'utilisation du câble-mât permettait d'éviter un débardage mécanique rendu impossible par le sol des parcelles, trop humide pour les engins traditionnels.

Les caractéristiques du site s'y prêtaient également : fort volume de bois à l'hectare, volume total suffisant pour justifier le déplacement d'une équipe spécialisée, parcelle bordée sur deux côtés par une desserte forestière permettant l'accès et le stockage des produits d'exploitation.

Les principales caractéristiques techniques imposées étaient :

- abattage manuel, huile de chaîne biodégradable obligatoire ;
- maintien des arbres feuillus et des arbres morts ;
- débardage par câble-téléphérique des arbres (entiers ou pas mais non façonnés, car les rémanents doivent être extraits de la zone de tourbière) ;
- ébranchage et façonnage sur place de dépôt ;
- tri par produits (5 catégories) défini par l'agent de l'ONF en bord de route ;
- stockage des rémanents sur places de dépôt.

La principale difficulté technique relevée fut celle liée à l'amarrage en bout de ligne : les épicéas étant de faible hauteur et enracinés superficiellement, et malgré un haubanage

renforcé de l'ensemble des ancrages, l'amarrage a ainsi cédé à plusieurs reprises en cours de chantier.

Le bilan économique a été positif, avec des bois d'œuvre et d'industrie valorisés en moyenne à 46 €/m³ dans le cadre des contrats d'approvisionnement de l'ONF. Seuls les rémanents, dont la valorisation était initialement prévue sous forme de plaquettes forestières, n'ont pas trouvé preneur, même cédés à titre gracieux.

Le coût moyen d'exploitation a été de 39 €/m³, dont 19 pour le PNR du Morvan et 20 restant à la charge de la commune (contre 15 €/m³ pour un chantier mécanisé classique dans le secteur). Les frais de maîtrise d'ouvrage de l'ONF s'élevant à 2 €/m³, la recette nette pour la commune s'élève à 24 €/m³ (5 issus de la vente des bois plus les 19 du programme LIFE).

Cette expérience montre qu'en zone favorable (desserte à proximité, possibilités d'amarrage), l'exploitation avec câble-mât peut s'avérer très intéressante sur les milieux sensibles en zone plane, en conjuguant préservation des sols et milieux sensibles d'une part, et rentabilité économique de l'autre - et ce sur des secteurs inexploitable avec les méthodes classiques. Des actions de restauration de tourbières plantées ou dégradées peuvent donc localement être autofinancées, indépendamment des zonages et dispositifs ouvrant droit à des aides.

4.3.2. Cerclage : les expériences en Franche-Comté

La méthode du cerclage est souvent évoquée comme une technique douce et efficace ; cependant sa mise en œuvre doit respecter certaines règles pour être efficace - le lecteur pourra par exemple se reporter aux ouvrages de Dupieux (1998) et Crassous & Karas (2007) pour plus de détails.

La hauteur (une dizaine de centimètres) et la profondeur (2 centimètres environ) des anneaux sont des paramètres importants ; sur la Réserve Naturelle du lac de Remoray [25], l'expérience relatée par Dupieux (1998) n'a pas été concluante car l'écorçage avait été trop « timide », et les arbres ont pu cicatriser (Tissot, *comm. pers.*).

Le CREN Franche-Comté a également mis en œuvre cette technique, notamment sur les tourbières sites de l'Entre-Côtes à Foncine-le-Haut [39] ; après le cerclage de plus de 200 bouleaux en mars 2000, un passage a été effectué l'année suivante pour éliminer les rejets. L'opération a été un succès, avec un taux de réussite élevé, proche de 95 %.

Sur la tourbière de la Grande Seigne à Passonfontaine [25], un cerclage est réalisé chaque année depuis 2007, selon le même protocole qu'à Foncine (mais le passage a lieu début juillet). 4 ha environ ont été traités jusqu'à présent. Quelques conclusions ou observations ressortent de ces expériences (Moncorgé, *comm. pers.*) :

- les arbres meurent environ au bout de 2 à 3 ans ;
- la date d'intervention (mars ou juillet) ne semble pas influencer sur l'efficacité du traitement ;
- il est indispensable de prévoir un passage un an après le cerclage pour éliminer les rejets ;
- il convient d'être attentif (notamment à proximité des chemins) au risque de chute d'arbres plus élevés pour les sujets traités ;
- on peut choisir de ne pas exporter, ce qui résout bien des problèmes techniques (mais il faut parfois faire face à des demandes sociales d'élimination des arbres morts qui « gâchent » le paysage) ;
- cette méthode est très rapide et donc très économique ;
- des tests sur de tout petits diamètres ont eu lieu à l'été 2009 à Eromagny [70].

4.3.3. RNN du lac Luitel : quand l'ONF déboise...

L'étude des vieux aménagements forestiers, l'étude diachronique (missions de photos aériennes prises à différentes dates) et la caractérisation de l'âge des arbres par dendrochronologie ont permis de préciser les conditions d'arrivée de l'épicéa dans la tourbière du col Luitel depuis quelques dizaines d'années.

