

**La restauration des tourbières affectées par l'extraction de tourbe et les reboisements :  
les exemples du système tourbeux de Gourgon et de la tourbière bombée de Vérines dans les  
Monts du Forez (Massif Central, France)**

*The restoration of peatland after peat extraction and afforestation : examples of the mire system of  
Gourgon and the raised bog of Verines in the Monts du Forez (Massif Central, France)*

CUBIZOLLE Hervé, Professeur des Universités, géographie physique, CRENAM - UMR 5600 CNRS, 6 rue Basse des Rives, 42023 St-Etienne cedex 2 ; [herve.cubizolle@univ-st-etienne.fr](mailto:herve.cubizolle@univ-st-etienne.fr)

PORTERET Jérôme, Doctorant, Université Jean Monnet, CRENAM - UMR 5600 CNRS, 6 rue Basse des Rives, 42023 St-Etienne cedex 2 ; [jerome.porteret@univ-st-etienne.fr](mailto:jerome.porteret@univ-st-etienne.fr)

RUSSIAS Laurent, Service Environnement, conseil général de la Loire, Hôtel du Département, 2 Avenue Charles de Gaulle, 42000 St-Etienne ; [russias@cg42.fr](mailto:russias@cg42.fr)

FRAPPA Fabrice, Conservatoire des Espaces Naturels de Rhône-Alpes (CREN), Maison Forte, 2 rue de Vallières, 69 390 Vourles ; [fabrice.frapp@espaces-naturels.fr](mailto:fabrice.frapp@espaces-naturels.fr)

**English abstract**

Afforestation of open mires with spruces (*Picea abies*) combined with drainage is the main cause of regression of peatlands in the French Massif Central (**fig. 1** and **fig. 2**). On the other hand, several mires have been degraded by peat mining for fuel and horticulture.

But the restoration of peatlands has only become important over the last ten years. This evolution was possible thanks to the collaboration between scientists, wetlands managers, public authorities and state administration.

Two operations are in progress in the eastern part of the Massif Central : the restoration of the mire system of Gourgon, damaged by afforestation during the seventies, and the restoration of the bog of Verines, disturbed by peat extraction in the forties and the seventies.

The first operation began in 2004 in the Monts du Forez. It concerns the mire system of Gourgon, which covers an area of 25 ha of bogs and fens on a plateau with an average altitude of 1300 m (asl). Characteristic ecological feature of these peatlands complex is the huge diversity of

plants with, in particular, 18 species of *Sphagnum*. In accordance with the palynological data, an agricultural occupation for at least 3000 years has affected landscapes and ecosystems.

Two problems have affected the mire system of Gourgon and its catchment: the afforestation with *Picea abies* plantations since the seventies, and the advance of agriculture for 10 years (cattle-breeding, grassland, drainage, heath cutting). The operation of restoration is led by local authorities, the Conservatoire Regional des Espaces Naturels (CREN) and Jean Monnet University. The first stage was the purchase of numerous areas of peatlands, heath lands and spruces plantations by the local authorities. The detailed objectives of restoration are extremely variable : clearing of *Picea abies* plantations, removal of birch (*Betula sp.*) on peatlands to create corridors for butterfly populations (*Boloria aquilonaris* and *Euphydry asaurinia*), control of cattle-breeding, grazing on peatlands to limit the extension of trees, scientific monitoring to follow the impact of management changes on hydrology, pedology, plants and animals communities.

The second operation is about to begin. It concerns an ombrotrophic peat bog surrounded by fens in the north of the Monts du Forez, at an altitude of 960 m. The total area of the site (including raised bog, fens and ring marshes and swamps) is 12,5 ha. The peat thickness rises 3,7 m in the raised bog.

Peat was extracted between 1942 and 1949, and then between 1975 and 1980. The area of the bog has decreased from 2,1 ha to about 0,6 ha and the fens were damaged after ditching for peat harvesting. In 2002, 20 % of the remaining bog, in the eastern part of the site, was gravely affected by the lowering of water table. Many plants which are adapted to particular ecological conditions of peatlands like *Sphagnum* mosses, *Vaccinium oxycoccos*, *Andromeda polifolia*, etc. disappeared, except small hummocks of *Sphagnum capillifolium*. The bog surface was covered with birches (*Betula alba*), pines (*Pinus sylvestris*) and a dense shrub of *Calluna vulgaris* and *Vaccinium myrtillus*.

The site of Verines mires has been bought by the local authorities and became a protected mire in 1998. In 2002 a first rehabilitation program started with several aims :

- To keep peat accumulation processes in the mining pits invaded by *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum sp.*, *Carex rostrata*, etc. ;
- To start up again peat accumulation in the damaged fens ;
- To restore hydrology by blocking in the ditches ;
- To cut down the trees.

In 2007 a new stage began in the restoration of Verines mires. The most important works are planned for August – September 2008. The aim is to reconstruct the eastern part of the remaining bog, the most damaged, with peat carried from another local mire 41 km away, where 20 000 m<sup>3</sup> of peat will be extracted because of the increasing capacity of a dam.

The success of restoration works implies to keep the physical properties of the peat during the extraction, the transport and the deposit operations. We will have to avoid the water outflow at the bottom of the peat by means of numerous small dams of dense peat situated perpendicularly to the slope. On the surface of the bog, we have to prevent of the outflow with the restoration of vegetation cover, the digging of pool and the placing of branches.

Scientific monitoring is starting, eight months before the beginning of the works in July 2008 : three shafts on codeur are will be installed on the site to follow the groundwater level fluctuations. Several floristic and faunistic inventories will be collated from March to July 2008. The monitoring scheme will be completed after the works with five more shafts on codeur and a vegetation following according to the methods of Braun-Blanquet completed with the research of Guinochet (1973), Gehu and Rivas-Martinez (1980), and de Foucault (1984).

Finally, the Vérines experience will brings about a significant change in the approach of peatlands conservation in the Massif Central. It will show the need to go beyond the simple fact of maintaining a peatland ecosystem. Now, the necessity to reconstruct mires seriously damaged by human action is understood by all the stakeholders.

