

## Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central oriental (France) au cours du XX<sup>ème</sup> siècle

**Hervé CUBIZOLLE (1), Gilles THEBAUD (2), Laurent SEYTRE (3), Jérôme PORTERET (1) & Arnaud TOURMAN (1)**

(1) Université Jean Monnet, UMR 5600 CNRS EVS, 6 rue Basses des Rives, 42023 ST ETIENNE

(2) Institut des Herbiers Universitaires, 3, Boulevard Lafayette, 63000 CLERMONT-FERRAND CEDEX

(3) Conservatoire Botanique National du Massif Central, Le Bourg, 42 CHAVAGNIAC-LAFAYETTE

### **Résumé :**

Le développement rapide des arbres, principalement des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) et des bouleaux pubescents (*Betula pubescens*) ou des bouleaux verruqueux (*Betula pendula*) sur de nombreuses tourbières du Massif Central oriental au cours des 70 dernières années trouve son explication dans une multitude de facteurs humains et physiques, autogènes et allogènes, qui le plus souvent se combinent. La difficulté majeure est de parvenir à vérifier si le changement climatique en cours depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle et, spécialement le réchauffement plus marqué des années 1980-2008 ont pu avoir un rôle déterminant dans ce processus de colonisation des tourbières par les arbres. On ne dispose en effet d'aucune donnée piézométrique historique et les données météorologiques sont souvent très insuffisantes.

Deux sites ont été sélectionnés dont l'évolution ne semble pas avoir été influencée notablement par les interventions humaines (drainage et pâturage) : celui de l'Etui, tourbière bombée à sphaignes du massif granitique des Bois Noirs, et celui de Limagne, tourbière ombrotrophe installée dans un maar sur le plateau du Devès. Si dans le premier cas aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre évolution des variables météorologiques et chronologie de l'installation des arbres, il paraît clair que dans le second cas l'augmentation des températures est concomitante d'une accélération significative de la progression des arbres et de l'amélioration de leur état sanitaire.

Il n'en demeure pas moins que la mise en évidence d'une éventuelle incidence du changement climatique récent sur l'hydrologie et l'écologie des tourbières ne pourra être véritablement étudiée que dans le cadre d'un suivi scientifique comme celui mis en place depuis 2002 sur 5 sites pilotes du Massif Central oriental.

## **Zusammenfassung :**

Die schnelle Entwicklung des Baumbewuchses, namentlich der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) und der Moor-Birke (*Betula pubescens*) oder der Hängebirke (*Betula pendula*), in den zahlreichen Mooren des östlichen Massif Central im Lauf der letzten 70 Jahre, kann durch zahlreiche, meistens kombinierte menschliche und physikalische, auto-gene und allogene Faktoren, erklärt werden. Die Hauptschwierigkeit liegt darin zu prüfen, ob die klimatischen Veränderungen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts, vor allem aber die Klimaerwärmung der Jahre 1980-2008, eine entscheidende Rolle in diesem Prozess der Besiedlung der Moore durch die Bäume gespielt hat. Man verfügt nämlich über keine historischen, piezometrischen Angaben, und die meteorologischen Messungen sind oft sehr ungenügend.

Zwei Standorte wurden ausgesucht, deren Entwicklung nicht direkt vom Menschen (Trockenlegung und Beweidung) beeinflusst scheint: das «Etui», ein Hochmoor mit Torfmoosen auf Granitboden des Bois Noirs und «Limagne», ein Regenmoor in einem Maar auf dem Hochplateau von Devès. Während im ersten Fall keine signifikante Korrelation zwischen der Klimaänderung und der Entwicklung des Baumbewuchses aufgezeigt werden konnte, scheint im zweiten Fall der Temperaturanstieg mit einer deutlichen Beschleunigung der Baumentwicklung und einer Verbesserung des Gesundheitszustandes der Bäume ganz klar einherzugehen.

Trotzdem kann eine mögliche Auswirkung des Klimawandels der letzten Zeit auf den Wasserhaushalt und die Ökologie der Moore nur im Rahmen einer wissenschaftlichen Folgestudie aufgezeigt und untersucht werden, wie sie seit 2002 an fünf Pilotstandorten im östlichen Massif Central durchgeführt wird.

## **Summary :**

The rapid development of trees, principally the Scots pine (*Pinus sylvestris*), the downy birch (*Betula pubescens*) and the common birch (*Betula pendula*) in numerous mires of the eastern Massif Central in the course of the last 70 years can be explained by a multitude of human and physical factors, both local and from the outside, and which most often combine. The major difficulty is to determine whether the climate change which has been in progress since the mid-19th century, and in particular the more marked warming during the period from 1980-2008, could have had a determinant role in this process of mires colonization by trees. Indeed, there is no historical piezometric data available, and the meteorological data is often very inadequate.

Two sites have been selected, the development of which does not appear to have been influenced by human intervention (drainage and grazing): That of the Etui, a peat bog with widely proliferated sphagnum, in the granite massif of the Bois Noirs, and that of Limagne, an ombrotrophic peat bog embedded in a maar (volcano's crater) on the Devès plateau. While in the first case it has not been possible to provide evidence of

any significant correlation between the evolution of meteorological variables and the chronology of the establishment of trees, it seems clear that in the second case the rise in temperatures is concomitant with a notable speeding up of the progression of trees and an improvement in their state of health.

It must also be pointed out that it would only be possible to demonstrate a possible effect of recent climate change on the hydrology and ecology of the peat bogs within the framework of a scientific survey such as that which has been ongoing since 2002 on five pilot sites in the eastern Massif Central.

**Mots-clefs :** tourbières, développement de l'arbre, facteurs humains, changements climatiques, Massif Central, France.

## Introduction

Cet article vise à faire le point sur les facteurs d'explication du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, un phénomène constaté par ailleurs dans de nombreuses régions : Québec (PELLERIN & LAVOIE, 2003), Allemagne (FRANKL & SCHMEIDL, 2000), Suède (GUNNARSSON *et al.*, 2002), France (THEBAUD *et al.*, 2003). Dans le Massif Central oriental, les espèces colonisatrices sont principalement le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le bouleau pubescent (*Betula pubescens*) et le bouleau verruqueux (*Betula pendula*), et, plus rarement, le sapin (*Abies alba*) (THEBAUD *et al.*, 2003) (fig. 1).

En France, les gestionnaires s'interrogent sur les répercussions de cette évolution en terme de bilan hydrologique (DUPIEUX, 1998, FEDERATION DES CONSERVATOIRES D'ESPACES NATURELS 2010). La densification des arbres se traduit-elle par une augmentation de l'évapotranspiration et des abaissements saisonniers plus importants du niveau des nappes ? La capacité des tourbières à accumuler de la tourbe s'en trouve-t-elle alors réduite ? Si oui, dans quelle mesure ? Faut-il intervenir en coupant les arbres et en éliminant régulièrement les jeunes pousses ?

La réponse à ces questions nécessite au préalable de résoudre le problème des causes de l'expansion des arbres. Quelles sont les responsabilités respectives des activités humaines, de l'évolution des conditions hydro-climatiques locales ou stationnelles et du changement climatique en cours dans cette évolution ? De toute évidence les réponses sont multiples et complexes. Ainsi les Québécois qui ont travaillé sur le développement du pin gris (*Pinus banksiana*) au cours des 80 dernières années sur les tourbières du

sud du Québec ont abouti à la conclusion que l'explosion du pin gris est survenue principalement entre 1920 et 1945 à la suite d'incendies (PELLERIN & LAVOIE, 2003). Ensuite la progression des pins aurait pris une certaine ampleur à cause des conditions climatiques plus sèches que la normale qui caractérisèrent la première moitié de XX<sup>ème</sup> siècle.

Mais la présence d'arbres sur les tourbières n'est pas systématiquement perçue ni comme un phénomène récent ni comme un problème. Ainsi en est-il au Canada, en Scandinavie et en Sibérie, où se trouve 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 & 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* qui caractérise les marges tourbeuses de certaines tourbières bombées du Massif Central oriental, dans les Monts du Forez et les Bois Noirs est parfaitement naturelle (THEBAUD *et al.*, 2003). Ainsi des sapins blancs (*Abies alba*), plus que centaines pour certains, en très bonne santé poussent à la surface d'histosols épais de près de deux mètres.

Par ailleurs d'autres espèces sont relativement bien adaptées à la vie dans les tourbières. Ainsi, en Amérique du Nord, *Picea mariana* (épinette noire) et *Picea glauca* (épinette blanche) sont munis de racines adventives. Et *Picea glauca* peut générer des troncs secondaires par marcottage, compensant ainsi le relèvement de la surface du sol du fait de l'accumulation de tourbe et l'enfouissement du tronc qui en découle (SCOTT & HANSELL, 2002). Cette question des relations entre les ligneux et le processus d'accumulation de la tourbe est souvent abordée dans la bibliographie notamment à travers les études sur le développement des tourbières hautes et la compétition qui y règne entre les Sphaignes et les ligneux (OHLSON *et al.*, 2001 ; SCOTT & HANSELL, 2002 ; GOUBET *et al.*, 2004).

A 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 (BIRKS, 1975 ; CHAMBERS, 1997). CHAMBERS (1997) estime que les phases d'expansion des arbres sur les tourbières représentent 20 % de la durée de l'Holocène. Quant à leur signification paléoclimatique, elle est discutée. En effet si ces phases de colonisation par les arbres peuvent parfois être attribuées à des périodes climatiques plus chaudes et plus sèches (CHAMBERS, 1997), il apparaît que le rôle des conditions hydro-climatologiques locales et stationnelles (BRIDGE *et al.*, 1990) mais aussi les

interventions humaines (CHAMBERS, 1997) ont pu être également déterminantes. GOUBET *et al.* (2004) citant OHLSON *et al.* (2001) rappelle quant à lui que pour certains auteurs la tourbière bombée à Sphaigne dépourvue d'arbres est un climax. En conséquence le développement des ligneux serait le résultat d'une perturbation allo-gène d'origine climatique et anthropique.

