

Les tourbières du Jura suisse : milieux naturels, modifications humaines, caractères des tourbes, potentiel de régénération

Autor(en): **Gobat, Jean-Michel / Grosvernier, Philippe / Matthey, Yvan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Actes de la Société jurassienne d'émulation**

Band (Jahr): **89 (1986)**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-550104>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

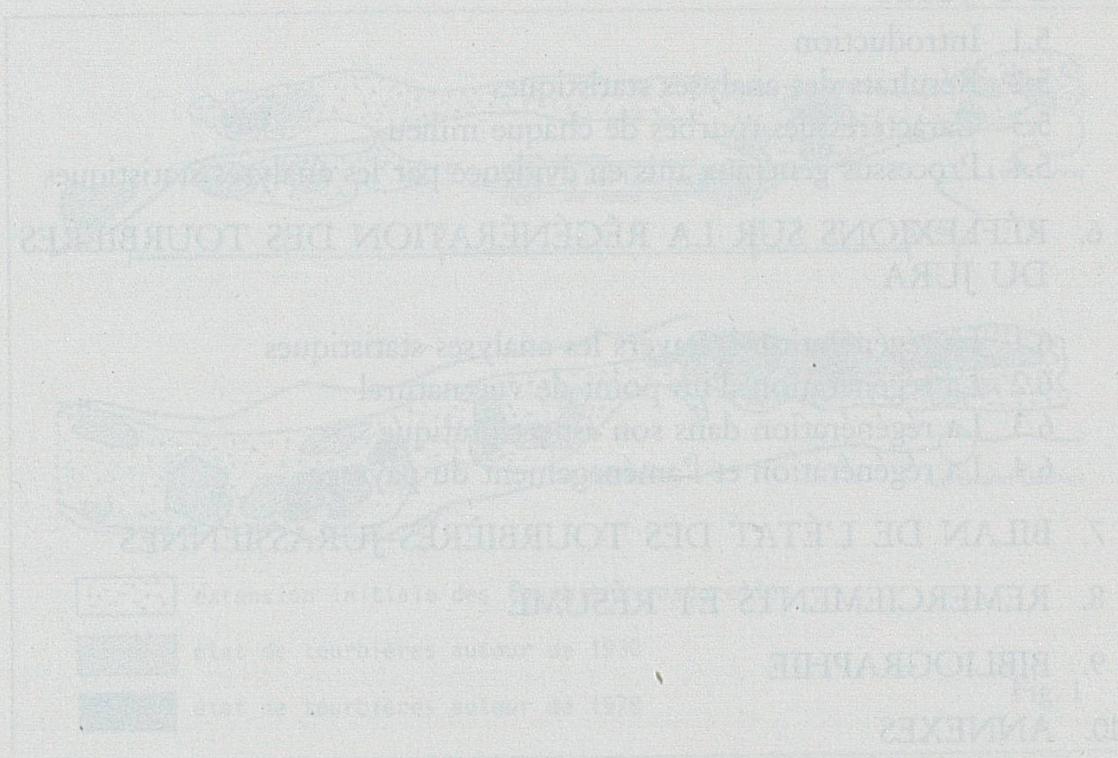
Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les tourbières du Jura suisse

Milieux naturels, modifications humaines,
caractères des tourbes, potentiel de régénération

par Jean-Michel Gobat, Philippe Grosvernier et Yvan Matthey
(avec la collaboration du prof. W. Matthey)



SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE LA PUBLICATION
 - 1.1 Les tourbières: enfer, mine d'or ou joyau?
 - 1.2 La chaîne jurassienne, une région idéale
 - 1.3 Un essai de synthèse sur les tourbières du Jura suisse
2. LA TOURBIÈRE, UN MONDE «EXTRA-ORDINAIRE»
 - 2.1 Qu'est-ce qu'une tourbière?
 - 2.2 La naissance et la survie d'une tourbière
 - 2.3 La tourbière intacte et la tourbière exploitée
3. MÉTHODES DE TRAVAIL, RÉGIONS PROSPECTÉES
MATÉRIEL ANALYSÉ
 - 3.1 Des méthodes d'étude très diversifiées
 - 3.2 Régions prospectées et matériel analysé
4. LES MILIEUX ÉTUDIÉS
 - 4.1 Les milieux naturels
 - 4.2 Les milieux artificiels
5. CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES DES TOURBES
DU JURA
 - 5.1 Introduction
 - 5.2 Résultats des analyses statistiques
 - 5.3 Caractères des tourbes de chaque milieu
 - 5.4 Processus généraux mis en évidence par les analyses statistiques
6. RÉFLEXIONS SUR LA RÉGÉNÉRATION DES TOURBIÈRES
DU JURA
 - 6.1 La régénération à travers les analyses statistiques
 - 6.2 La régénération d'un point de vue naturel
 - 6.3 La régénération dans son aspect pratique
 - 6.4 La régénération et l'aménagement du paysage
7. BILAN DE L'ÉTAT DES TOURBIÈRES JURASSIENNES
8. REMERCIEMENTS ET RÉSUMÉ
9. BIBLIOGRAPHIE
10. ANNEXES

CHAPITRE 1

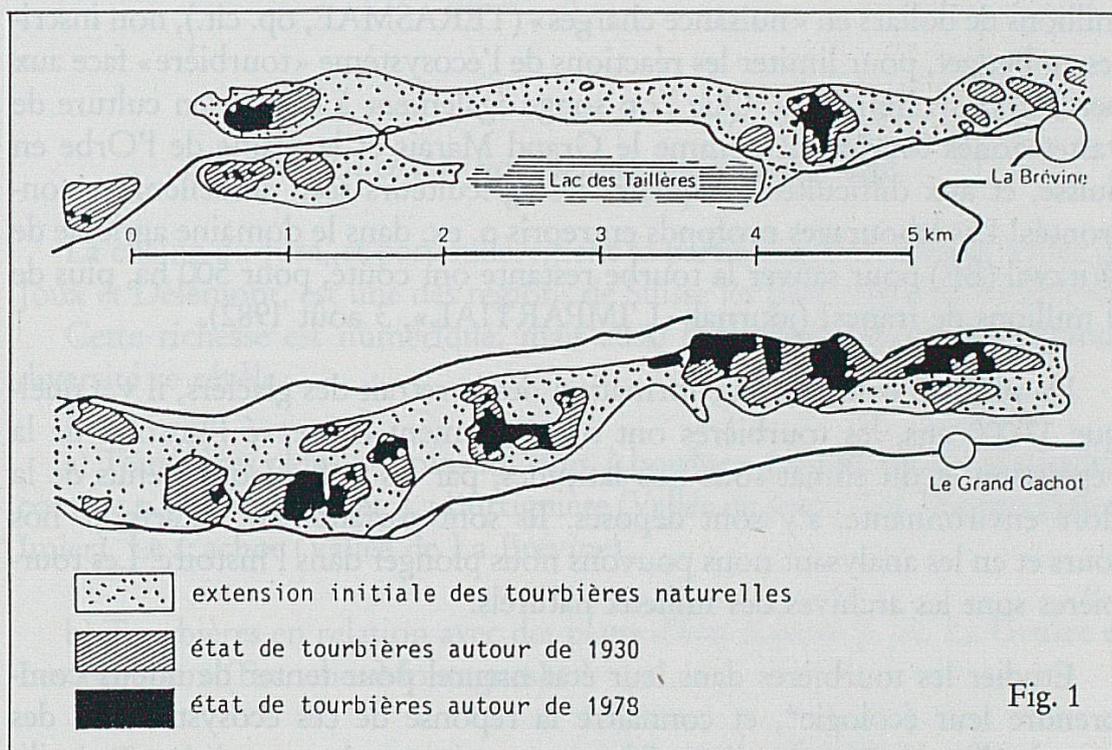
PRÉSENTATION DU TRAVAIL

1.1. Les tourbières: enfer, mine d'or ou joyau?

Au Moyen Age, et même plus récemment, on croyait les tourbières habitées par des esprits maléfiques. Ces marécages aux eaux brunes, aux arbres chétifs, où des gens avaient disparu, engloutis par de traîtres tapis de mousses, avaient même fait dire au grand naturaliste Linné que personne, ni prêtre ni poète, n'avait jamais décrit l'enfer aussi bien que ne le faisaient les tourbières! (TERASMAE, 1977).

Mais, malgré les diables et les démons, l'homme s'y est intéressé, dans la mesure où il y trouvait d'importantes ressources naturelles, p. ex. du combustible. En Suisse, durant la seconde guerre mondiale, de nombreuses tour-

(*): voir le lexique en annexe



Extension des tourbières de la vallée de La Brévine (selon Baumgartner H., 1983).

bières ont été rayées de la carte suite à l'exploitation de la tourbe* de chauffage. La vallée de La Brévine en donne un bon exemple. Ce qui, à l'origine, constituait un vaste complexe de hauts-marais*, s'est vu morcelé en de petits lambeaux le temps de quelques décennies. En France, près de 12 000 tonnes de tourbe sèche ont été extraites dans la région du Haut-Doubs entre 1938 et 1942 (REAL P. et al., 1977).

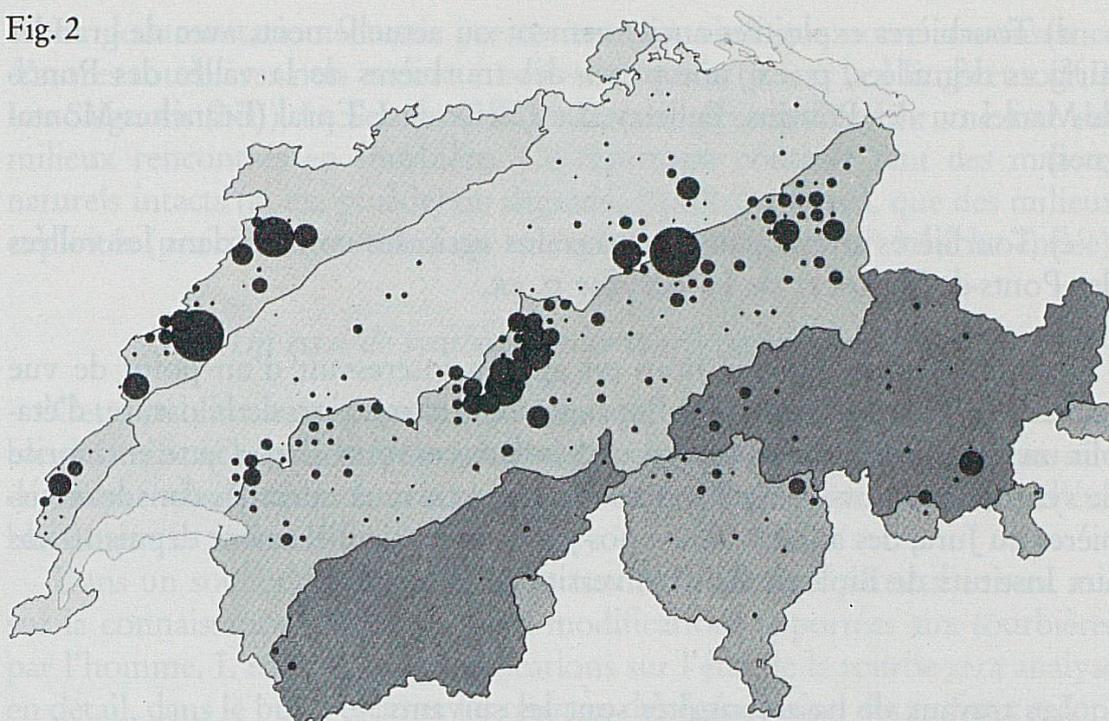
Aujourd'hui, la surface des tourbières suisses n'est plus suffisante pour rentabiliser l'exploitation de la tourbe de chauffage. Toutefois elle continue à l'être, au moins dans certaines régions (Les Ponts-de-Martel), pour la production industrielle de tourbe horticole et de produits secondaires, comme le charbon actif. Dans d'autres pays, possédant d'importantes surfaces de tourbières (Irlande, Pays scandinaves, URSS, USA ou Canada), la tourbe est utilisée à grande échelle comme combustible, voire même pour la production d'électricité.

Toute intervention humaine dans une tourbière représente un impact qui ne restera pas sans réponse de la part de l'écosystème* ainsi perturbé. Prévoir cet impact et en prévenir les conséquences suppose une bonne connaissance de ces milieux particuliers. Or, à l'heure actuelle, cette connaissance est largement insuffisante. Les entreprises de génie dans le Grand Nord canadien s'en sont bien rendu compte. Elles ont dû dépenser des sommes allant jusqu'à 150 millions de dollars en « nuisance charges » (TERASMAE, op. cit.), non inscrites au budget, pour limiter les réactions de l'écosystème « tourbière » face aux perturbations humaines. Que l'on songe également à la mise en culture de vastes zones tourbeuses comme le Grand Marais et la plaine de l'Orbe en Suisse, et aux difficultés auxquelles les agriculteurs sont actuellement confrontés ! Les labourages profonds entrepris p. ex. dans le domaine agricole de Witzwil (BE) pour sauver la tourbe restante ont coûté, pour 500 ha, plus de 9 millions de francs ! (journal « L'IMPARTIAL », 3 août 1982).

De plus, au cours de leur formation dès le retrait des glaciers, il y a quelque 12 000 ans, les tourbières ont soigneusement conservé l'histoire de la végétation et du climat sous nos latitudes, par les pollens qui, venus de la flore environnante, s'y sont déposés. Ils sont parfaitement intacts de nos jours et en les analysant nous pouvons nous plonger dans l'histoire. Les tourbières sont les archives des milieux naturels.

Etudier les tourbières dans leur état naturel pour tenter de mieux comprendre leur écologie*, et connaître la réponse de ces écosystèmes à des impacts divers, c'est contribuer à leur protection et c'est permettre une utilisation plus intelligente de leurs ressources.

Fig. 2



Localisation des tourbières de la Suisse (selon Grünig et al., 1986).

1.2 *La chaîne jurassienne, une région idéale*

La chaîne du Jura, et particulièrement sa partie centrale entre la Vallée de Joux et Delémont, est une des régions de Suisse les plus riches en tourbières.

Cette richesse est numérique, mais aussi biologique, puisqu'une grande diversité se révèle:

a) Tourbières plus ou moins intactes, à bordures parfois encore naturelles, comme p. ex. Praz-Rodet, La Burtignière (Vallée de Joux), Les Pontins (Saint-Imier), Le Cachot (Vallée de La Brévine).

b) Tourbières en relation avec des plans d'eau comme p. ex. La Gruère et Les Embreux (Franches-Montagnes).

c) Tourbières anciennement exploitées, avec phases de régénération importantes, p. ex. à La Gruère, à La Vraconnaz (Sainte-Croix) et à Bellelay.

d) Tourbières exploitées anciennement ou actuellement, avec de grandes surfaces dégradées, p. ex. une partie des tourbières de la vallée des Ponts-de-Martel ou des Pontins, Bellelay, Le Creux de L'Epral (Franches-Montagnes).

e) Tourbières transformées en terrains agricoles comme dans les vallées des Ponts-de-Martel et de La Brévine p. ex.

Face à cette diversité, il nous est apparu intéressant d'un point de vue scientifique, et nécessaire dans l'optique de la protection de la nature, d'établir un catalogue des milieux rencontrés dans ces tourbières. Cette entreprise de synthèse est possible grâce aux nombreux travaux effectués dans les tourbières du Jura, des années 1930 à nos jours, et particulièrement depuis 10 ans aux Instituts de Biologie de l'Université de Neuchâtel.

Les travaux de base consultés sont les suivants:

- Pour le Jura vaudois: CHASTAIN (1952), La Vraconnaz
GALLANDAT (1982), Vallée de Joux
GOBAT (1984), Vallée de Joux
MATTHEY Y. (1985), La Vraconnaz
- Pour le Jura neuchâtelois: SPINNER (1932), La Brévine
ISCHER (1935), Les Ponts-de-Martel
MATTHEY W. (1964), Le Cachot
GEIGER (1980), Le Cachot
MATTHEY Y. (1984), Bois-des-Lattes
- Pour le Jura bernois: KRAEHENBUEHL (1953), Les Pontins
BUTTLER et CORNALI (1983), Les Pontins
GOBAT (1984 et 1985), Les Pontins
PARIAT (Trav. Lic. en cours), Bellelay
- Pour le canton du Jura: JORAY (1942), La Gruère
GROSVERNIER et MARMY (1984), La Gruère
CHRISTEN et FRUTSCHY
(Trav. Lic. en cours), Le Creux de L'Epral
- Pour le Jura français: ROYER et al. (1978)
SCHMITT A. (1978)

La documentation fournie par ces travaux, ainsi que notre connaissance d'autres tourbières non encore étudiées «à fond» (p. ex. Les Embreux (JU), Les Saignolis (NE), Le Sentier (VD), nous ont permis d'établir une liste des milieux rencontrés en tourbière. Ce répertoire contient tant des milieux naturels intacts (p. ex. pinède) ou dégradés (lande à callune), que des milieux exploités (prairies sur tourbe) ou en régénération (gouilles* à laîche enflée).

1.3 *Un essai de synthèse sur les tourbières du Jura suisse*

Cette publication a pour but de présenter de manière condensée l'ensemble des milieux rencontrés sur tourbe dans le Jura suisse. Chacun d'eux sera décrit par sa situation dans la tourbière, sa végétation, ses conditions d'établissement et son sol.

Dans un souci de protection de la nature, un accent particulier sera mis sur la connaissance des nombreuses modifications apportées aux tourbières par l'homme. L'effet de ces modifications sur l'état de la tourbe sera analysé en détail, dans le but d'estimer les chances de régénération des milieux secondaires (créés par l'homme). *Une protection moderne des tourbières, et d'autres sites naturels d'ailleurs, se doit d'être interventionniste, en favorisant les processus de dynamique du milieu naturel.* A la protection de la nature style «ne pas toucher» doit succéder une protection fondée sur l'entretien actif des réserves, incluant même parfois un certain type d'exploitation. Le cas de la Grande Cariçaie (rive sud du lac de Neuchâtel) est à ce point de vue exemplaire (voir la presse quotidienne).

Dans ce travail, nous allons d'abord définir ce qu'est une tourbière, puis parler de ses conditions d'établissement. La tourbière naturelle sera décrite, dans son état intact et après intervention humaine (chapitre 2).

Les méthodes de travail, notamment celles d'analyse de la tourbe, seront alors passées en revue, ainsi que les tourbières prospectées plus en détail (chapitre 3). Nous décrirons les milieux mis en évidence (chapitre 4), avant de présenter les caractères physico-chimiques des tourbes (chapitre 5).

Le chapitre 6 concernera la régénération et ses conditions, et, pour terminer, nous essayerons de tirer un bilan global de l'état actuel des tourbières de la chaîne jurassienne, et de leur avenir (chapitre 7).

L'ensemble de la publication se veut à la portée non seulement du scientifique, mais aussi de l'aménagiste, de l'agronome, du forestier, de l'étudiant, et... de tout intéressé aux beautés de la nature. Dans un souci de vulgarisation, les quelques termes techniques inévitables font l'objet d'un lexique (renvoi signalé par une * à la première apparition du mot). Le détail des méthodes de travail et des analyses informatiques peut être obtenu à l'Institut de Botanique de l'Université de Neuchâtel.

CHAPITRE 2

LA TOURBIÈRE, UN MONDE «EXTRA-ORDINAIRE»

2.1 Qu'est-ce qu'une tourbière?

Le terme de tourbière s'applique, au sens défini par STONEK (1977), à toute unité de végétation formant de la tourbe sur un sol organique, et à toute la couche de tourbe ainsi formée. Généralement, on parle de tourbière dès que l'épaisseur de tourbe dépasse 30 cm lorsqu'il y a drainage et 45 cm en

	Haut-marais	Marais de transition	Bas-marais
Terme allemand	Hochmoor	Uebergangsmoor	Niedermoor
Provenance de l'eau	météorique	tellurique	tellurique
Espèces végétales dominantes	Sphaignes*, Pin à crochet Callune Linaigrette engainante	Trèfle d'eau, Laîche filiforme, Comaret	Laîche brune Violette des marais Parnassie
Acidité	acide	faiblement acide	faibl. acide ou alcalin
Niveau nutritif	oligotrophe*	oligo-mésotrophe*	oligotrophe à eutrophe*
Production végétale	faible	faible à moyenne	moyenne à forte

Tableau 1: critères de différenciation entre haut-marais et bas-marais.

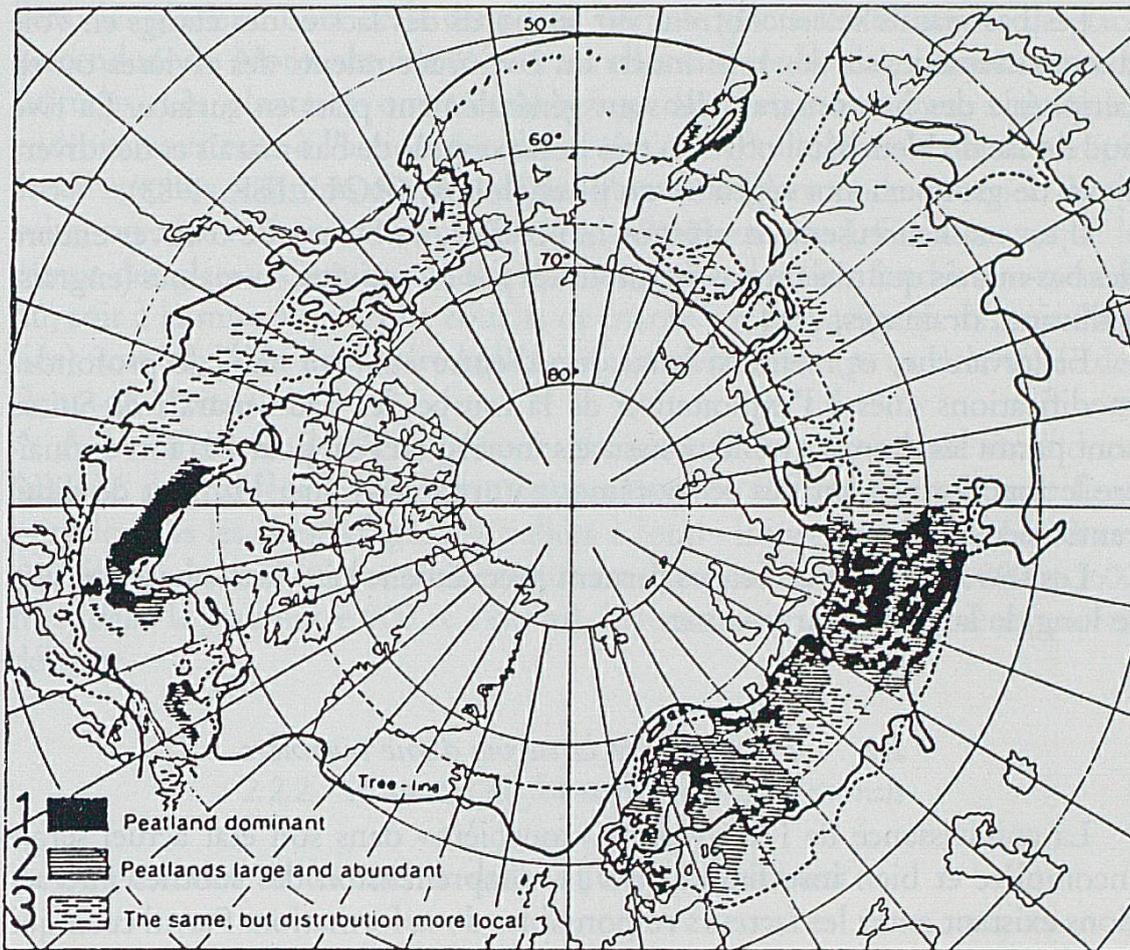


Fig. 3

Répartition des tourbières dans l'hémisphère Nord (selon Terasmae, 1977).

1. Les tourbières dominent.
2. Les tourbières sont abondantes.
3. Les tourbières sont plus localisées.

cas d'absence de drainage. Par la suite, et comme il est souvent d'usage en français, le terme tourbière s'emploiera dans un sens plus restreint, concernant plus particulièrement les hauts-marais, par opposition aux bas-marais*.

Les bas-marais sont en contact avec des eaux telluriques* plus ou moins minéralisées, alors que les hauts-marais ne sont alimentés que par des eaux météoriques*, pauvres en éléments nutritifs. Le tableau 1 illustre quelques caractéristiques distinguant les bas-marais des hauts-marais. Entre les deux apparaît un troisième milieu aux caractères intermédiaires, les marais de transition, eux aussi riches en eau minéralisée.

Les bas-marais se rencontrent sur les bords des lacs et des étangs en voie d'atterrissement, sur les bras morts ou à courant ralenti des rivières ou en périphérie des hauts-marais. Ils sont généralement plats en surface. La rive Sud du lac de Neuchâtel offre un très bon exemple de bas-marais et des divers types de groupements végétaux qu'ils englobent (ROULIER, 1983).

Il est malheureusement presque impossible, en Suisse, de trouver encore des bas-marais qui n'aient pas été modifiés par les activités humaines (engrais, pollution, drainages, etc.).

En revanche, et même si beaucoup d'entre eux ont subi de profondes modifications dues à l'exploitation de la tourbe, les hauts-marais de Suisse sont parmi les derniers milieux naturels intacts, où l'on peut à la fois connaître le fonctionnement des écosystèmes naturels et évaluer l'impact de différentes perturbations.

Les travaux présentés ici concernent précisément l'étude des hauts-marais le long de la chaîne jurassienne.

2.2. *La naissance et la survie d'une tourbière*

La connaissance de l'écosystème «tourbière» dans son état actuel serait incomplète et bien insuffisante sans la compréhension des subtiles interactions existant entre les facteurs responsables de sa formation. Parmi ceux qui conditionnent la naissance puis la survie d'une tourbière, l'eau joue un rôle prépondérant par la répartition et la quantité des précipitations, par sa qualité chimique et sa circulation dans l'écosystème (MENUT G., 1974; DAMMAN A.W.H., 1978).

2.2.1. *Conditions nécessaires à l'établissement d'une tourbière*

La répartition des tourbières à la surface du globe montre qu'elles sont liées à la zone boréale des deux hémisphères, caractérisée par un climat froid et humide.

Il n'y a pas de tourbière dans les régions désertiques trop chaudes et trop sèches, ni dans les régions polaires, également trop sèches. Les régions tempérées ou tropicales, humides mais trop chaudes, n'en renferment qu'exceptionnellement, là où une élévation en altitude rapproche le climat local de celui des régions boréales. Les tourbières de Suisse sont de telles exceptions, sortes d'enclaves hors de leur aire de répartition principale.

La présence des montagnes en Suisse ne suffit cependant pas à permettre l'apparition des tourbières. Il manquait encore l'action d'artisans particu-

liers: les glaciers. Lors de la deuxième période glaciaire, les masses de glace descendues du Nord ont refoulé devant elles la flore boréale jusque sous nos latitudes. Les plantes y ont trouvé refuge dans les montagnes, à quelques endroits soustraits à l'action des glaciers. Ceux-ci ont, dans le même temps, érodé certains sommets et remanié des quantités énormes de matériel. Par la suite, un réchauffement du climat (vers 10 000 ans av. J.-C.) a provoqué le retrait des glaces. Certaines vallées présentèrent alors un fond imperméable dû, soit à la mise à nu d'une couche de marne par le glacier (p. ex. aux Pontins), soit au dépôt de matériel glaciaire peu perméable (p. ex. à la vallée des Ponts-de-Martel).

A la fin de la dernière période glaciaire, le paysage suisse était donc façonné de manière à permettre l'apparition de tourbières, avec une flore boréale dans les sites refuges des vallées à fond «imperméabilisé». Là où ces conditions de base étaient réunies (surtout dans les Préalpes entre 800 et 1600 m et dans le Jura entre 900 et 1100 m), la formation de la tourbière pouvait débiter.