**Keywords** : peatlands, peat afforestation, peat extraction, restoration, bog reconstruction, mire monitoring, Massif Central, France

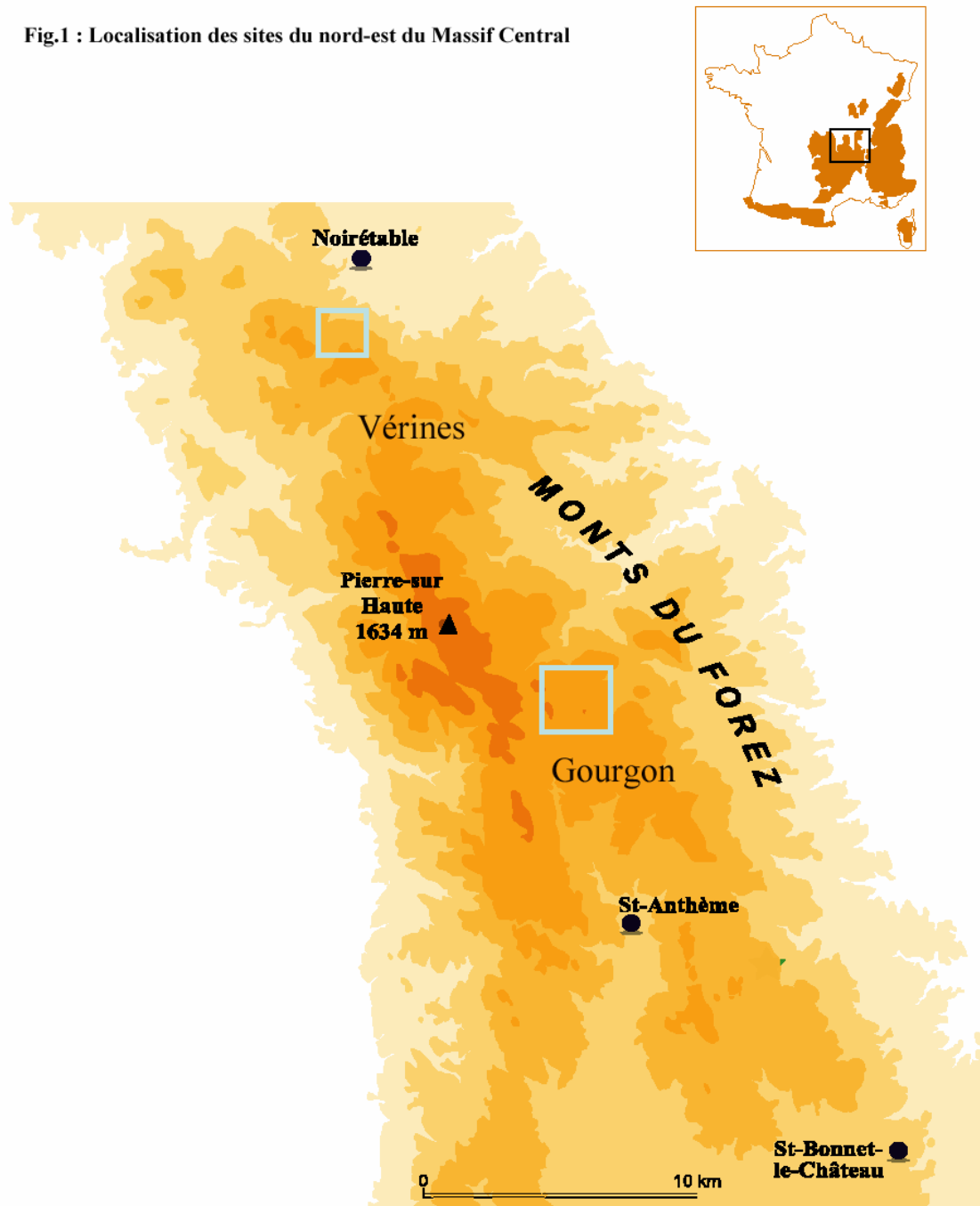
---

## **INTRODUCTION**

Les entreprises de restauration des tourbières en France sont rarement de très grande ampleur. La plupart des expériences réalisées consistent en des interventions ponctuelles : enlèvement d'arbres, décapage et obturation de fossés de drainage. Aussi les deux opérations menées sur les hautes terres du Massif Central oriental granitique, dans le département de la Loire près de St-Etienne (**fig. 1**), participent-elles d'une approche récente de la conservation des tourbières en France

qui consiste, non plus seulement à essayer de maintenir l'écosystème en l'état après qu'il ait été affecté par des interventions humaines, mais d'opérer un retour à l'état initial, tant du point de vue de la physionomie de la tourbière que de son fonctionnement et de la dynamique de ses biocénoses.

Fig.1 : Localisation des sites du nord-est du Massif Central



Dans le Massif Central oriental on peut répartir les tourbières en six catégories définies en fonction du niveau de perturbation engendré par l'intervention humaine (**fig. 2**). Cette classification s'inspire à la fois de travaux disponibles dans la littérature scientifique internationale (Cross 1990, Warner 1996, Warner et Bunting 1996, Charman 2002) et des expertises menées sur les sites par l'équipe stéphanoise et ses partenaires sur le Massif Central oriental (Cubizolle 2005, Porteret 2001, Sacca 2003, Tourman 1999).

**Fig. 2: Classification des tourbières du Massif Central oriental en fonction d'une estimation du niveau de perturbation engendrée par l'action humaine**

Niveau de perturbation	Description du type de tourbière concerné
1- Absence de perturbation (fonctionnement naturel, tourbières naturelles)	L'évolution de la tourbière est naturelle. Si des perturbations l'ont affecté dans le passé, l'écosystème s'est depuis régénéré
2- Perturbations mineures (fonctionnement très faiblement perturbé, tourbières en grande partie naturelles)	Des perturbations influent sur la dynamique de la tourbière, souvent très localement. Ces perturbations ne remettent pas en cause le processus d'accumulation de la tourbe. Le retour à un état naturel est possible à moyen terme.
3- Perturbations modérées (fonctionnement perturbé, tourbières en partie naturelles)	La dynamique de la tourbière est conditionnée soit par des travaux séculaires dont l'impact est encore effectif, soit par des travaux récents bien perceptibles, d'une importance moyenne et affectant une partie plus ou moins grande du site. La structure et la forme de la tourbière sont ponctuellement modifiées. Le rétablissement d'une dynamique naturelle prendra plusieurs décennies mais peut être accéléré par une intervention humaine adaptée.
4- Perturbations majeures (fonctionnement totalement perturbé, tourbières résiduelles et tourbières non fonctionnelles)	Le fonctionnement de la tourbière est totalement perturbé par des interventions humaines majeures qui ont concerné tout ou partie du site. L'écosystème a perdu ses caractéristiques initiales. La structure et la forme mêmes de la tourbière ont été modifiées. Cependant la dégradation de l'écosystème n'est pas irréversible et les conditions hydrologiques favorables à la turfigenèse peuvent être rétablies. Le retour à l'équilibre du milieu est envisageable à long terme, une intervention humaine étant dans certains cas un préalable indispensable.

5- Destruction presque totale puis restauration (fonctionnement artificiel, tourbières artificielles)	Les interventions humaines ont totalement transformé le site. La tourbière originelle a disparu et celle qui se développe actuellement est le résultat direct d'une volonté humaine de restaurer le site.
6- L'ouvrage qui était à l'origine du développement de la tourbière a disparu ou n'est plus fonctionnel (tourbières d'origine anthropique résiduelles ou non fonctionnelles)	La tourbière s'est mise en place et développée grâce à la construction de barrages ou au creusement de bassin qui ont créé les conditions hydriques favorables à la turfigenèse. L'ouvrage n'étant plus fonctionnel, l'hydrologie du site est radicalement modifiée, condamnant la tourbière à la disparition à plus ou moins long terme.