Dans cet article nous présenterons l'analyse qui est faite de l'évolution des tourbières du Massif central oriental pour alimenter cette discussion très ouverte.

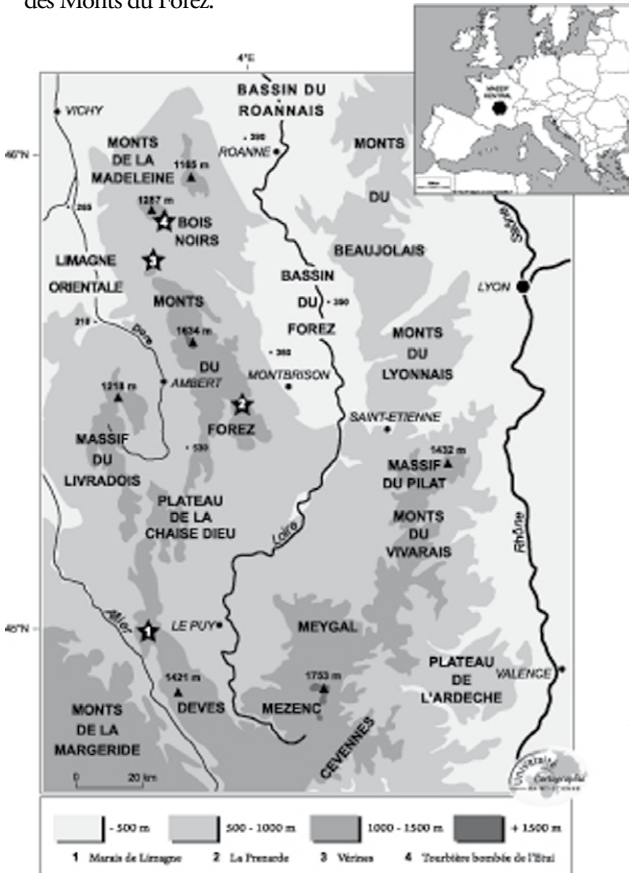
## 1. Le cadre physique de l'étude

Les tourbières servant de référence à cette étude se situent dans la partie orientale du Massif Central français (fig. 1). Elles sont réparties entre 650 m et 1570 m d'altitude, d'une part dans les massifs granitiques et métamorphiques des Monts de la Madeleine, des Bois Noirs, des Monts du Forez, du massif du Livradois, des plateaux de la Chaise-Dieu et du massif du Pilat et d'autre part sur les plateaux volcaniques du Velay occidental, le Devès. La plupart des sites sont localisés dans des fonds de vallée de rang 1 ou 2 ou en tête de réseau hydrographique. Ceux des plus hautes terres des Monts du Forez, le seul secteur géographique régional à avoir été englacé au Würm, sont associés à des modelés glaciaires. Ailleurs la localisation des tourbières est liée soit aux modelés périglaciaires, très répandus, et notamment aux cirques de névé et aux niches de nivation, soit aux modelés volcaniques, principalement aux maars.

Sur les 157 tourbières recensées sur ce secteur, 53,5 % sont ombrotrophes dont beaucoup bombées, et 46,5 % sont minérotrophes. Les plus vastes sont celles qui occupent les maars du Devès comme le marais de Ribains qui couvre 66 hectares (TOURMAN, 2007). Les plus petites sont les tourbières basses associées à des aménagements à l'origine de l'accumulation de tourbe comme celle du Verdier dans le sud des Bois Noirs qui couvre une superficie de seulement 3300 m<sup>2</sup> (CUBIZOLLE *et al.*, 2004). Les tourbières ombrotrophes sont datées du Boréal et de l'Atlantique ancien alors que la plupart des tourbières basses sont datées de la fin du Subboréal et du Subatlantique, un grand nombre de ces dernières étant d'origine anthropique (CUBIZOLLE *et al.*, 2003 et 2004).

Dans tout le secteur le climat est fondamentalement océanique mais il subit une dégradation montagnarde à laquelle s'ajoute les influences méditerranéennes au sud et continentales à l'est. Si les précipitations annuelles sont inférieures à 700 mm cer-

taines années dans les fonds des bassins intramontagnards de l'est – bassin du Forez par exemple - ainsi que dans quelques secteurs du Devès, au sud, où apparaissent les influences méditerranéennes, elles dépassent généralement les 1 000 mm au dessus de 800 m d'altitude au nord et sur les versants ouest des massifs, mais aussi au dessus de 1 000 m au sud. Les cumuls les plus importants sont fréquemment supérieurs à 1 400 mm sur les hauteurs des Monts de la Madeleine et des Bois Noirs ainsi que sur les sommets des Monts du Forez.



*Figure 1 : Localisation du Massif Central oriental et des tourbières répertoriées*

La dégradation montagnarde du climat se caractérise par un enneigement fréquent mais très variable d'une année à l'autre tant dans la durée que dans l'épaisseur du manteau nival. Ainsi, à 1 125 m d'altitude dans les Monts du Forez, un poste climatologique de l'Université de St-Etienne indique qu'une année sur deux l'enneigement dépasse 100 jours tandis que la hauteur de neige cumulée est supérieure à 2 m. Plus

généralement, l'enneigement n'est continu de la fin de l'automne au début du printemps qu'au dessus de 1500 m. En dessous les variations interannuelles sont la règle.

L'influence continentale est révélée par des précipitations estivales qui s'abattent sous forme d'averses violentes et peuvent représenter jusqu'au quart des hauteurs d'eau annuelles (SUCHEL, 1990 ; PORTERET, 2008).

Les températures moyennes annuelles varient de 10°C dans le bassin du Forez à 3°C à Pierre-sur-Haute, point culminant des Monts du Forez et de la région à 1634 m d'altitude. Au sud du secteur d'étude, elle est de l'ordre de 8°C. A 1125 m d'altitude dans les Monts du Forez les températures mensuelles maximales varient entre 17,5°C et 23°C alors que les températures mensuelles minimales descendent jusqu'à -5°C ; la température moyenne annuelle s'établissant autour de 6°C.» .

## 2. La problématique et les méthodes

Au cours des soixante-dix dernières années, de très nombreuses tourbières de l'est du Massif Central se sont couvertes d'arbres, en particulier de *Pinus sylvestris*, de *Betula pubescens* et de *Betula pendula*, moins souvent de *Salix* sp. ou d'*Abies alba*. On les rencontre du nord au sud de la région étudiée, dans les massifs granitiques comme dans les massifs volcaniques et à n'importe quelle altitude. Mais il existe aussi, dans les massifs granitiques comme dans les massifs volcaniques, nombre de tourbières totalement dépourvues d'arbres.

Cette évolution de la couverture végétale peut être retracée en combinant plusieurs méthodes :

- L'examen des photographies aériennes dont les plus anciennes séries datent des années 1940,
- Le recours à des témoignages recueillis auprès des habitants mais aussi des questionnaires des sites,
- Les carottages à la tarière *And Matson* des arbres et le comptage des cernes de croissance (fig. 2),
- L'observation des stratigraphies tourbeuses réalisées sur coupes ou grâce à des carottages au carottier manuel russe,
- Les analyses des macro-restes végétaux.

On peut finalement mettre en évidence trois types d'évolution que nous illustrerons par des exemples caractéristiques :

- Cas N° 1 : 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 c'est le cas pour la tourbière basse de la Prenarde à 1 125 m d'altitude dans le sud des Monts du Forez (fig. 3), ou à la fin des années 1960 comme pour la tourbière ombrotrophe du Marais de Limagne qui se situe à 900 m d'altitude sur le plateau volcanique du Devès.
- Cas N° 2 : 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 dans les Monts du Forez (alt. 1360 m) pour lesquelles les photographies aériennes et les observations de terrain ne font pas apparaître d'évolution significative depuis 1962.
- Cas N° 3 : Aucun développement de l'arbre n'est constaté : c'est le cas à la Morte, une tourbière haute à buttes de sphaignes et à schlenken dépourvue d'arbres, installée sur un épaulement glaciaire au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus*, à 1 300 m d'altitude des Monts du Forez (Fig. 4).



Figure 2 : Photographie montrant le carottage d'un pin sylvestre à la tarière manuel And Matson (photo Hervé Cubizolle)



Figure 3 : Vue générale de la tourbière minérotrophe de la Prenarde à 1125 m au cœur de la sapinière des Monts du Forez. Le site s'est en partie reboisé naturellement en pins sylvestres et en bouleaux pubescents depuis les années 1940 (photo Hervé Cubizolle)



Figure 4 : Vue générale de la tourbière ombrotrophe de la Morte à 1300 m, au cœur de la hêtraie-sapinière des Monts du Forez. Le site est dépourvu d'arbre (photo Hervé Cubizolle)



Il convient maintenant d'essayer d'expliquer la coexistence de ces trois types d'évolution en discutant deux hypothèses : celle du rôle des facteurs autogènes et locaux d'une part et celle des facteurs allogènes, interventions humaines et changement climatique, d'autre part. Et, comme aucune explication simple de cette diversité des situations ne se dégage, il convient de passer en revue l'ensemble des facteurs autogènes et allogènes susceptibles de contribuer à un degré ou à un autre au développement de l'arbre.

Il faudra évidemment tenir compte des interactions possibles entre les différents facteurs : ainsi par exemple l'action humaine peut fragiliser les tourbières et les rendre plus sensibles au changement climatique.

### 3. Les facteurs autogènes et locaux

Tous les auteurs sont d'accord pour constater l'importance des facteurs autogènes et locaux dans la mise en place et le développement des tourbières ce qui ne facilite pas la mise en évidence des éventuels impacts des changements climatiques sur la dynamique de leur évolution (MÄKILÄ & SAARNISTO, 2008).