2.2.2. Processus de formation du haut-marais

Le processus de formation dans le Jura est le suivant:

La végétation s'installe d'abord sur les rives de petits lacs et d'étangs, formés dans les vallées à sol imperméable. Le renouvellement de l'eau y est très faible, car des dolines* (emposieux) formées à la limite des couches imperméables et du calcaire empêchent les eaux des pentes voisines, chargées en

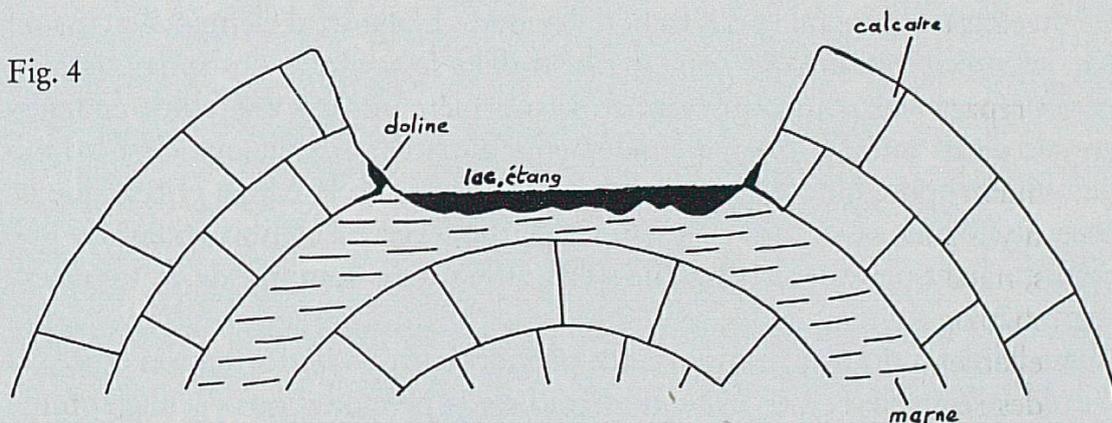


Fig. 4

Situation géologique des vallées jurassiennes «à tourbières». Noter l'écoulement des eaux calcaires par les dolines.

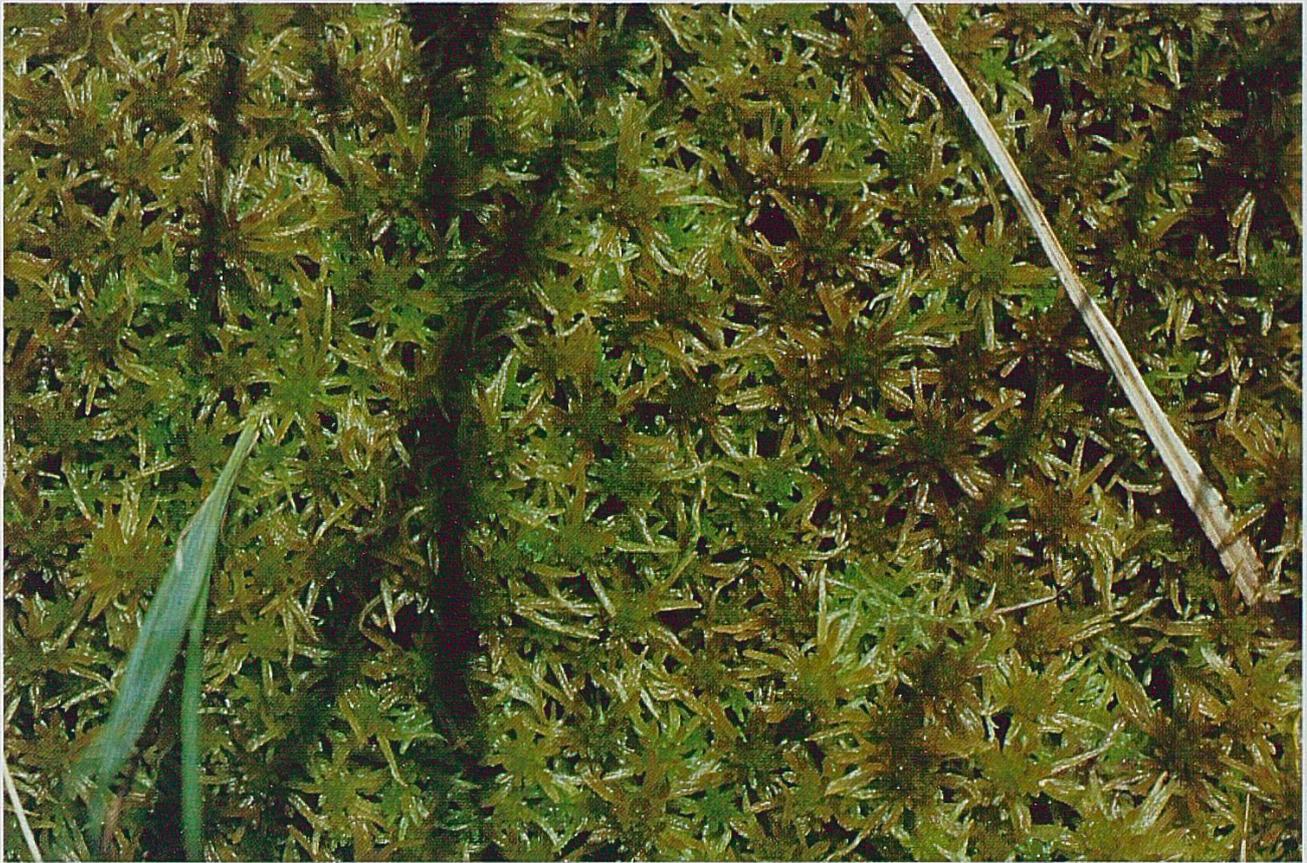
minéraux, d'atteindre le centre des vallées. Celui-ci n'est donc alimenté en eaux que par les précipitations locales. La figure 4 illustre une telle situation.

La formation et l'évolution de la tourbière suivent alors le schéma proposé par WILDERMUTH (1978) et illustré par les figures 5 a-c. Dans un premier temps, les lacs et étangs occupant les fonds imperméables se comblent sous l'effet de l'atterrissement. La faible circulation de l'eau et l'asphyxie du milieu qui en résulte, freinent la décomposition de la matière organique, déjà ralentie par le climat froid. Le matériel s'accumule régulièrement et l'on se trouve bientôt en présence d'un bas-marais (figure 5a).

Peu à peu la végétation se trouve isolée du sous-sol minéral par un tapis de matière organique de plus en plus épais. Associé à une acidification du milieu, cet isolement de la végétation et du sol minéral prépare l'arrivée de mousses particulières, les sphaignes (*Sphagnum sp.*, c.f. photo 1). Ce sont elles qui s'installent dès que le milieu est trop acide et trop pauvre en éléments nutritifs pour d'autres espèces. Elles donneront naissance au haut-marais. Capables d'absorber et de retenir jusqu'à 20 fois leur poids sec en eau, et aussi de résister très longtemps à la sécheresse, ces mousses particulières vont se développer en coussinets sans cesse plus importants (figure 5b). A la croissance horizontale du bas-marais succède la croissance verticale du haut-marais.

Les sphaignes sont les principales responsables de la formation de la tourbe. Pouvant atteindre jusqu'à 30 cm de longueur, elles sont généralement vivantes dans leur tiers supérieur, les deux tiers inférieurs dépérissant et s'accumulant sous forme de tourbe au fur et à mesure de la croissance de l'extrémité de l'axe. Les coussinets de mousses, isolés au départ, finissent par se rencontrer et forment alors un vaste dôme en forme de « verre de montre », caractéristique des hauts-marais bombés. Toute la végétation vivante est isolée du sous-sol minéral et des eaux telluriques. L'apport d'éléments est assuré par les précipitations qui sont stockées dans les cellules des sphaignes. En période normale, sous notre climat, la tourbière est une véritable « éponge » gorgée d'eau acide et pauvre en éléments nutritifs. On dit que c'est un milieu oligotrophe. Une nappe d'eau perchée, isolée de la nappe phréatique de base, se forme; sa surface accuse une courbe légèrement plus accentuée que celle du haut-marais, si bien que l'eau affleure au sommet de la tourbière (figure 5c).

Le climat a donc une importance primordiale dans la formation et la survie de la tourbière. Les facteurs « froid » et « précipitations » sont, comme nous l'avons déjà mentionné, déterminants. Le fonctionnement de l'écosystème est conditionné par la balance hydrique et les possibilités d'accumulation de tourbe. Pour que cette accumulation soit possible, il faut que la



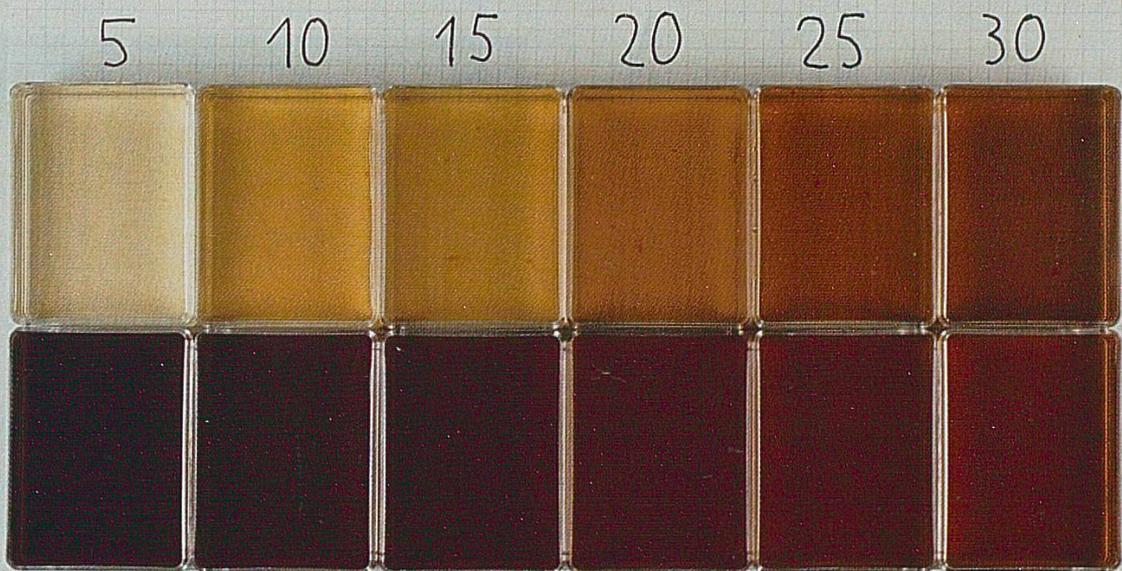
Trois espèces de sphaignes: (photos J.-M. Gobat).

← 1. *Sphagnum recurvum* (gouilles).

2. *Sphagnum girgensohnii* (forêt d'épicéa). →

← 3. *Sphagnum magellanicum* (buttes).

Colorations obtenues pour différentes valeurs de l'indice pyro. Plus la couleur est foncée, plus la tourbe est riche en matières organiques humifiées. (photo J.-M. Gobat). →



80 70 60 50 40 35

Indice de décomposition au pyrophosphate de Na

Quelques plantes rares des tourbières:

1. Le Rossolis (*Drosera rotundifolia*). (photo P. Grosvernier).

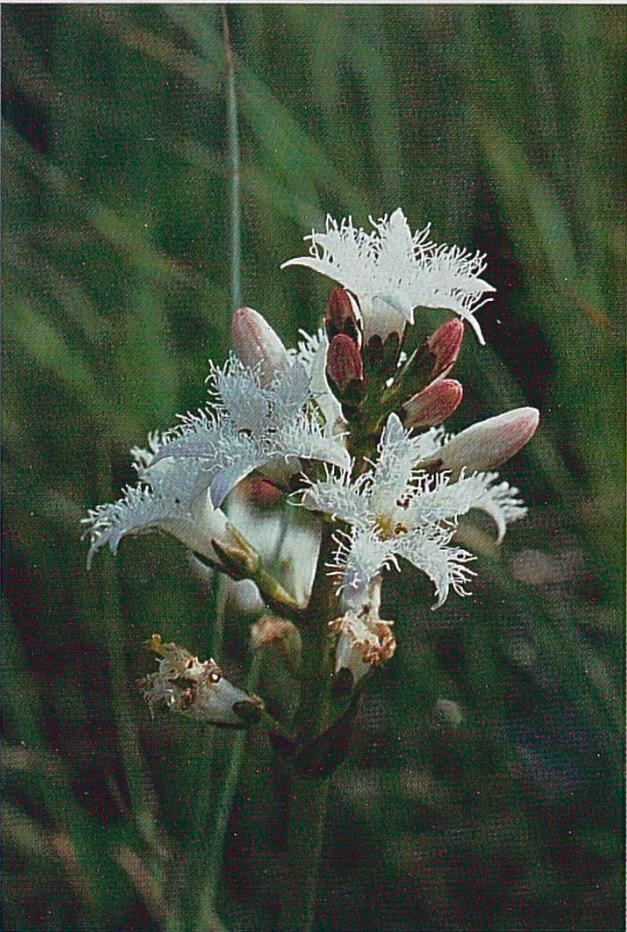


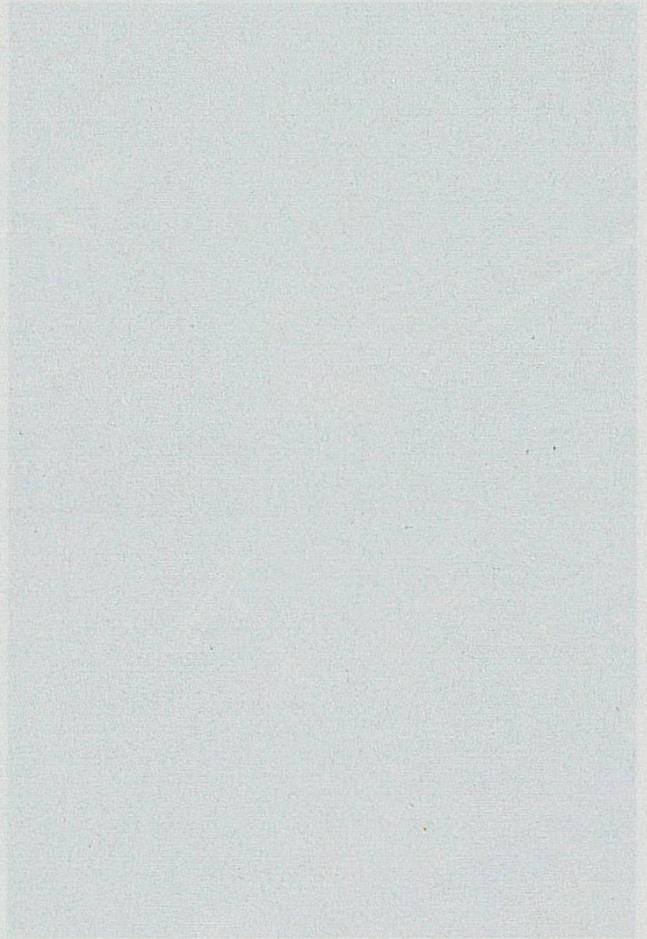
2. La Scheuchzérie (*Scheuchzeria palustris*). (photo Y. Matthey).





3. Le Trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*).
(photo J.-D. Gallandat).

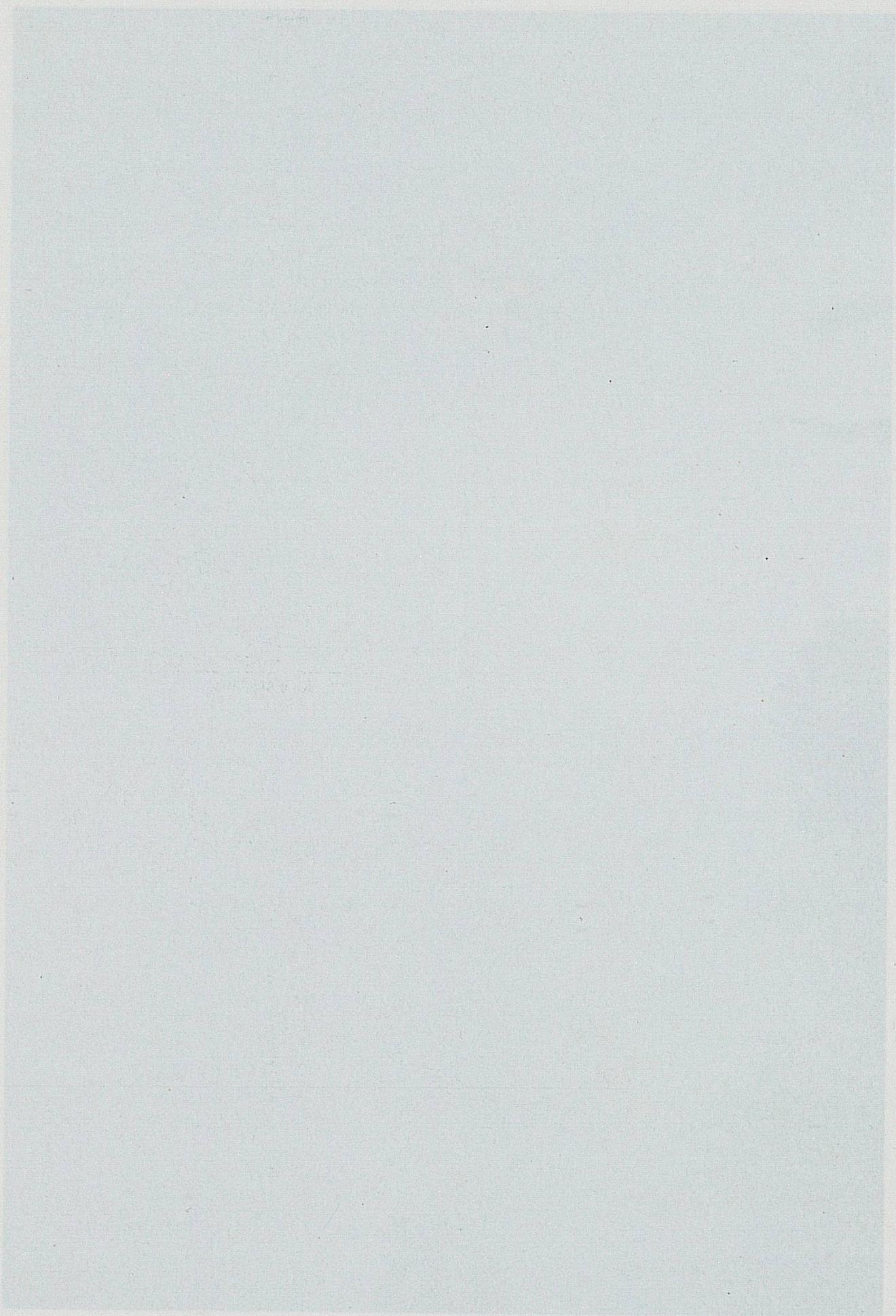




Evacuation de grumes par hélicoptère. (photo J. Zahnd).







décomposition de la matière organique soit plus faible que sa production. En outre, le bilan hydrique doit être positif, c'est-à-dire que l'apport par les précipitations doit être supérieur aux pertes par évaporation et ruissellement.

2.2.3. Répartition et survie des tourbières

Dans les régions boréales où les conditions sont extrêmement favorables à ce type d'écosystème, les tourbières s'installent et se développent dans presque n'importe quelle situation. Il n'en est pas de même ailleurs, et donc en Suisse, où les tourbières ne peuvent subsister que dans des régions climatiquement et topographiquement favorables (Préalpes et Jura).

Dans ces conditions limites, la tourbière se maintient grâce à une série de facteurs de résistance intrinsèques:

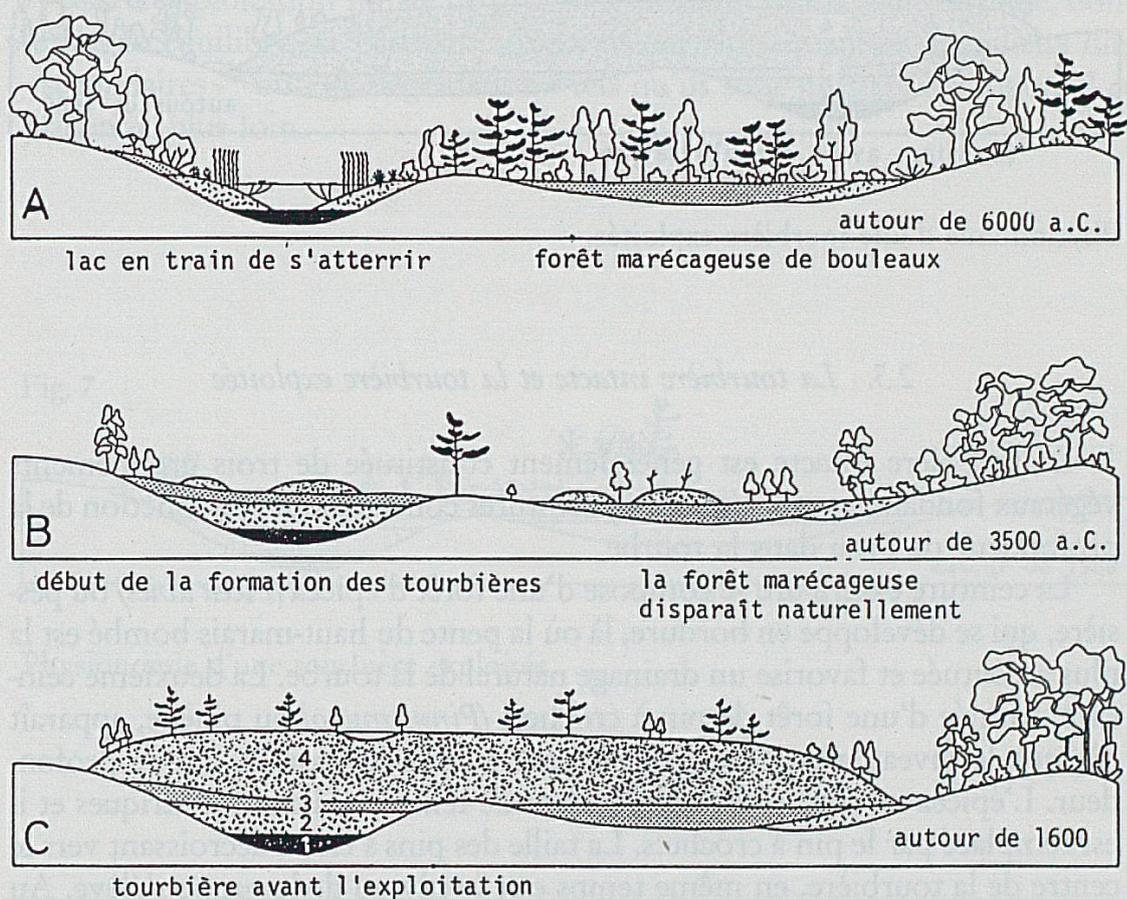
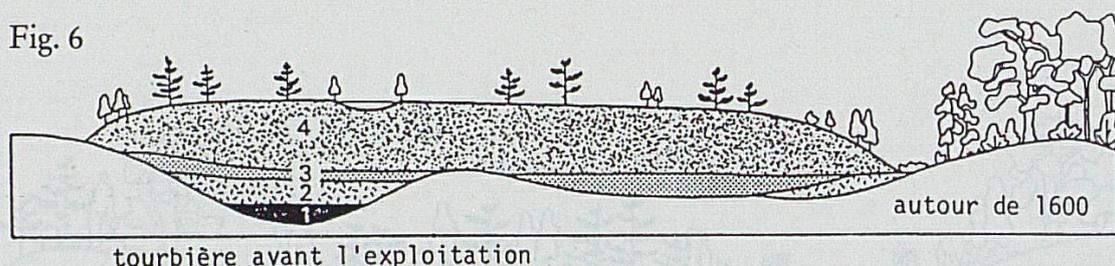


Fig. 5 Etapes de formation d'un haut-marais (selon Wildermuth, 1978).

- un pH* bas (3,5-5) favorisant l'accumulation de la matière organique, et jouant un rôle tampon face à d'éventuels apports d'eaux minéralisées;
- un « effet éponge » permettant aux sphaignes de faire face à une période de sécheresse grâce à un très grand pouvoir de rétention d'eau;
- enfin la formation d'un microclimat spécifique à la tourbière, plus froid et plus humide que le mésoclimat régional, favorisé par la topographie, la structure de la végétation et la quantité d'eau emmagasinée (inertie thermique).

Les tourbières de nos régions, placées ainsi sous « stress écologique », sont des milieux extrêmement sensibles à toute perturbation et ont une certaine peine à se maintenir et à se régénérer. En cela, elles méritent une attention toute particulière.

Fig. 6



Physionomie d'une tourbière exploitée.

2.3. La tourbière intacte et la tourbière exploitée

La tourbière intacte est généralement constituée de trois groupements végétaux fondamentaux, répartis en ceintures concentriques en fonction de la profondeur de l'eau dans la tourbe.

La ceinture extérieure se compose d'une forêt d'épicéa (*Picea abies*) ou pessière, qui se développe en bordure, là où la pente du haut-marais bombé est la plus accentuée et favorise un drainage naturel de la tourbe. La deuxième ceinture, formée d'une forêt de pin à crochets (*Pinus mugo*) ou pinède, apparaît dès que le niveau annuel moyen de l'eau atteint environ 20 cm de profondeur. L'épicéa ne peut plus survivre dans de telles conditions hydriques et il est remplacé par le pin à crochets. La taille des pins s'en va décroissant vers le centre de la tourbière, en même temps que le niveau de la nappe s'élève. Au centre, où l'eau affleure, s'étend le groupement végétal central du haut-marais. Il est constitué en fait d'une mosaïque de plusieurs petits groupe-

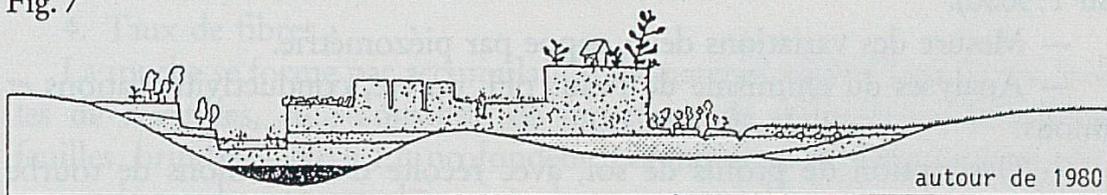
ments formant des buttes*, replats* et gouilles, et parfois une mare avec tapis flottant de sphaignes. Les conditions de vie sont trop extrêmes au centre pour permettre le développement des arbres.

A chacun de ces groupements correspond un cortège floristique et faunistique particulier, et notamment des sphaignes adaptées à des conditions écologiques très précises. Ainsi, les sphaignes se développant dans une gouille seront différentes de celles poussant sur les replats ou encore formant des buttes.

Ces sphaignes sont le moteur même du dynamisme de la tourbière. Elles comblent les gouilles, érigent des buttes, dirigent le régime des eaux et la formation de la tourbe. Lorsque le haut-marais est assez grand, de nouvelles gouilles se forment (quand un arbre est déraciné par exemple) et maintiennent l'existence du groupement central. En Suisse toutefois, les hauts-marais sont généralement de surface restreinte et la pinède occupe la tourbière jusqu'au centre. De plus, ils sont rarement parfaitement intacts, et portent tous plus ou moins marquées les traces du passage de l'homme, qui en a exploité ou exploite toujours la tourbe.

Cette exploitation inflige de profondes modifications à la tourbière, dont le fragile équilibre est perturbé. Apparaissent alors quantité de milieux dits «secondaires»* ou «de dégradation» tels qu'ils sont illustrés à la figure 7 et présentés plus loin.

Fig. 7



Physionomie d'une tourbière exploitée.

C'est précisément à l'étude de l'impact de ces interventions humaines sur la tourbe que sont consacrées les recherches présentées ici.