Jusqu'à présent les tourbières des catégories 4 et 5, les plus transformées et menacées par l'emprise humaine, ne faisaient pas l'objet de travaux de restauration susceptibles de les ramener à l'état qui prévalait avant leur exploitation. Les expériences de Gourgon et de Vérines sont donc les premières tentatives, au moins régionales, de remise en état de sites profondément perturbés.

## **1. LA RESTAURATION DU SYSTEME TOURBEUX DE GOURGON**

### **1.1. Une mutation des pratiques et des usages menaçant le fonctionnement du système tourbeux et de des zones humides annexes**

Le système tourbeux de Gourgon-Bazanne se compose de 25 hectares de tourbières réparties entre 1100 et 1450 m d'altitude, dans la partie centrale des Monts du Forez (coordonnées Lambert II étendue - X : 721250, Y : 2069000) (**fig.3**). Le paysage de ces Hautes Terres, marqué par l'empreinte d'un système agropastoral original (Alverny 1907, Fel 1962, Damon 2004), s'est mis en place au fil des siècles. Centré autour de la jasserie, bâtiment d'estive regroupant l'étable, le fenil et l'habitation, il a modifié les écoulements de l'eau par la mise en place d'un réseau d'irrigation complexe et créé de vastes prés fertilisés, les fumades. Ce système a progressivement disparu au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, pour laisser la place à de nouvelles pratiques agricoles. On observe ainsi, depuis une cinquantaine d'années, une nouvelle dynamique du paysage marquée par l'extension de la bruyère et de la forêt. L'agriculture s'intensifie sur les secteurs les plus favorables et délaisse de grandes étendues de terrain autrefois pâturées et désormais plantées en résineux. C'est ainsi qu'entre 1975 et 1977, sur le secteur de Gourgon-Bazanne, près de 150 hectares de landes et tourbières ont été drainés et plantés en épicéas (*Picea abies*). Si la croissance des épicéas sur tourbe

reste faible et hétérogène, celle du bouleau (*Betula alba alba*), dont le développement est spontané, est remarquable.

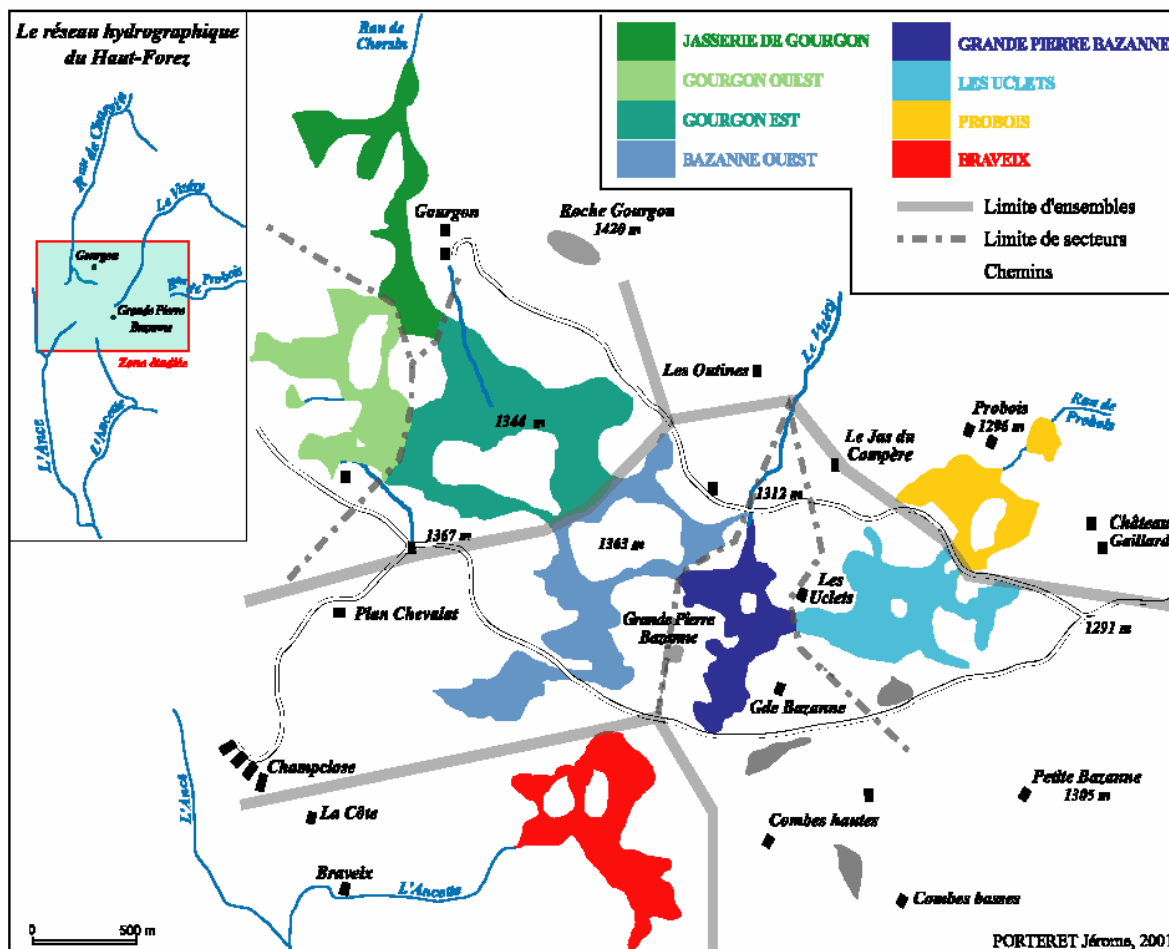


Fig.3 – Le système tourbeux de Bazanne-Gourgon

## 1.2. La collaboration des scientifiques et gestionnaires pour la préservation des tourbières

Après une phase d'inventaire du Conseil Général de la Loire en 1994 et du Conservatoire Régional des Espaces Naturels de la région Rhône-Alpes (CREN) en 2000, les tourbières du secteur de Gourgon–Bazanne ont fait l'objet de plans de gestion :

- En 2001 pour le secteur de Roche Gourgon avec, en sus, l'acquisition d'une partie du site par le Conseil Général de la Loire ;
- En 2005 pour le secteur de Grande Pierre Bazanne par le CREN.

Les objectifs affichés sont de maintenir une biodiversité maximum et de restaurer le fonctionnement hydrologique des secteurs dégradés par le drainage et la plantation de résineux. La réflexion s'articule autour du maintien des espaces ouverts, la maîtrise de la dynamique de boisement par le bouleau et l'entretien par le pâturage.

Dans le même temps, les études scientifiques menées par le Centre de Recherche sur l'ENvironnement et l'AMénagement (CRENAM UMR 5600 CNRS) de l'Université Jean Monnet ont permis d'améliorer les connaissances sur la mise en place et le développement de ce système tourbeux (Porteret 2001, Cubizolle 2005). L'étude paléo-environnementale a permis de mieux identifier les volumes de tourbe et de montrer l'intérêt patrimonial du secteur. En effet, les datations radiocarbone obtenues, en font la plus ancienne tourbière du Massif Central oriental (11470 +/- 80 BP soit 11824-11235 avant J-C., Ly-12992). Dans la continuité de ces travaux, une étude de la dynamique actuelle des tourbières et de leur rôle dans le fonctionnement des bassins versants a débuté en 2003 (Porteret, thèse en cours).