#### 3.1. Les facteurs autogènes

Une première hypothèse consiste à considérer le stade boisé comme une simple étape de la vie d'une tourbière. Des chercheurs ont en effet montré, sur la base de l'étude des stratigraphies et des macro-restes végétaux, que le développement d'une tourbière passait par une succession de stades hydro-bio-pédologiques, qui voyaient alterner des couches de tourbe claire composées presque exclusivement de sphaignes et des couches de tourbe foncée renfermant de nombreux restes ligneux (PAYETTE & ROCHEFORT, 2001). Une des explications élaborées au début du XX<sup>ème</sup> siècle puis maintes fois reprise, a été celle du modèle de la régénération cyclique des buttes et des dépressions au fur et à mesure de la croissance de la tourbière (VON POST & SERNANDER, 1910 ; OSVALD, 1923 ; MOORE & BELLAMY, 1974).

Cette démonstration implique donc une tourbière structurée en buttes et dépressions et elle s'appuie d'une part sur l'examen des stratigraphies et d'autre part sur l'étude des macro-restes végétaux qui composent les séquences tourbeuses. Concernant ces trois points nous pouvons faire les remarques qui suivent :

- Tout d'abord les tourbières de l'Etui et de Limagne ne sont pas uniformément structurées en buttes et dépressions. Le marais de Limagne est une véritable mo-

saïque d'habitats aux caractéristiques hydrologiques et végétales diverses et le bombement de l'Etui comporte une vaste zone à schlenken d'une part et des secteurs sans véritables dépressions d'autres part.

- Ensuite, les stratigraphies observées à l'Etui comme sur la plupart des tourbières bombées de notre secteur ne montrent ni une alternance de couches claires et de couches foncées ni la présence de niveaux de macro-restes ligneux visibles à l'œil nu au moment de l'examen détaillé des carottes. Certes des faciès à linaigrettes (*Eriophorum vaginatum*) interrompent parfois les faciès à sphaignes mais *Sphagnum* sp. domine très largement les séquences. Nous serions donc davantage dans le schéma d'OHLSON *et al.* (2001) qui, nous l'avons vu, considèrent la tourbière bombée comme un climax et l'arbre comme le signe d'une perturbation climatique ou anthropique.
- Enfin, nous manquons d'études spécifiques de macro-restes végétaux pour étayer nos hypothèses. Encore très rares en France, ces analyses ont démarré récemment dans le Massif Central oriental. Certes quelques analyses anciennes existent mais elles sont incomplètes (LEMEE, 1941). Aussi, après quelques essais non publiés menés au début des années 2000, des analyses complètes sont conduites depuis 2007 en collaboration avec des chercheurs des universités d'Innsbruck en Autriche et de Laval au Québec. Seuls leurs résultats permettront de replacer dans une perspective historique la dynamique de boisement actuelle.

Néanmoins, concernant ces deux derniers points, rappelons que les innombrables carottages et études stratigraphiques menées sur une centaine de tourbières du Massif Central oriental n'ont jamais permis de découvrir de niveaux riches en bois ailleurs que 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 troncs, ces souches, ces branches et tous les fragments observés correspondent alors à la forêt ou à la prairie arborée qui a été enfouie sous la tourbe à partir du moment où la modification des bilans hydriques et le relèvement de la nappe ont permis le déclenchement de la turfigenèse. Par la suite il apparaît que les accumulations de tourbe n'ont jamais stockée de niveau de bois similaire.

Certes on peut objecter que la densité des carottages ayant été très variable d'un site à l'autre, on a pu, sur certains sites moins prospectés, passer à côté de troncs et de branches de boulaux, de saules ou de pins, des arbres dont les dimensions sont généralement modestes du fait de conditions édaphiques qui ne leur sont pas favorables dans les tourbières. Mais la même absence de bois s'observe en carrière, sur les longues coupes. Par conséquent, si la présence de bois au sein d'accumulations tourbeuses est possible, cela ne peut concerner qu'un très petit nombre de tourbières.

Il est aussi envisageable qu'une phase de boisement n'ait pas été archivée parce que les conditions hydrologiques n'étaient pas favorables à une production de biomasse suffisamment forte pour enfouir le bois avant qu'il ne se décompose. Mais dans un tel cas de figure on devrait observer un niveau de tourbe minéralisé correspondant à cette période plus sèche ce qui n'est pas le cas. Toutes les grandes tourbières ombrotrophes étudiées montrent une accumulation de tourbe fibrique à sphaignes d'une grande monotonie comme l'a confirmé l'analyse des macro-restes végétaux de la tourbière de la Pigne dans les Monts du Forez (CUBIZOLLE, 2005 ; CUBIZOLLE et al., 2003).

Des explications au boisement peuvent ensuite être recherchées du côté des caractères trophiques des tourbières et de la structure des accumulations. Or, tous les types de tourbières sont concernés par le développement de l'arbre, aussi bien les tourbières ombrotrophes que les tourbières minérotrophes. Une étude portant sur un échantillon de 64 tourbières réparties dans l'ensemble des montagnes granitiques du Massif Central oriental, soit un territoire d'environ 6 000 km<sup>2</sup>, a montré que 62,5 % des tourbières étaient dépourvues d'arbres alors que 18,75 % étaient faiblement boisées, 12,5 % arborées et 6,25 % boisées (CUBIZOLLE, 2005). Et parmi les 12 tourbières arborées ou boisées, 8 étaient ombrotrophes et 4 minérotrophes. En conséquence le type de fonctionnement hydrologique ne semble pas être un facteur à prendre en compte.

Il n'y a pas plus de corrélation avec la superficie des sites qui, sur le secteur étudié, varie dans un rapport de 1 à 197.

En revanche, pour les tourbières ombrotrophes, on constate que les arbres sont systématiquement absents des schlenken. Ils n'apparaissent et ne se développent que dans les parties actives du bombement à buttes de *Sphagnum* sp. associées à *Empetrum nigrum*, *Vaccinium oxycoccos*, *Vaccinium microcarpum*, *Andromeda polyfolia* *Eriophorum vaginatum* et *Calluna vulgaris*. Une explication possible est celle d'une hydromorphie plus importante et plus constantes dans les zones à schlenken qui empêcherait toute germination. Néanmoins on peut s'interroger sur l'absence de jeunes pousses sur les buttes qui délimitent les schlenken.

### **3.2. Les facteurs locaux : le rôle de la couverture végétale autour du site**

Nous avons ensuite recherché d'éventuelles relations entre l'importance de l'arbre sur la tourbière et la couverture végétale autour du site. En effet, l'étude de la dynamique du boisement des tourbières ne peut s'affranchir de la connaissance du contexte bioclimatique dans lequel elles s'inscrivent. Le travail le plus abouti a porté sur les hautes

terres des Monts du Forez où la densité et la superficie de tourbières sont les plus fortes du Massif Central oriental avec 873 hectares. La majeure partie des tourbières, soit 81% de leur surfaces, se trouvent entre 1200 et 1400 mètres d'altitude, sur les Hautes Chaumes du Forez (PORTERET, 2008).

Nous disposons par ailleurs pour ce secteur d'une base de données complète à la fois sur les tourbières mais également sur l'ensemble de la géographie physique du massif. La cartographie des systèmes tourbeux et du type de boisement par photo-interprétation s'appuie sur les inventaires du Conservatoire Régional des Espaces Naturels Rhône-Alpes (2002), du Conservatoire des Espaces et Paysages d'Auvergne (1999) et les travaux de recherche du CRENAM (CUBIZOLLE, 2005 ; PORTERET, 2008).

Le niveau de boisement des tourbières a été réparti en 4 classes : absence d'arbre, boisement faible < 25% de la superficie couverte au niveau de la canopée, boisement moyen compris entre 25 et 75 % et boisement fort >75%. L'environnement immédiat du site a quant à lui été caractérisé comme ouvert, mixte ou forestier.

On note tout d'abord que seulement 24 % des tourbières se situent en contexte forestier ; un peu moins de la moitié soit 43 % sont dans des secteurs ouverts de lande à callune (*Calluna vulgaris*), graminées ou myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) et 33 % sont bordés à la fois par la lande et par la forêt. Ensuite, le taux de recouvrement par les arbres est faible à moyen pour la majorité des sites (fig. 5a). Les catégories «sites totalement dépourvus d'arbres» et «sites fortement boisés» représentent chacune environ ¼ de la surface totale des tourbières.

Si l'on croise maintenant les données sur le niveau de boisement avec celles concernant les caractéristiques de l'environnement immédiat des tourbières on voit que 83% des sites non boisés se trouvent en contexte ouvert. A l'inverse, seulement 6 % des sites fortement boisés se situent en contexte ouvert. Cependant un examen plus détaillé des données montre que :

- 40% des tourbières sont peu ou pas boisées dans les bassins versants forestiers,
- 22% des sites ont un taux de boisement moyen à fort dans les bassins versants ouverts.

L'analyse de la dynamique du boisement au cours des cinquante dernières années au sein des 245 ha du vaste système tourbeux de Bazanne / Gourgon montre bien la complexité des processus de boisement et les interférences entre facteurs locaux et facteurs allogènes. La zone sélectionnée, située entre 1000 m et 1420 m d'altitude,

s'inscrit dans un rectangle de 4,7 km (Est / Ouest) par 5,3 km (Nord / Sud) de côté. Entre les deux campagnes de photographies aériennes de 1962 et 2001 la progression du boisement a été forte tant sur les tourbières que dans la lande. Deux raisons à cela :

- La plantation de 441 ha de résineux dont 77 hectares concernent directement des tourbières ;
- Une dynamique naturelle de l'arbre qui regagne du terrain au fur et à mesure que l'activité agricole recule et que le nombre de bêtes mises au pâturage diminue.