CHAPITRE 3

MÉTHODES DE TRAVAIL, RÉGIONS PROSPECTÉES ET MATÉRIEL ANALYSÉ

3.1. *Des méthodes d'étude très diversifiées*

La synthèse présentée ici est fondée sur des résultats de recherches fort diverses. Elles concernent tant l'observation sur le terrain que l'analyse en laboratoire, et ont trait à des disciplines scientifiques nombreuses, comme la floristique, la phytosociologie, l'entomologie, l'écologie végétale, la pédologie*, etc. Les données récoltées figurent dans les travaux déjà cités, ou sont inédites.

3.1.1. *L'observation de terrain*

La compréhension de tout milieu naturel débute par une description aussi complète que possible de la végétation, de la faune, du sol, des conditions géologiques et géographiques, de l'impact de l'homme.

En tourbière, ces études sont complétées par des mesures hydrologiques (chimie de l'eau, variation des nappes). Pour cette synthèse, le travail de terrain a consisté en les descriptions suivantes:

- Relevés de végétation de tous les milieux naturels ou perturbés (méthode phytosociologique de BRAUN-BLANQUET, 1964).
- Cartographie de la végétation de plusieurs tourbières (échelle 1:2000 ou 1:5000).
- Mesure des variations de la nappe par piézométrie.
- Analyses du chimisme de l'eau: pH, dureté, conductivité, cations et anions.
- Description de profils de sol, avec récolte d'échantillons de tourbe pour les analyses de laboratoire.
- Récolte de la faune entomologique, au moyen de diverses méthodes, détermination des types d'insectes piégés.

3.1.2. *Les analyses de laboratoire*

L'observation de terrain nous permet de bien comprendre l'aspect du milieu étudié, les relations avec ses voisins, sa richesse naturelle ou le type de sol qui le supporte.

Elle n'est en revanche pas suffisante pour évaluer correctement l'état de la tourbe elle-même, son degré de décomposition ou ses capacités de régénération. Des analyses de laboratoire sont nécessaires pour préciser quelques caractères physico-chimiques importants. Des études menées au Canada (LEVESQUE et al. 1977, 1980, 1981) en Allemagne (GOETTLICH et al. 1980) ou en Suisse (DOMERGUE 1981, GOBAT 1984, 1985) ont montré que 6 paramètres, parmi d'autres, étaient spécialement riches d'enseignements. Nous les avons adoptés:

1. Taux d'humidité de la tourbe

Pesée d'un échantillon de tourbe avant et après séchage à l'étuve à 105° C. La différence correspond à l'eau évaporée. Elle est exprimée en % du poids de départ.

2. Taux de cendres

Mesure de la perte de poids d'un échantillon sec, après calcination au four à 450° C. La perte correspond à la matière organique, détruite à cette température. Le taux de cendres (en % du poids sec) traduit la teneur de la tourbe en minéraux.

3. Acidité (pH)

Comme on l'a vu ci-dessus, les hauts-marais sont caractérisés par une eau et une tourbe acide, et ils sont entourés de terrains calcaires, donc basiques. La mesure de l'acidité (échelle pH, variant de 1 — très acide — à 14 — très basique —), se fait en mélangeant un peu de tourbe à de l'eau distillée, et en mesurant l'acidité par un pH-mètre à électrode.

4. Taux de fibres

La tourbe se forme par accumulation de matériel végétal (sphaignes, feuilles de myrtilles, etc.) constitué de morceaux de différentes tailles (tiges, feuilles, brindilles, etc.). En profondeur, ces morceaux se fragmentent peu à peu et la tourbe se tasse, devenant plus compacte. Le même phénomène de dégradation se marque si la tourbe subit une perturbation (piétinement p. ex.).

Les particules d'une taille supérieure à 200 μm sont, par convention, appelées «fibres». Leur dosage dans un échantillon de tourbe est un très bon moyen d'évaluer le niveau de dégradation physique de la tourbe. Ce taux de fibres est aussi le premier critère de classification des tourbes (SSSA, 1974). Pratiquement, les particules $> 200 \mu\text{m}$ sont séparées par tamisage automatique humide, dans un appareil mis au point à Neuchâtel pour ces études, sur une idée de Lévesque et Diné.

Le taux de fibres correspond au poids sec des particules $> 200 \mu\text{m}$, par rapport au poids sec total utilisé pour le tamisage (en %).

5. Indice au pyrophosphate de sodium (indice pyro)

En évoluant, la tourbe ne subit pas seulement une dégradation physique (diminution du taux de fibres), mais aussi une décomposition chimique, par transformation des molécules du matériel vivant.

La cellulose* et la lignine*, constituants de base des végétaux, sont d'abord décomposées en molécules plus petites. Dans un deuxième temps, ces molécules (acides fulviques = AF*) se lient à nouveau entre elles, mais pour former d'autres composés organiques, différents de la cellulose et de la lignine, que l'on appellera acides humiques (= AH*).

Les AF (jaunes) et les AH (bruns) peuvent être facilement extraits de la tourbe par le pyrophosphate de sodium (KAILA, 1956). On mélange 0.5 g de tourbe sèche broyée à 50 ml de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0.025 M, puis on filtre et on ajuste à 250 ml avec H_2O . La solution ainsi obtenue est d'autant plus foncée que la proportion d'AH est élevée, et donc que la matière végétale est évoluée chimiquement. L'intensité de la coloration est dosée au spectrophotomètre, à une longueur d'onde de 550 nm. L'absorbance ainsi mesurée, multipliée par 100, constitue l'indice au pyrophosphate, ou indice «pyro». Un indice bas (entre 1 et 10) est typique d'une tourbe peu évoluée chimiquement, un indice élevé (au-dessus de 50), traduit une tourbe extrêmement décomposée. La photo 2 montre les colorations obtenues pour diverses valeurs de l'indice pyro.

6. Quantité de phénols

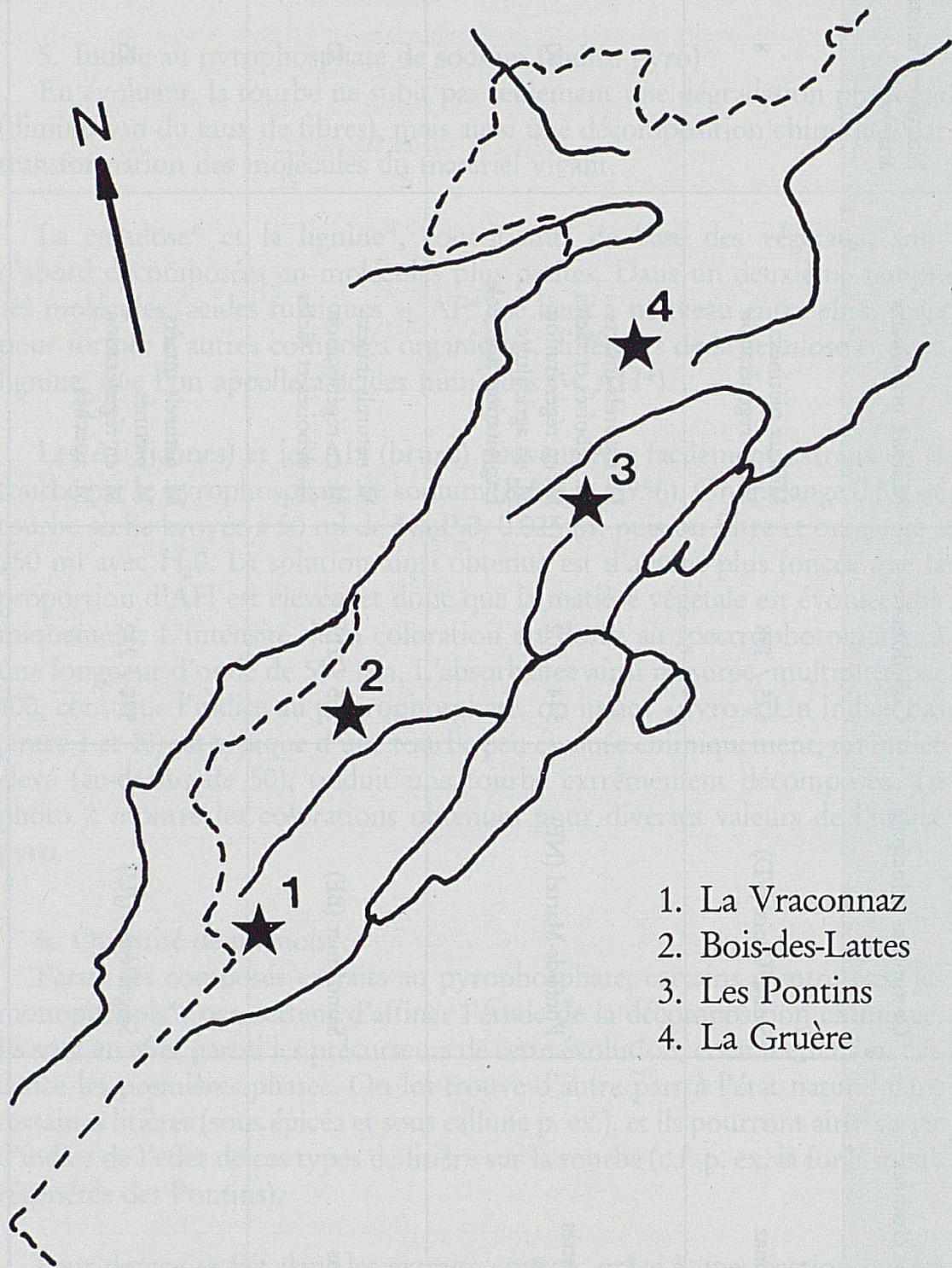
Parmi les composés extraits au pyrophosphate, certains d'entre eux, les monophénols*, permettent d'affiner l'étude de la décomposition chimique. Ils sont en effet parmi les précurseurs de cette évolution, et en mettent en évidence les premières phases. On les trouve d'autre part à l'état naturel dans certaines litières (sous épicéa et sous callune p. ex.), et ils pourront ainsi servir d'indice de l'effet de ces types de litière sur la tourbe (c.f. p. ex. la forêt mixte régénérée des Pontins).

Leur dosage se fait dans les extraits «pyro», grâce à une réaction qui les colore en bleu. Ici aussi, l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de phénols de la solution. Ils sont exprimés en mg/g de tourbe sèche.

Tourbières étudiées	Commune principale	Coordonnées	Milieus principaux	Nombre d'échantillons analysés
La Vraconnaz	Sainte-Croix (VD)	525 / 188	Milieus piétinés M. en régénération	8
Bois-des-Lattes et environs	Ponts-de-Martel (NE)	544 / 202	M. naturels intacts M. déboisés et râclés M. en régénération M. en agriculture Exploitation horticole	90
Les Pontins	Saint-Imier (BE)	565 / 219	M. naturels intacts M. en régénération M. déboisés et râclés	20
La Gruère	Saignelégier (JU)	570 / 232	M. naturels intacts M. piétinés M. en régénération M. asséchés	35

Tableau 2: les tourbières étudiées et leurs milieux.

Fig. 8



Localisation des tourbières où ont été faits les prélèvements.

3.2. Régions prospectées et matériel analysé

Les tourbières étudiées concernent l'arc jurassien central, entre Sainte-Croix et La Gruère. Quatre complexes tourbeux nous ont permis d'établir un catalogue presque exhaustif des différents milieux (tableau 2 et figure 8).

Les renseignements faunistiques proviennent avant tout des tourbières de la vallée de La Brévine (NE), tourbière du Cachot, coord. 541-206.

Huit types de milieux ont été répertoriés, présentant un total de 30 situations différentes. Dans chacune d'elles, un profil de sol au moins a été décrit, et la tourbe récoltée. En général, seule la surface du sol (jusqu'à 40 cm environ) a été analysée, car elle conditionne presque entièrement la vie animale et végétale de la tourbière. C'est elle aussi qui réagira le plus vite aux atteintes extérieures.

Cent cinquante-trois échantillons ont été finalement analysés, du point de vue des 6 paramètres ci-dessus. Les multiples données ainsi obtenues (918 mesures) ont été traitées par des méthodes informatiques, seules capables de comparer efficacement d'aussi nombreux points.

Les résultats globaux de ces analyses, ainsi qu'une étude détaillée du traitement informatique et des résultats des analyses multivariées* effectuées, seront publiés ailleurs (GOBAT, GROSVERNIER, MATTHEY, à paraître). Nous ne présenterons ici qu'un tableau restreint des résultats, illustrant chaque milieu, ainsi que l'interprétation finale des analyses informatiques.

LES MILIEUX ÉTUDIÉS

Les différents milieux étudiés se répartissent selon le schéma de la figure 9.

4.1. Les milieux naturels

Ils comprennent :

- A) Les milieux non modifiés par l'homme
- B) Les milieux modifiés par l'homme mais où la végétation actuelle est encore proche des conditions naturelles (végétation de type « marais ou tourbière »).

4.1.1 Les milieux naturels intacts

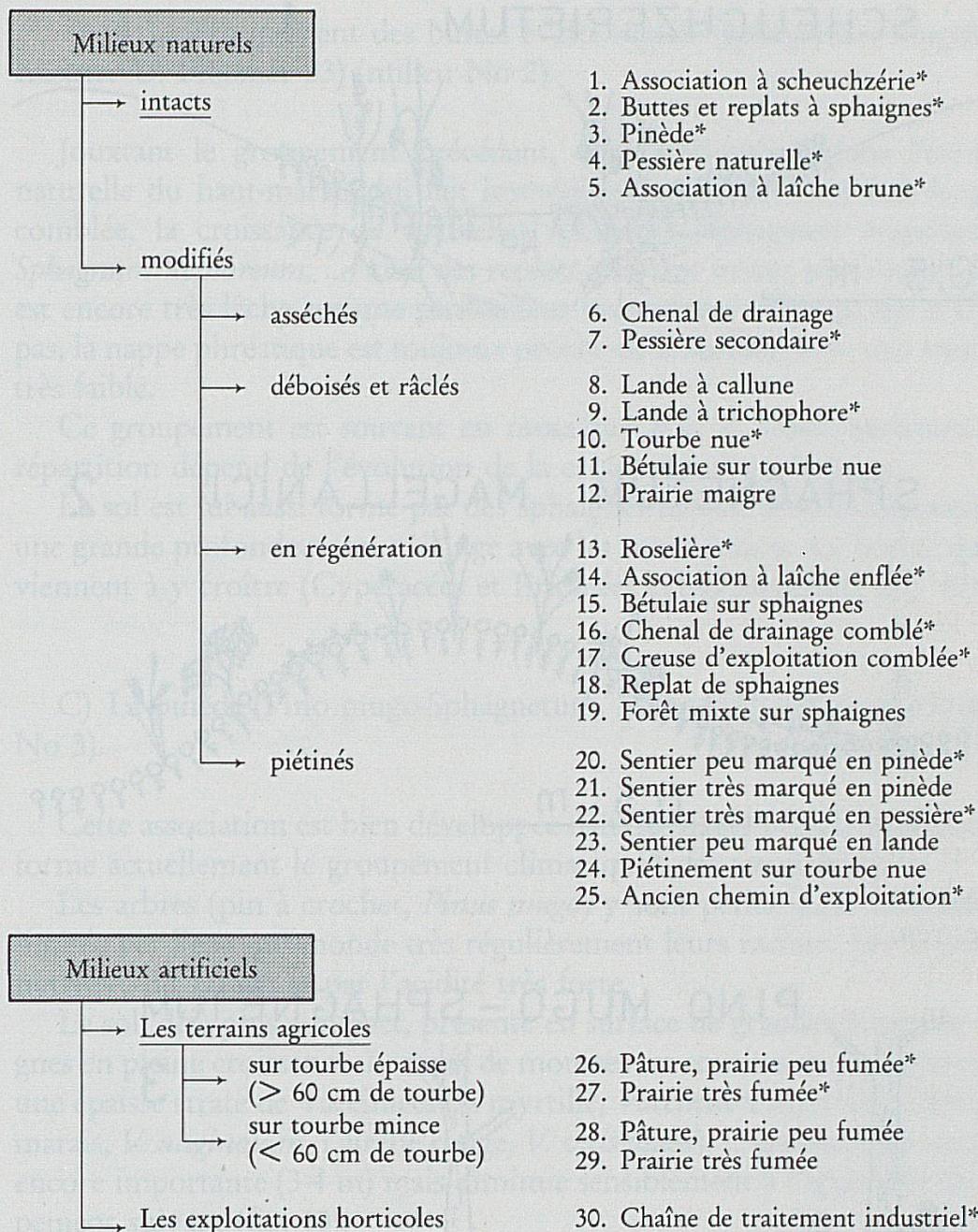
Nous groupons dans cette catégorie tous les milieux non touchés par des actions humaines. Ils illustrent toujours une association végétale* bien définie. Les résultats des analyses effectuées sur ces échantillons sont considérés comme des valeurs témoins, et servent de base de comparaison avec les milieux modifiés.

- A) Ass. à scheuchzérie des marais (*Scheuchzerietum* Tx 37) (milieu No 1).

Elle caractérise les dépressions inondées (gouilles) du centre du haut-marais. Les conditions écologiques y sont très particulières :

- Oligotrophie prononcée
- pH bas
- Sol continuellement inondé (nappe moyenne à 2 cm de prof.).

Le sol est formé, sur une grande épaisseur, par un mélange de sphaignes encore entières, de rhizomes, racines, gaines, tiges et feuilles de végétaux supérieurs supportant de telles conditions, comme la scheuchzérie (*Scheuchzeria palustris*), la laïche des bourbiers (*Carex limosa*) ou le rossolis (*Drosera obovata*).

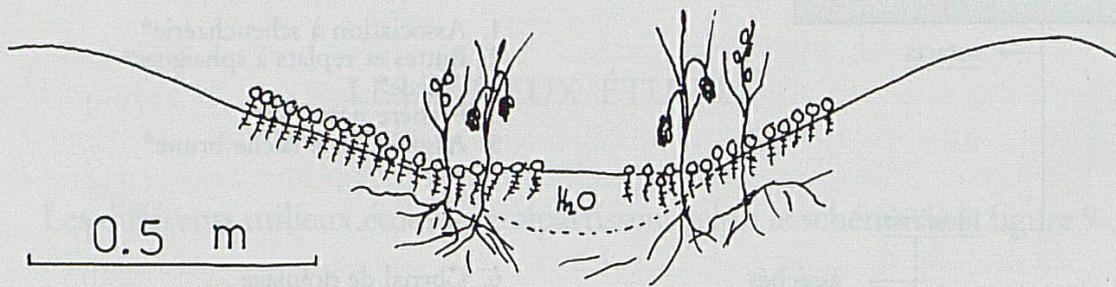


Note: Les * signalent un milieu pris en exemple dans la description des profils de sol (Figure 24, tableau 3, annexe 3).

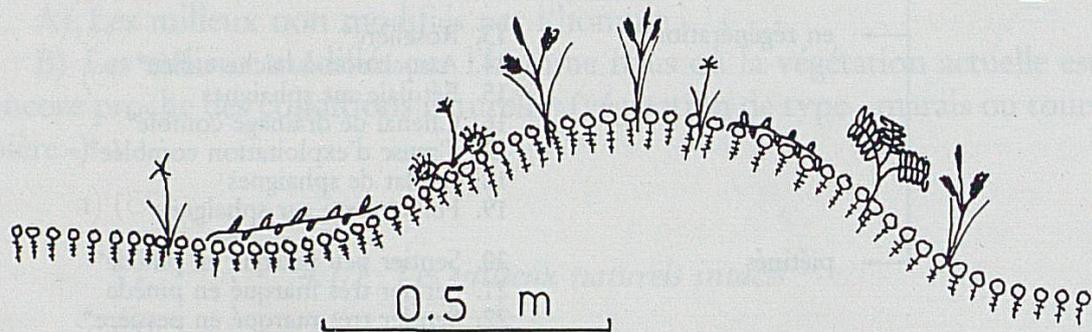
Fig. 9 Milieux mis en évidence dans les tourbières du Jura.

L'épaisseur de tourbe est toujours très importante (qq mètres), mais sa compacité est faible sur une grande profondeur. Colonisé par *Sphagnum cuspidatum*, le sol est trop instable pour supporter le poids d'un homme (fig. 10).

SCHEUCHZERIETUM 1



SPHAGNETUM MAGELLANICI 2



PINO MUGO - SPHAGNETUM 3

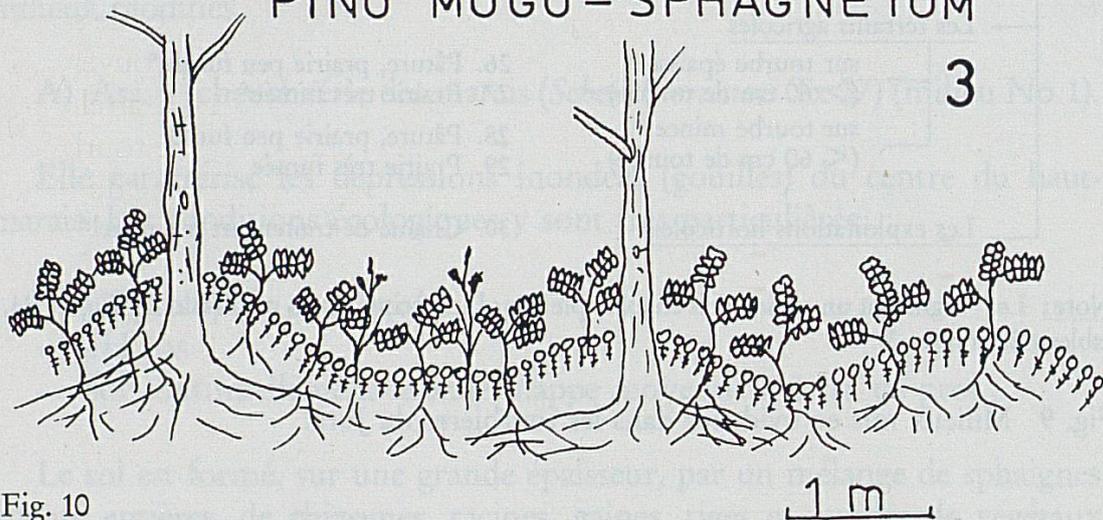


Fig. 10

Physionomie des milieux naturels intacts: groupement à Scheuchzérie (No 1), groupement des buttes et des creux (No 2), pinède (No 3).

B) Le groupement des buttes et des replats (*Sphagnetum magellanicum*, Kästner U. Flössner 33) (milieu No 2).

Jouxtant le groupement précédent, cette association, dans l'évolution naturelle du haut-marais, lui fait immédiatement suite. Une fois la gouille comblée, la croissance de nouvelles sphaignes (*Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum nemoreum*, ...) crée des replats puis des buttes plus sèches. Le sol est encore très lâche sur une profondeur importante. Bien qu'elle n'affleure pas, la nappe phréatique est toujours proche de la surface, avec une amplitude très faible.

Ce groupement est souvent en mosaïque avec le *Scheuchzerietum*. Leur répartition dépend de l'évolution de la croissance des sphaignes.

Le sol est lui aussi formé par des sphaignes mortes non décomposées sur une grande profondeur, en mélange avec les restes intacts des herbes qui parviennent à y croître (Cypéracées et Ericacées principalement) (fig. 10).

C) La pinède (Pino mugo-Sphagnetum, Kästner U. Flössner 33) (milieu No 3).

Cette association est bien développée dans les hauts-marais jurassiens. Elle forme actuellement le groupement climacique* des tourbières.

Les arbres (pin à crochet, *Pinus mugo*) y sont petits. Leur croissance est limitée par l'eau qui inonde très régulièrement leurs racines, par la pauvreté nutritive du milieu et par l'acidité très forte.

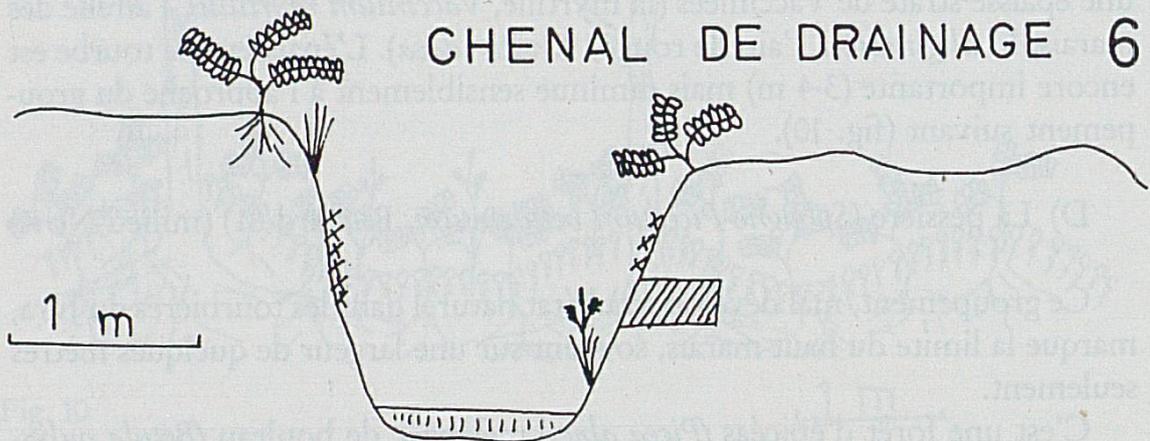
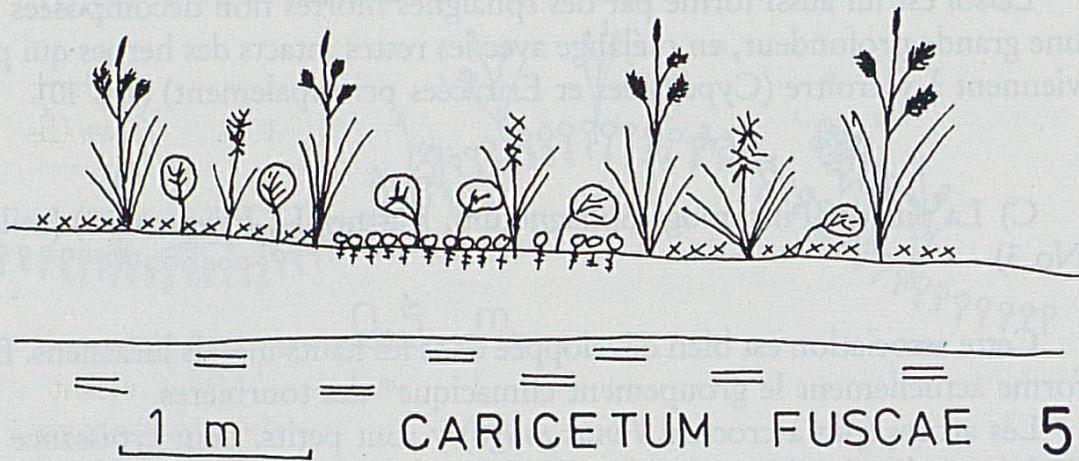
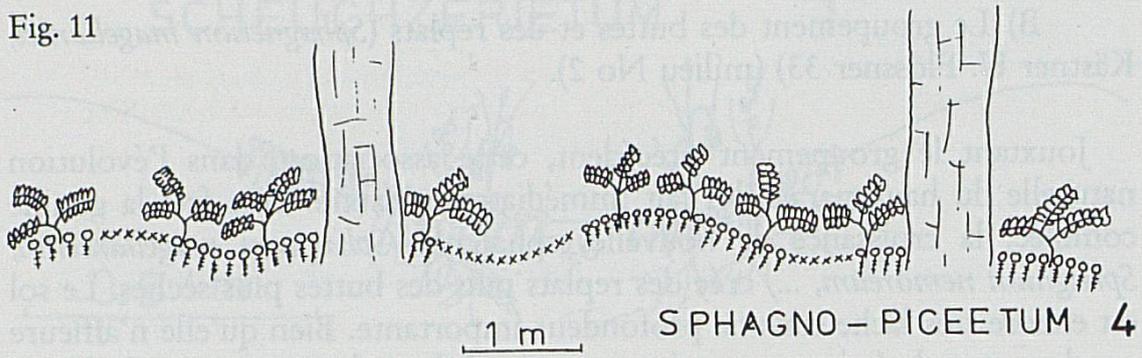
Le sol, déjà plus compact, présente en surface de grandes buttes de sphaignes en pleine croissance. Le tapis de mousses est continu et est recouvert par une épaisse strate de Vacciniées (la myrtille, *Vaccinium myrtillus*, l'airelle des marais, *V. uliginosum*, l'airelle rouge, *V. vitis-idaea*). L'épaisseur de tourbe est encore importante (3-4 m) mais diminue sensiblement à l'approche du groupement suivant (fig. 10).