L'intérêt majeur de ce secteur a donc conduit à la mise en place d'un Contrat Restauration et d'Entretien (CRE), signé pour une durée de 5 ans (2004-2008). Cet outil, mis en place dans le cadre du 8<sup>ème</sup> programme d'intervention (2003-2006) de l'Agence de l'eau Loire Bretagne, a pour but de développer une politique expérimentale sur les têtes de bassins versants riches en zones humides. Le projet est porté par le Conseil Général de la Loire, le CREN Rhône Alpes et l'Université de Saint-Etienne. Le CRE Gourgon-Bazanne dont le budget est d'environ 540 000 euros, engage les maîtres d'ouvrage à réaliser un programme de travaux de restauration et d'entretien défini à la suite d'une étude préalable dans le cadre des plans de gestion.

### **1.3. Les opérations du Contrat de Restauration et d'Entretien**

Les enjeux des travaux concernent la ressource en eau et le maintien de la fonctionnalité des tourbières. L'eau est l'élément moteur de la mise en place et du maintien des tourbières, les conditions d'accumulation de la tourbe n'étant réunies que lorsque le bilan hydrique est positif ou nul (Clymo 1991). A partir de là les objectifs du CRE sont les suivants :

- Développer la connaissance sur le rôle des tourbières dans la dynamique des écoulements et du fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant de moyenne montagne ;

- Comprendre le fonctionnement du système tourbeux pour orienter des choix de gestion futurs ;
- Lancer des opérations de restauration sur les secteurs les plus dégradés qui demandent une intervention rapide avant que la dynamique turfigène ne soit définitivement remise en cause.

### 1.3.1. La restauration des secteurs perturbés

Les travaux de restauration des bassins versants tourbeux concernent le secteur de Gourgon (**fig.4**). Ils ont débutés en 2003 et se poursuivront jusqu'en 2008. Ils touchent des secteurs de tourbière et de lande très dégradés par les plantations d'épicéas. L'équipement hydrométéorologique du site ayant été réalisé parallèlement à la coupe des arbres, nous ne disposons malheureusement pas de mesures permettant de caractériser le fonctionnement du site avant les travaux de restauration et donc d'analyser les éventuelles conséquences des premiers travaux.

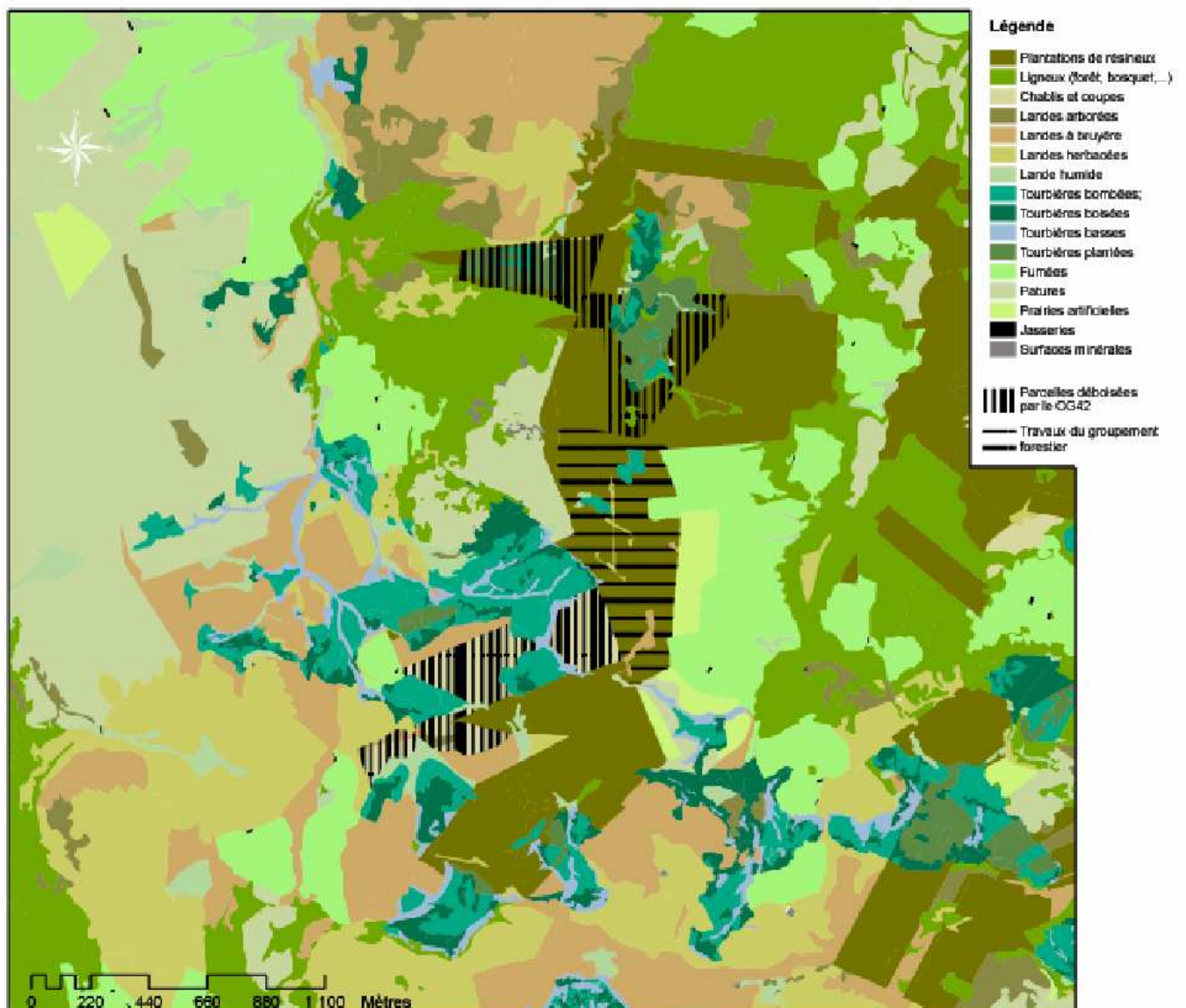
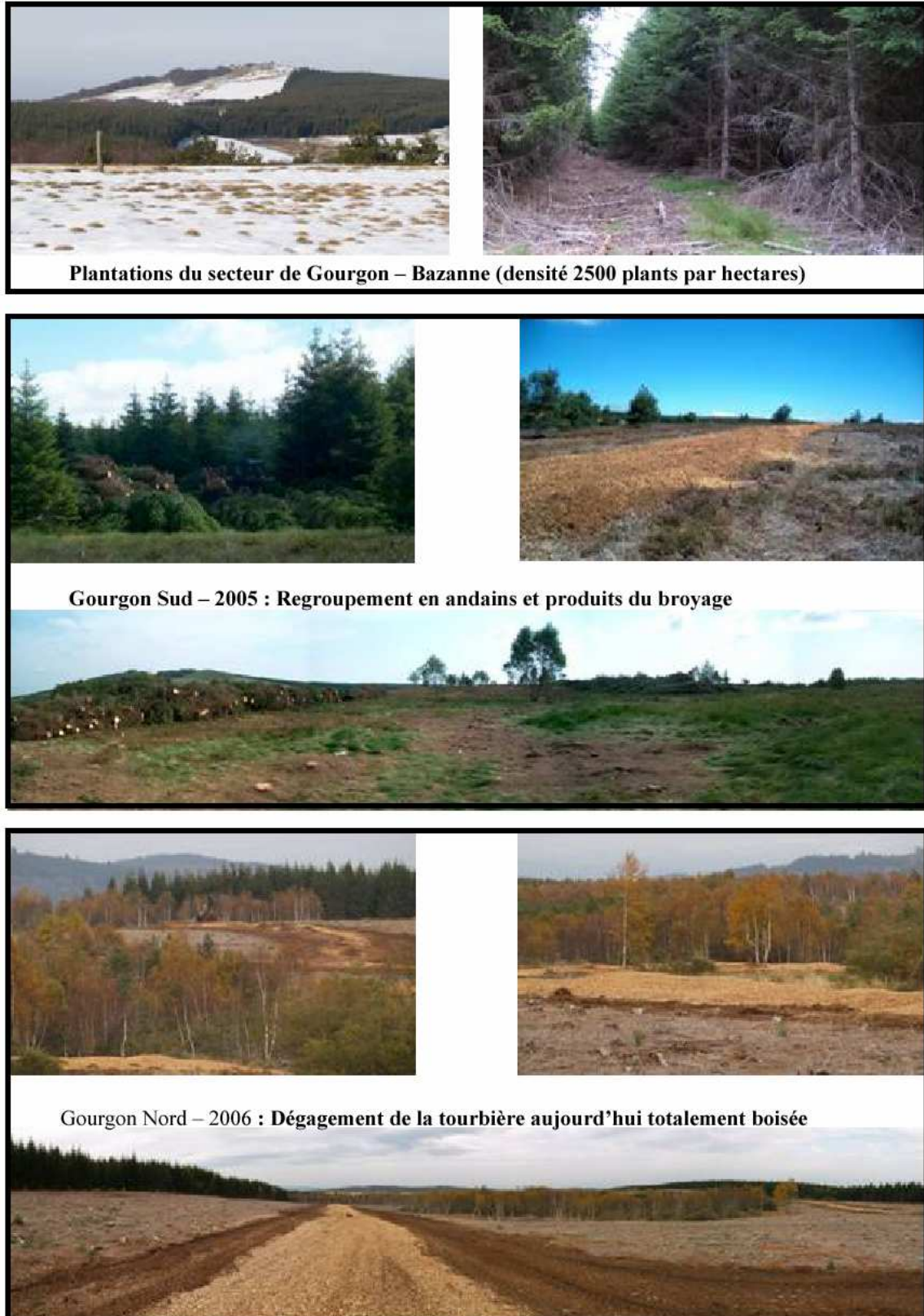