Au total les surfaces de tourbières qui ont été envahies par les arbres ont augmenté de 400 % entre 1962 et 2001 (fig. 5b). Elles représentent aujourd'hui 21 % de la superficie du système tourbeux. Il s'agit donc d'une progression importante de l'arbre mais pas d'un boisement généralisé sur l'ensemble du système tourbeux. On observe en effet des situations très contrastées. Ainsi les 50 hectares de tourbières du sous-bassin versant de Bazanne sont fortement boisés alors que le sous-bassin versant voisin de Gourgon est boisé très ponctuellement. Deux éléments supplémentaires doivent être pris en compte pour expliquer cette disparité :

- D'une part les études régionales traitant de la dynamique forestière sur les hautes chaumes montrent bien que la recolonisation se fait à partir des lisières forestières, dans la zone de contact entre la limite supérieure actuelle de la forêt et les landes des hautes chaumes soit une bande de terrain compris entre 1250 m et 1400 m d'altitude. Ainsi les tourbières éloignées de ces lisières se boisent plus lentement.
- D'autre part, on peut supposer que la présence des grandes plantations de résineux autour ou à proximité des tourbières a créé un climat d'abri très favorable à la croissance du bouleau sur les zones humides.

## 4. Les facteurs allogènes : interventions humaines et changement climatique

Deux grands types de facteurs allogènes sont impliqués dans l'évolution des tourbières:

- L'Homme tout d'abord, à travers ses interventions directes ou indirectes sur les zones humides ;
- Le climat ensuite, dont les changements peuvent affecter sensiblement l'hydrologie et l'écologie des sites comme le montre de nombreuses études paléocéologiques menées à l'échelle du Tardiglaciaire et de l'Holocène, notamment dans le Massif Central oriental (BEAULIEU *et al.*, 1984, BEAULIEU *et al.*, 1988, ARGANT & CUBIZOLLE, 2005).

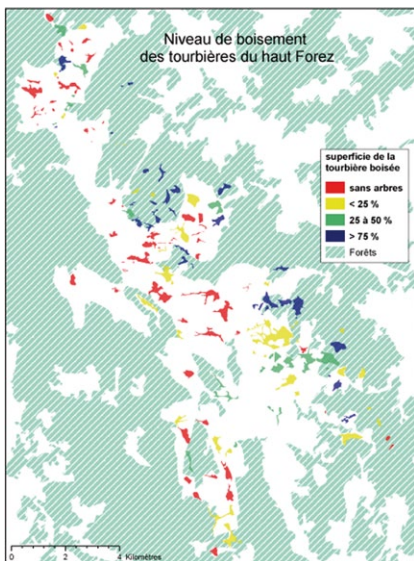


Figure 5 A

Figure 5 : L'analyse des facteurs locaux: l'exemple des relations entre le degré de boisement des tourbières du Haut-Forez et l'importance du couvert forestier autour des sites. A, Le niveau de boisement des tourbières du Haut Forez ; B, L'évolution du boisement du secteur de Bazanne Gourgon entre 1962 et 2001

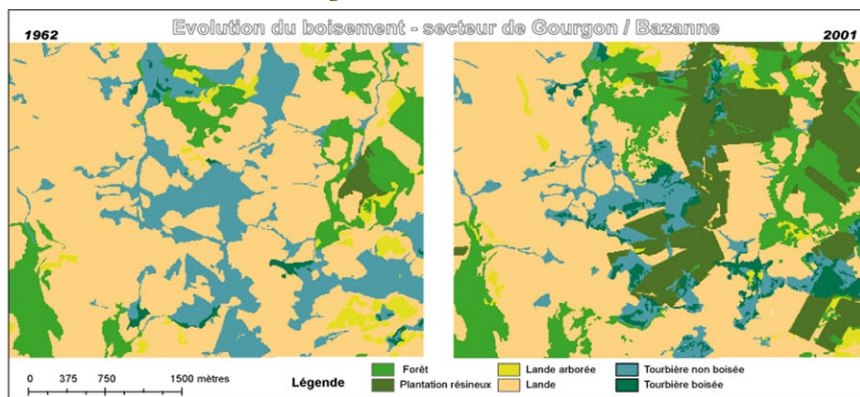


Figure 5 B

#### 4.1. L'interférence des sociétés humaines dans le processus d'accumulation de la tourbe

Le cas de figure le plus simple est celui des tourbières dont le fonctionnement hydrologique a été bouleversé par l'extraction de tourbe. Le creusement de grands fossés de drainage a entraîné l'abaissement significatif de la nappe et une véritable explosion de l'arbre. Sur notre secteur d'étude les exemples sont peu nombreux car l'exploitation de la tourbe comme combustible ou comme terreau horticole n'a jamais pris de l'ampleur.

Seule une dizaine de sites ont été plus ou moins touchés, à l'image de la tourbière bombée de Vérines, dans les Monts du Forez, exploitée entre 1940 et 1980 (CUBIZOLLE, 2005). Après l'arrêt de l'extraction *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens* ont envahi la plus grande partie du bombement résiduel. Seule la zone à schlenken résiste au boisement (fig. 6).

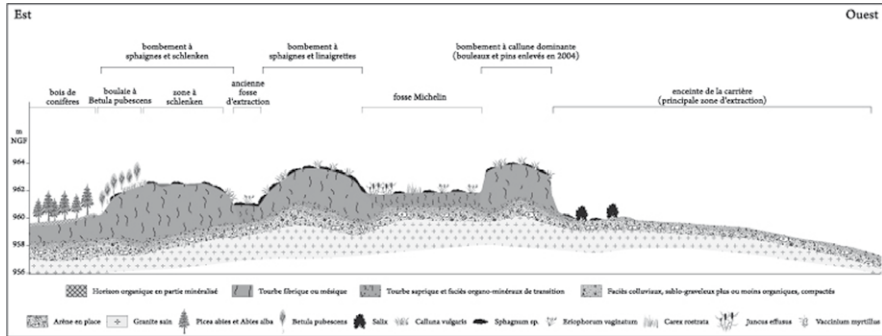


Figure 6 : Profil en travers de la tourbière bombée de Vérines exploitée en carrière dans les années 1940 et 1980 (nord des Monts du Forez, alt. 900 m)

Le drainage associé au reboisement en épicéas (*Picea abies*) a eu un impact beaucoup plus important sur l'hydrologie des tourbières car les superficies concernées sont notablement plus importantes que celles affectées par l'extraction de tourbe. Dans le cadre de la déprise agricole d'après guerre, les plantations se sont multipliées, principalement au cours des décennies 1960, 1970 et 1980. Elles furent stimulées par des incitations fiscales et les subventions du Fond Forestier National créé en 1946. Mais si l'abaissement du niveau des nappes du fait du drainage a souvent bloqué le processus de turfigénèse, il a rarement été suffisant pour permettre une croissance de ces arbres susceptibles de fournir à terme des bois de qualité. En effet, faute d'entretien les fossés de drainage ont rapidement perdu leur efficacité si bien que sur de très nombreux sites beaucoup d'arbres sont morts ou végètent.

Il semble également que le boisement des tourbières soit à mettre en relation avec l'abandon du pâturage après la seconde guerre mondiale. Dans les Monts du Forez le processus a été bien étudié : les tourbières qui continuent à être pâturées ne connaissent pas de développement de l'arbre alors que les autres se couvrent très souvent de bouleaux ou/et de pins sylvestres. L'exemple de la tourbière basse minérotrophe de la Prenarde-Pifoy située à 1125 m d'altitude dans le sud des monts du Forez est à ce titre très caractéristique. La tourbière 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, confirmés par l'étude dendrologique, 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 (*Pinus sylvestris*), 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.

Enfin un dernier facteur allogène associé à l'action de l'Homme pourrait avoir contribué au développement de l'arbre : l'apport d'éléments organiques comme l'azote ou de particules organiques par les courants atmosphériques. C'est une question peu étudiée. Dans l'état actuel de nos connaissances pour les tourbières du Massif Central oriental, l'hypothèse est peu probable et ce pour trois raisons :

- *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens* ou *Betula pendula* ne sont pas des espèces nitrophiles,
- Sur les sites étudiés aucune analyse chimique réalisées par la DIREN-Auvergne n'a révélé des teneurs en azote anormales,
- Les données phytosociologiques disponibles n'indiquent aucun changement anormal dans la dynamique végétale, notamment dans l'évolution des communautés de Sphaigne. Ces études sont toutefois très peu nombreuses et la question de l'impact de l'azote atmosphérique n'a jamais vraiment fait l'objet de travaux spécifiques.

#### **4.2. Le changement climatique en cause ?**

La forte pression humaine qui s'exerce d'une façon ou d'une autre sur les écosystèmes tourbeux depuis plusieurs siècles rend difficile la détection d'un éventuel impact du changement climatique sur les tourbières. Et ce d'autant plus qu'elle s'ajoute aux facteurs autogènes et locaux. Il est ainsi souvent impossible de dégager les parts de responsabilité des différents facteurs dans les changements observés.



Deux sites se sont cependant révélés plus propices à un examen du rôle du réchauffement climatique récent dans l'envahissement de ces tourbières par les arbres. Il s'agit de deux tourbières ombrotrophes situées l'une à l'extrême nord et l'autre à l'extrême sud du secteur d'étude.

#### 4.2.1. La tourbière bombée de l'Étui

La tourbière ombrotrophe et bombée de l'Étui se trouve à 1 155 m d'altitude, au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus* (*Vaccinio-Abietetum*), dans un vallon affluent de la vallée de l'Étui, sur le versant oriental du massif granitique des Bois Noirs (fig. 7). Dans ce secteur au climat océanique montagnard, les précipitations annuelles varient entre 1200 et 1600 mm selon les années alors que la température moyenne annuelle se place autour de 6° C. Les pluies sont bien réparties tout au long de l'année et l'humidité atmosphérique est toujours importante, maintenue en été par la densité de la couverture forestière. Le contexte bioclimatique est donc très favorable au développement des sphaignes et à la turfigenèse. Aussi le caractère spectaculaire du bombement de l'Étui avec sa convexité très marquée et ses 5,75 mètres d'épaisseur de tourbe laisse penser que, nonobstant l'évolution des essences forestières, des conditions similaires ont dû se maintenir sans changement durable depuis 6600 ans que dure l'accumulation de tourbe (CUBIZOLLE, 2005). Les anciennes études paléocologiques de LEMEE (1941) semblent le confirmer. L'analyse paléocologique en cours par J. Argant (ARPA, Lyon) qui concerne une séquence complète apportera les précisions nécessaires.