D) La pessière (*Sphagno-Piceetum betuletosum*, Richard 61) (milieu No 4)

Ce groupement, mal développé à l'état naturel dans les tourbières du Jura, marque la limite du haut-marais, souvent sur une largeur de quelques mètres seulement.

C'est une forêt d'épicéas (*Picea abies*) mélangée de bouleau (*Betula pubescens*). Le sol est couvert de mousses. Les sphaignes, encore présentes, sont fortement concurrencées par d'autres mousses. La couverture de Vacciniées est ici aussi très dense, et la myrtille domine, atteignant parfois 1 m de haut.

Fig. 11



Physionomie des milieux naturels intacts et asséchés: pessière naturelle (No 4), bas-marais acide (No 5), bétulaie sur tourbe nue (No 11), prairie maigre (No 12).

Le sol est beaucoup plus sec et compact, si bien que la marche est aisée. Sous ce groupement, à la limite de la tourbière, la couche de tourbe est assez mince (50 cm à 2 m), et la nappe d'eau plus profonde (à 50 - 80 cm en moyenne) (fig. 11).

E) L'ass. à laîche brune (*Caricetum fuscae*, Br.-Bl 15) (milieu No 5)

Faisant déjà partie des bas-marais acides, ce groupement se développe en bordure des hauts-marais, en ceinture externe. Très faiblement représenté en conditions naturelles dans le Jura, il croît sur un sol tourbeux de faible épaisseur (< 1 m). Les sphaignes deviennent rares mais on y trouve toujours un tapis de mousses abondant.

La richesse floristique est plus grande que dans le haut-marais, grâce à des conditions écologiques moins drastiques.

Les bas-marais sont principalement colonisés par des surfaces herbeuses alors que les hauts-marais sont couverts régulièrement par des forêts (fig. 11).

4.1.2. Les milieux naturels modifiés

INTRODUCTION

Cette catégorie, très générale, regroupe tous les milieux résultant d'une exploitation de tourbe ou de toutes autres actions anthropiques, provoquant des modifications écologiques suffisantes pour induire des biotopes secondaires facilement identifiables. Les groupements, après perturbation, évoluent selon deux tendances opposées: la dégradation ou la régénération.

Selon les conditions écologiques, certains milieux préparés pour l'exploitation puis abandonnés, pourront reprendre une activité turfigène* et la régénération se fera. D'autres en revanche évolueront défavorablement et présenteront des faciès secondaires dépérissants.

Par définition, tous les milieux ayant subi des influences humaines et ne présentant pas de reprise d'activité turfigène, sont en dégradation.

A l'opposé, tous les milieux qui, après exploitation ou perturbation, reprennent une activité turfigène mesurable (au moins 10 cm de tourbe jeune en surface) sont en régénération.

Nous présenterons ici les types de dégradation que subissent les tourbes préparées pour une future exploitation: l'assèchement, puis le déboisement et le râclage.

Nous analyserons ensuite les différents cas de régénération constatés après les perturbations précitées, puis nous aborderons un autre type de modification, ne résultant pas de l'exploitation: le piétinement.

LES MILIEUX ASSÉCHÉS

Toutes les tourbières qui sont soumises à l'exploitation ou qui ont été préparées en vue d'une exploitation sont drainées.

Le drainage est très régulièrement la première atteinte importante que l'homme provoque au cœur du haut-marais. En effet, l'exploitation n'est possible que si la tourbe de surface est sèche. La progression du travail est ainsi assurée dans de bonnes conditions.

Deux types de drainages sont constatés :

Un assèchement local et superficiel par creusement de chenaux (parfois importants) à ciel ouvert dans la tourbière elle-même.

Un assèchement important et généralisé par installation de tuyaux sous la tourbière, au niveau des couches imperméables.

Si les influences des rigoles de surface sont assez bien cernées, celles des drainages profonds sont inconnues. Nous présenterons ici deux cas précis de l'influence directe des rigoles de surface sur le sol.

A) Flanc d'un chenal de drainage (milieu No 6)

L'exemple provient de la tourbière de La Gruère où de nombreux drains ont été creusés dans la tourbe pour assurer l'approvisionnement de l'ancien moulin hydraulique. Tous les drains étudiés ont été creusés, au départ, au XVII^e siècle, dans la pinède (*Pino mugo-Sphagnetum*). L'échantillon a été prélevé dans la paroi « verticale » de la rigole. La végétation est nulle à l'exception de quelques coussinets de mousses (*Polytrichum strictum*) (fig. 11).

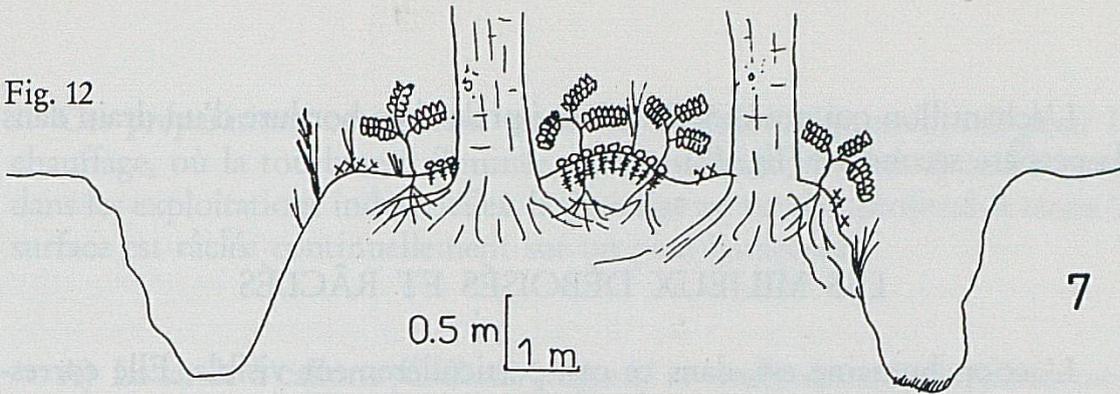
B) La pessière secondaire (*Sphagno-Piceetum*) en bordure de drain (milieu No 7)

Toujours à l'Étang de La Gruère, où les drains, profonds et actifs, sont passablement rapprochés, leurs influences sont nettement marquées sur la végétation de surface.

La forêt de pins à crochets originelle (*Pino mugo-Sphagnetum*) a été progressivement colonisée par l'épicéa, qui est lui favorisé par l'assèchement prononcé du sol.

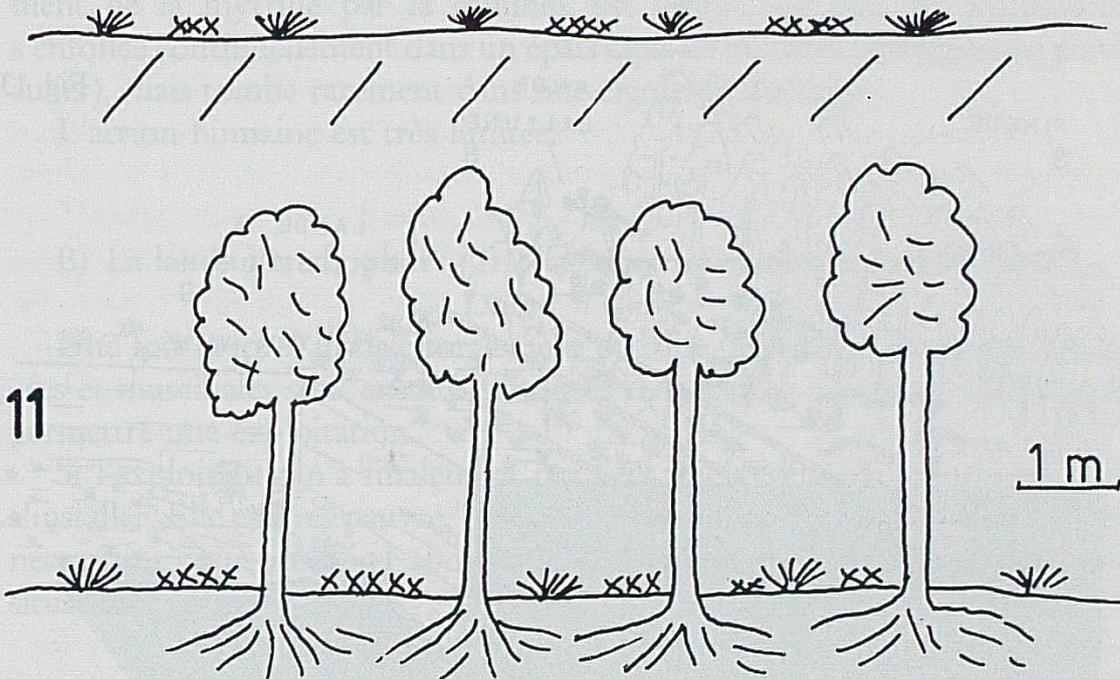
Actuellement, les abords de ces drains sont couverts par la végétation caractéristique des pessières sur sphaignes (*Sphagno-Piceetum*).

Fig. 12

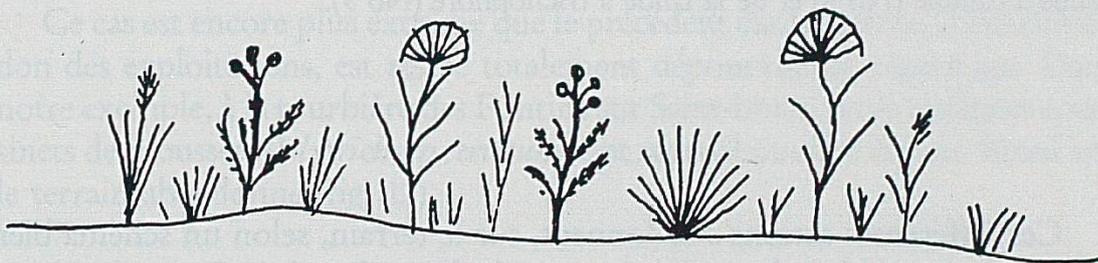


SPHAGNO-PICEE TUM SECONDAIRE

TOURBE NUE 10



BETULAIE SUR TOURBE NUE



"PRAIRIE MAIGRE" 12

Physionomie des milieux asséchés, déboisés et râclés: pessière secondaire (No 7),
tourbe nue (No 10), bétulaie sur tourbe nue (No 11), prairie maigre (No 12).

L'échantillon qui nous intéresse a été prélevé en bordure d'un drain dans la pessière secondaire (fig. 12).

LES MILIEUX DÉBOISÉS ET RÂCLÉS

L'action humaine est, dans ce cas, particulièrement visible. Elle correspond aux stades préparatoires en vue d'une exploitation. La figure 13 nous permet de distinguer plusieurs degrés de préparation.

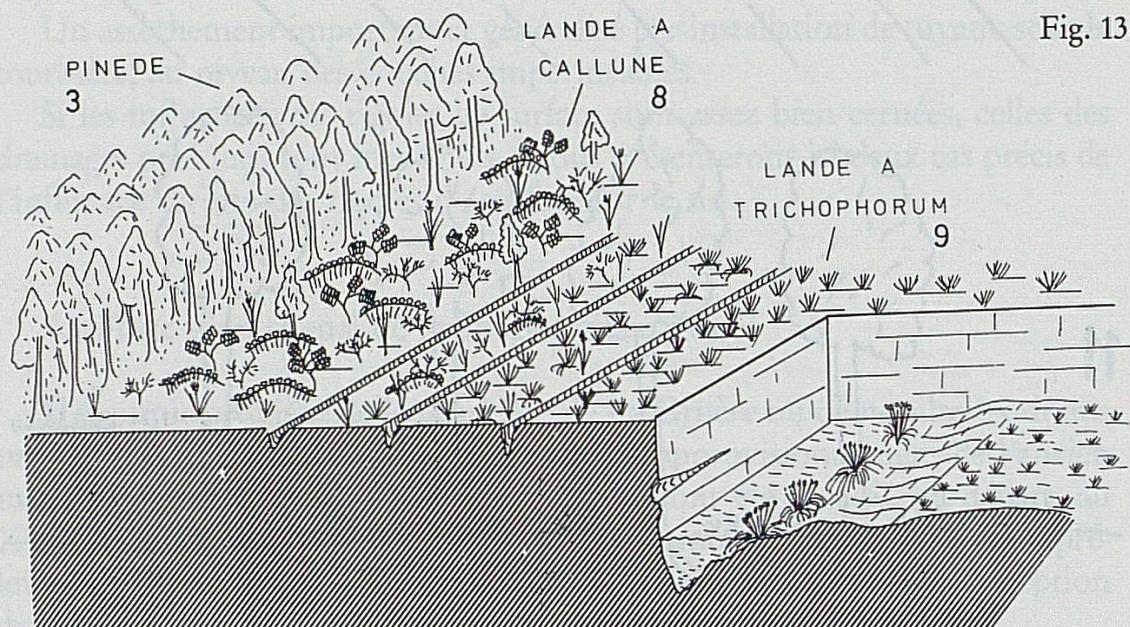


Fig. 13

Stades de préparation à l'exploitation artisanale de la tourbe, avec physionomie de la lande à callune (No 8) et de la lande à trichophore (No 9).

Ces différentes actions s'ordonnent, sur le terrain, selon un schéma bien précis, correspondant à un éloignement du front d'exploitation et à un rapprochement de la zone forestière intacte.

Le sol est d'abord déboisé (après assèchement par drainages de surface) puis, à proximité du front d'exploitation, il est râclé et toute la végétation initiale éliminée.

Ces préparations concernent un mode d'exploitation artisanal, pour le chauffage, où la tourbe est éliminée selon un front vertical. Actuellement, dans les exploitations industrielles, le drainage est total et profond et toute la surface est râclée continuellement sur un plan horizontal.

A) La lande à callune (*Calluna vulgaris*) et airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*) (milieu No 8)

Ce milieu a été uniquement déboisé, sans destruction du sous-bois de Vacciniées. Seule une modification de la flore (disparition de la forêt, remplacement de la myrtille par la callune), est visible. Le pied du promeneur s'enfonce continuellement dans un épais tapis de mousses (sphaignes en particulier), mais tombe rarement dans une rigole de drainage.

L'action humaine est très limitée.

B) La lande à trichophore (*Trichophorum caespitosum*) (milieu No 9)

Une fois la forêt initiale totalement détruite, les strates arbustives herbacées et muscinales sont ensuite éliminées et la tourbe de surface râclée pour permettre une exploitation.

Si l'exploitation n'a finalement pas lieu, une végétation secondaire peut s'installer. Elle est très pauvre, et seul le trichophore trouve ici les conditions nécessaires pour prospérer abondamment. La figure 13 illustre également sa situation.

C) Tourbe nue sans aucune végétation (milieu No 10)

Ce cas est encore plus extrême que le précédent car la tourbe, après l'abandon des exploitations, est restée totalement dépourvue de végétation. Dans notre exemple, à la tourbière des Pontins sur Saint-Imier, seuls quelques coussinets de mousses (*Polytrichum strictum*) ont réussi à pousser depuis 40 ans sur le terrain abandonné (fig. 12).

D) Bétulaie sur tourbe nue (milieu No 11)

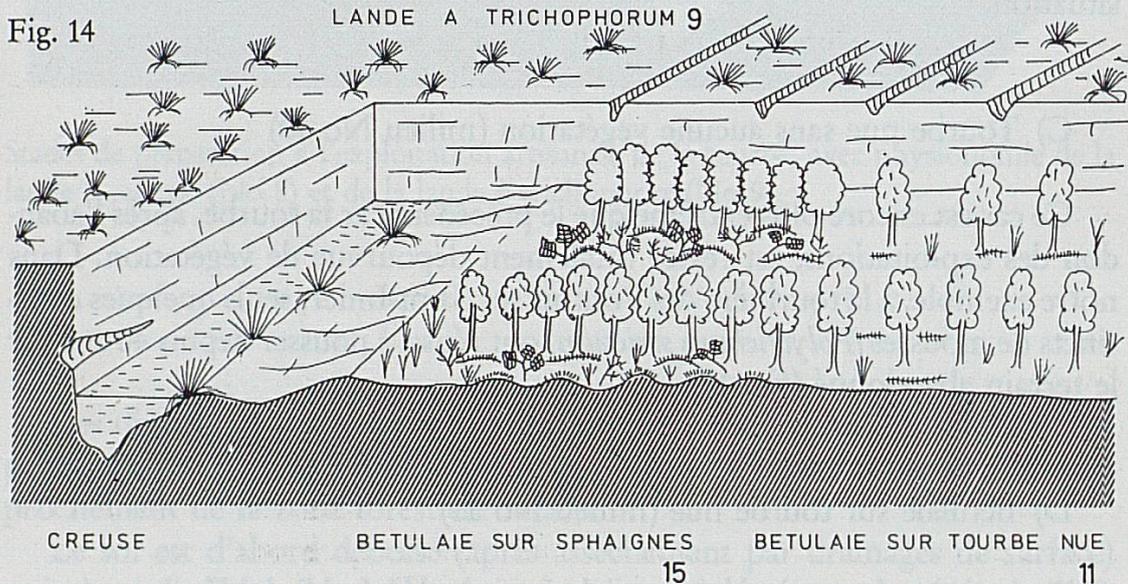
Ce groupement est à mettre en relation avec la bétulaie se développant sur un sol en régénération et couvert de sphaignes. (c.f. No 15).

Ces deux types de milieux se rencontrent en mosaïque dans les mêmes conditions: le fond d'une ancienne exploitation de taille importante. Sur certains secteurs particulièrement asséchés, les mousses n'ont pas eu la possibilité de recoloniser abondamment le milieu, si bien que le sol, à l'exception de quelques plaques de *Polytrichum strictum*, est totalement nu. Mais à la différence du cas précédent, une forêt de bouleau (*Betula pubescens*) a réussi à prendre secondairement possession des lieux (fig. 12).

E) «Prairie maigre» (milieu No 12)

Au centre de la tourbière des Pontins, un large secteur a été plus ou moins exploité puis abandonné. Aucune influence humaine (fumure, engrais chimique, ...) ne s'y manifeste depuis l'arrêt des exploitations, si bien que la végétation secondaire qui a colonisé le secteur dépend uniquement des conditions locales.

Une végétation prairiale maigre et monotone s'est installée sur les secteurs présentant encore une épaisseur de tourbe assez importante. Quatre espèces dominent nettement et couvrent la presque totalité de la surface. Ce sont: le jonc épars (*Juncus effusus*), l'angélique sauvage (*Angelica silvestris*), l'agrostide capillaire (*Agrostis tenuis*) et le cirse des marais (*Cirsium palustre*). La figure 12 illustre également cette prairie. Nous ne connaissons pas encore les raisons de son installation à cet endroit.



Stades de recolonisation après exploitation.

CONCLUSIONS

Aucun des cinq groupements décrits ici n'est un groupement de régénération de la tourbière. Les espèces de sphaignes caractéristiques de la croissance de la tourbière n'y sont jamais présentes. On a affaire à cinq groupements de dégradation, sortes de culs-de-sac de l'évolution d'un haut-marais. On ne parlera de régénération qui si les conditions permettent la croissance de sphaignes typiques, avec formation de tourbe.

LES MILIEUX EN RÉGÉNÉRATION

On s'est longtemps demandé si les tourbières du Jura étaient encore en croissance, ou si le climat actuel y était défavorable. Depuis quelques années, toute une série de groupements végétaux ont été mis en évidence, qui prouvent que, sous certaines conditions, la formation de tourbe se poursuit encore et est parfaitement compatible avec le climat actuel du Haut-Jura (ROYER et al., 1978).

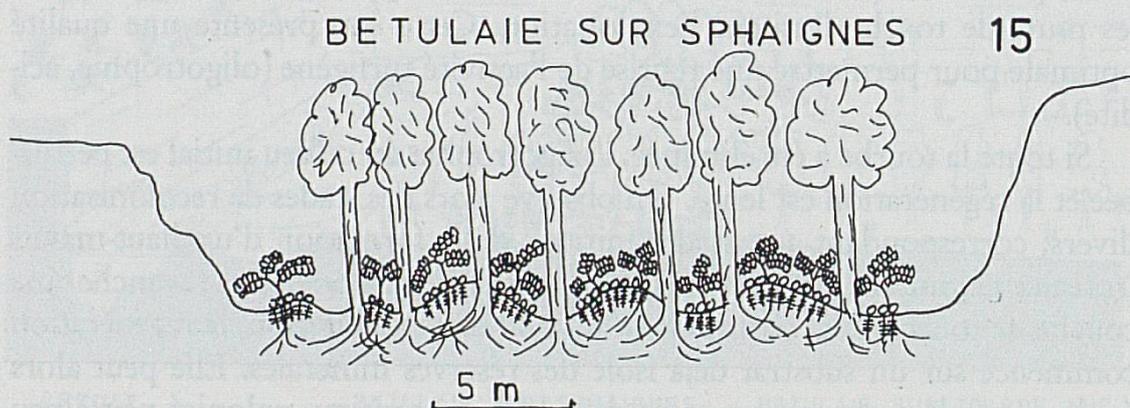
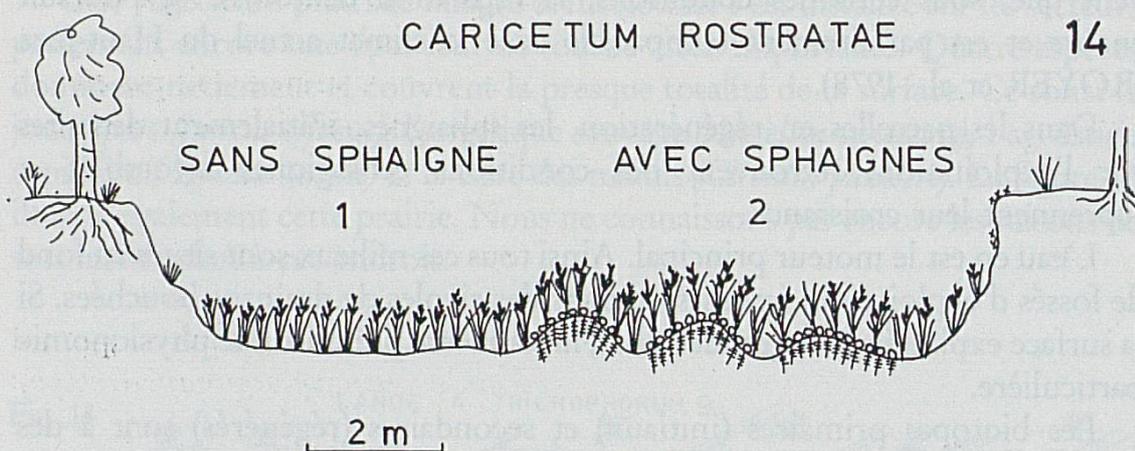
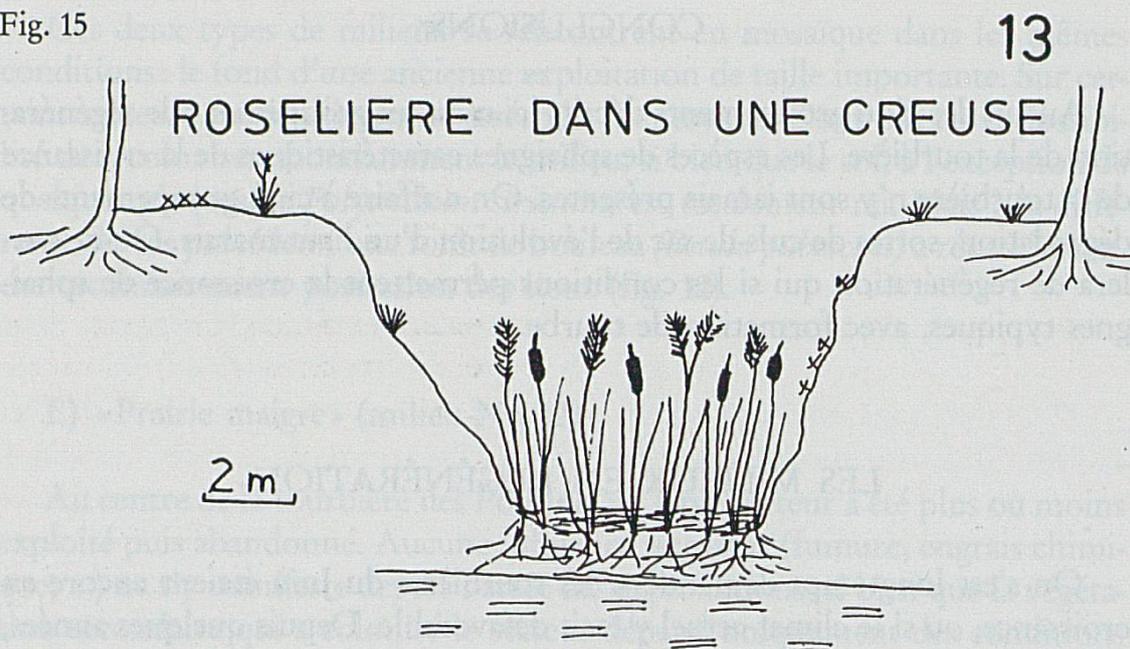
Dans les parcelles en régénération, les sphaignes, initialement détruites par l'exploitation, retrouvent des conditions écologiques favorables et reprennent leur croissance.

L'eau en est le moteur principal. Ainsi tous ces milieux sont situés au fond de fossés d'exploitation (creuses) et dans des rigoles de drainage bouchées. Si la surface exploitée était grande (1 ha), la tourbière présente une physionomie particulière.

Les biotopes primaires (initiaux) et secondaires (régénérés) sont à des niveaux différents. Le secteur exploité, s'il est situé au cœur du massif tourbeux, permet une accumulation des eaux de la nappe, qui s'écoulent depuis les murs de tourbe limitant l'exploitation. Cette eau présente une qualité optimale pour permettre une reprise de l'activité turfigène (oligotrophie, acidité).

Si toute la tourbe a été éliminée, l'oligotrophie du milieu initial est perturbée et la régénération est lente. On observe alors des stades de recolonisation divers, correspondant aux stades initiaux de la formation d'un haut-marais (roseaux colonisant un plan d'eau) (c.f. figure 15). Lorsqu'en revanche une couche de tourbe a été abandonnée au fond de l'exploitation, la régénération commence sur un substrat déjà isolé des réserves minérales. Elle peut alors évoluer rapidement vers un tapis de sphaignes continu, colonisé peu à peu par les associations végétales typiques du haut-marais (*Sphagnetum magellanicum* p. ex.).

Fig. 15



Physionomie de divers stades de régénération: roselière (No 13), association à laîche enflée (No 14), bétulaie sur sphaignes (No 15).

Sept cas de régénération ont été rencontrés:

A) Régénération avec tourbe totalement éliminée: roselière (milieu No 13)

Au fond d'une creuse assez profonde, une véritable roselière à roseau (*Phragmites communis*) et massette (*Typha latifolia*) colonise le sol, très humide. Celui-ci est couvert de tiges et de feuilles partiellement décomposées qui s'accumulent d'année en année, permettant l'isolement progressif de la végétation et du substrat minéralisé (phénomène d'atterrissement). La tourbe qui se forme est d'abord de type eutrophe, à cause de la présence toute proche de la marne imperméable (fig. 15).

B) Régénération sur restes de tourbe: le groupement à laîche enflée (*Carex rostratae*) (milieu No 14)

Dans une creuse partiellement exploitée, la couche de tourbe qui reste en place permet un isolement total du substrat marneux.