Fig.4 – Parcelles concernées par les travaux de restauration

Ceux-ci consistent donc en la coupe d'une partie des épicéas plantés dans les années 1970 – 1980 (**fig.5**). Favorable à la flore et à l'avifaune remarquable, la restauration d'espaces ouverts par



**Fig.5 – Les travaux de restauration du secteur de Gourgon**

l'élimination des pessières devrait favoriser l'hydromorphie. En effet, si les épicéas ne se sont développés que sur la lande ou les secteurs les moins humides en marge des tourbières, ils ont bouleversé les conditions écologiques, que se soit en modifiant le fonctionnement hydrologique ou en coupant les connexions biologiques pré-existantes. Ainsi, la colonisation spontanée par le bouleau a été largement favorisée par les conditions d'abri créées par la pessière. Ainsi, dans la partie nord du secteur de Gourgon, des bombements tourbeux ombrotrophes se sont couverts de bouleaux lorsque les épicéas ont ceinturé la tourbière la faisant passer d'un contexte ouvert à un contexte forestier.

Après une phase de test en 2004, les travaux de coupes ont été réalisés sur deux secteurs : dans la partie sud en 2005 (16 hectares) et dans la partie nord en 2006 (10 hectares). Les techniques employées ont été choisies pour être les moins destructrices pour les sols. Après regroupement en andains, les arbres ont été broyés et les produits laissés sur place faute de possibilité de commercialisation. Des suivis scientifiques de la reconquête végétale sont réalisés par le Conservatoire Botanique du Massif Central et le Groupe d'Etude des Tourbières. Après cette étape, les premiers travaux de pose de clôtures ont été réalisés et, au regard de la reconquête végétale, les parcs agricoles pourraient être opérationnels en 2008. Le choix d'un mode d'exploitation agri-environnemental doit encore être discuté. Parallèlement, le groupement forestier de Roche Gourgon a entrepris l'exploitation des secteurs les plus matures de la plantation.

### 1.3.2. L'étude des dynamiques actuelles

Ce deuxième volet de l'opération vise à améliorer les connaissances sur la dynamique du système tourbeux pour mieux orienter les opérations de gestion futures. Il a permis la mise en place d'un dispositif expérimental pilote pour le nord-est du Massif Central. Il s'agit d'étudier les modes de circulation de l'eau au sein du bassin versant et plus particulièrement dans et sur les tourbières. On s'intéresse aussi aux variations de l'hydromorphie au sein du système tourbeux et à l'impact des boisements de bouleau sur la dynamique de l'écosystème. Ainsi, le CREN a établi des parcelles tests sur le secteur de la Grande Pierre Bazanne pour observer l'évolution des habitats parallèlement à la conquête des bouleaux.

A une autre échelle d'analyse, il s'agit d'appréhender l'impact de la présence de tourbières dans le fonctionnement des bassins versants. Longtemps présentées comme des « éponges » capables de soutenir les étiages et d'écarter les crues, il semble que certaines fonctions hydrologiques des tourbières aient été mal évaluées. Ainsi le site de Gourgon a été équipé pour permettre un suivi à moyen terme. L'objectif est de quantifier les flux d'eau qui arrivent, circulent et sortent du bassin versant. Il s'agit également de s'intéresser à la circulation et au stockage de l'eau dans la tourbe. Au coeur de la tourbière, une station mesure l'ensemble des paramètres climatologiques (**fig.6**). Il s'agit des précipitations, des températures, de l'hygrométrie, du vent et de la radiation solaire. La localisation de cette station a été pensée pour être représentative du contexte tourbeux. Si la mesure des précipitations permet de connaître directement un terme du bilan de l'eau, les autres paramètres sont utilisés pour le calcul de l'évapotranspiration. Pour cela nous utilisons la formule de Penman-Monteith (1981). Une station limnimétrique est située à l'exutoire. Elle permet de mesurer les débits et de faire la somme des écoulements qui sortent du bassin versant. Enfin, un réseau de piézomètres sert à appréhender les variations des réserves aquifères. Il s'agit de 20 piézomètres en PVC dont les relevés sont manuels et de cinq piézomètres équipés de codeur piézométrique Thalimède pour suivre les variations horaires des niveaux de la nappe dans la tourbe.