En effet, les versants entourant la réserve ont fait l'objet, à la grande époque du Fonds Forestier National, de campagnes de plantation de résineux. Les bords de la tourbière n'ont pas échappé à ce phénomène.

Du fait de leurs branches basses très développées et du dépôt annuel d'une couche de litière non décomposée, les épicéas plantés ont provoqué la disparition des plantes herbacées typiques de tourbière. L'idée de supprimer ces

arbres plantés pour restaurer ces milieux remarquables est donc apparue.

L'opération a été validée par le Comité Consultatif de la Réserve et la coupe des arbres a été réalisée en 2004. Elle s'est déroulée en respectant un cahier des charges très précis. De l'huile biodégradable a été utilisée dans les tronçonneuses, et il a été interdit aux engins forestiers, cantonnés aux pistes et routes existantes, de pénétrer dans la tourbière. Les arbres ont été évacués entiers et ébranchés hors de la tourbière pour éviter les apports de rémanents et pour permettre le retour de la lumière au sol. En 2007, deux secteurs expérimentaux ont fait l'objet d'arrachage de souches et de décapage de la litière d'épicéas accumulée depuis 70 ans. Dans les zones décapées, on observe en 2008,

le retour progressif d'espèces de lande tourbeuse (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*) en 2008 et, en 2009, des germinations de Pins à crochets.

Dans les secteurs non décapés, le bouleau (*Betula pubescens*) et les Ericacées sont apparus. Pour l'instant, aucune germination d'épicéa n'a été observée.

Le même type de chantier a été mené dans le cadre d'un contrat forestier dans une petite tourbière, la Sagne du Pin, située dans le site Natura 2000 FR8201732 "Tourbières du Luitel et leur bassin versant". Dans cette petite tourbière, les bouleaux avaient été abattus et laissés sur place pour favoriser les épicéas issus de plantations et l'exutoire de la tourbière surcroulé (il a été réhaussé dans le cadre du chantier).

Rappelons que des travaux menés dans le cadre du réseau « Tourbières d'Auvergne » et comparant des plantations sur sols sains et sur tourbe (Hénon, 2005) ont conclu que le boisement des tourbières était un « non-sens forestier » et une « hérésie économique » ; ces travaux, disponibles au Pôle-relais Tourbières, ont l'avantage de montrer de façon chiffrée que la plantation en tourbière, en plus de ses impacts écologiques, amène les propriétaires à perdre de l'argent.

5. CONCLUSION

Ce chapitre pourra apparaître comme touffu, et parfois déroutant, à certains lecteurs. S'il en est ainsi c'est qu'une fois encore rien n'est simple, et que la question des impacts des ligneux en tourbières ne trouve pas de réponse évidente et universelle.

Nous l'avons vu à travers les exemples précédents, les effets sur les différents composants de l'écosystème tourbière restent variables selon les contextes ; si certaines certitudes se dégagent, elles sont le plus souvent reliées aux aménagements sylvicoles – en particulier les travaux de drainage – plus qu'aux arbres eux-mêmes. Dans ce domaine, il reste de nombreuses interrogations, ainsi que des lacunes dans la connaissance de dynamiques complexes.

A ce titre, le gestionnaire gagnera à intervenir prudemment, en se méfiant des idées liant forcément la présence d'arbres à une dégradation de la tourbière : les intérêts des boisements tourbeux évoqués ici devraient amener à réfléchir à deux fois avant d'éliminer le couvert forestier ; et quand bien même il déciderait de supprimer les ligneux, nous ne saurions trop lui conseiller de le faire avec une « douceur » toute relative, en étalant la coupe sur plusieurs années afin d'éviter des modifications trop brutales à un milieu qui reste sensible. N'oublions pas enfin que ce sont les expériences à venir, si elles sont conduites de façon satisfaisante, qui permettront à la connaissance de progresser, et aux interventions futures de se faire de façon de plus en plus raisonnée.



6. BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

AVENIR (2001). *Plan de gestion de la tourbière du Peuil - commune de Claix.* 75 p.

CRASSOUS, C. ; KARAS, F. (2007). *Guide de gestion des tourbières & marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale.* Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Pôle-relais Tourbières, 203 p.

CRPF AUVERGNE (2004). *Les tourbières en forêt.* Bulletin semestriel - fiche technique, n°35, 4 p.

CUBIZOLLE, H. ; PORTERET, J. ; THEBAUD, G. ; TOURMAN, A. (sous presse). *Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central oriental (France) au cours du XXème siècle.* Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald, sortie prévue : 2010.

CUBIZOLLE, H. ; SACCA, C. (2004). *Quel mode de gestion conservatoire pour les tourbières ? L'approche interventionniste en question.* Géocarrefour, Vol. 79/4, [en ligne].

URL : <http://geocarrefour.revues.org/index4162.html>

DUPIEUX, N. (1998). *La gestion conservatoire des tourbières de France. Premiers éléments scientifiques et techniques.* Espaces Naturels de France - Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, Programme LIFE-Tourbières de France, 244 p.