Le sol est inondé continuellement, et la régénération ne se fait pas encore sur toute la surface. De vastes secteurs présentent de grandes mares sans végétation.

Deux situations sont observées:

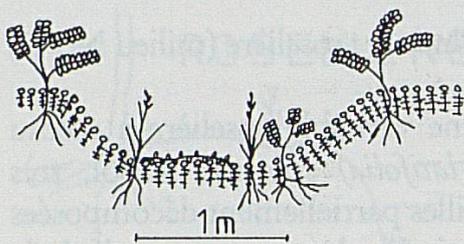
1) La laîche enflée est totalement recouvrante, et se développe sur un sol formé par des restes de gaines, tiges et feuilles de cypéracées (première étape).

2) Des replats et buttes à sphaignes s'individualisent peu à peu. Les cypéracées poussent dans un tapis de mousses. La formation végétale est très proche du *Sphagnetum magellanicum* (deuxième étape) (fig. 15).

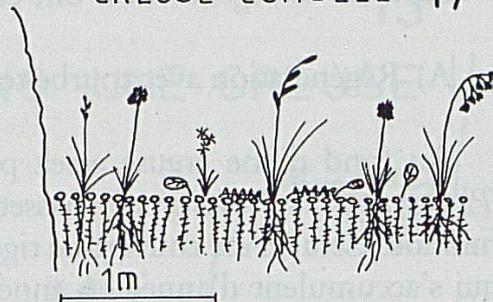
C) Bétulaie secondaire sur tapis de sphaignes (milieu No 15)

Ces forêts secondaires prennent possession de vastes dépressions laissées après une exploitation importante. Si l'eau est présente en quantité suffisante, avec une qualité chimique adéquate, les sphaignes recolonisent le sol sur de vastes surfaces (replats). Elles permettent à la végétation typique des sous-bois de tourbière, les vaccinées, de repousser sur les buttes importantes. Une forêt de bouleau (*Betula pubescens*) s'installe progressivement, en remplacement de la pinède originelle (*Pino mugo-Sphagnetum*) (fig. 15).

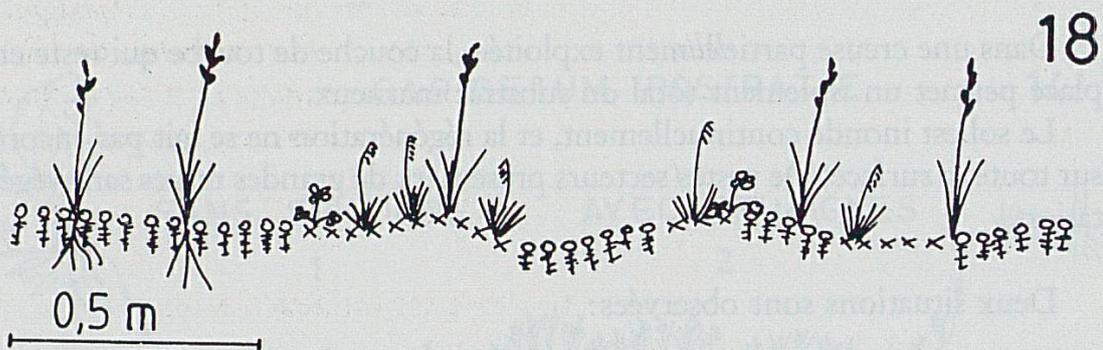
DRAIN COMBLÉ 16



CREUSE COMBLEE 17



REPLAT DE SPHAIGNES SUR TOURBE EXPLOITEE



FORET MIXTE SUR SPHAIGNES

19

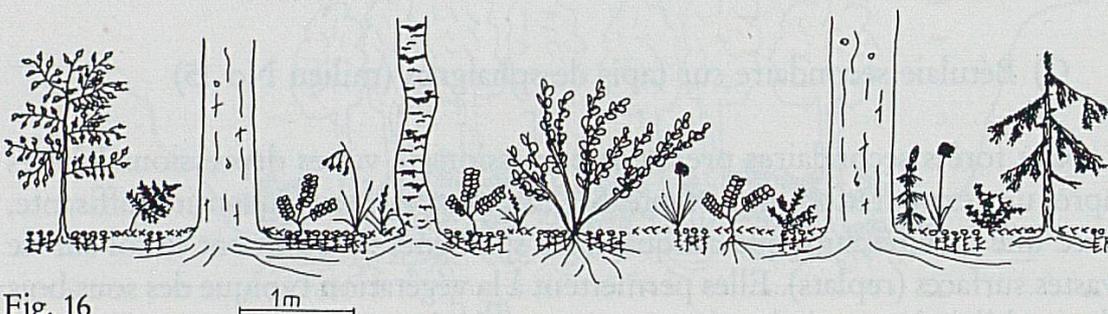


Fig. 16

Physionomie de divers stades de régénération: drain comblé (No 16), creuse comblée (No 17), replat de sphaignes (No 18), forêt mixte (No 19).

D) Chenal de drainage comblé (milieu No 16)

Un ancien canal de drainage, à la tourbière de La Gruère, s'est comblé par accumulation de divers restes végétaux, en particulier des sphaignes. Sur le tapis de sphaignes vivantes (*Sphagnum recurvum*, *S. magellanicum*, *S. capillifolium*) la régénération est attestée par la présence d'espèces typiques des tourbières tels la canneberge (*Oxycoccus quadripetalus*), l'andromède (*Andromeda polifolia*) et la myrtille (*Vaccinium myrtillus*) (fig. 16).

E) Creuse d'exploitation comblée (milieu No 17)

Située à la tourbière de La Gruère, au pied d'un ancien mur d'exploitation, un fossé important s'est comblé par accumulation de restes de sphaignes, laïches, linaigrettes. Ainsi, 60 cm de matériaux lâches et non encore décomposés supportent la végétation actuelle formée de mousses (*Sphagnum recurvum*, *Sphagnum tenellum*), de laïche enflée (*Carex rostrata*), de laïche brune (*Carex fusca*) et de linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*). 40 ans ont suffi pour remplir cette creuse de nouvelle tourbe, ce qui est un cas de régénération très rapide (fig. 16).

F) Replat de sphaignes sur tourbe exploitée (milieu No 18)

A proximité de la creuse précitée, certains secteurs plus plats, anciennement exploités, présentent une couverture de sphaignes à faible croissance dans les dépressions les plus humides. *Sphagnum capillifolium* et *S. magellanicum* se sont réinstallés sur la tourbe mise à nu vers 1940. Plus sec que le précédent, ce milieu présente une végétation herbacée proche de celle des bas-marais acides (*Caricetum fuscae*) avec la potentille dressée (*Potentilla erecta*), le nard raide (*Nardus stricta*), la laïche brune (*Carex fusca*) (fig. 16).

G) Forêt mixte sur sphaignes (milieu No 19)

A la suite de la transformation du milieu par les exploitations, certains secteurs de la tourbière des Pontins ont évolué rapidement et présentent actuellement des forêts secondaires. La strate arborescente est variable mais le mélange des trois espèces principales des tourbières, le pin à crochet (*Pinus mugo*), l'épicéa (*Picea abies*) et le bouleau (*Betula pubescens*), est représentatif du milieu. La strate herbacée elle aussi présente un mélange d'espèces prairie-

les, comme la molinie (*Molinia coerulea*), le jonc épars (*Juncus effusus*) et de haut-marais, comme l'airelle rouge (*Vaccinium vitis-idaea*), l'airelle des marais (*V. uliginosum*) et la callune (*Calluna vulgaris*). Un tapis de sphaignes irrégulier s'est reconstitué (fig. 16).

CONCLUSIONS

On le voit, de nombreuses possibilités de régénération existent dans les tourbières du Jura. Toutes nécessitent la présence d'une nappe d'eau proche de la surface, et peu fluctuante.

Finalement on peut grouper les cas de régénération en quatre catégories :

1. Régénération par tourbe eutrophe (roselière). Toute la tourbe a été exploitée.

2. Régénération par tourbe oligotrophe, sans sphaignes, avec la laïche enflée (*Carex rostrata*). Il reste de la tourbe au fond de la creuse : c'est la première étape réelle de la formation du haut-marais.

3. Régénération par tourbe oligotrophe, avec sphaignes. Il reste de la tourbe après l'exploitation. Divers cas sont observés : bétulaie, drain ou creuse comblés, replat recolonisé, tapis de laïche enflée (*Carex rostrata*).

4. Forêt mixte sur sphaignes, avec croissance rapide, en mélange, du pin à crochets, de l'épicéa et du bouleau.

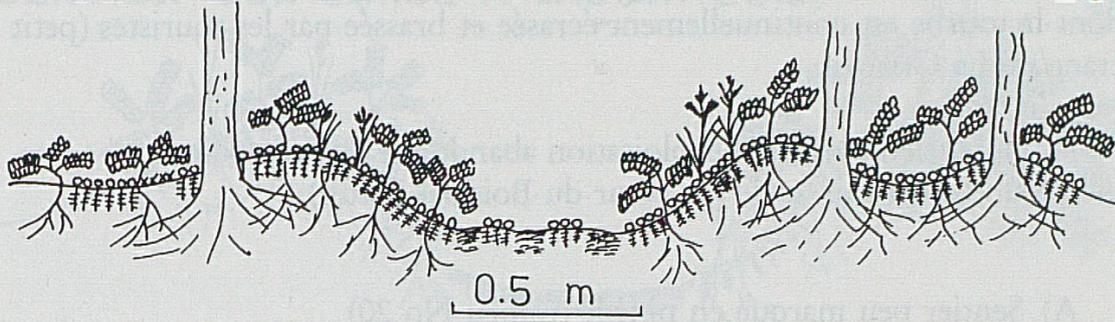
LES MILIEUX PIÉTINÉS

Cette atteinte est bien définie du point de vue physiologique, tant l'action humaine est précisément marquée.

Par leurs cheminements répétés, les promeneurs provoquent la formation de sentiers, avec disparition de la végétation herbacée et muscinale. Nous avons considéré d'abord les sols piétinés des pinèdes et des pessières (La Gruère et Les Ponts-de-Martel) ainsi que les sentiers entretenus par le bétail dans des landes à éricacées (cas de la tourbière de La Vraconnaz sur Sainte-Croix). Deux cas de piétinement extrême supplémentaires sont aussi pris en considération :

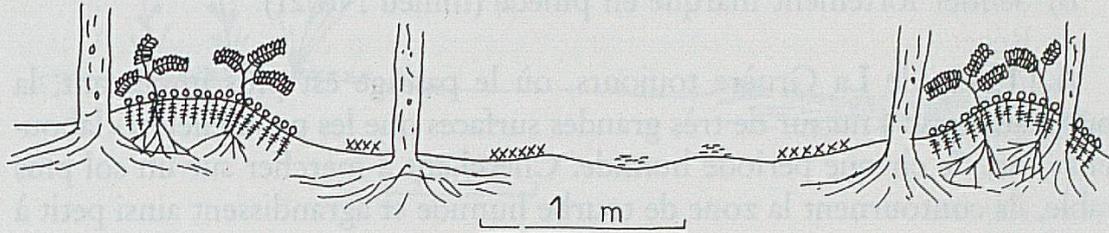
SENTIER PEU MARQUE EN PINEDE

20



SENTIER MARQUE EN PINEDE

21



SENTIER MARQUE EN PESSIERE

22

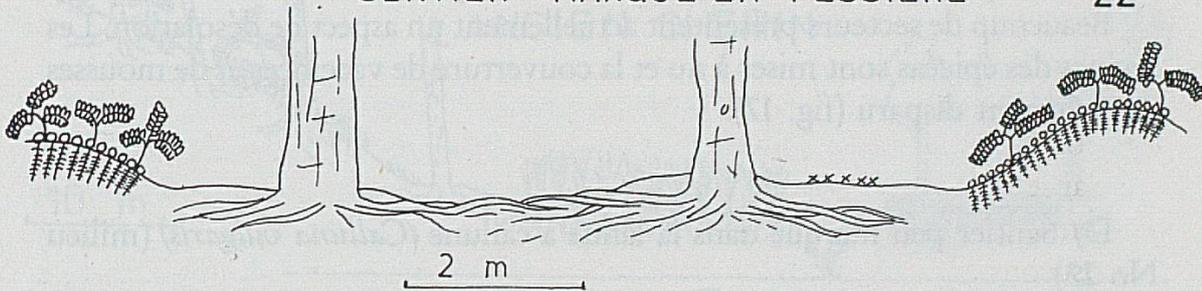


Fig. 17

Physionomie des milieux piétinés: sentier peu marqué en pinède (No 20), sentier très marqué en pinède (No 21), sentier très marqué en pessière (No 22).

— Les abords d'un petit étang complètement dépourvu de végétation et dont la tourbe est continuellement écrasée et brassée par les touristes (petit étang de La Gruère).

— Un ancien chemin d'exploitation abandonné depuis 40 ans, qui a évolué en un bas-marais acide (au cœur du Bois-des-Lattes).

A) Sentier peu marqué en pinède (milieu No 20)

Les forêts de pins à crochets de l'Étang de La Gruère sont parcourues par de nombreux promeneurs. Certains secteurs sont peu touchés et présentent un piétinement diffus. La végétation de surface n'est pas totalement détruite et les sphaignes parviennent à résister aux passages des promeneurs (fig. 17).

B) Sentier fortement marqué en pinède (milieu No 21)

A l'Étang de La Gruère toujours, où le passage est plus important, la tourbe est mise à nu sur de très grandes surfaces que les promeneurs «labourent» lors de chaque période humide. Cherchant à marcher sur un sol plus stable, ils contournent la zone de tourbe humide et agrandissent ainsi petit à petit le secteur touché. Les pins eux-mêmes finissent par être déracinés sur les berges de l'étang (fig. 17).

C) Sentier fortement marqué en pessière (milieu No 22)

Comme la pinède, la pessière subit des atteintes importantes et continues à cause du passage répété des touristes à l'Étang de La Gruère.

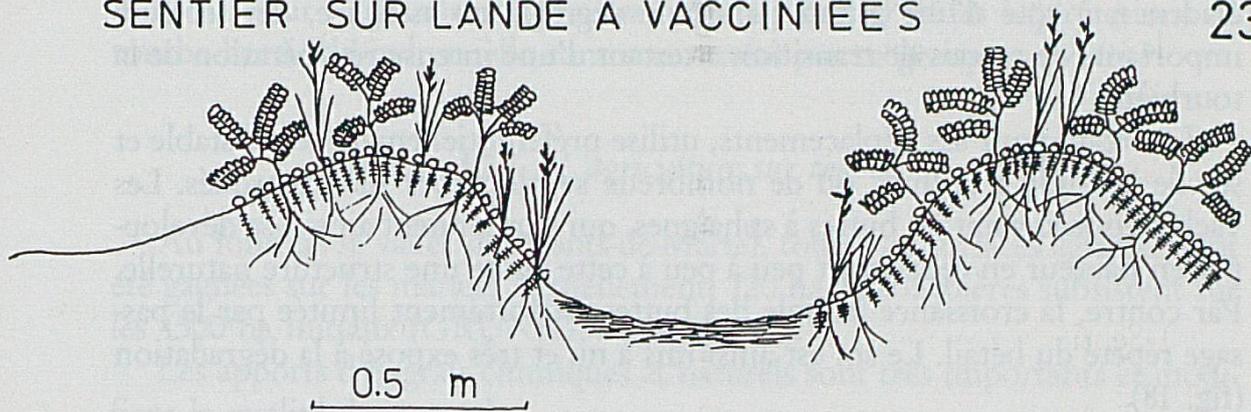
Beaucoup de secteurs présentent actuellement un aspect de désolation. Les racines des épicéas sont mises à nu et la couverture de vacciniées et de mousses a totalement disparu (fig. 17).

D) Sentier peu marqué dans la lande à callune (*Calluna vulgaris*) (milieu No 23)

Tout le secteur anciennement exploité de la tourbière de La Vraconnaz est laissé libre d'accès à une trentaine de génisses depuis de nombreuses années. La tourbière présente une végétation très diversifiée et l'on peut mettre en

SENTIER SUR LANDE A VACCINIEES

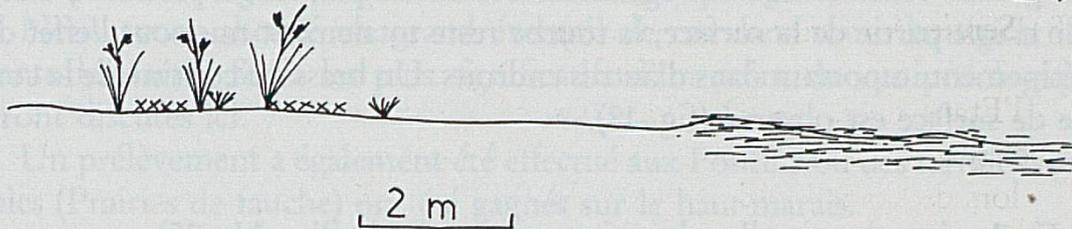
23



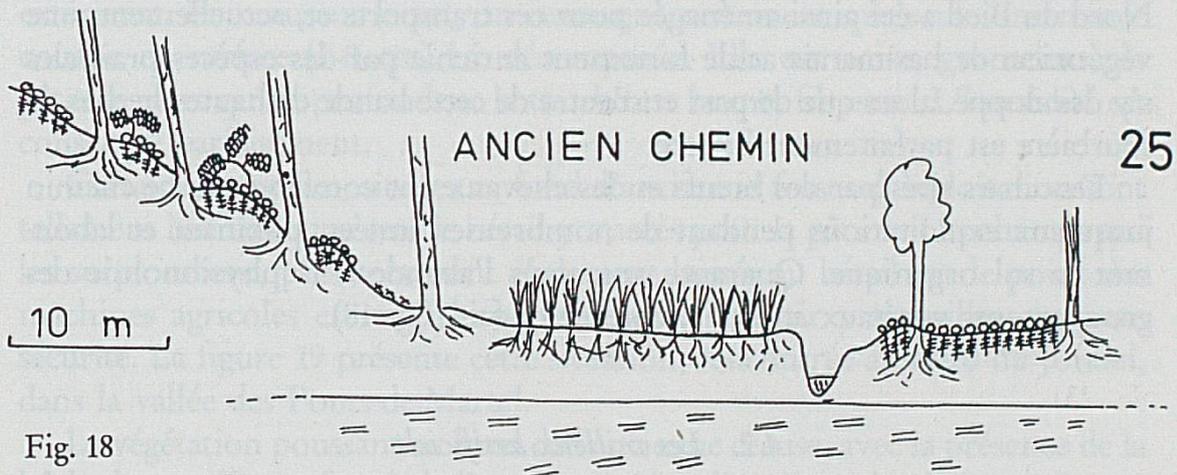
0.5 m

TOURBE NUE PIETINEE

24



2 m



ANCIEN CHEMIN

25

10 m

Fig. 18

Physionomie des milieux piétinés: sentier peu marqué sur lande (No 23), tourbe nue piétinée (No 24), ancien chemin en bas-marais (No 25).

évidence, à côté d'une grande lande de dégradation asséchée, des secteurs importants de marais de transition attestant d'une intense régénération de la tourbière.

Le bétail, pour ses déplacements, utilise préférentiellement le sol stable et sec de la lande à callune, où de nombreux sentiers sont bien marqués. Les vaches contournent les buttes à sphaignes, qui parviennent ainsi à se développer en hauteur en redonnant peu à peu à cette lande une structure naturelle. Par contre, la croissance latérale des buttes est fortement limitée par le passage répété du bétail. Le sol est ainsi mis à nu et très exposé à la dégradation (fig. 18).

E) Piétinement sur tourbe nue (milieu No 24)

Au Nord-Est de l'étang principal, à La Gruère, se trouve un petit plan d'eau. Ce secteur a été anciennement exploité et la tourbe est mise à nu sur une grande étendue. Si une végétation secondaire parvient à prendre possession d'une partie de la surface, la tourbe reste totalement nue sous l'effet du piétinement important dans d'autres endroits. Un brassage continu de la couche de surface est observé (fig. 18).

F) Ancien chemin d'exploitation sur tourbe (milieu No 25)

Pendant la deuxième guerre mondiale, les tourbières des Ponts-de-Martel ont été intensivement exploitées. Certaines parcelles, au cœur même du complexe tourbeux, ont été totalement détruites. Pour accéder à ces exploitations, des chemins ont été aménagés dans des milieux non touchés. La rive Nord du Bied a été ainsi aménagée pour ces transports et, actuellement, une végétation de bas-marais acide fortement enrichie par des espèces prairiales s'y développe, alors que de part et d'autre de cette bande de hautes herbes, la tourbière est parfaitement intacte.

Des chars tirés par des bœufs et des chevaux ont convergé par ce chemin jusqu'aux exploitations pendant de nombreuses années, piétinant et labourant le sol organique. Quarante ans après l'abandon, la physionomie des groupements végétaux atteste encore de ce fait (fig. 18).

4.2. *Les milieux artificiels*

Nous groupons dans cette catégorie des milieux ne présentant plus une végétation proche de celle des milieux naturels. Toutes les surfaces de tourbe

utilisées pour l'agriculture (prairies, pâturages, etc.) et les exploitations de tourbe horticole industrielle sont concernées par ce groupe.

4.2.1. *L'agriculture sur tourbe*

Au fond de la vallée des Ponts-de-Martel, toutes les surfaces agricoles ont été gagnées sur les marais. Actuellement, 120 ha de tourbières subsistent sur les 1500 ha initiaux (GRUNIG, comm. pers.).

Les apports d'engrais chimiques et naturels sont très importants et modifient la qualité de la tourbe.

L'épaisseur de tourbe, sous les champs, varie de manière très sensible en fonction de l'historique des exploitations passées. Ainsi, bien que proches de la tourbière actuelle, certaines parcelles ne présentent qu'un horizon organique très mince (25 à 60 cm d'épaisseur). D'autres secteurs, situés à quelques centaines de mètres des tourbières non exploitées ont encore une épaisse couche de matière organique (2 à 4 m de tourbe à sphaignes).

Nous avons abordé un grand éventail de cas dans toute la région des Ponts-de-Martel. Seuls les plus significatifs d'un point de vue pédologique seront discutés ici.

Un prélèvement a également été effectué aux Pontins où des terrains agricoles (Prairies de fauche) ont été gagnés sur le haut-marais.

L'agriculture sur tourbe épaisse (milieux Nos 26 et 27)

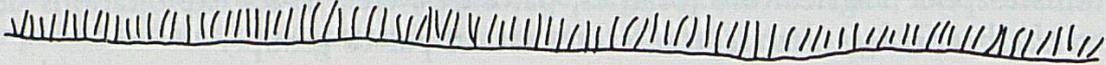
L'épaisseur de tourbe (1 m et plus) permet un isolement total des plantes avec le substrat minéral. La végétation ne se développe que grâce aux apports extérieurs. En creusant le sol, on remarque nettement que seule une mince couche de surface (7-8 cm) est décomposée. Elle est noire, grumeleuse et pâteuse alors qu'en profondeur la tourbe est brune, fibreuse. L'humidité est conservée parfaitement.

Certaines parcelles, situées au fond d'anciennes fosses d'exploitation sont tellement humides que seul le bétail y a accès pour la pâture. Les champs qui les surplombent, plus secs, sont également laissés au bétail car le poids des machines agricoles est trop important pour pouvoir y travailler en toute sécurité. La figure 19 présente cette situation, rencontrée au nord du Joratel, dans la vallée des Ponts-de-Martel.

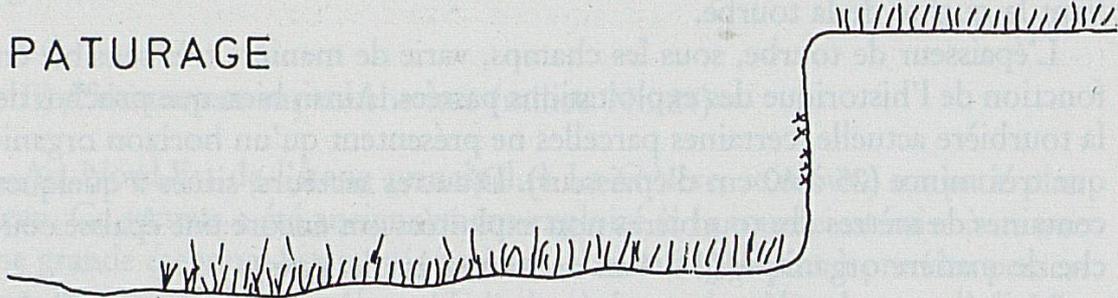
La végétation poussant au fond de l'ancienne creuse, avec la présence de la laïche brune (*Carex fusca*), de l'angélique (*Angelica silvestris*), de joncs (*Juncus sp.*) et de luzules (*Luzula sp.*), trahit l'existence d'une nappe phréatique, proche de la surface.

AGRICULTURE SUR TOURBE EPAISSE
PRAIRIE DE FAUCHE

27

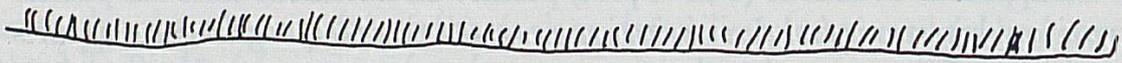


AGRICULTURE SUR TOURBE EPAISSE 26
PATURAGE



AGRICULTURE SUR TOURBE MINCE
UTILISATION MIXTE

28+29



EXPLOITATION INDUSTRIELLE

30

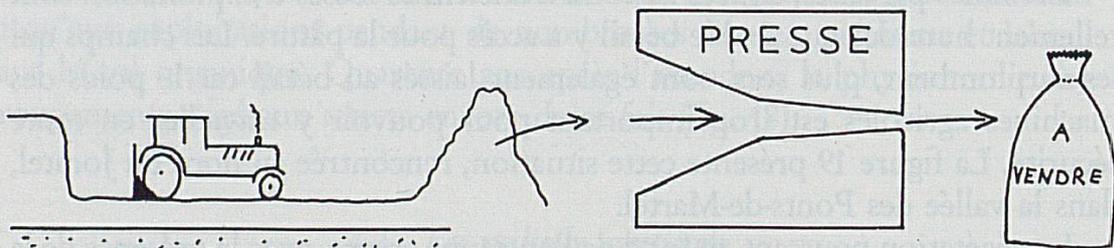


Fig. 19 Physionomie des milieux artificiels: agriculture sur tourbe épaisse (Nos 26 et 27), agriculture sur tourbe mince (Nos 28 et 29), exploitation de tourbe horticole (No 30).

La figure 19 présente une situation favorable pour la fauche. Le sol est plat et les machines peuvent bien manœuvrer. Certains champs sont proches des tourbières non modifiées alors que d'autres, à proximité des limites naturelles des tourbières originelles, en sont éloignés.

L'agriculture sur tourbe mince (milieux Nos 28 et 29)

Quand l'épaisseur de matière organique est peu importante (10-60 cm), la situation est plus simple. Les interactions entre les plantes et le substrat marneux sont grandes, l'activité biologique est forte (lombrics, campagnols) et la tourbe est totalement transformée sur toute la profondeur. Elle est noire, grumeleuse, sèche. L'agriculture y est intensive avec plusieurs coupes d'herbe par année et un pâturage en automne. On rencontre cette situation, présentée à la figure 19, soit aux limites des anciennes tourbières, là où l'épaisseur de tourbe est naturellement faible, soit quand l'exploitation de la tourbe a été totale avant la mise en agriculture, au centre de la vallée.

4.2.2. Les exploitations industrielles de tourbe horticole (milieu No 30)

La tourbe destinée à l'horticulture est exploitée selon des méthodes très destructrices. Toute la végétation est éliminée mécaniquement sur une grande surface (1-2 ha). Des drainages importants sont installés pour permettre l'assèchement des couches de surface. La tourbe est acheminée vers les bords par des machines spécialement conçues à cet effet, qui râclent toute la surface de l'exploitation. Une fois bien sèche et homogénéisée, la tourbe est chargée sur camion pour être acheminée vers les usines d'emballage. La figure 19 présente l'ensemble des différentes phases d'exploitation jusqu'à la mise en sacs et la vente.