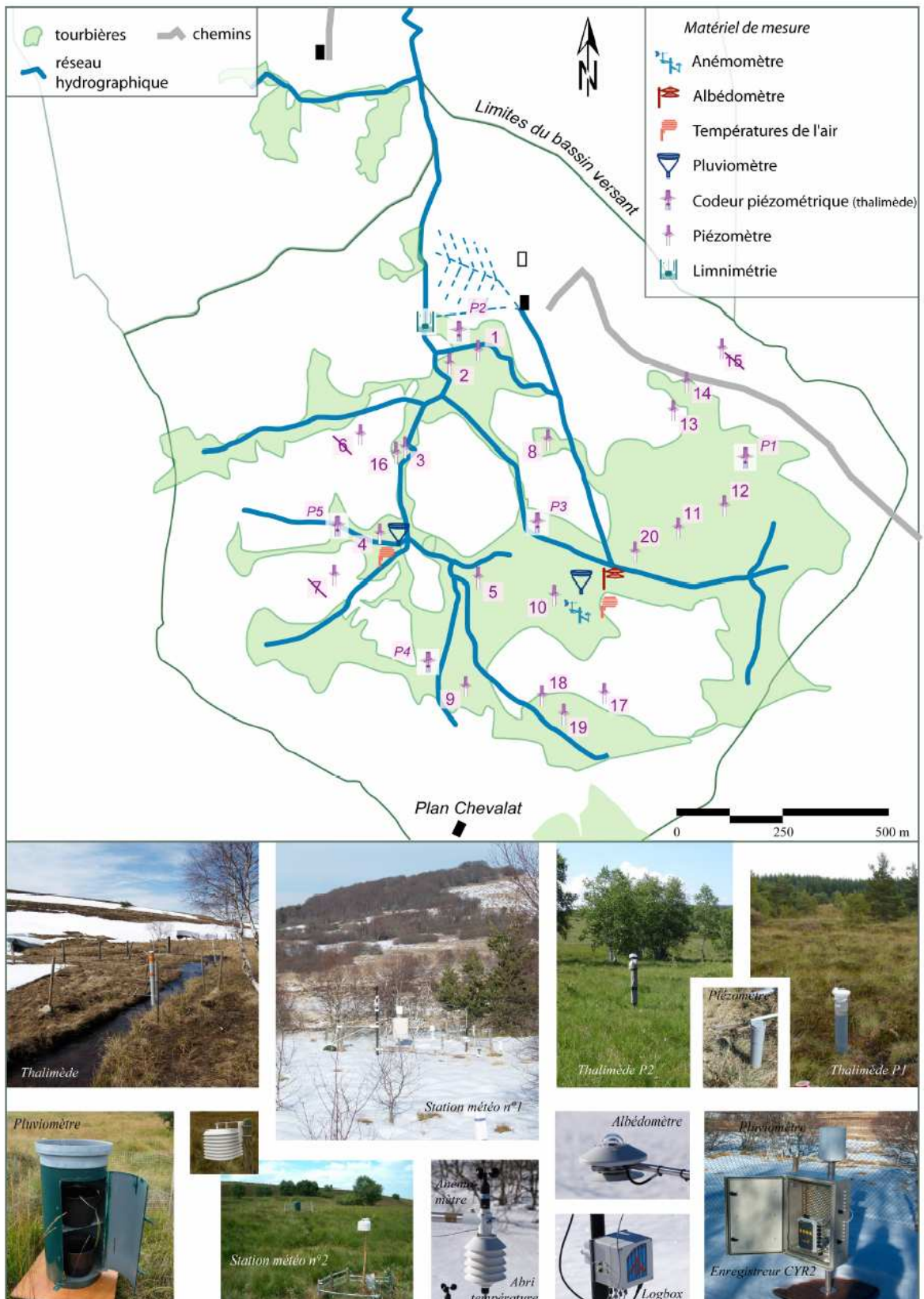


Fig.6 – L'équipement de suivi du site de Gourgon

## 2. LA RECONSTRUCTION DU BOMBEMENT DE LA TOURBIERE DE VERINES

L'objectif est ici de reconstruire une partie du bombement de Vérines et de sa tourbière basse périphérique (**fig. 7**). Ce système tourbeux se trouve dans l'est du Massif Central, dans le nord des Monts du Forez (**fig. 1**). Il se situe à une altitude de 960 m, au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus*. D'un point de vue topographique nous sommes là sur un replat d'une vingtaine d'hectares à partir duquel les eaux fluviales divergent.

Le contexte climatique est nettement océanique avec des précipitations assez bien réparties sur l'année et dépassant fréquemment 1200 mm. La température annuelle moyenne est de l'ordre de 6° C.

L'étude des coupes dans l'enceinte de l'ancienne carrière montre que la tourbe s'est accumulée directement sur le substratum géologique qui est une dalle de Monzogranite porphyroïde à biotite, très sain et imperméable.