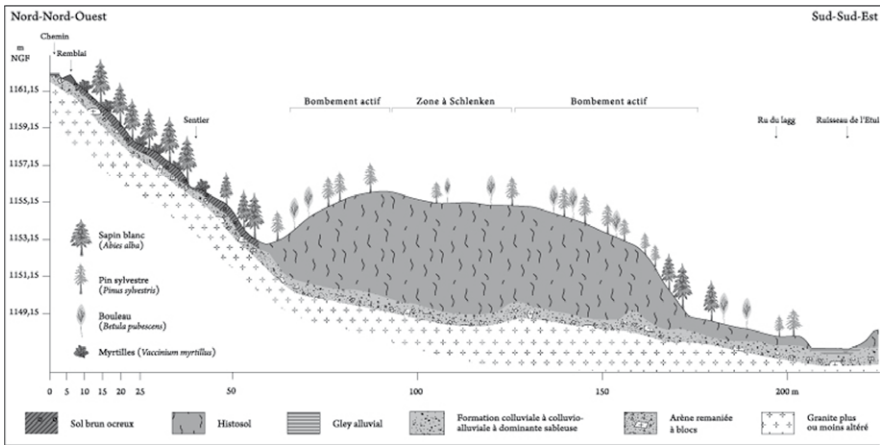


Figure 7 : Profil en travers de la tourbière bombée de l'Étui dans les Bois Noirs (alt. 1155 m)

Sur ce bombement de 2 hectares entouré d'un lagg occupé par une boulaie hygrophile à bouleau pubescent (*Betula pubescens*), *Molinia caerulea*, *Sphagnum girgensohnii* et *Sphagnum palustre*, le cortège floristique se compose de nombreuses espèces typiques de ces tourbières bombées : les *Sphagnum* dont *S. fuscum*, *S. capillifolium* et, dans une moindre proportion, *S. magellanicum* ; *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Empetrum nigrum*, *Trichophorum cespitosum*, *Rhynchospora alba* et *Drosera rotundifolia* (THEBAUD *et al.*, 2003).

Mais la spécificité de la végétation de l'Etui qui nous intéresse ici est l'abondance des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) sur une grande partie du bombement, la zone à schlenken étant épargnée. A cela s'ajoute principalement les bouleaux pubescens (*Betula pubescens*), quelques épicéas (*Picea abies*) et de rares sapins blancs (*Abies alba*). La diversité de l'état des arbres est déconcertante. En effet si la plupart des pins sont de petite taille et souffreteux, certains résineux au fût très droit et d'une hauteur de 6 à 10 mètres semblent en parfaite santé. La densité des troncs de plus de 5 cm de diamètre a été calculée sur une parcelle de 1 524 m<sup>2</sup>. Pour les bouleaux on a comptabilisé chaque tronc lorsque l'arbre présentait plusieurs cépées. On abouti à une valeur de 6,2 troncs pour 100 m<sup>2</sup>.

Nous avons choisi de procéder à l'estimation de l'âge des pins sylvestres, l'essence la plus abondante et pour laquelle le comptage des cernes de croissance des individus de plus de 5 cm de diamètre ne pose pas de problème. 81 pins sur une centaine installés sur le bombement ont pu être datés (fig. 8). On constate que l'arbre le plus vieux est âgé de 133 ans, le plus jeune de 20 ans. Par ailleurs 67,9 % des pins ont moins de 60 ans et ont donc germé à partir de 1949. Les classes 30-39 ans, 40-49 ans et 50-59 ans rassemblent à elles seules 55,56 % des arbres datés ce qui place entre 1950 et 1979 la période de germination la plus active.

Tous les témoignages recueillis ainsi que l'examen des cadastres anciens attestent que la tourbière elle-même n'a jamais été affectée de façon significative par les activités humaines. Le pâturage était cantonné aux chaumes des hautes terres du massif, autour du sommet du Montoncel (1 287 m). Le pacage sous forêt était quant à lui limité, les propriétaires forestiers redoutant les dégâts occasionnés aux arbres par les animaux. En revanche, la production de charbon de bois a pu être importante à certaines périodes mais cet aspect de l'histoire forestière locale est malheureusement très mal connu. Ce qui est certain, c'est que si cette activité a pu entraîner une modification de la composition floristique de la forêt avec notamment le développement du sapin blanc au dé-

triment du hêtre, une évolution classique aux XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles dans le Massif Central oriental (CUBIZOLLE, 1997), elle n'a en aucun cas conduit à l'élimination de la couverture forestière. L'étude du cadastre ancien montre en effet qu'au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, période d'extension minimale des forêts dans la région (CUBIZOLLE, 1997), la haute vallée de l'Etui était largement boisée (fig. 9).

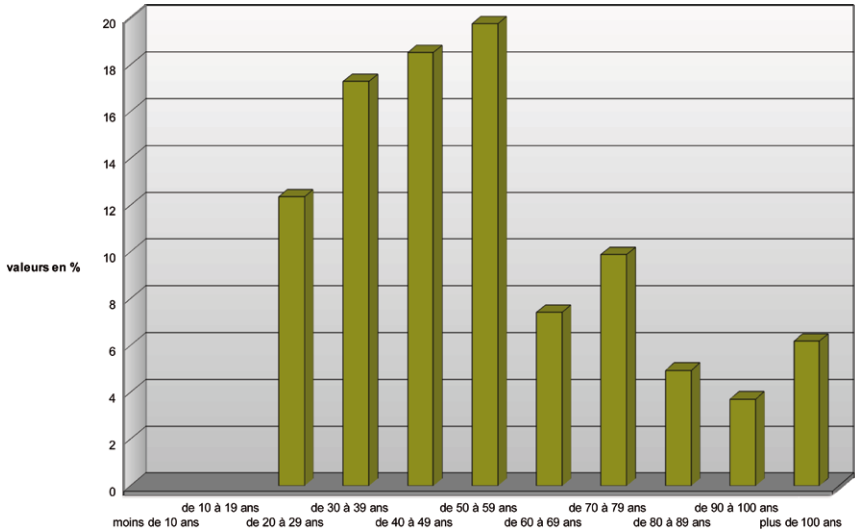


Figure 8 : Répartition en classes d'âge des arbres poussant sur le bombement de la tourbière de l'Etui (Bois Noirs, alt. 1155 m)

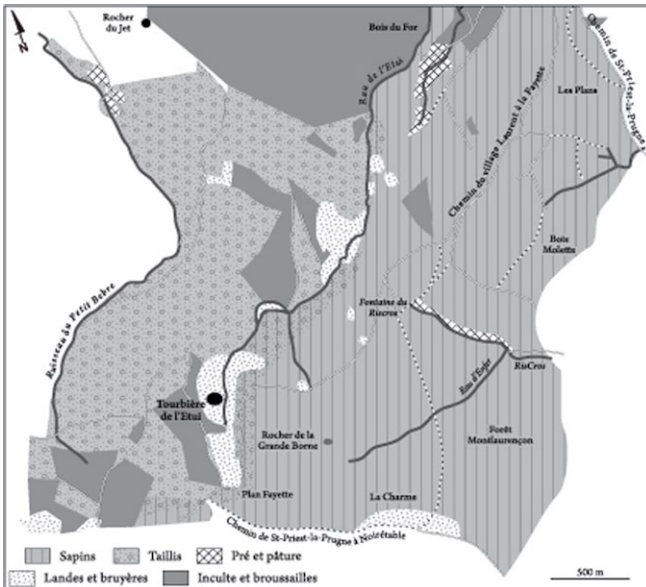


Figure 9 : L'occupation des sols dans le bassin versant de l'Etui au début du XIX<sup>ème</sup> siècle (source : cadastre ancien de 19 de la commune de St-Priest-la-Prugne, Loire)

#### 4.2.2. La tourbière ombrotrophe du Marais de Limagne

Le second site est celui de la tourbière du marais de Limagne dans le massif volcanique du Devès. Située à 1 085 m d'altitude, elle couvre 35 ha du fond d'un maar. Le bassin versant, d'une superficie de 3,5 km<sup>2</sup>, est très largement cultivé. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 700 mm et la température moyenne annuelle tourne autour de 8° C.

Cette tourbière, bien étudiée par le Conservatoire Botanique National du Massif Central, se compose d'une vaste partie centrale ombrotrophe à *Sphagnum Rubellum* et *Sphagnum palustre* entourée d'un ensemble de tourbières basses à *Carex* (*Carex curta*, *C. lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. elata* et *C. limosa*), puis de ceintures à *Comarum palustre*, *Equisetum fluviatile* et *Menyanthes trifoliata*. Les niveaux piézométriques sont généralement très hauts et stables au fil des années comme l'a démontré le suivi hydrologique mené entre 2001 et 2006 par la DIREN-Auvergne, une période pourtant marquée par de fortes sécheresses. La nappe affleure la plus grande partie de l'année et toute une zone centrale est riche en gouilles qui ne s'assèchent que quelques semaines certains étés. Le suivi physico-chimique mené entre 2000 et 2006 également par la DIREN-Auvergne n'a pas mis en évidence de processus de dystrophisation. Et tous les témoignages convergent pour dire que le marais de Limagne n'a jamais fait l'objet de reboisement artificiel, ni de pâturage intensif, ni de drainage. Sur ce dernier point on notera toutefois l'existence d'une longue trace rectiligne au cœur de la tourbière, visible sur la photographie aérienne de 1948 mais imperceptible sur le terrain. Elle pourrait être apparentée à un ancien fossé de drainage. Mais aucune autre information n'a pu être collectée qui attesterait de l'existence de cette tentative possible de drainage.