L'exploitation est totale et, une fois achevée, laisse régulièrement un milieu non tourbeux qui est transformé en terrains agricoles.

Pour notre « catalogue », nous avons considéré les principaux stades d'une exploitation industrielle.

1. Echantillon prélevé sur la parcelle de tourbe exploitée. La surface du sol est croûtée sur quelques centimètres. Dessous, on trouve une tourbe à sphaignes typique.
2. Echantillon prélevé dans le tas de tourbe formé en bordure de l'exploitation.
3. Echantillon prélevé dans un sac de tourbe du commerce.

Provenance des tourbes (*)	Milieu No (selon description)	Type de milieu	Profondeur (cm)	Teneur en eau (%)	Teneur en cendres (%)	pH	Taux de fibres (%)	Indice pyro	Teneur en phénols (mg/g)
A. Milieux naturels intacts									
B	1	Ass. à scheuchzérie	0-10	90,3	6,2	4,2	58,8	7,8	2,6
B	2	Buttes et creux	0- 9	91,9	2,8	4,1	99,9	7,3	2,9
			9-20	92,3	3,8	4,2	98,0	11,3	4,5
			20-30	91,5	3,2	4,3	75,7	7,8	2,7
G	3	Pinède	0- 3	90,8	2,2	3,9	80,5	3,8	0,1
			3-10	92,9	1,3	3,8	71,1	7,1	1,7
			10-13	89,6	8,6	3,9	40,1	18,9	4,7
			13-24	86,7	6,1	4,1	44,8	10,6	2,5
G	4	Pessière naturelle	0- 4	90,8	2,5	3,6	76,7	5,9	2,9
			4- 8	83,3	2,0	3,5	48,0	9,0	5,1
			8-10	84,6	7,7	3,7	38,8	20,8	5,6
			10-30	86,5	5,8	3,9	53,7	9,2	2,9
P	5	Ass. à laîche brune	0-10	90,8	5,7	4,7	58,2	15,1	4,5
B. Milieux naturels modifiés									
Asséchés et râclés									
P	7	Pessière secondaire	0- 5	74,3	6,0	4,1	68,1	14,7	10,3
			5-15	76,4	8,2	3,6	68,8	13,9	7,4
			15-20	77,9	4,7	3,5	67,7	13,7	7,5
B	9	Lande à trichophore	0- 5	78,5	6,0	4,0	48,4	17,5	4,1
			5-12	83,0	8,8	4,1	38,2	14,6	3,1
			12-24	89,1	2,9	4,3	69,4	9,7	2,4
P	10	Tourbe nue	0- 3	81,9	3,3	3,6	41,5	20,7	9,8
			3-10	86,6	8,3	3,9	61,7	19,0	11,1
			10-15	87,6	8,3	3,8	50,2	19,6	9,1

Tableau 3 (pages 258 et 259): caractères physico-chimiques des tourbes: choix de 19 profils sur les 61 étudiés (55 échantillons sur 153).

<u>En régénération</u>									
B	13	Roselière	0-25	89,7	7,7	6,1	43,0	19,4	5,5
B	14	Ass. à laîche enflée, sans sphaignes	0- 9	90,6	2,4	5,3	68,8	10,5	4,9
			9-34	89,9	4,9	5,5	55,4	14,9	5,0
			34-50	89,6	21,6	6,4	69,9	12,8	3,8
			50-60	88,9	21,4	6,8	49,5	14,3	5,5
B	14	Ass. à laîche enflée, avec sphaignes	0- 5	94,1	3,2	4,5	94,3	6,1	2,7
			5-11	89,8	4,7	4,8	61,3	8,2	2,8
			11-19	85,8	3,9	4,9	46,0	11,5	1,9
			19-26	87,7	4,7	4,9	62,4	19,7	5,4
G	17	Creuse comblée	0-20	95,2	2,7	4,6	81,7	5,2	2,7
			20-30	94,5	3,1	4,6	34,7	10,8	3,0
			30-45	95,7	1,6	4,9	63,8	6,6	2,5
			45-60	96,1	3,6	5,4	68,1	8,5	2,2
<u>Piétinés</u>									
G	20	Sentier en pinède	0- 3	89,8	2,1	3,7	99,0	10,6	2,5
			3-11	89,7	2,0	3,7	72,9	8,3	2,3
			11-23	89,5	2,8	3,9	73,3	5,4	1,8
G	22	Sentier en pessière	0-12	84,2	7,3	4,3	65,0	13,2	3,6
			12-27	87,5	6,3	4,4	62,5	10,4	3,8
B	25	Chemin en bas-marais	0- 7	82,7	12,2	4,5	28,9	38,0	5,5
			7-15	83,6	22,4	4,7	38,0	73,6	9,0
			15-25	85,5	16,1	5,2	37,4	57,8	8,5
<u>C. Milieux artificiels</u>									
<u>Agriculture sur t. épaisse</u>									
B	26	Pâturé	0- 5	84,2	10,5	6,6	35,4	12,2	1,0
			5-40	87,1	15,0	7,0	46,6	24,2	5,3
			40-80	84,4	10,5	7,4	53,8	24,5	7,2
B	27	Fauché - fumé	0- 8	72,3	27,8	5,9	13,3	70,6	14,6
			8-30	87,6	11,6	4,4	71,7	18,9	4,3
			30-35	90,7	6,2	4,4	74,2	21,9	7,8
<u>Agriculture sur t. mince</u>									
B	29	Pâturé - fauché - fumé	0- 5	61,2	46,7	6,5	30,6	58,0	11,0
			5-30	66,3	45,0	6,7	30,1	80,9	21,1
			30-40	58,7	78,2	7,3	3,3	40,5	8,4
<u>Exploitation horticole</u>									
B	30	Zone râclée	0-10	81,6	15,2	5,6	86,6	30,9	8,2
			10-20	86,5	7,5	5,8	56,8	40,8	11,7
			20-40	84,6	20,5	5,9	32,5	79,9	25,0
(*) : B: Bois-des-Lattes G: Gruère P: Pontins									

CHAPITRE 5

CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES DES TOURBES DU JURA

5.1. Introduction

Une bonne connaissance des tourbières du Jura doit passer, comme on vient de le faire, par une description des milieux rencontrés, au point de vue topographique, historique, botanique ou zoologique. Ceci permet de comprendre le paysage des hauts-marais jurassiens et les liaisons existant entre ces divers compartiments.

Mais quand il s'agit — et c'est un de nos buts — de donner des bases scientifiques à la gestion des hauts-marais, cela ne suffit plus. La tourbe étant un sol, il est indispensable d'en analyser certains caractères, qui seront utilisés comme indicateurs de qualité. Ces indicateurs devront ensuite nous permettre:

- de définir les aspects physico-chimiques fondamentaux des milieux naturels intacts (témoins);
- de montrer l'influence des perturbations humaines sur la qualité de la tourbe;
- de définir les caractéristiques de la tourbe actuellement en régénération;
- et enfin, d'estimer le potentiel de régénération présenté par les milieux soumis à l'influence humaine, qu'ils soient encore naturels ou artificiels.

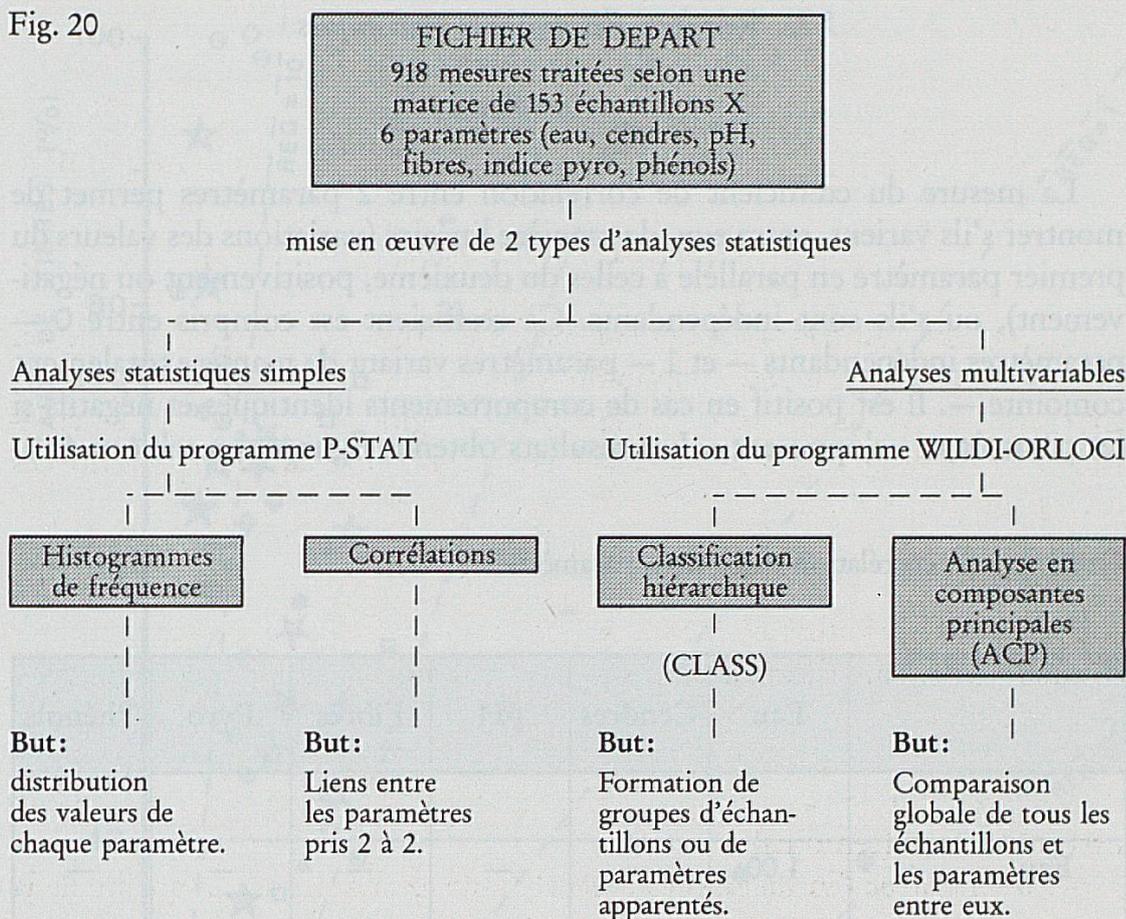
Du fichier de départ, comprenant 153 échantillons à 6 paramètres, nous avons extrait les valeurs concernant les 19 sols présentés à titre d'exemple dans le tableau 3. Leur profil pédologique sommaire figure en annexe.

Le traitement informatique des données a consisté en l'application de quatre techniques de calcul. Visant chacune à un but particulier, elles nous ont permis une interprétation globale intéressante, et riche d'enseignements. Leur utilisation est présentée dans la figure 20, de manière simplifiée.

Les deux méthodes multivariées utilisées sont très puissantes et permettent des interprétations nombreuses et variées. Dans le cadre de ce travail seront présentées uniquement les conclusions tirées des résultats, et non la méthodologie d'interprétation. Seules les indications indispensables seront mentionnées.

Nous allons passer en revue successivement les résultats des corrélations, de la classification hiérarchique (CLASS), et de l'analyse en composantes

Fig. 20



Remarques:

HISTOGRAMMES: — Sert de test de l'échantillonnage, qui s'est avéré bon

CLASS: — Vision statique et individuelle de chaque groupe;
indication de leurs caractères actuels.
— Hiérarchie des facteurs discriminants.

ACP: — Présentation graphique des degrés de parenté.
— Mise en évidence des processus pédologiques dominants.
— Mise en évidence des relations dynamiques entre processus,
paramètres et échantillons.
— Vision dynamique et globale des échantillons;
indication de leurs caractères potentiels.

Organigramme des analyses mathématiques effectuées.

principales (ACP) au paragraphe 5.2, puis nous présenterons les caractères des tourbes de chaque milieu (5.3), avant de mettre en évidence les processus généraux régissant les tourbes du Jura, par la synthèse de ces analyses (5.4).

5.2. Résultats des analyses statistiques

5.2.1. Corrélation

La mesure du coefficient de corrélation entre 2 paramètres permet de montrer s'ils varient, entre eux, de manière linéaire (variations des valeurs du premier paramètre en parallèle à celles du deuxième, positivement ou négativement), ou s'ils sont indépendants. Ce coefficient est compris entre 0 — paramètres indépendants — et 1 — paramètres variant de manière totalement conjointe —. Il est positif en cas de comportements identiques et négatifs si les paramètres «s'opposent». Les résultats obtenus figurent au tableau 4:

Coefficient de corrélation entre les 6 paramètres.

	Eau	Cendres	pH	Fibres	Pyro	Phénols
Eau	1.00	—	—	—	—	—
Cendres	<u>-0.74</u>	1.00	—	—	—	—
pH	-0.38	0.62	1.00	—	—	—
Fibres	0.62	-0.62	-0.42	1.00	—	—
Pyro	-0.61	0.65	0.51	<u>-0.71</u>	1.00	—
Phénols	-0.51	0.53	0.46	-0.58	<u>0.88</u>	1.00

Les trois valeurs les plus significatives sont:

- 1) 0.88: Lien très fort entre l'indice pyro et les phénols. Ceci suggère que les phénols représentent une partie importante des matières organiques humifiées, extraites au pyrophosphate. Ce résultat confirme des données déjà existantes (LEVESQUE, 1981, GOBAT et PORTAL, 1985).

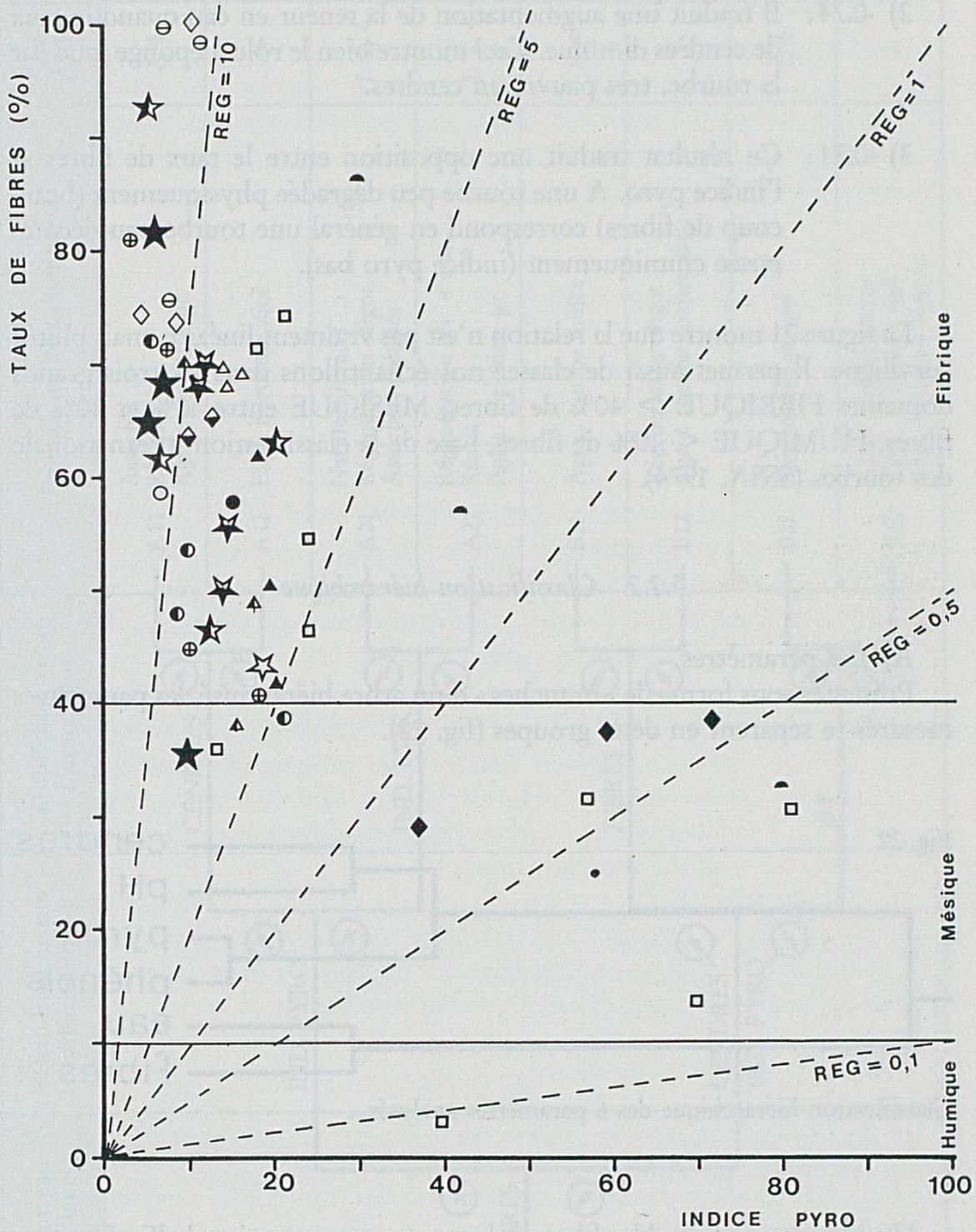


Fig. 21

Relation entre le taux de fibres et l'indice au pyrophosphate. Les lignes obliques représentent des valeurs de l'indice de régénéralité «REG». La légende est la même que pour la figure 24.

- 2) -0.74: Il traduit une augmentation de la teneur en eau quand le taux de cendres diminue. Ceci montre bien le rôle d'éponge joué par la tourbe, très pauvre en cendres.
- 3) -0.71: Ce résultat traduit une opposition entre le taux de fibres et l'indice pyro. A une tourbe peu dégradée physiquement (beaucoup de fibres) correspond en général une tourbe peu décomposée chimiquement (indice pyro bas).

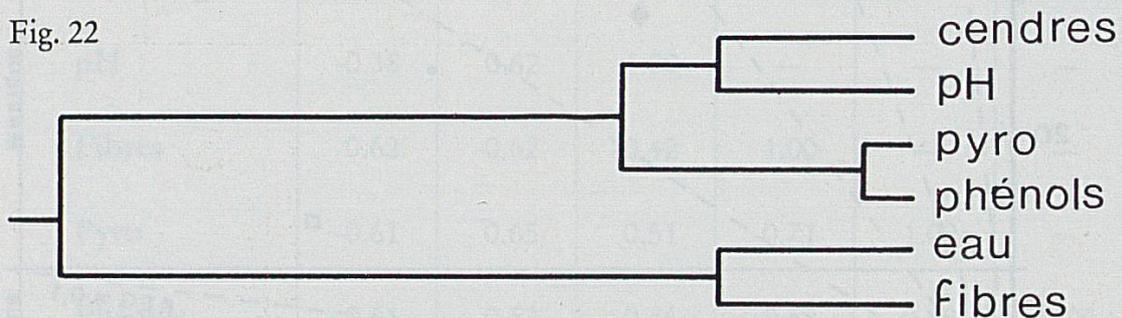
La figure 21 montre que la relation n'est pas vraiment linéaire, mais plutôt curviligne. Il permet aussi de classer nos échantillons dans les trois grands domaines FIBRIQUE > 40% de fibres, MESIQUE entre 10% et 40% de fibres, HUMIQUE < 10% de fibres, base de la classification internationale des tourbes (SSSA, 1974).

5.2.2. Classification hiérarchique

A) Les paramètres

Présentés sous forme de «branches» d'un arbre hiérarchisé, les paramètres mesurés se séparent en deux groupes (fig. 22).

Fig. 22



Classification hiérarchique des 6 paramètres analysés.

Un groupe comprend les fibres et la teneur en eau, et signale l'indispensable présence d'eau au maintien d'une tourbe très fibreuse.

Un groupe comprend l'indice pyro, les phénols, le taux de cendres, et le pH et traduit le lien entre la minéralisation de la tourbe (cendres) et son humification (pyro et phénols). Le pH est sous-apparenté au taux de cendres (présence de marne calcaire dans les horizons profonds), et les phénols à l'indice pyro.

	Premier niveau hiérarchique	Deuxième niveau hiérarchique	Troisième niveau hiérarchique	Types de milieux dominants	Sect. ACP	
153 échantillons de tourbe du Jura	TX DE FIBRES	IND. PYRO	CENDRES	A11 Asséchés Râclés Agric. t. épaisse pr.	2, 4	
				A12 Expl. horticole sacs	4	
			IND. PYRO	A21 Naturels intacts Régénération oligot. Asséchés, piétinés	1, 2, 4	
				A22 Régénération oli. + eut. Râclés Agric. t. épaisse pr.	1, 2, 4	
		CENDRES	IND. PYRO	FIBRES	B11 Agric. tourbe mince	3, 4
					B12 Régénération oligot. Agric. tourbe épaisse surf.	3
		CENDRES	IND. PYRO	pH	B21 Piétinés bas-marais	2, 3
					B22 Agric. tourbe mince Agric. t. épaisse surf. Expl. horticole terrain	3

Fig. 23: classification hiérarchique des 153 échantillons analysés.

B) Les échantillons

L'arbre hiérarchique des 153 échantillons est présenté de manière simplifiée (fig. 23). Au premier niveau hiérarchique correspond une séparation en deux groupes, eux-mêmes subdivisés à un deuxième niveau, puis à un troisième. Les comparaisons avec les résultats bruts d'analyse et les statistiques simples permettent de définir le critère de séparation de chaque niveau.

Premier niveau hiérarchique:

A ce niveau, les échantillons sont distribués en deux groupes de respectivement 110 (groupe A) et 43 échantillons (groupe B). *Le premier critère de différenciation est le taux de fibres.*

Groupe A: Taux de fibres élevé (moyenne de 66,2%). Ce groupe comprend, sauf exception, les milieux naturels intacts, les perturbations «douces» (drainage ou piétinement en tourbière, surfaces déboisées et râclées), les échantillons profonds de l'agriculture sur tourbe épaisse.

Groupe B: Taux de fibres bas (moyenne de 33,8%). Sauf exception également, ce groupe rassemble les milieux artificiels à perturbations «dures», comme l'agriculture sur tourbe mince, les échantillons de surface de l'agriculture sur tourbe épaisse, les exploitations horticoles.

Le taux de fibres apparaît aussi comme le premier critère pour l'ACP (c.f. 5.2.3.). L'état de dégradation physique des tourbes est donc le paramètre le plus important à connaître, mais il n'est pas suffisant.

Deuxième niveau hiérarchique:

— Le groupe A se divise en deux sous-groupes: A1 (12 échantillons) et A2 (98 échantillons) se distinguant en fonction de l'indice pyro.

Sous-groupe A1: Indice pyro plutôt élevé. Il comprend surtout les milieux asséchés ou râclés et l'agriculture sur tourbe épaisse, en profondeur.

Sous-groupe A2: Indice pyro plutôt bas. Il rassemble la quasi totalité des milieux naturels intacts, les milieux piétinés en haut-marais, les milieux en régénération.

Pour les échantillons fibreux (groupe A), l'état de décomposition chimique est le deuxième critère de différenciation. Ce fait est confirmé par l'ACP.

— Dans le groupe B apparaissent également deux sous-groupes: B1 (16 échantillons) et B2 (27 échantillons) sont séparés par une combinaison complémentaire du taux de cendres et de l'indice pyro, variant en sens inverse:

Sous-groupe B1: Taux de cendres élevé (39% en moyenne) et indice pyro bas (33 en moyenne). On y trouve les exploitations sur tourbe mince et les échantillons de surface quand la tourbe est épaisse (agriculture).

Sous-groupe B2: Taux de cendres bas (17% en moyenne) et indice pyro élevé (56 en moyenne). Les tourbes horticoles, le piétinement en bas-marais ainsi que certains échantillons d'agriculture sur tourbe mince sont rassemblés dans ce sous-groupe.

Pour les échantillons non fibreux (groupe B), le deuxième critère de différenciation est le comportement du couple «cendres-pyro». Il apparaît comme tel également sur le graphique de l'ACP.

Troisième niveau hiérarchique:

Permettant de séparer les 4 sous-groupes (A1, A2, B1, B2), en deux parties chacun, ce niveau nous autorise finalement à former 8 groupes d'échantillons. Les critères de choix sont variés, comme le montre la figure 23.

DISCUSSION

La concordance entre les 8 groupes créés par la classification automatique (types physico-chimiques des tourbes) et les types de milieux décrits sur des bases botaniques et historiques est très bonne. A l'exception des horizons profonds de l'agriculture sur tourbe épaisse, les échantillons des divers milieux ne se retrouvent que dans 1 ou 2 des groupes.

Il y a donc une relation directe entre le type de milieu (défini par sa végétation) et le type de tourbe (défini par l'analyse de 6 paramètres pédologiques).

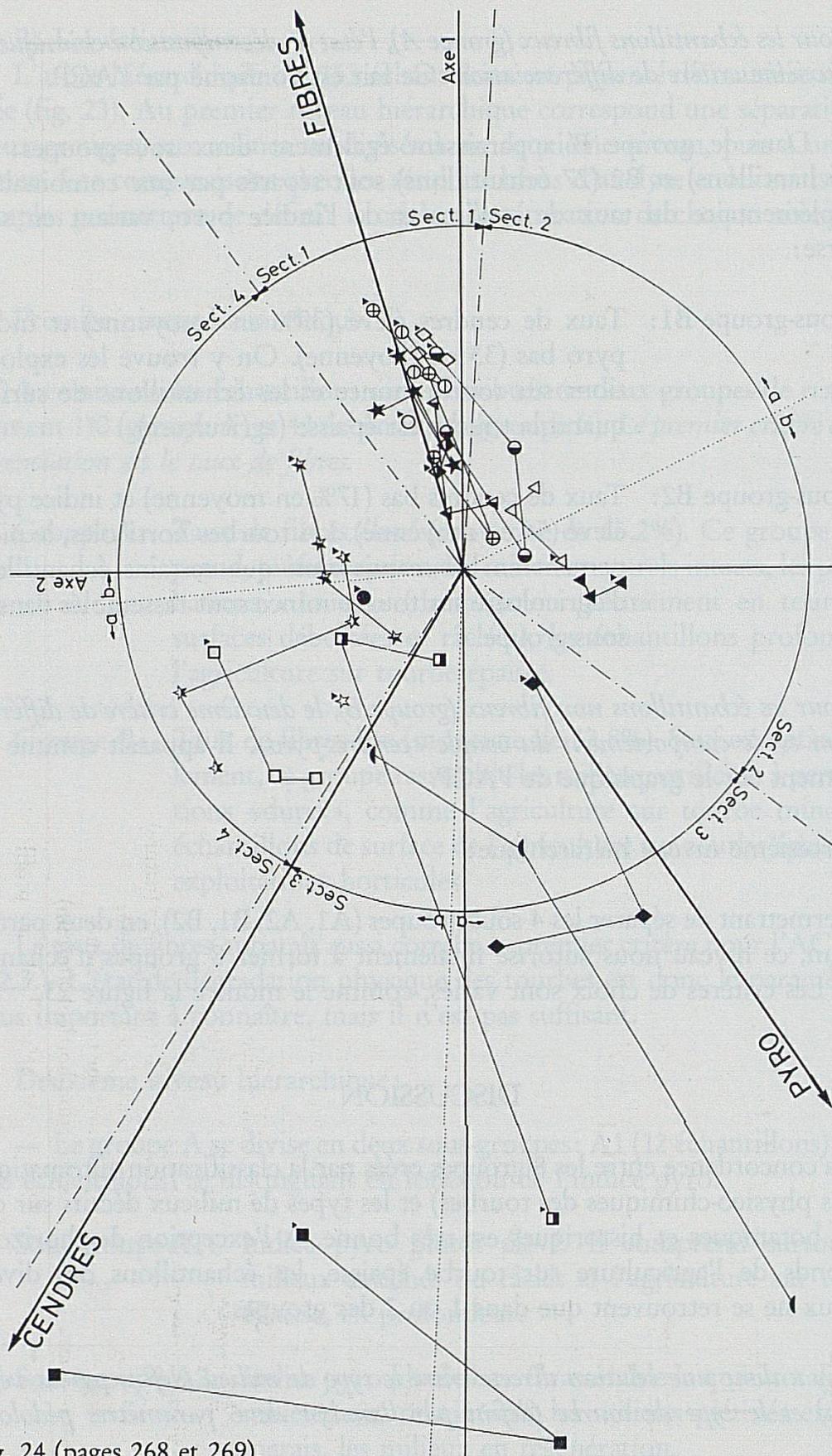


Fig. 24 (pages 268 et 269).