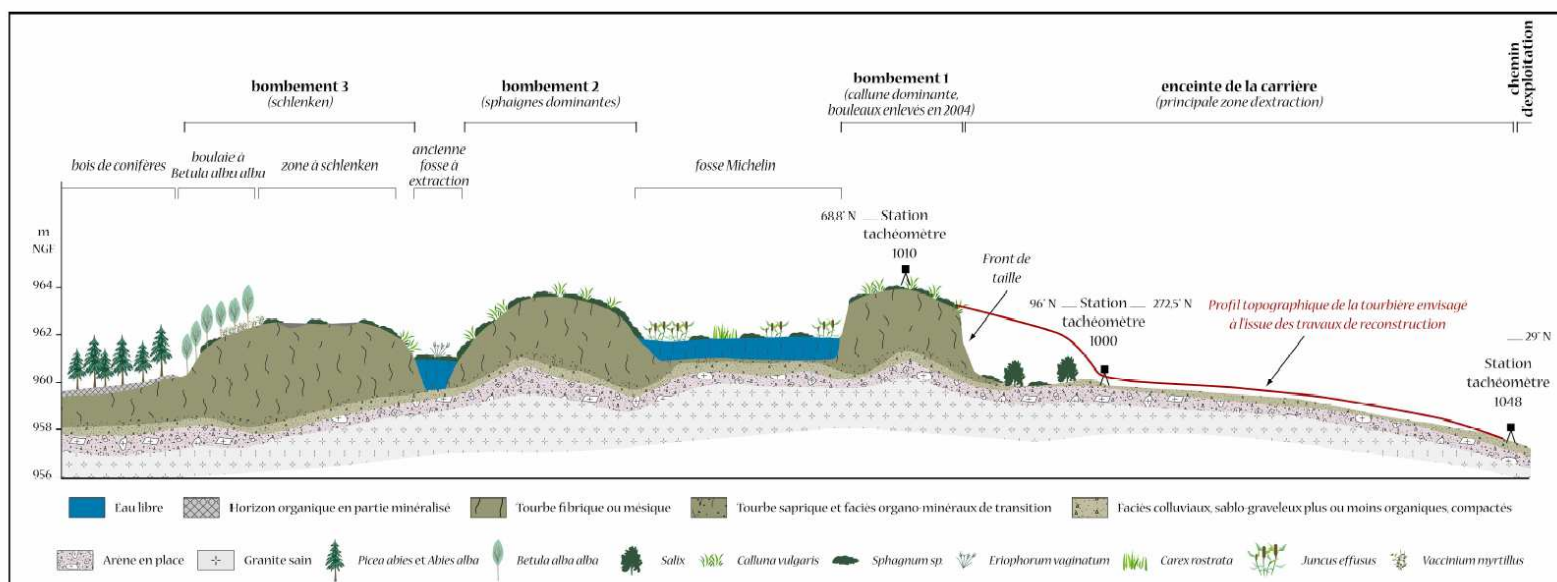


Fig.7 – Projet de restauration de la tourbière de Vérines

### 2.1. L'histoire récente de la tourbière de Vérines

Ce système tourbeux se composait à l'origine d'un bombement de 2,6 hectares et d'un ensemble de tourbières basses périphériques. La tourbe a été exploitée entre 1942 et 1949 puis entre

1975 et 1980. Bien que l'extraction n'ait concerné que 22,5 % des 4 hectares du système tourbeux, on constate que 80 % du bombement ombrotrophe ont été soit enlevés soit gravement perturbés par l'abaissement du niveau de la nappe (**fig. 8A**).



Devenues un espace préservé grâce à une convention signée en 1998 entre la commune de Noirétable et le conseil général de la Loire, les tourbières de Vérines ont fait l'objet d'une première opération de réhabilitation en 2002. Ces travaux ont permis d'atteindre plusieurs objectifs :

- Maintenir la turfigenèse dans la plus grande des fosses d'extraction, la fosse Michelin, colonisée par *Carex rostrata*, *Eriophorum vaginatum* et *Sphagnum* sp. (**fig. 8B**) ;

- Relancer le processus d'accumulation de tourbe dans certaines parties des anciennes tourbières basses ;

- Limiter autant que possible l'évacuation des eaux en rebouchant les fossés de drainage de l'ancienne carrière ;

- Eliminer les bouleaux (*Betula alba alba*) et les pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) qui avaient colonisés les trois parties du bombement qui n'avaient pas été exploitées.



**Fig. 8B : Vue générale (1) et détail (2) de la fosse Michelin sur la tourbière de Vérines (nord des Monts du Forez, alt. 960 m)**

## 2.2. Le protocole de reconstruction du bombement

En 2007 une nouvelle étape de la réhabilitation du site a été mise en route avec des travaux prévus en août – septembre 2008. Il s'agira de procéder à la reconstruction d'une partie du bombement et d'une tourbière basse en ramenant sur le site de la tourbe qui sera extraite d'une autre tourbière locale vouée à être détruite dans le cadre des travaux de réhaussement d'un barrage, celle du barrage du Gué de la Chaux dans les Monts de la Madeleine, distante de 41 km.

Dans les deux cas de figure, reconstruction du bombement et reconstruction de la tourbière basse périphérique, la principale difficulté sera de maintenir la nappe à proximité de la surface afin de garantir le développement de la végétation turfigène et d'éviter la décomposition des premiers décimètres de tourbe. Or la tourbe qui sera utilisée pour la reconstruction du bombement aura été partiellement déstructurée par l'extraction sur le site de prélèvement, par le transport et enfin par le dépôt dans l'ancienne carrière. Il est donc possible qu'une partie de l'eau s'évacue par le réseau de fissures. Un autre problème réside dans le risque d'un écoulement d'eau à la base de la tourbière basse car, nous l'avons vu, la dalle granitique sur laquelle reposera l'accumulation tourbeuse est en pente dans la partie aval du site.

A partir de là le protocole de reconstruction du bombement a été établi. Nous le résumerons ici de la façon suivante :

- L'extraction de tourbe sur le chantier du barrage du Gué de la Chaux se fera au moyen de godets d'au moins 1 m<sup>3</sup> afin de disposer de blocs de tourbe les plus volumineux possible ; c'est la seule façon de limiter la fissuration de la masse de tourbe ;

- Sur le site de Vérines le travail de reconstruction commencera au pied de l'ancien front de taille pour se développer en direction du chemin d'accès au site ; il faut absolument éviter de circuler avec les engins sur la tourbe car cela amènerait sa déstructuration totale et sa compaction ;

- Juste avant le dépôt de la première couche de tourbe nous déposerons des troncs d'arbres sur le sol perpendiculairement à l'axe de la pente (donc orientés sud / nord) ;

- Le déchargement des blocs sera incontestablement la partie la plus délicate de l'opération. Il est impératif de trouver un engin qui puisse se saisir des blocs sans les écraser et les déstructurer. Plusieurs solutions sont en cours d'examen ;

- A l'aval de l'ancienne enceinte de la carrière, lorsque l'on arrive au contact du chemin d'accès au site, la pente s'accroît et il sera alors indispensable de disposer tous les 15 m, en plus de troncs

d'arbres, un boudin de tourbe fine que l'on compactera et qui sera haut d'environ 1 mètre. Rappelons que le dénivelé entre les deux extrémités de la zone à restaurer est de l'ordre de 3 mètres ;

- La reconstruction du bombement se présente comme un jeu de cubes qu'il faudra empiler sur une hauteur de 3 mètres dans un ordre précis respectant la stratigraphie naturelle de la tourbière bombée. Au moment du positionnement des blocs de tourbe il conviendra de les tasser légèrement au godet afin de réduire au maximum les macro-fissures qui risquent d'apparaître au contact des blocs ;

- Plus généralement, pour empêcher l'évacuation de l'eau en surface il faudra imaginer un mixage de techniques d'ingénierie biologique : modelage de la topographie en creux à fond plat de type schlenken, gouille, et buttes ; disposition de quelques troncs d'arbres et des fascines construites avec des branchages de bouleaux ; plantation de rideaux d'*Eriophorum vaginatum* ;

- La reconstruction de la tourbière basse périphérique posera *a priori* moins de problème car l'épaisseur à reconstituer ne sera que de 1 m. Un seul dépôt de blocs sera nécessaire une fois la couche fine basale déposée ;