L'analyse par photo-interprétation des photographies de 1948, 1967, 1987, 1999 et 2002, couplée aux observations et aux témoignages montre clairement que les arbres étaient rares et de petite taille, voire absents tout au long de la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. En 1967, ils ont commencé à envahir le site, un noyau de colonisation d'environ 1,7 ha s'individualisant nettement à l'aval de la tourbière. D'autres noyaux de colonisation sont visibles sur les photographies mais ils étaient encore de taille très réduite (fig. 10). La progression fut ensuite rapide puisqu'en 1987 tout le Marais de Limagne était boisé avec des densités d'arbres fortes sur environ 1/3 de la tourbière. La densification du boisement continua et en 2008 on comptait en moyenne entre 10 et 16 troncs pour 100 m<sup>2</sup>, pour l'essentiel des bouleaux verruqueux (*Betula pendula*) et des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*).

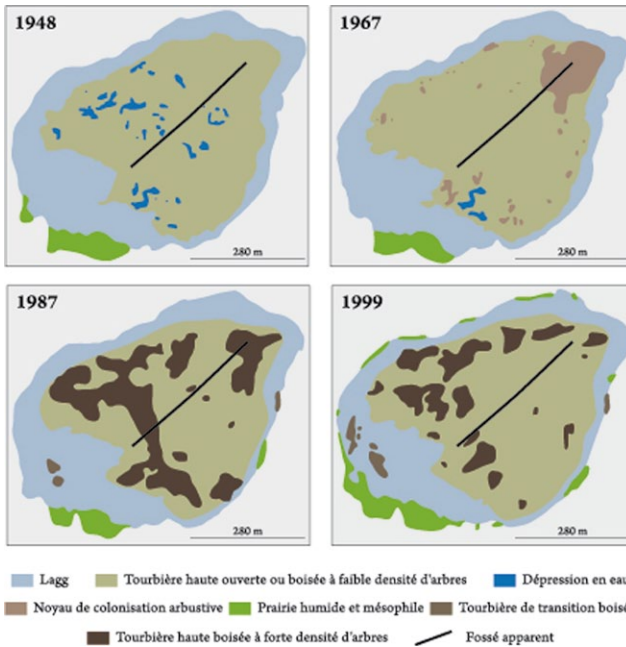


Figure 10 : L'interprétation de l'évolution du boisement sur la tourbière du Marais de Limagne (Plateau du Devès, alt. 1085) entre 1948 et 1999 à partir des photographies aériennes de l'Institut Géographique National (IGN)

L'état sanitaire des arbres a également changé. Jusqu'en 1980 les pins sylvestres dépérissaient rapidement mais, depuis, une nouvelle génération beaucoup plus dynamique s'est mise en place. Un pic d'invasion est même survenu entre 1982 et 1986. Au début des années 1990, des expériences de coupes de pins sylvestres puis d'exportation des arbres hors du site ont bien mis en évidence cette dynamique. Aucun bilan exhaustif de l'état sanitaire des arbres n'a été réalisé récemment. Mais les observations de terrain indiquent clairement un rapide dépérissement des arbres dans certains secteurs, et en particulier des pins sylvestres. Il semble que cette évolution soit concomitante de la forte pluviométrie des années 2007 et 2008.

#### 4.2.3. Discussion

Le changement climatique récent est-il en cause dans le boisement de certaines tourbières du Massif Central oriental ? La réponse à cette question implique au préalable de s'assurer d'une part qu'aucune intervention humaine n'a modifié de façon significative le fonctionnement hydrologique de la tourbière et d'autre part de réfléchir aux autres facteurs pouvant être impliqués.

Dans l'état actuel des connaissances, et sur les deux sites étudiés que sont la tourbière de

l'Etui et le Marais de Limagne, il nous paraît assez clair que l'action humaine fut limitée. Seul le pâturage a pu avoir un impact mais celui-ci est très difficile à apprécier car nous ne savons ni quels types d'animaux parcouraient le plus ces milieux, vaches, moutons, chèvres ou chevaux, ni le nombre d'animaux, la fréquence et la durée du pacage. Tous ces paramètres devaient par ailleurs évoluer au fil des siècles. Il est bien sûr tentant d'établir un lien entre le développement des arbres et le recul récent de l'agriculture traditionnelle en place depuis plusieurs millénaires dans ces régions. L'arrêt du broutage des jeunes pousses d'arbres par les troupeaux serait alors le facteur déclencheur du boisement. Si ce modèle d'évolution est acceptable pour certains sites des hautes chaumes du Forez qui ont vu exploser les populations de bouleaux dans les années qui ont suivi l'arrêt du pâturage, il n'est assurément pas applicable de notre point de vue ni à la tourbière bombée de l'Etui ni au Marais de Limagne. Il faut en effet garder présent à l'esprit plusieurs choses :

- Tout d'abord les animaux domestiques ne paissaient pas partout en permanence comme nous l'avons vu pour l'Etui, les propriétaires des terrains pouvant interdire l'accès aux animaux, justement pour protéger les arbres ;
- Ensuite il faut bien considérer le faible intérêt des plantes de ces tourbières ombrotrophes sur le plan nutritif ; et si les jeunes pousses de bouleaux sont parfois broutées c'est beaucoup moins le cas des plants de pin sylvestre qui auraient donc pu se développer malgré la présence des troupeaux ;
- Si pacage il y eut, il n'a pu être qu'extensif sur ces terrains et l'élimination systématique de tous les jeunes plants d'arbres est exclue ;
- Enfin, une tourbière comme celle du Marais de Limagne est très hydromorphe et inondée, y compris certains étés. Des données historiques montrent par ailleurs que le caractère lacustre du marais était beaucoup plus affirmé aux XVIII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècles d'où le vocable de «lac» souvent utilisé à son endroit. L'accès au site par les animaux domestiques pouvait donc être limité et la nourriture d'un très faible intérêt.

Considérons maintenant les facteurs naturels autres que le climat, qui pourraient expliquer le développement de l'arbre. Le premier a trait à l'évolution naturelle de ces écosystèmes. Ainsi, pour le Marais de Limagne, on peut envisager que la tourbière limogène soit entrée depuis quelques décennies dans sa phase terminale du comblement de l'ancien lac. L'hydromorphie en aurait été peu à peu réduite et le développement de l'arbre favorisé. A l'Etui on peut aussi considérer que la tourbière a atteint un stade de développement et une extension qui, eu égard aux conditions climatiques locales, ne permettent plus d'assurer une hydromorphie suffisante pour garantir l'accumulation de tourbe en tout point du bombement si bien que certains secteurs s'assèchent.

On assiste ainsi en surface à un processus aérobie plus proche de l'humification que de la turfigénèse (THEBAUD *et al.* 2009) et propice à l'installation d'espèces et essences humicoles forestières, mousses pleurocarpes comme *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, divers *Vaccinium*, arbustes et arbres pionniers. On est dans l'hypothèse du fin de cycle de développement autogène du bombement. Mais si l'on se place dans le cadre des conclusions des travaux d'OHLSON *et al.* (2001), la tourbière bombée de l'Etui correspondrait à un climax asylvatique et les arbres seraient donc le signe d'une modification des conditions écologiques induite soit par un changement climatique soit par des interventions humaines. Malheureusement seules des études paléécologiques portant sur l'analyse des macro-restes végétaux permettraient de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses.

L'autre élément de la discussion est bien sûr le climat. Les conditions climatiques qui ont succédé à celles du Petit Age Glaciaire à partir du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle sont-elles à l'origine du boisement des tourbières ? L'accentuation de la hausse des températures au cours des dernières décennies est-elle responsable des pics d'envahissement de pins sylvestres observés sur le Marais de Limagne dans les années 1980 et explique-t-elle le ralentissement du processus de dépérissement des arbres ?

On peut tout d'abord se demander comment s'est traduit le changement climatique, au moins régionalement sinon localement. Les études conduites à l'Université de St-Etienne sur le département de la Loire à partir des données du réseau Météo-France ont mis en évidence une augmentation moyenne de 1,65° C depuis 1970. Cette valeur est proche de celles annoncées pour d'autres régions de France. Mais cette évolution est disparate dans le temps et dans l'espace. L'augmentation est en effet sensiblement plus forte depuis 1987. Par ailleurs elle est plus marquée en hiver et dans l'est du département, les zones montagneuses de l'ouest et du sud connaissant alors un réchauffement nettement plus modéré. Or la tourbière de l'Etui se trouve dans les Bois Noirs, au nord-ouest du département, le secteur où l'accroissement des moyennes annuelles est le plus faible. Il est donc difficile d'attribuer à une augmentation de température de l'ordre de 0,5° C sur 30 ans le développement des arbres et ce d'autant plus que le réchauffement est principalement le fait de ces 20 dernières années et alors qu'aucun des pins sylvestres datés n'a germé après 1988. Par ailleurs les jeunes pousses sont rares.

On peut aussi discuter pour l'Etui l'hypothèse de l'impact d'une succession d'étés chauds qui auraient entraîné un abaissement saisonnier suffisamment durable des nappes pour favoriser la germination massive des pins sylvestres et leur croissance rapide. Mc VEAN

(1963a, 1963b) a montré qu'en dehors des régions hyperocéaniques, l'abaissement même très faible, du niveau des nappes pendant des périodes plus sèches suffisaient à déclencher la germination des pins. Mais la datation des pins par carottage montrent que les germinations furent 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 (respectivement 7,4 % des germinations contre 18,5 % et 17,3 %).