FAY, E. ; LAVOIE, C. (2009). *The impact of birch seedlings on evapotranspiration from a mined peatland : an experimental study in southern Quebec, Canada.* Mires and Peat, Volume 5, Article 03, pp. 1-7.

FOURNIER, V. (2008). *Hydrologie de la tourbière du mont Covey Hill et implications pour la conservation.* Mémoire de maîtrise, M.Sc. Terre, Université du Québec à Montréal, département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, 79 p.

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

URL : <http://geocarrefour.revues.org/index827.html>

HELVEY, J. D. ; PATRIC, J. H. (1965). *Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States.* Water Resources Research 1, pp.193-206.

HENON, J.M. (2005). *Boiser les tourbières : non-sens forestier, hérésie économique !* Espaces Naturels, N°11, p. 13.

JOHNSON, M.S. ; LEHMANN, J. (2006). *Double-funneling of trees: stem-flow and root-induced preferential flow.* Ecoscience 13(3), pp. 324-333.

LUNT, H. A. (1934). *Distribution of soil moisture under isolated forest trees.* Jour. Agr. Res. 49(8), pp. 695-703.

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

MOREAU, P.A. (2002). *Analyse écologique et patrimoniale des champignons supérieurs dans les tourbières des Alpes du Nord.* Mémoire de thèse, Université de Savoie, 240 p.

PAYETTE, S. ; ROCHEFORT, L. (2001). *L'écologie des tourbières du Québec-Labrador.* Les Presses Universitaire de Laval, 621 p.

POLE-RELAIS TOURBIERES (2006). *Tourbières et forestiers.* Plaquette d'information, FCEN, 4 p.

PRICE, J.S. ; BRANFIREUN, B.A. ; WADDINGTON, J.M. ; DEVITO, K.J. (2003). *Advances in Canadian wetland hydrology, 1999-2003.* Hydrological Processes, 19, pp. 201-214.

PRICE, J.S. ; WADDINGTON, J.M. (2000). *Advances in Canadian wetland hydrology and biogeochemistry.* Hydrological Processes, 14, pp. 1579-1589.

RESERVE NATURELLE DE LA HAUTE CHAÎNE DU JURA. *La forêt, lien entre ciel et terre... l'arbre et le cycle de l'eau.* Panneau d'information, réalisation D. Corcelle.

ROBINSON, M. (1998). *30 years of forest hydrology changes at Coalburn: water balance and extreme flows.* Hydrology and Earth System Sciences 2(2), pp. 233-238.

RYDIN, H. ; JEGLUM, J.K. (2006). *The biology of peatlands.* Oxford University Press, 343 p.

SARKKOLA, S. (2006). *Stand structural dynamics on pristine and managed boreal peatlands.* Doctoral dissertation, University of Helsinki - Department of Forest Ecology, 78 p.

VERRY, E.S. (1997). *Hydrologic processes of natural, northern forested wetlands.* In: TRETTIN, C.C. & al. (Eds.), *Northern forested wetlands, ecology and management*, Lewis Publishers, pp. 163-188.

WAGNER, C. (1994). *Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* Ehrh.* In : *Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen*, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg, Heft 47, 182 p.

COMMUNICATIONS ORALES - RÉSUMÉS, SUPPORTS

BRETSCHNEIDER, A. (2008). *Moorwald oder Birkenstadium des degenerierten Hochmoores?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

CUBIZOLLE, H. & AL. (2008). *La dynamique forestière sur les tourbières des hautes-chaumes des Monts du Forez dans le Massif Central oriental (France).* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

DITTRICH, I. & AL. (2008). *Vegetationsspezifische Modellierung des Wasserhaushaltes von gehölzbestandenen Mooren und Implikationen für die Moor-Revitalisierung.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

DRAPIER, N. (2008). *L'arbre et la tourbière : quelle prise en compte dans les forêts publiques ?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008. URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

DUCHAMP, L. (2008). *Le Pin sylvestre en contexte tourbeux : un allié du gestionnaire en ces périodes climatiques incertaines?* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

EDOM, F. & AL. (2008). *Ökohydrologische Modellbildung auf der Grundlage von IVANOVs hydromorphologischer Theorie und Anwendung für den praktischen Naturschutz.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

FRAHM, E. (2008). *Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines natürlichen Weidenbestandes (*Salix ssp.*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008. URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

GOUBET, P. ; RAGUE, J.C. (2008). *L'impact des arbres sur les communautés turfigènes serait-il toujours négatif? Quelques observations dans les Vosges et le Massif Central.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

GREGOIRE, F. ; PARMENTIER, H. ; PASCAULT, B. (2008). *La tourbière, le plateau et l'arbre: exemple du réseau de tourbières de Montselgues (Ardèche).* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>

WENDEL, D. (2008). *Bewaldete Moore und spontane Moorregeneration im sächsischen Erzgebirge unter dem Aspekt der FFH-Richtlinie der EU.* Colloque « Ecologie et protection des tourbières », 19-21 juin 2008.

URL : <http://www.pole-tourbieres.org/Bitche.htm>