- La dernière partie du travail consistera à reconstituer la couverture végétale. Dans la mesure du possible, la végétation sera récupérée au moment du prélèvement au Gué de la Chaux des blocs de tourbe qui constitueront les surfaces du bombement et de la tourbière basse. Les plantes resteront donc associées à la tourbe ce qui aura le mérite d'une part d'augmenter les vitesses de revégétalisation et d'autre part de réduire le travail. Cependant, dans les secteurs où la végétation aura été abîmée au moment du prélèvement ou si des plaques de tourbe nue trop vastes apparaissent, nous procéderons à des semis de sphaignes et à des plantations *Eriophorum vaginatum* selon le protocole classique largement testé au Québec notamment ;

La grande incertitude reste les conditions climatiques. En effet les travaux sur le chantier du barrage du Gué de la Chaux nécessitent des niveaux d'eau bas, donc un été assez sec. En revanche, la réussite de la reconstitution de la tourbière de Vérines suppose des conditions humides qui favoriseront la reprise de la végétation. En cas de sécheresse trop prononcée la solution est d'arroser le site au moyen de pompes prélevant l'eau dans le ruisseau puis de pailler immédiatement avec de la paille d'orge. Cette opération n'a qu'un coût marginal mais impose que nous obtenions l'autorisation des services de la Direction Départementale de l'Agriculture pour le prélèvement d'eau même si les quantités nécessaires seront modestes puisque nous les estimons à 1 m<sup>3</sup> pour 100 m<sup>2</sup> soit un total de 60 m<sup>3</sup>.

### **2.3. Le suivi scientifique du site**

Le suivi scientifique, prévu pour 5 ans, comportera 4 volets : topographique, hydrologique, pédologique et phytosociologique.

Chaque année nous vérifierons, à partir d'un profil longitudinal – le même que celui effectué en 2007 en prévision des travaux -, et d'un profil transversal – à effectuer avant les travaux également -, comment se comporte la masse de tourbe. On envisage en effet des phénomènes de tassement, surtout si les conditions climatiques ne sont pas optimales. Les levés seront réalisés au tachéomètre Leica et les stations seront repositionnées au DGPS.

Le suivi hydrologique commencera quant à lui 7 mois avant les travaux car il est impératif d'avoir un état de référence concernant les fluctuations de la nappe au sein du bombement. Pour ce faire nous installerons, fin décembre 2007, 3 codeurs limnimétriques Thalimèdes sur le bombement à reconstruire. Le pas de temps d'enregistrement des profondeurs de la nappe sera de 1 heure.

Une fois les travaux terminés 5 autres codeurs seront disposés sur les parties reconstruites du bombement et de la tourbière basse.

Associés à ce suivi hydrologique sont prévues, une fois par an, des expertises de l'état des sols et de la végétation. Pour ce faire des placettes seront délimitées autour des codeurs limnimétriques. L'analyse de la végétation se fera selon la méthode classique sigmatiste élaborée à partir des nombreux travaux de Braun-Blanquet (1923) et des apports successifs de Guinochet 1973, Gehu et Rivas-Martinez 1980 et de Foucault 1984.

### **CONCLUSION**

Les interventions sur les tourbières de Gourgon-Bazanne et de Vérines s'inscrivent dans une évolution récente de la conception des scientifiques de leur place dans les opérations de génie écologique. Alors que jusqu'en 1997 nombre de chercheurs considéraient que leur implication dans des travaux de restauration des écosystèmes posait des problèmes éthiques, la plupart d'entre eux jugent en 2007 légitime de s'impliquer dans ces interventions (Larrère 2005). Ainsi la contradiction évidente entre la volonté de conserver les écosystèmes et des modes de gestion très interventionnistes aboutissant à une artificialisation de ces milieux ne semble plus être un problème.

Parallèlement le principe de laisser à l'œuvre les dynamiques naturelles est peu à peu abandonné. C'est une conception nouvelle de l'écologie qui intègre l'idée que les perturbations introduites par l'Homme participent de l'histoire complexe des milieux naturels et ne sont pas nécessairement négatives pour les milieux, notamment en terme de biodiversité. Les travaux de génie écologique comme ceux entrepris à Gourgon-Bazanne et à Vérines feraient donc partie des interventions humaines favorables aux milieux naturels. Pour vérifier la pertinence de cette position nous avons donc décidé de faire, sur le site de Vérines, un inventaire exhaustif de la faune et de la flore de toute la zone qui sera recouverte de tourbe et de confronter le spectre biologique obtenu à ceux qui se seront mis en place au bout de 2 ans, 4 ans et 6 ans.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALVERNY A. d', 1907.- *Les Hautes Chaumes du Forez*. Montbrison, Paris : 77 p.

CHARMAN D., 2002.- *Peatlands and environmental changes*. Editions Wiley : 301 p.

CLYMO R.S., 1991.- Peat growth. In: *Quaternary landscapes*, ed. L.C.K. Shane and E.J. Cushing, Belhaven Press, London : 76-112.

CROSS J.R., 1990.- Survey and selection of peatland sites for conservation in the Republic of Ireland. In: *Ecology and Conservation of Irish Peatlands*, édité par G.J. Doyle, Royal Irish Academy, Dublin : 175-188.

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.

DAMON M., 2004.- *Les jasseries des Monts du Forez*. Thèse de doctorat de sociologie rurale, université de Lyon, 1971, éditions du Centre Social de Montbrison, Villages du Forez : 132 p.

FEL A., 1962.- Les hautes terres du Massif Central. Tradition paysanne et économie agricole. Thèse pour le Doctorat ès-Lettres, *Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines*, Institut de Géographie, Université de Clermont-Ferrand : 23 : 340 p.

LARRERE R., 2005.- Quand l'écologie, science d'observation, devient science de l'action. Remarques sur le génie écologique. In : *Les biodiversités : enjeux, théories, pratiques*, coordonné par P. Marty, F-D. Vivien, J. Lepart et R. Larrère, éditions du CNRS : 173-193.

PORTERET J., 2001.- *Le rôle des sociétés humaines dans la mise en place et le développement des tourbières du Haut-Forez*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, sous la responsabilité de H. Cubizolle, Université Jean Monnet, St-Etienne : 181 p.

SACCA C., 2003.- *Mise en place d'indicateurs pour diagnostiquer la qualité et la fragilité d'un milieu spécifique: les tourbières*. Mémoire de Maîtrise de DEA de Géographie, sous la responsabilité de H. Cubizolle, Université Jean Monnet, St-Etienne : 56 p.

TOURMAN A., 1999.- *Etude géomorphologique et écologique des tourbières dans les Monts de la Madeleine et des Bois Noirs*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, sous la responsabilité de H. Cubizolle, Université Jean Monnet, St-Etienne: 154 p.

WARNER B.G., 1996.- Vertical gradients in peatlands. In: *Wetlands: environmental gradient, Boundaries and buffers*, ed. par G. Mulamoottil, B.G. Warner et E.A. McBean, CRC Press, Boca Raton, Florida : 45-65.

WARNER B.G., BUNTING M.J., 1996.- Indicators of rapide environmental change in northern peatlands. In: *Geoindicators: Assessing Rapid Environmental Changes in Earth systems*, ed. par A.R Berger et W.J. Iams, A.A Balkema, Rotterdam : 235-246.