Pour la Haute-Loire, le poste climatologique le plus proche du Marais de Limagne offrant la série de températures la plus longue est celui de Chadrac près du Puy-en-Velay. Il est situé à une quinzaine de kilomètres à l'est de la tourbière, mais dans un bassin sédimentaire ce qui laisse envisager des conditions climatiques sensiblement différentes de celles du Marais de Limagne installé lui sur le plateau.

L'évolution des températures à Chadrac depuis 1929 montre une augmentation sensible à partir des années 1970 (fig. 11). Cette évolution est conforme à ce que l'on observe dans un grand nombre de postes du département. Il y a bien une concomitance entre cette augmentation des températures et le développement de l'arbre sur le Marais de Limagne. C'est d'autant plus vrai que l'extension de la surface boisée a été très rapide au cours des 20 dernières années, période marquée par une nette accentuation du réchauffement. On peut donc envisager une augmentation sensible de l'évapotranspiration qui aurait fait baisser les nappes plus durablement pendant la saison végétative et favorisé la germination des arbres. Malheureusement les données piézométriques disponibles ne couvrent que la période 2001-2006 et encore ces données sont-elles trop peu nombreuses et disparates.

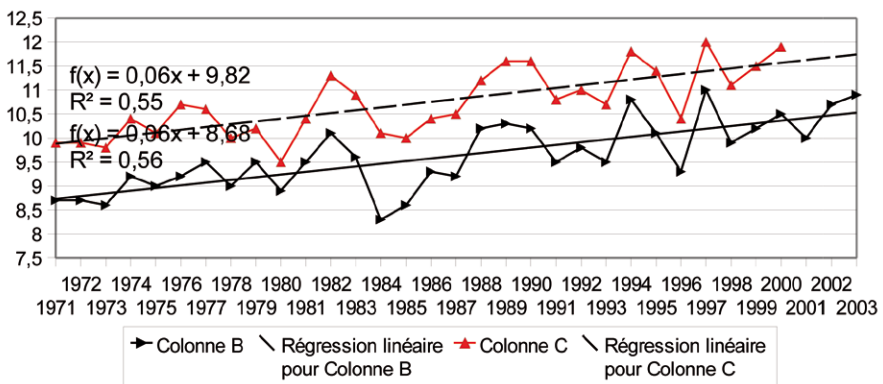


Figure 11 : L'évolution des températures moyennes annuelles entre 1929-2003 au poste climatologique de Chadrac en Haute-Loire (Velay), une quinzaine de kilomètres à l'est de la tourbière du Marais de Limagne



Mais la température n'est pas le facteur le plus pertinent à considérer. Nombre d'études ont montré en effet que ce sont les précipitations estivales et l'enneigement qui jouaient un rôle majeur dans le maintien ou le rétablissement des nappes (MÄLILÄ & SAARNISTO, 2008). Cependant le manque de données concernant l'évolution des précipitations sur le site et l'absence presque totale de données sur le manteau nival ne permettent pas de dégager une tendance lourde. On observe seulement que les hauteurs d'eau annuelles à Chadrac sont plus fréquemment au dessus de la moyenne de l'intervalle 1929-2003 depuis les années 1970 (fig. 12). Cela n'a-t-il donc pas été suffisant, dans un contexte de hausse des températures, pour maintenir un ratio précipitations-évapotranspiration positif ? Impossible à dire sans une connaissance précise de l'évolution saisonnière comparée des précipitations et des températures, un travail qui reste à faire.

Finalement les données météorologiques disponibles sont très insuffisantes pour pouvoir apprécier à sa juste mesure l'impact éventuel d'une évolution climatique sur l'écologie des tourbières. Les postes climatologiques régionaux sont rares en altitude, les séries de données trop courtes, les variables mesurées réduites souvent aux seules précipitations auxquelles s'ajoutent trop rarement les températures. Les variations de l'ETP sont par exemple impossibles à déterminer. A ces carences s'ajoute l'absence de données piézométriques historiques.

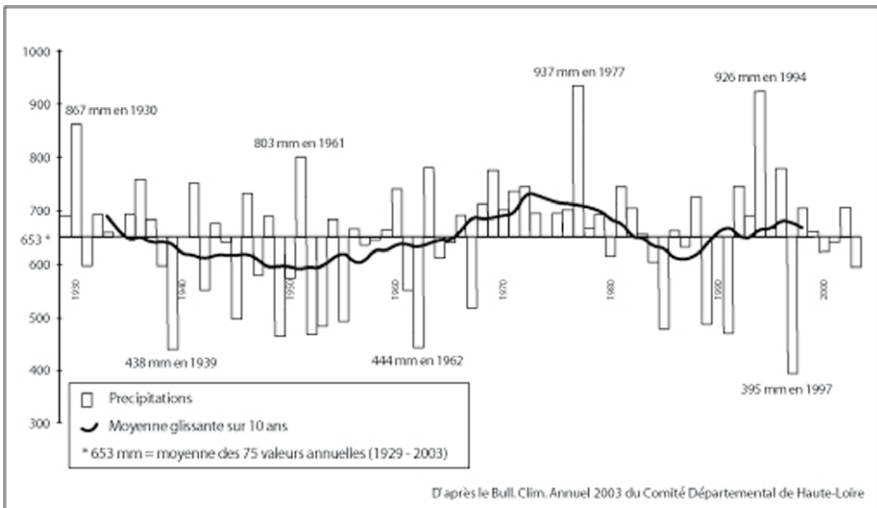


Figure 12 : Évolution des précipitations annuelles entre 1929-2003 au poste climatologique de Chadrac en Haute-Loire (Velay), une quinzaine de kilomètres à l'est de la tourbière du Marais de Limagne

Si, pour terminer, on se place maintenant dans une perspective géologique, il faut réfléchir aux implications de l'absence - à confirmer certes au moyen des analyses de macro-restes végétaux - de couches de bois au sein des accumulations de tourbe étudiées dans tout le Massif Central oriental (CUBIZOLLE, 2005). Cela pourrait indiquer que la phase de boisement que nous observons depuis un peu moins d'un siècle serait la première de cette importance depuis l'origine de ces tourbières soit le Dryas récent pour le Marais de Limagne et l'Atlantique récent pour la tourbière de l'Etui. Elle suppose encore qu'aucun des nombreux changements climatiques survenus au cours des 13 000 dernières années n'a déclenché un développement de l'arbre comparable à celui que nous connaissons. En conséquence, le changement climatique actuel serait exceptionnel.

Pourtant, ailleurs en Europe, les travaux menés depuis plus d'un siècle sur les tourbières ont permis d'identifier, au sein de nombreuses séquences tourbeuses, des couches de bois matérialisant, selon les auteurs, des phases plus chaudes et plus sèches. Dès le début du siècle WEBER (1926) a qualifié de *grenzhorizont* le passage de la tourbe très humifiée et riche en bois du Subboréal, considéré alors comme une période relativement plus sèche et plus chaude, à celle à sphaigne peu ou pas humifiée du Subatlantique sensiblement plus frais et plus humide. On sait effectivement que les changements climatiques affectent davantage, par le biais de l'impact sur l'hydrologie des sites, le degré d'humification de la tourbe que la végétation elle-même (MÄLILÄ & SAARNISTO, 2008). D'autres horizons indicateurs de changement climatique ont été décrits depuis Weber, notamment par GRANLUND (1932), et ce sur la base de la classification Blytt-Sernander élaborée à partir d'études de tourbières bombées danoises menées par Axel BLYTT (1876) et Rutger SERNANDER (1908) (BIRKS & BIRKS, 1980). Mais d'autres études montrent que la présence de pins dans la tourbe n'implique pas nécessairement une période plus sèche, moins productrice de tourbe. En effet, pour que les troncs et les branches soient conservés il faut un enfouissement rapide dans la sphaigne ce qui suppose des conditions d'humidité très favorables à l'accumulation de tourbe. Au contraire une sécheresse limite la production de biomasse et aboutit à la décomposition du bois mort (BRIDGE *et al.*, 1990). Dans le même ordre d'idée, la synthèse de MÄLILÄ & SAARNISTO (2008) fait apparaître que la présence d'arbres n'est pas nécessairement synonyme d'assèchement et de ralentissement de l'accumulation de tourbe. Ainsi ces auteurs ont montré que les tourbières bombées à *Sphagnum fuscum* et pins sont le type de tourbières affichant la plus forte accumulation de carbone juste derrière les tourbières bombées à *Sphagnum fuscum* seule et devant les 11 autres types de tourbières hautes ou basses définis par les auteurs.

En conséquence un niveau de bois dans la tourbe est indicateur de la fin d'une période sèche et de l'avènement d'une période plus humide. On le voit l'interprétation de la présence de couches de bois dans la tourbe en terme de changements paléobioclimatiques est complexe.

D'autres études stratigraphiques plus fines que celles de la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle et, surtout, accompagnées de très nombreuses datations par le radiocarbone, ont conclu que les alternances de couches claires et foncées, pourraient correspondre à des cycles climatiques. Ainsi AABY (1976) définit-il des cycles de 260 ans tandis que BARBER (1981) met en évidence six phases d'alternance de conditions sèches et humides sur les 2000 dernières années.

On peut donc penser, que dans les cas de l'Etui et de Limagne, des facteurs autogènes et locaux expliquent l'absence d'autres phases de boisement que l'actuelle ainsi que l'homogénéité relative de la tourbe. On rejoint alors le modèle de croissance verticale des tourbières d'INGRAM (1982) qui considère que le taux de croissance est homogène du fait d'une nappe se maintenant très près de la surface et ce indépendamment des variations climatiques qui ne parviennent pas à remettre en cause l'inertie du système.