<u>Légende</u>		
	: Axes mathématiques	
	: Limites des secteurs	
	: Limites des sous-secteurs	
	: Paramètres principaux	
	: Profil de l'association à Scheuchzérie	
	: P. des buttes de hauts-marais	} Milieux naturels intacts
	: P. de la pinède	
	: P. de la pessière naturelle	
	: P. de l'association à laîche brune	
	: P. de la pessière asséchée	} Milieux naturels perturbés
	: P. de la lande à trichophore	
	: P. de la tourbe nue	
	: P. de la roselière (régénération eutrophe)	} Milieux en régénération
	: P. de l'ass. à laîche enflée, sans sphaignes	
	: Idem, avec sphaignes	
	: Creuse comblée	
	: Sentier en pinède	} Milieux piétinés
	: Sentier en pessière	
	: Sentier en bas-marais	
	: Agriculture sur tourbe épaisse (pâturage)	} Milieux artificiels
	: Idem, prairie fauchée et fumée	
	: Agriculture sur tourbe mince	
	: Exploitation horticole (terrain)	
	: Horizon de surface de chaque profil	

Analyse en composantes principales. Projection des paramètres fondamentaux (flèches) et d'un choix d'échantillons (symboles) dans le plan 1-2. Explication dans le texte.

Autrement dit, les diverses « modifications » du milieu naturel (drainage, piétinement, régénération, agriculture, etc.) correspondent à des caractères physico-chimiques de la tourbe qui leur sont propres.

On retrouve dans la qualité de la tourbe la *signature* de la modification subie. Ceci est fondamental à savoir si l'on veut parler de régénération, et peut être comparé aux données des milieux naturels intacts.

5.2.3. *L'analyse en composantes principales (ACP)*

— Généralités

Cette méthode permet d'ordonner les échantillons selon leurs liens avec les paramètres. Tous les points sont répartis, par calcul, selon leur degré de « parenté », dans un espace multidimensionnel. Afin de rendre celui-ci visualisable, on projette les points sur un plan formé par les deux dimensions qui reflètent au mieux l'ensemble (plan 1-2). La qualité de cette projection peut être testée; elle est exprimée en % de l'information conservée par projection, par rapport à l'information complète de l'espace non projeté, qui vaut 100%. Plus l'information conservée par le plan de projection est importante (valeurs > 50% p. ex.), plus sûre sera l'interprétation.

Dans notre cas, le plan de projection conserve le 84% de l'information de départ, ce qui est extrêmement bon. Les conclusions tirées reflètent vraiment la réalité des tourbes du Jura.

Le plan de projection des 153 échantillons et des 6 paramètres se trouve à la figure 24. Pour des commodités de lecture, nous n'avons dessiné que 19 exemples de profils pédologiques (1 à 4 échantillons) mais qui reflètent bien la diversité des 30 milieux mis en évidence. Les dessins globaux peuvent être consultés à l'Institut de Botanique.

— Interprétation résumée du plan 1-2 de l'ACP

A) les paramètres

- Ils sont projetés à l'extrémité de vecteurs (flèches) dont la longueur est proportionnelle au pouvoir explicatif de chacun. L'angle formé entre deux vecteurs en indique l'apparement: un angle aigu montre une liaison positive nette, alors que deux vecteurs opposés (angle plat) illustrent deux paramètres variant en sens contraire.

Trois paramètres apparaissent comme primordiaux (vecteurs les plus longs):

- le taux de fibres
- le taux de cendres
- l'indice pyro

Les trois autres (pH, humidité, phénols) sont de moindre importance. Les trois paramètres essentiels permettent de partager le plan 1-2 en quatre sec-

Secteur	ss-secteur	Caractère dominant	Caractère secondaire associé	Caractère opposé
1	—	Fibres	Teneur en eau	Cendres + pyro
2	2a 2b	Pyro + fibres Fibres dominants Pyro dominant	Phénols	Cendres
3	3a 3b	Cendres + pyro Pyro dominant Cendres dominants	Phénols	Fibres
4	4a 4b	Fibres + cendres Fibres dominants Cendres dominants	—	Pyro

Les principaux milieux concernés sont:

- secteur 1 : naturels intacts, régénération, piétinement
- secteur 2a: asséchés, drainés, naturels intacts
- secteur 2b: tourbe râclée
- secteur 3a: agriculture sur tourbe épaisse (surface), piétinement, exploitation horticole
- secteur 3b: agriculture sur tourbe mince
- secteur 4a: régénération, agriculture sur tourbe épaisse (profondeur)
- secteur 4b: régénération, bas-marais, tourbe horticole en sac

Tableau 5: délimitation des secteurs sur le plan 1-2 de l'ACP (explication dans le texte).

teurs, en fonction des angles existants entre eux (Tableau 5). A chaque secteur correspondent des fortes valeurs pour un ou deux caractères dominants et des faibles valeurs pour un ou deux caractères «opposés».

Les secteurs 2 à 4 sont subdivisés en deux, de manière à bien faire la relation avec les secteurs voisins. En «tournant» autour du centre, on passe à travers tous les types de tourbes mis en évidence et on en voit les relations.

B) Les échantillons

En majorité, les 153 échantillons s'ordonnent dans les différents secteurs selon le type de milieu. A l'instar de la classification automatique, la correspondance entre le type de milieu et sa tourbe est très bonne.

Les échantillons dont le vecteur (non dessiné ici), centré à l'origine, forme un angle faible avec un paramètre, seront très typés pour ce paramètre. Ainsi les milieux intacts, tous très proches angulairement du vecteur «fibres», sont caractérisés avant tout par un taux de fibres élevé. Autre exemple: les échantillons des milieux agricoles sur tourbe mince forment souvent un angle aigu avec le taux de cendres. Leur tourbe est donc très minéralisée, par proximité de la marne sous-jacente et effet des engrais qui la dénaturent.

5.3. *Caractères des tourbes de chaque milieu*

5.3.1. *Les milieux naturels intacts*

Gouilles, Buttes et Replats, Pinède (numéros 1-3 de la description des milieux, page 236).

Les caractères de ces tourbes sont très proches, puisque tous ces milieux figurent dans le secteur 1. Le taux de fibres est élevé, le taux de cendres et l'indice pyro très bas. Ce sont les références naturelles idéales, vers lesquelles doivent tendre les efforts de régénération.

L'analyse effectuée est trop globale pour différencier ces trois milieux. Des critères plus fins sont nécessaires, comme la mesure du rapport acides fulviques/acides humiques, ou l'étude par spectre infrarouge des acides humiques. Des résultats publiés ailleurs (GOBAT et PORTAL, 1985) ont montré qu'une évolution fine était perceptible entre ces trois milieux, avec notamment une légère dégradation de la tourbe à certaines profondeurs sous la pinède, dans la zone de battement de la nappe.

Pessière (numéro 4)

Très semblables aux précédentes, ces tourbes montrent une légère augmentation de l'indice pyro et des phénols, due au type de litière, et non à des processus de décomposition. En effet, les aiguilles d'épicéas sont riches en monophénols, comme l'acide salicylique p. ex. (c.f. également régénération numéro 19).

Bas-marais acide (numéro 5)

L'épaisseur moindre de tourbe se traduit par une position des échantillons dans le secteur 4b, riche à la fois en fibres provenant des sphaignes, et en minéraux, issus de la marne sous-jacente et remontés en surface par les plantes supérieures (GOBAT, 1984).

5.3.2. *Les milieux naturels modifiés*

A) Les milieux asséchés

Chenal de drainage, Pessière secondaire (numéros 6-7)

Leur situation sur le plan est très semblable à celle des milieux intacts, mais légèrement décalée vers l'axe «pyro». L'assèchement amène une décomposition chimique plus forte (augmentation de la matière organique humifiée), mais qui reste, relativement à d'autres atteintes, peu dommageable.

B) Les milieux déboisés et râclés

Landes, tourbe nue, bétulaie, prairie maigre (numéros 8-12)

Les milieux déboisés et râclés montrent des qualités de tourbe diverses, mais encore relativement proches des conditions naturelles. On observe:

- soit une tourbe presque identique à celle des milieux naturels (landes à callune et à trichophore).
- soit une tourbe à indice pyro élevé et forte décomposition chimique (tourbe nue, bétulaie sur tourbe nue).
- soit enfin une tourbe à taux de cendres élevé (prairie maigre des Pontins, tourbe râclée pour l'exploitation industrielle).

Il faut noter l'effet protecteur de la végétation, type «tourbière»: les endroits uniquement déboisés (landes à callune) ou râclés et recolonisés (landes à trichophore) offrent une tourbe d'encore bonne qualité, à potentiel de régénération élevé. En revanche, les tourbes nues sont bien plus dégradées, et montrent une nette augmentation de l'indice pyro. L'observation montre qu'elles sont soumises directement à l'action des facteurs climatiques: très humides à la fonte des neiges, très sèches en été, avec formation d'une croûte durcie se réhumectant mal, forte absorption de chaleur à cause de la teinte noire (jusqu'à 60° C au soleil!), etc. Le taux de fibres reste élevé, mais les particules sont en moyenne plus petites.

C) Les milieux en régénération

Quatre types principaux de régénération sont mis en évidence par l'analyse de tourbe, plus un type «accessoire»:

1. Régénération par tourbe eutrophe: roselière (numéro 13, secteur 4a).
2. Régénération par tourbe oligotrophe sans sphaignes: ass. à laîche enflée (type 1) (numéro 14, secteur 4a).
3. Régénération par tourbe oligotrophe avec sphaignes, en milieu fibrocendieux: ass. à laîche enflée (type 2) (numéro 14, secteur 4b).
4. Régénération par tourbe oligotrophe avec sphaignes, en milieu fibreux (secteur 1): bétulaie (numéro 15), chenal comblé (numéro 16), creuse comblée (numéro 17), replat sur tourbe exploitée (numéro 18).
5. Régénération par tourbe oligotrophe: forêt mixte (numéro 19, secteur 3a).

Les types de régénération 1-4 s'ordonnent selon une suite logique, en «tournant» autour de l'origine, dans le sens des aiguilles d'une montre. Cette suite correspond d'ailleurs aux étapes naturelles de formation du haut-marais (c.f. fig. 5); les différentes situations observées (numéros 13 à 18) en illustrent les phases successives, ce qui prouve l'édification actuelle de hauts-marais dans le Jura, sous certaines conditions favorables.

Il est à noter aussi que les perturbations *douces*, liées à l'exploitation *artisanale* (drains superficiels, creuses, etc.) créent des conditions favorables à la régénération et contribuent à diversifier le milieu naturel.

La position particulière du type 5 est due à la litière des épicéas (c.f. plus haut), à indice pyro élevé. La régénération y est plus lente, et l'épicéa apparaît comme un frein à un redémarrage aisé de l'édification de tourbe.

D) Les milieux piétinés, divers sentiers (numéros 20-25)

Le piétinement provoque deux processus fort différents:

— Un maintien presque absolu des conditions initiales, qui concerne les sentiers en haut-marais: pinède, pessière, tourbe nue (secteur 1).

— Une élimination des fibres au profit des fractions fines et une augmentation de l'indice pyro, ayant trait au piétinement en bas-marais (ancien chemin) et sur lande (bétail de La Vraconnaz): les points se situent dans le secteur 3a.

Le piétinement en haut-marais apparaît ainsi peu dommageable pour la tourbe (ce qui n'est pas le cas pour la végétation!), et facilement réversible. La preuve en est d'ailleurs faite à La Gruère, où, deux ans après la construction du chemin en rondins, les sphaignes reprennent vie à proximité.

Le piétinement est beaucoup plus grave en périphérie de la tourbière; où la dégradation chimique est très forte (secteur 3a s'il y a piétinement, secteur 4b si les bas-marais sont intacts).

La nécessité d'une zone tampon autour des hauts-marais se justifie une fois de plus, elle qui a déjà été demandée pour des raisons hydrologiques ou pédologiques (BOURNERIAS, 1973, BUTTLER et CORNALI, 1983, GOBAT, 1984a).

5.3.3. Les milieux artificiels

La différence est nette entre l'agriculture sur tourbe épaisse et sur tourbe mince.

A) L'agriculture sur tourbe épaisse (numéros 26-27)

Les échantillons se répartissent dans deux secteurs nettement séparés:

— dans le secteur 4a (domaine *cedres-fibres*): échantillons de toutes profondeurs pour les zones uniquement pâturées et échantillons profonds pour les zones pâturées et fauchées-fumées.

— dans le secteur 3a (domaine *pyro-cedres*): échantillons de surface pour les zones pâturées et fauchées-fumées.

Ces exemples sont fort intéressants puisqu'ils montrent que *l'agriculture sur tourbe épaisse ne modifie de manière forte que les horizons de surface du sol*

(0-20 cm). En dessous, la tourbe n'est certes plus intacte (secteur 4a au lieu de 1), mais elle se trouve encore dans le même secteur que certains cas de régénération. Il est donc probable que, moyennant un râclage des 20 premiers centimètres, irrécupérables à cause d'une décomposition trop élevée, on puisse régénérer certaines tourbes soumises à l'agriculture. Ceci est capital en vue d'échanges éventuels de parcelles lors de remaniements fonciers.

Il est à noter aussi que les tourbes uniquement pâturées, sans fumure artificielle ni fauchage, sont potentiellement régénérables jusqu'en surface. La fumure et la fauche, alternées avec la pâture, dégradent la tourbe bien plus que la seule pâture. Le phénomène est accéléré par la présence de drains profonds, puisqu'on vient de voir que l'assèchement, de manière générale, contribue à élever l'indice pyro.

B) L'agriculture sur tourbe mince (numéros 28-29)

L'agriculture sur tourbe mince est l'atteinte qui provoque la plus grande dégradation de la tourbe (échantillons situés dans le secteur 3, pyro-cendres).

Toutes les situations montrent à la fois :

- une chute du taux de fibres (échantillons humiques selon la figure 21).
- une augmentation du taux de cendres (remontée d'éléments minéraux par labourage ou lombrics).
- une augmentation de la décomposition chimique due à la fumure et aux drainages.

Toutes ces tourbes sont irrécupérables pour la régénération : aucun cas de redémarrage n'est observé dans le secteur 3 (exception expliquée : le 19), à cause avant tout de l'indice pyro trop élevé. La décomposition chimique paraît être le facteur le plus dommageable pour la tourbe, avant la chute du taux de fibres ou l'augmentation des cendres.

C) Les exploitations industrielles de tourbe horticole

Ce type d'exploitation (numéro 30) peut être qualifié, à l'instar de l'agriculture, de perturbation « dure ». Ses effets sur la tourbe sont très différents de ceux de l'exploitation artisanale pour le chauffage. Les zones préparées par les machines sont proches des conditions agricoles avec un indice pyro et un taux de cendres élevés. La tourbe du marché est par contre plus fibreuse, sans

doute par élimination des minéraux dissous dans l'eau et de certains composés humiques solubles. Elle serait donc à nouveau favorable à la régénération, mais c'est un moyen un peu cher d'y parvenir!

5.3.4. Conclusions

Les perturbations se classent en deux groupes:

- perturbations douces à tourbe potentiellement régénérable, comme le piétinement en haut-marais, le drainage de surface, le déboisement et le râclage, l'agriculture sur tourbe épaisse (horizons profonds).
- perturbations dures à tourbe non régénérable, comme l'exploitation horticole, le piétinement en bas-marais, l'agriculture sur tourbe mince.

5.4. Processus généraux mis en évidence par les analyses statistiques

En tenant compte de tous les échantillons, la figure 24 peut être redessinée et simplifiée de manière à montrer l'amplitude de répartition des différents milieux. Cette nouvelle version (figure 25) présente, sous forme de cercles concentriques, la distribution des échantillons en fonction des 3 paramètres clefs: le taux de fibres, l'indice pyro et le taux de cendres.

Elle met en évidence:

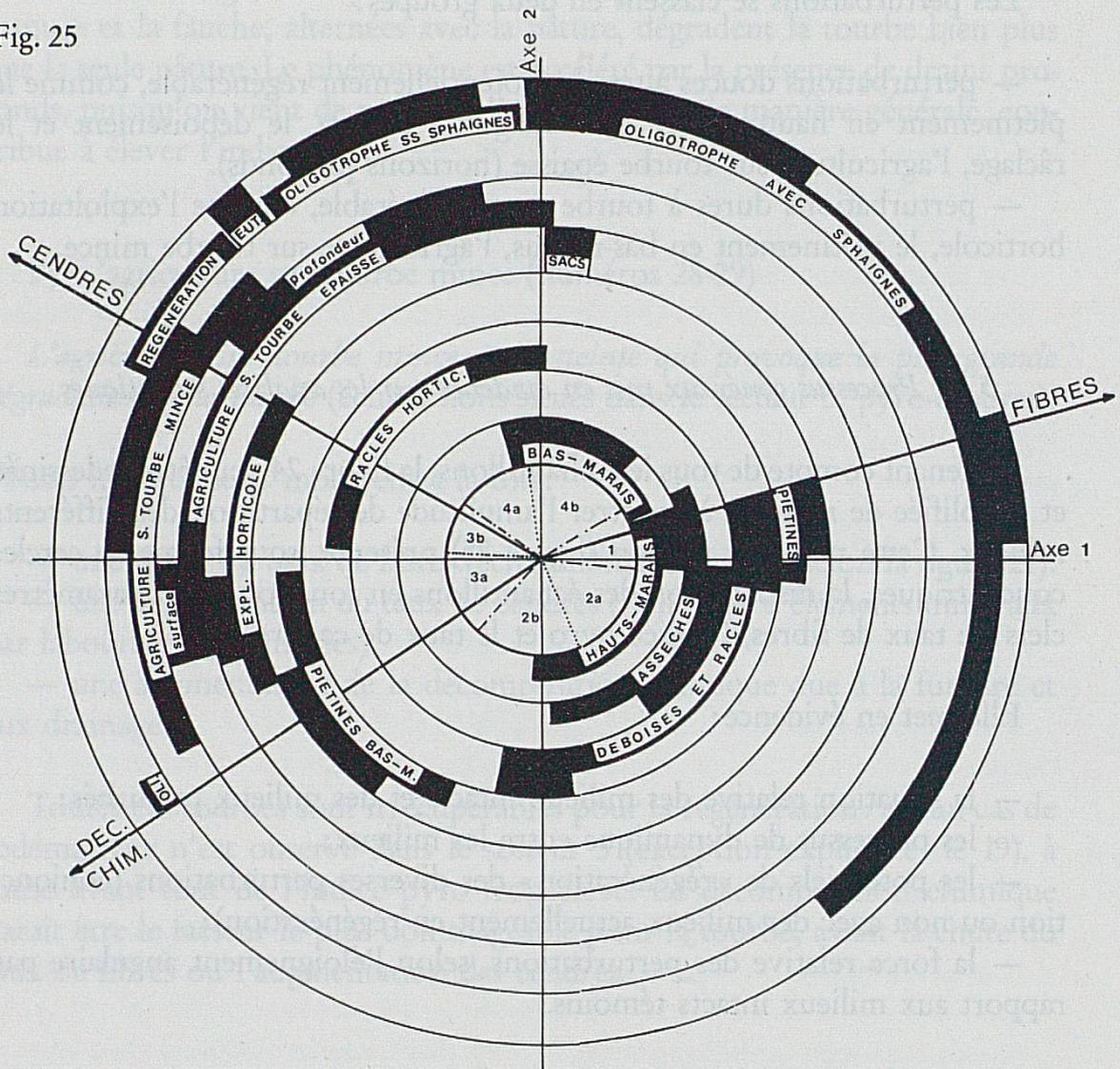
- la situation relative des milieux intacts et des milieux perturbés;
- les processus de dynamique entre les milieux;
- les potentiels de «régénération» des diverses perturbations (conjonction ou non avec des milieux actuellement en régénération);
- la force relative des perturbations, selon l'éloignement angulaire par rapport aux milieux intacts témoins.

De manière globale, on voit ainsi que:

- les processus «tournent» autour du centre, dans le sens des aiguilles d'une montre.
- les perturbations douces «entraînent» les tourbes en direction du pyro (décomposition chimique), de manière faible ou moyenne (passage du secteur 1 au secteur 2);

- les perturbations dures «atteignent» le secteur 3 (pyro-cendres), à l'opposé des milieux intacts, et sans régénération possible;
- la régénération se fait du secteur 4a au secteur 1, par diminution progressive des cendres et augmentation du taux de fibres, avec des phases successives clairement délimitées;

Fig. 25



Relations dynamiques entre les divers milieux et perturbations, sur le plan 1-2 de l'ACP. Les surfaces concentriques noires montrent l'amplitude de répartition des divers milieux. Mince = présence faible, épais = présence forte.

— la régénération est absente des secteurs à indice pyro élevé (secteurs 2b, 3a, 3b). Une décomposition chimique avancée de la tourbe (beaucoup de matière organique humifiée) semble exclure toute régénération.

— le pH (acidité de la tourbe), considéré en général comme le facteur écologique principal dans ces milieux ne semble pas jouer un grand rôle ici. S'il explique la répartition actuelle de la végétation, il n'apparaît pas comme limitant pour la régénération. Les preuves analytiques confirment ici certaines observations de terrain, notamment chez ROYER et al. (1978) et GOBAT (1984).

CHAPITRE 6

RÉFLEXIONS SUR LA RÉGÉNÉRATION DES TOURBIÈRES DU JURA

6.1. *La régénération à travers les analyses statistiques*

La figure 25, et notamment l'opposition des caractères «fibres» et «pyro», nous a suggéré le calcul d'un indice simple, devant refléter le potentiel de régénération de chaque type de tourbe (INDICE «REG»).

Le rapport entre le taux de fibres et l'indice pyro nous paraît être un excellent indicateur:

$$\text{Indice de régénération, REG} = \frac{\text{Taux de fibres (\%)}}{\text{Indice pyro}}$$

Cet indice varie de 0 (pas de fibres) à 30 environ (tourbe oligotrophe à sphaignes vivantes). Plus il est élevé, plus le potentiel de régénération est grand. Le report des valeurs sur le plan 1-2, à l'endroit des échantillons (figure 25), montre que les milieux en régénération «débutent» et «se terminent» environ à la valeur de 1 de l'indice REG. Toutes les tourbes non régénérables ont des valeurs comprises entre 0 et 1. Les perturbations douces sont situées entre 1 et 10 environ, les milieux intacts et en régénération entre 10 et 30.

Les valeurs moyennes de chaque milieu sont les suivantes: (tableau 6 et figure 26).

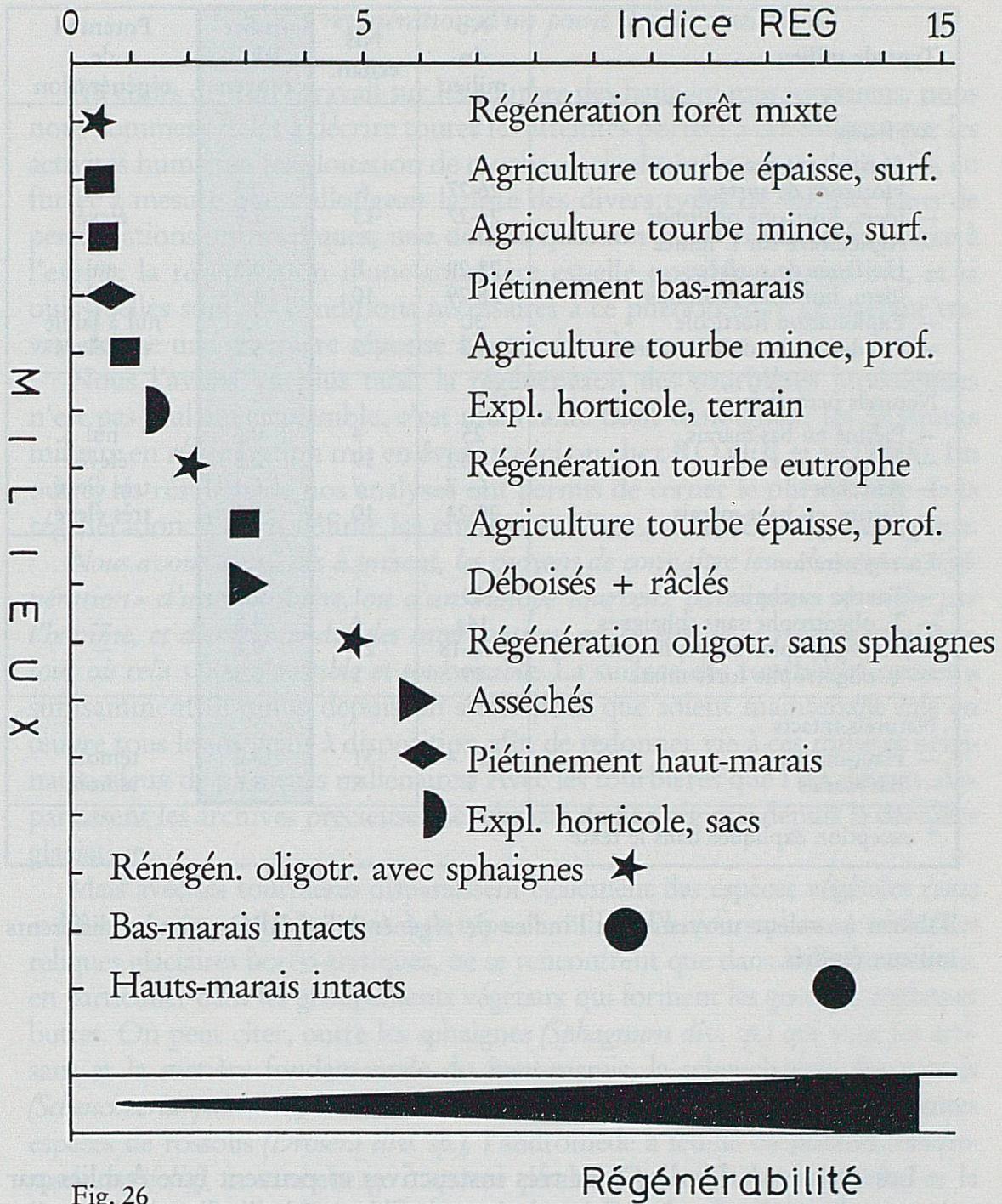


Fig. 26

Indice de régénérabilité moyen pour les milieux étudiés. La limite de régénération possible est à REG = 1.

Type de milieu	No du milieu	NB échan.	Indice REG moyen	Potentiel de régénération
Artificiels				
— Agriculture sur t. épaisse Horizons de surface	26-27	6	0.3	nul
— Idem, horizons profonds	26-27	13	2.8	élevé
— Agriculture sur t. mince Horizons de surface	28-29	6	0.5	nul
— Idem, horizons profonds	28-29	10	0.9	nul
— Exploitation horticole	30	3	1.5	nul à faible
— Sac de tourbe du commerce	30	2	6.2	très élevé
Naturels perturbés				
— Piétiné en bas-marais	25	4	0.6	nul
— Déboisés et râclés	8-12	19	2.8	élevé
— Asséchés	6- 7	9	6.1	très élevé
— Piétiné en haut-marais	20-24	10	6.1	très élevé
En régénération				
— Tourbe eutrophe	13	1	2.2	—
— T. oligotrophe sans sphaignes	14a	4	4.8	—
— T. oligotrophe avec sphaignes	14b-18	25	9.6	—
— T. oligotrophe forêt mixte	19	1	0.3*	—
Naturels intacts				
— Haut-marais	1- 4	31	13.2	témoin
— Bas-marais	5	8	9.6	témoin
* exception expliquée dans le texte				

Tableau 6: valeur moyenne de l'indice de régénéralité REG pour les différents milieux étudiés.