## Conclusion

De toute évidence les premières études menées sur les tourbières du Massif Central oriental et plus spécialement sur le Marais de Limagne et la tourbière de l'Etui ne permettent pas de répondre clairement à la question des relations entre le changement climatique récent et le boisement des tourbières au XX<sup>ème</sup> siècle. Pour l'Etui, le développement des arbres ne correspond à aucune modification identifiable des conditions climatiques locales. Pour la Limagne, on note tout de même des concomitances intéressantes entre l'augmentation des températures et l'explosion de l'arbre à partir des années 1980. Mais la faiblesse des corpus de données climatiques ne permet pas de pousser plus avant les analyses. On ne peut pas en particulier reconstituer les variations de l'ETP et estimer les fluctuations des niveaux piézométriques durant la saison végétative.

Concernant les autres facteurs pouvant être impliqués dans le développement de l'arbre, là aussi les imprécisions sont nombreuses. Ainsi, si l'on connaît bien les usages que faisaient les communautés humaines des tourbières, on cerne très mal ce que pou-

vait être l'intensité des pressions exercées sur le milieu par les activités humaines, notamment l'agro-pastoralisme.

Finalement il convient d'orienter les recherches dans quatre directions :

- Trouver d'autres sites pouvant se prêter à ces investigations ; le site de Frasnès dans le Jura nous semble intéressant ;
- Rechercher des secteurs pour lesquels on dispose de séries climatologiques plus longues et plus complètes ;
- Travailler sur les usages attachés aux tourbières et préciser la nature et le degré des interventions humaines ;
- Poursuivre le suivi scientifique engagé depuis 2002 sur 5 tourbières du Massif Central oriental (CUBIZOLLE *et al.*, 2007 ; CUBIZOLLE, 2009) pour voir comment les tourbières réagissent au changement climatique en cours.

## Remerciements

Nous remercions d'une part le Conseil Général de la Haute-Loire, gestionnaire du Marais de Limagne, et d'autre part le Syndicat Mixte des Monts de la Madeleine et le Parc Naturel régional du Livradois-Forez, gestionnaires de la tourbière de l'Etui pour leurs appuis logistiques et financiers.

## Bibliographie

AABY B. 1976. Cyclic climatic variations in climate over the past 5,500 yr. Reflected in raised bogs. *Nature* 263 : 281-284.

ARGANT J. & CUBIZOLLE H. 2005. L'évolution holocène de la végétation des Monts de la Madeleine, du Forez, du Livradois et du Pilat (Massif Central oriental, France): l'apport d'une nouvelle série d'analyses palynologiques. *Quaternaire* vol. 16 (2) : 119-142.

BARBER K.E. 1981. Peat stratigraphy and climatic change. A.A. Balkema, Rotterdam. 219 p.

BEAULIEU J-L. de, PONS A. & REILLE M. 1984. Recherches pollenanalytiques sur l'histoire de la végétation des monts du Velay, Massif Central, France. *Dissertationes Botanicae* 72 : 45-70.

- BEAULIEU J.L. de, PONS A., REILLE M., 1988. Histoire de la flore et de la végétation du Massif Central (France) depuis la fin de la dernière glaciation. *Cahiers de Micropaléontologie*, 3, 4 : 5-36.
- BIRKS H.H. 1975. Studies in the vegetational history of Scotland. IV. Pine stumps in Scottish blanket peats. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* 270 : 181-226.
- BIRK H.J.B. & BIRKS H.H. 1980. Quaternary Palaeoecology. Ed. Arnold, Londres. 289 p.
- BRIDGE M.C., HAGGART B.A. & LOWE J.J. 1990. The history and paleoclimatic significance of subfossil remains of *Pinus sylvestris* in blanket peats from Scotland. *Journal of Ecology* 78 : 77-99.
- CARLISLE A. & BROWN A.H.F. 1968. Biological flora of the British Isles : *Pinus sylvestris* L. *Journal of Ecology* 56 : 269-307.
- CHAMBERS F.M. 1997. Bogs as treeless wastes: the myth and the implications for conservation. In : L. PARKYN L., STONEMAN R.E. & INGRAM H.A.P. 1997. *Conserving Peatlands*. CAB international, Oxford, 168-175.
- CUBIZOLLE H., 1997. *La Dore et sa vallée. Approche géohistorique des relations Homme/milieu fluvial*. Publications de l'Université de Saint-Etienne : 389 p.
- CUBIZOLLE H. 2005. Paléoenvironnements et turfigenèse. L'apport de l'étude des tourbières à la connaissance de l'évolution holocène des milieux montagnards du Massif Central oriental granitique. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Limoges. 750 p.
- CUBIZOLLE H., 2009. Peatland monitoring in France. International Peat Society, Jyväskylä, Finland, 2: 26-37.
- CUBIZOLLE H., GEORGES V., LATOUR C., ARGANT J. & SERIEYSSOL K. 2004. La turfigenèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif Central oriental granitique (France) : une manifestation de l'action humaine ? *Quaternaire* vol. 15 (4) : 343-359.
- CUBIZOLLE H., PORTERET J., SACCA C. & ETLICHER B. 2007. Le développement de la collaboration entre scientifiques et gestionnaires pour la mise en place du suivi scientifique des tourbières de France. In : CUBIZOLLE H. 2007. *Origines, fonctionnement et conservation des tourbières*. Actes du colloque de Goutelas, Publications de l'Université Jean Monnet, St-Etienne, 5-7 octobre 2005, 365-381.
- CUBIZOLLE H., TOURMAN A., ARGANT J., PORTERET J., OBERLIN C. & SERIEYSSOL K. 2003. Origins of European biodiversity : palaeo-geographic signi-

fication of peat inception during the Holocene in the granitic eastern Massif Central (France). *Landscape Ecology*, special issue 18 : 227-238.

DUPIEUX N. 1998. La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques. Programme Life-Nature »Tourbières de France», Espaces naturels de France. 244 p.

FEDERATION DES CONSERVATOIRES D'ESPACES NATURELS, 2010. *Tourbières des montagnes françaises. Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion*. Pôle Relais Tourbières, Besançon : 187 p.

FRANKL R. & SCHMEIDL H. 2000. Vegetation change in a south German raised bog : ecosystem engineering by plants species, vegetation switch or ecosystem level feedback mechanisms ? *Flora* 195 : 267-276.

GOUBET P., THEBAUD G. & PETEL G. 2004. Les modèles théoriques de développement des hauts-marais : un outils pour la gestion conservatoire des tourbières. *Géocarrefour* 79 (4) : 303-315.

GRANLUND E. 1932. De svenska högmossarnas geologi. *Sver. Geol. Unders. Arbs.* 26 : 1-193.

GUNNARSSON U., MALMER N. & RYDIN H. 2002. Dynamics or constancy in Sphagnum dominated ecosystem ? a 40-year study. *Ecography* 25 : 685-704.

INGRAM H.A.P. 1982. Size and shape in raised mire ecosystems : a geographical model. *Nature* 297 : 300-303.

LEMEE G. 1941. Recherches sur l'évolution forestière postglaciaire en Auvergne. II, Analyse pollinique d'une tourbière des Bois Noirs. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne* 1-2 : 41-49.

MÄKILÄ M. & SAARNISTO M. 2008. Carbon accumulation in boreal peatlands during the Holocene – impacts of climate variations. In : STRACK M. 2008. Peatlands and climate change. International Peat society, Finland, 24-43.

McVEAN D.N. 1963a. Growth and mineral nutrition of Scots pine seedlings on some common peat types). *Journal of Ecology* 51 : 657-670.

Mc VEAN D.N. 1963b. *Ecology of scots pine in the Scottish Highlands*. *Journal of Ecology* 51 : 671-686..

MOORE P.D. & BELLAMY D.J. 1974. Peatlands. Elek Science, Londres. 221 p.

OHLSON M., øKLAND R.H., NORDBAKKEN J.F. & DAHLBERG B. 2001. Fatal interactions between Scots pine and Sphagnum mosses in bogs ecosystems. *Oikos* 94 : 425-432.

- OSVALD H. 1923. Die vegetation des Hochmoores Komosse. *Swedish Botanical Society* 1 : 1-146.
- PAYETTE S. & ROCHEFORT L. 2001. L'écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses Universitaire de Laval. 621 p.
- PELLERIN S. & LAVOIE C. 2003. Recent expansion on jack pine in peatland of southeastern Québec : a palaeoecological study. *Ecoscience* 10 (2) : 247-257.
- PORTERET J. 2008. Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central. Thèse de doctorat, Sciences Humaines et Sociales, Université Jean Monnet. Saint-Étienne. 414 p.
- SCOTT P.A. & HANSELL R.I.C. 2002. Development of white spruce tree islands in the shrub zone of the forest-tundra. *Arctic* 55 (3) : 238-246.
- SUCHEL J-B. 1990. Le climat des monts du Forez. In : Les monts du Forez, le milieu et les hommes. Centre d'Etude Forézienne, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 81-98.
- THEBAUD G., CUBIZOLLE H. & PETEL G. 2003. Etude préliminaire des haut marais ombrotrophes du Forez septentrional et des Bois Noirs (Massif Central France): Végétation, évolution et dynamique actuelle. *Act. Bot. Gallica*, 150 (1) : 35-57.
- THEBAUD G., GOUBET P., SKRZYPCZAK R. & SOURP E.; 2009. Communautés végétales des tourbières ombrotrophes du Massif central oriental (France). *Act. Bot. Gallica* , 156 (3) : 341-377.
- TOURMAN A., 2007.- *Fonctionnement, dynamique et intérêt paléoenvironnemental des tourbières du plateau volcanique de Dèvès (Velay, Massif Central)*. Thèse pour le Doctorat de Géographie, Université Jean Monnet de St-Etienne : 387 p.
- VON POST L. & SERNANDER R. 1910. Pflanzenphysiognomische Studies auf einigen Torfmooren in Närke. Livret-guide Exc. Suède, 11<sup>e</sup> Congrès de Géologie, 14: 1-48.
- WEBER C.A. 1926. Grenzhorizont und Klimaschwankungen. *Abhandl. Naturwiss. Vereins, Bremen* 26 : 98-106.