Les valeurs de l'indice sont très instructives et peuvent être établies par deux analyses simples, la mesure du taux de fibres et de l'indice de décomposition au pyrophosphate de sodium. Elles permettent de savoir rapidement si une tourbe est ou non régénéralable, notamment à l'aide d'un graphe tel que la figure 21.

Mais pour que la régénéralion se fasse effectivement, d'autres critères doivent entrer en ligne de compte, et notamment la présence d'une nappe d'eau peu fluctuante. L'indice REG nous montre uniquement si les chances de redémarrage existent, ou si tout espoir doit être abandonné dès le départ.

6.2. La régénération d'un point de vue naturel

Au cours de notre travail sur les tourbes des hauts-marais jurassiens, nous nous sommes attelés à décrire toutes les atteintes portées à ces milieux par les activités humaines (exploitation de tourbe, agriculture, tourisme, etc.). Et, au fur et à mesure que s'allongeait la liste des divers types de milieux issus de perturbations anthropiques, une double question nous revenait sans cesse à l'esprit: la régénération d'une tourbière est-elle possible aujourd'hui, et si oui, quelles sont les conditions nécessaires à ce phénomène? Le présent travail donne une première réponse à cette double question.

Nous l'avons vu plus tard, la régénération des tourbières jurassiennes n'est pas seulement possible, c'est une réalité dont témoignent les différents milieux en régénération mis en évidence ici ou chez ROYER et al. (1978). En outre, les résultats de nos analyses ont permis de cerner le phénomène de la régénération et d'en définir les conditions d'un point de vue pédologique.

Nous avons ainsi, dès à présent, les moyens de connaître les « chances de régénération » d'une tourbière, ou d'un biotope tourbeux particulier, perturbé par l'homme, et d'entreprendre des interventions en faveur de la régénération partout où cela s'avère possible et souhaitable. La surface des tourbières suisses a suffisamment diminué depuis un siècle pour que soient maintenant mis en œuvre tous les moyens à disposition afin de redonner vie à ces milieux originaux, vieux de plusieurs millénaires. Avec les tourbières que l'on détruit, disparaissent les archives précieuses des climats de nos régions depuis la dernière glaciation.

Mais avec les tourbières disparaissent également des espèces végétales rares et liées souvent exclusivement à ce type de milieu. Plusieurs plantes, véritables reliques glaciaires boréo-arctiques, ne se rencontrent que dans les hauts-marais, en particulier dans les groupements végétaux qui forment les gouilles, replats et buttes. On peut citer, outre les sphaignes (*Sphagnum div. sp.*) qui sont les artisans et la matière fondamentale du haut-marais, la scheuchzérie des marais (*Scheuchzeria palustris*), la laïche des bourbiers (*Carex limosa*), les différentes espèces de rossolis (*Drosera div. sp.*), l'andromède à feuille de polium (*Andromeda polifolia*), la canneberge à quatre pétales (*Oxycoccus quadripetalus*) et la linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*). D'autres espèces se rencontrent surtout dans les marais de transition (c.f. 2.1.), tels le trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*), le comaret des marais (*Comarum palustre*) et la laïche à longs rhizomes (*Carex chordorrhiza*). Or, et c'est là un point intéressant à noter, les milieux en régénération des hauts-marais offrent des refuges importants à quantités d'espèces rares des marais de transition et des bas-marais acides. Ceux-ci sont souvent les premiers touchés par une perturbation car situés en bordure de tourbières (prés à litière engraisés, drainages, etc.).

La régénération permet non seulement de panser les plaies infligées aux tourbières, mais également de rediversifier ces milieux, dont il ne reste souvent plus que les pinèdes et les pessières, les zones humides ayant disparu même à la suite de drainages très peu profonds.

La disparition de certaines espèces végétales peut également entraîner celles d'espèces animales qui leur sont étroitement liées. La chenille du Nacré (*Argyronome aquilonaris*), un papillon, vit presque exclusivement de la canneberge, et celle de cet autre papillon, le coliaide solitaire (*Colias pallescens*) a besoin de l'airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*). Les études du Dr Willy Matthey, de l'Université de Neuchâtel, sur l'entomofaune des tourbières met également bien en évidence l'importance de ces milieux pour de nombreux insectes. Là encore, les milieux en régénération jouent un rôle de diversification notoire.

Enfin, situés en fin de chaîne alimentaire, certains vertébrés comme le lézard vivipare (*Lacerta vivipara*), la vipère péliade (*Vipera berus*) et le pipit farlouse (*Anthus pratensis*) sont eux aussi des habitants caractéristiques des hauts-marais jurassiens et en particulier de milieux en régénération.

Comme on le voit, favoriser la régénération d'un haut-marais, c'est contribuer activement au maintien d'espèces animales et végétales rares et souvent protégées par notre législation, c'est revitaliser les processus évolutifs naturels des hauts-marais et rediversifier ces derniers. S'il n'est plus pensable de recouvrer les surfaces de l'extension initiale des tourbières, leur destruction étant irréversible dans la plupart des cas, il est par contre primordial de maintenir toutes les surfaces existantes, même très petites. A la notion d'une grande surface initiale d'un seul tenant doit se substituer aujourd'hui celle d'un réseau de petits hauts-marais présentant une grande diversité, et capables de préserver une flore et une faune originale, partie intégrante de notre patrimoine.

6.3. La régénération dans son aspect pratique

Quelques exemples de tentatives pratiques de régénération en réponse à diverses perturbations anthropiques permettent d'illustrer notre propos.

A) Les problèmes liés à l'Étang de La Gruère

Haut-lieu touristique des Franches-Montagnes, la tourbière de La Gruère a beaucoup souffert du piétinement des promeneurs, qui met les racines des arbres à nu, qui érode les berges de l'étang et qui modifie la végétation en

place sans pour autant altérer trop profondément les propriétés des tourbes (indice REG entre 4.9 et 9.3). Deux solutions ont été envisagées pour limiter les dégâts. Les travaux sont dirigés par M. Jean Zahnd, des Cerlatez, sous l'égide de Pro Natura Helvetica et de l'Office des eaux et de la protection de la nature du canton du Jura:

1) Un simple fil a été tendu entre les arbres autour d'un des secteurs les plus sensibles du haut-marais, dénudé par le piétinement. La réponse de la tourbière ne s'est pas fait attendre. En présence de conditions écologiques optimales, la végétation a refait son apparition sur des plages de tourbe nue dès la première saison. Si cette végétation est encore pionnière, surtout constituée de laîche blanchâtre (*Carex canescens*), il ne fait aucun doute qu'elle retournera dans un avenir proche à la pineraie à sphaignes climacique.

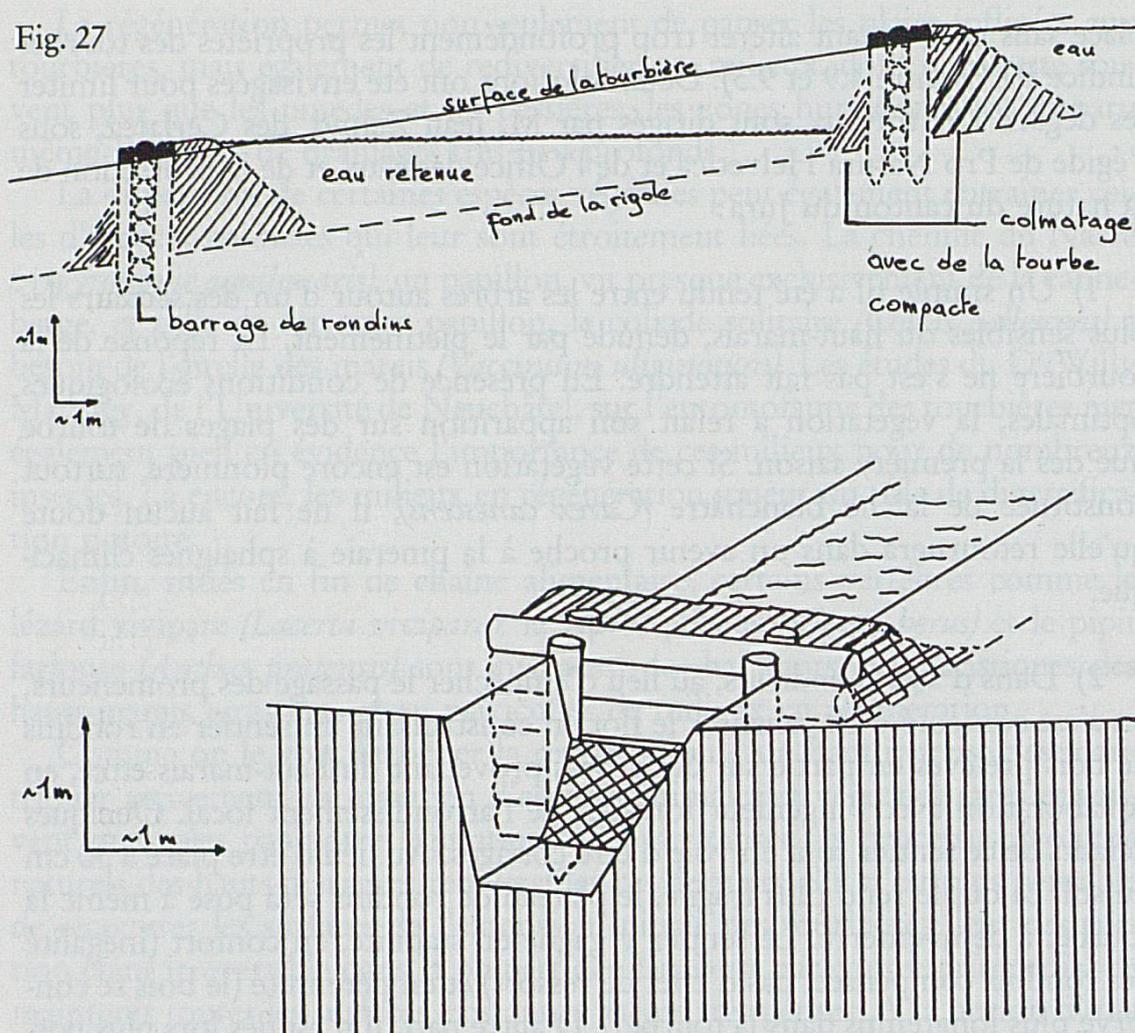
2) Dans d'autres endroits, au lieu d'empêcher le passage des promeneurs, on s'est contenté d'en canaliser le flot en construisant un sentier en rondins de bois prélevés en partie sur des arbres provenant du haut-marais et ce, en collaboration avec l'ingénieur forestier de l'arrondissement local. Quelques défauts de ce sentier sont en voie d'être corrigés. Au lieu d'être placé à 30 cm du sol, ce qui le rend plus fragile, le plateau de rondins sera posé à même la tourbe, à demi-enterré. Le sentier y gagne en stabilité, en confort (inégalité des rondins compensée, pas d'effet de ressort) et en pérennité (le bois se conserve plus longtemps dans la tourbe!). D'autre part, il n'est dès lors plus possible d'abandonner ses déchets (pique-nique ou autres!) sous le sentier! Là également, les résultats furent prompts et la végétation reprend peu à peu ses droits.

B) Le comblement de canaux de drainage

Toujours à La Gruère, plusieurs canaux de drainage (1,5 à 2 m de prof.) avaient été creusés pour augmenter les réserves en eaux de l'étang, qui alimentait un moulin transformé en scierie. Depuis la conversion de la scierie à l'électricité, ces canaux de drainage n'ont plus leur raison d'être, mais continuent à assécher le haut-marais en favorisant l'implantation de l'épicéa au dépens du pin à crochet.

Afin de renverser le cours de cette évolution et de tenter de retrouver des conditions, notamment hydrologiques, plus proches de l'état naturel, des barrages, construits selon le modèle de la figure 27, ont été édifiés dans quelques uns de ces canaux de drainage.

Fig. 27



Plan d'un barrage pour combler un ancien chenal de drainage.

Là encore, les instances forestières ont été contactées qui, plutôt que de laisser périr les épicéas sur pied suite au rehaussement de la nappe, les ont abattus puis évacués par hélicoptère grâce à l'aimable concours de l'armée. L'usage de l'hélicoptère se justifiait pleinement pour éviter les gros dégâts occasionnés par les machines traditionnelles dans le sol spongieux du haut-marais.

Quant à la régénération de ces nouveaux milieux, seul l'avenir permettra de se prononcer. Néanmoins, il existe, à La Gruère, un cas où un canal s'est spontanément comblé (numéro 16 de la description), et où la régénération est constatée. Seule la notion du temps nécessaire nous manque encore.

C) Le comblement des creuses d'exploitations artisanales

Parmi les cas où nous avons eu l'occasion d'observer des phénomènes de régénération, celui des creuses est certainement le plus riche d'enseignement quant aux conditions de redémarrage, qui sont diverses :

a) Drainage profond avec assèchement du milieu, parfois infiltration d'eau minéralisée: pas de régénération observée (plaine centrale des Pontins) ou végétation secondaire (lande à Trichophore des Ponts-de-Martel).

b) Exploitation quasi totale de la tourbe, contact des végétaux avec la marne sous-jacente, mais eau oligotrophe en suffisance: retour à des stades évolutifs pionniers avec des roselières. La régénération est lente (Bois-des-Lattes).

c) Drainage superficiel faible sans infiltration d'eau minéralisée, couche de tourbe assez épaisse pour isoler la végétation de la marne: la régénération reste lente (10 cm en 40 ans pour le replat de La Gruère).

d) Drainage nul ou creuse atteignant le niveau de la nappe après le drainage, eau abondante, oligotrophe, acide, couche de tourbe assez épaisse pour isoler la végétation de la marne: la régénération est rapide (> 60 cm en 40 ans à La Gruère).

CONCLUSIONS

D'une façon générale, on voit que partout où les conditions hydriques n'ont pas été trop perturbées (cas des secteurs piétinés), la régénération est possible et s'instaure rapidement. Le dernier exemple (d) illustre bien les *conditions générales nécessaires à la régénération: nappe phréatique élevée, eau oligotrophe acide, absence de contamination par des eaux minéralisées et isolement du substrat marneux par une couche de tourbe suffisante.*

6.4. La régénération et l'aménagement du paysage

La régénération des hauts-marais, au sens où elle suppose une diversification de milieux mutilés et parfois banalisés, englobe un éventail très large de mesures à prendre, parmi lesquelles certaines viennent d'être explicitées et sont reprises dans la liste qui suit :

— aménagements destinés à limiter l'impact du piétinement (sentier de bois, plateforme d'observation, etc.)

— fermeture des canaux de drainage asséchant le haut-marais et modifiant la flore au profit de groupements étrangers aux hauts-marais (barrages, exploitation forestière sélective adaptée, etc.)

— suppression des infiltrations d'eau minéralisée dans les hauts-marais (en particulier dans les anciennes creuses)

— clôture de secteurs situés en bordure de pâturages pour éviter la pénétration du bétail et des dégâts qui en découlent (piétinement, engraissement, etc.)

— maintien d'une ceinture de bas-marais acides et alcalins tout autour des tourbières, assurant le rôle de zone tampon face à des infiltrations d'engrais (prairies de fauche non amendées et coupées uniquement à la fin de l'été)

— possibilité d'envisager des exploitations artisanales de tourbe sous la forme de creuses, contrôlées, limitées dans l'espace et dans le temps, et destinées à favoriser à titre expérimental la régénération d'une tourbière et sa diversification

— mettre systématiquement sous protection légale (au niveau communal, cantonal ou fédéral) tous les hauts-marais.

On le voit, la protection des hauts-marais ne concerne pas seulement les protecteurs de la nature et les scientifiques. Elle fait appel à une très large concertation englobant ingénieurs et gardes forestiers, ingénieurs agronomes, agriculteurs, exploitants de tourbe, politiciens, etc. *Ce n'est que sur une base aussi large que possible que pourront être réalisés de véritables plans de gestion garantissant la survie des hauts-marais et offrant des solutions satisfaisantes à tous les intéressés.*

A ce titre, le canton de Berne a fait office de pionnier en 1985, en mandant un groupe de travail comprenant un ingénieur agronome, un agriculteur, un géomètre et un écologue professionnel pour réaliser un remaniement parcellaire du domaine agricole de la clinique psychiatrique de Bellelay, sur lequel se trouve la tourbière de Bellelay. Le travail ainsi effectué a abouti à un projet qui satisfait les exigences agricoles tout en permettant de reconstituer des zones tampon (prairies) qui améliorent les conditions de survie de ce haut-marais, fortement perturbé par les exploitations de tourbe au début du siècle et l'exploitation agricole intensive à l'heure actuelle.

En 1986, les bases de la protection étant acquises, l'étude se poursuit pour proposer un plan de gestion de la tourbière elle-même.

CHAPITRE 7

BILAN DE L'ÉTAT DES TOURBIÈRES JURASSIENNES

Jusqu'à ce jour, les nombreuses publications traitant des tourbières dans le Jura reflètent des travaux ponctuels, dont le but était de caractériser un haut-marais particulier ou de résoudre un problème précis. Il s'agit là d'une étape nécessaire à la recherche, qui a permis la mise en route d'études plus synthétiques, telles celles de GOBAT (1984) sur l'écologie des contacts entre hauts-marais et bas-marais intacts et de GALLANDAT (1982) sur la phytosociologie des prairies marécageuses du Haut-Jura.

A la suite de tous ces travaux, et si l'on considère la végétation pour tirer un bilan de l'état des tourbières jurassiennes, le résultat sera différent de celui conclu sur notre propre analyse, fondée sur la qualité du sol.

Des points de vue botanique ou physionomique, une multitude de groupements végétaux existent dans le Jura, mais les tourbières intacts, présentant l'ensemble du cortège floristique typique, sont rares. On peut citer comme exemple Praz-Rodet à la Vallée de Joux. Plus rares encore sont les tourbières jeunes en voie de formation (plans d'eau colonisés par la végétation, qui forme des tapis de sphaignes flottants). On peut en voir en France, au lac de Bellefontaine (Vallée de Chapelle des Bois) et au lac du Trouillot, près de Mouthe.

Beaucoup de tourbières jurassiennes présentent par contre de nombreuses perturbations humaines qui se manifestent par des modifications importantes de la composition floristique initiale. Le déboisement, le râclage, l'assèchement, le piétinement, les exploitations de tourbe sont autant d'atteintes qui se marquent nettement sur la végétation. Du reste, tous nos prélèvements de tourbe ont été conditionnés par ces différentes atteintes. De très grandes surfaces de tourbières ont même totalement disparu, si l'on se place uniquement du point de vue botanique, puisqu'elles ont été transformées en terrains agricoles. La flore y est fondamentalement modifiée.

Pour l'intérêt botanique, dans la situation actuelle, le bilan est sombre, car la végétation typique des hauts-marais et des bas-marais tourbeux ne couvre qu'un faible pourcentage de la surface de sol tourbeux totale (agriculture comprise). Néanmoins, certaines atteintes humaines (les exploitations artisanales en particulier) ont permis une augmentation de la diversité de la flore et de la faune vivante dans les tourbières.

Dans cette publication, nous ne nous sommes pas contentés de la végétation uniquement, bien qu'elle nous ait servi à caractériser les milieux étudiés, mais nous avons aussi considéré la qualité du sol pour tirer un bilan de l'état général des tourbières.

Chaque échantillon, choisi en fonction d'un type de perturbation ou de végétation, présente une qualité de tourbe caractéristique du milieu. Le sol porte donc parfaitement, qualitativement, les marques de ces modifications.

Pourtant, ce que le botaniste considère comme des perturbations dures (élimination totale de la végétation par le piétinement p. ex.) doit être nuancé par l'analyse de nos échantillons. L'évolution de la qualité des tourbes en fonction des milieux et des perturbations, permet de classer les atteintes en fonction de la gravité de dégradation du sol. Vu sous cet angle, un autre bilan peut être envisagé (c.f. chapitre 5).

Seuls les échantillons prélevés sous les terrains agricoles, quand la tourbe est mince, peuvent être considérés comme absolument non régénérables; tous les autres présentent une relation qualitative avec les milieux intacts ou en régénération actuellement.

Le bilan est ainsi beaucoup moins sombre. Il peut même devenir franchement positif si chacun (scientifiques, autorités, agriculteurs) choisit la voie de la négociation à travers l'élaboration de plans de gestion pour toutes les surfaces tourbeuses encore dignes d'intérêt. Les considérations présentées au chapitre 6 prouvent que les possibilités de réalisations pratiques existent.

Toutefois, notre manque de connaissances quant à la «recette» à utiliser est flagrant. Les conditions écologiques de la régénération ne sont pas connues avec précision. L'eau joue un rôle fondamental, mais en quelle quantité et avec quelle qualité? Seuls des essais pratiques sur des surfaces témoins permettront, après des études approfondies sur les cas naturels que nous connaissons, d'apporter des réponses à ces questions.

Les tourbières exploitées et transformées en terrains agricoles pourraient même, dans quelques cas, être régénérées, et échangées p. ex. contre des surfaces protégées, mais sans intérêt biologique. Certains échantillons nous le laissent supposer puisque, excepté la mince couche de surface dégradée, les horizons profonds présentent une qualité de tourbe comparable à celle de milieux en régénération. Il faut que l'épaisseur de tourbe soit grande, mais ce n'est assurément pas suffisant. Les pratiques agricoles précises (engraisement, nombre de fauches, pâture, labour) sont fondamentales, mais totalement inconnues à ce jour.

L'espoir donné par ces analyses nous permet de souhaiter que de nombreux travaux seront entrepris pour définir avec plus de précision comment régénérer les écosystèmes tourbeux perturbés. En cas de réussite, le bilan pourra certainement s'améliorer.

CHAPITRE 8

REMERCIEMENTS

Cette publication de synthèse n'aurait pas vu le jour sans l'aide de nombreuses personnes. Nous remercions particulièrement M. le professeur Willy Matthey pour les notes faunistiques, qui complètent judicieusement l'aspect botanique.

Nous sommes redevables aussi à de nombreuses autres personnes, citées ci-dessous, dont les apports variés nous furent très utiles:

— l'équipe de recherche en tourbières de l'Institut de Botanique de l'Université de Neuchâtel: Jean-Daniel Gallandat, Annemarie Christen, Corinne Frutschy, Isabelle Pariat, François Marmy, Philippe Cornali, Alexandre Buttler, Jean Zahnd.

— toutes les personnes extérieures à l'Institut, qui, de près ou de loin, nous ont aidés lors de cette étude.

*Jean-Michel Gobat
Philippe Grosvernier
Yvan Matthey*

RESUMÉ

Les auteurs présentent l'ensemble des milieux naturels sur tourbe oligotrophe dans le Jura suisse, grâce à une description botanique, phytosociologique, faunistique et pédologique. Six caractères physico-chimiques des tourbes sont analysés, qui montrent les relations entre les milieux intacts, asséchés, déboisés, en régénération, piétinés, sous agriculture ou exploitation horticole. Le potentiel de régénération des tourbières du Jura est discuté, au moyen d'un indice de régénéralité et d'exemples pratiques. Un bilan global de l'état actuel des hauts-marais jurassiens est tiré.

SUMMARY

The authors present the different natural situations founded on oligotrophic peat in the Swiss Jura Mountains, thanks to a botanical, phytosociological, zoological and pedological description. The analysis of six physico-chemical aspects of the peat shows the relations between the intact peat and the modified one: drained, deforested, regenerated, stamped, agricultural and horticultural peat. The regenerability of Jura's peats is discussed, by means of a regenerability index and practical examples. A global balance-sheet of the actual state and value of the peatlands in the Swiss Jura Mountains is presented.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUMGARTNER H. 1983. Les tourbières, sites naturels menacés. Pro Natura Helvetica (LSPN éd.).
- BOURNEIRIAS M. 1973. Influence des landes oligotrophes sur les groupements végétaux voisins; leurs conséquences quant à la conservation de biotopes et de biocénoses rares ou relictuels. Coll. phyt. II, Lille, p. 213-224.
- BRAUN-BLANQUET J. 1964. Pflanzensoziologie. 3^e éd., Springer Verlag, Vienne. 865 pp.
- BUTTLER A., CORNALI Ph. 1983. La tourbière des Pontins sur Saint-Imier. Mat. levé géobot. Suisse, Fasc. 59, 79 pp.
- CHASTAIN A. 1952. Recherches écologiques et floristiques sur le «Pinetum» de la haute tourbière de la Vraconnaz (Jura helvétique vaudois). Rec. Trav. Inst. Bot. Univ. Montpellier, suppl. No 2, 176 pp.
- DAMMAN A.W.H. 1978. Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs. Oikos 30, p. 480-495.
- DOMERGUE F.-L. 1981. Les tourbes: matière organique, minéralisation et classification. EPF Lausanne, Péd. 8.
- GALLANDAT J.-D. 1982. Prairies marécageuses du Haut-Jura. Mat. levé géobot. Suisse, Fasc. 17, 327 pp.
- GEIGER W. 1980. Phytosociologie des landes de dégradation de la tourbière du Cachot (Jura neuchâtelois, Suisse). Doc. Phyt. N.S. V, p. 291-304.
- GOBAT J.-M. 1984. Ecologie des contacts entre tourbières acides et bas-marais alcalins dans le Haut-Jura suisse. Thèse Univ. Neuchâtel, 255 pp.
- 1984a. Importance des bordures de tourbières pour la conservation des hauts-marais: exemple de deux tourbières du Jura suisse. Bull. Soc. Neuchâtel. Sci. nat., tome 107, p. 25-32.
- GOBAT J.-M., PORTAL J.-M. 1985. Caractérisation de cinq tourbes oligotrophes représentatives d'une dynamique de la végétation dans le Jura suisse. Science du Sol, Bull. de l'AFES, (2), p. 59-74.
- GOETTLICH K. 1980. Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 338 pp.
- GROSVERNIER Ph., MARMY F. 1984. La tourbière de La Gruère. Trav. Lic. Univ. Neuchâtel.
- GRUENIG A., VETTERLI L. et WILDI O. 1986. Les hauts-marais et marais de transition de Suisse. Rapports Inst. féd. rech. for., Birmensdorf, No 281.
- ISCHER A. 1935. Les tourbières de la vallée des Ponts-de-Martel. Trav. Inst. Bot. Univ. Neuchâtel No 3, 163 pp.

- JORAY M. 1942. L'étang de La Gruère, Jura bernois. Etude pollanalytique et stratigraphique de la tourbière. Mat. levé géobot. Suisse, Fasc. 25, 117 pp.
- KAILA A. 1956. Determination of the degree of humification in peat samples. Maatalous Achakaoushiya No 28, p. 18-35.
- KRAEHEBUEHL Ch. 1953. Notices sur la tourbière des Pontins. Bull. ADIJ No 1.
- LEVESQUE M. 1981. Les propriétés physiques, chimiques et morphologiques de quelques tourbes du Québec et de l'Ontario. Contribution IRT 62. Agriculture Canada, 74 pp.
- LEVESQUE M., DINEL H. 1977. Fiber content, particle-size distribution and some related properties of four peat materials in Eastern Canada. Can. J. Soil Sci., No 57, p. 187-195.
- LEVESQUE M., DINEL H. et MARCOUX P. 1980. Evaluation des critères de différenciation pour la classification de 92 matériaux tourbeux du Québec et de l'Ontario. Can J. Soil Sci. No 60, p. 479-486.
- MATTHEY W. 1964. Observations écologiques dans la tourbière du Cachot. Bull. Soc. Neuchâtel. Sci. nat., tome 87, p. 103-135.
- MATTHEY Y. 1984. Le complexe de tourbières du Bois-des-Lattes. Trav. Lic. Univ. Neuchâtel.
- 1985. Etude phytosociologique et pédologique de la tourbière de la Vraconnaz. Mandat LSPN par ECONAT, Yverdon.
- MENUT G. 1974. Recherches écologiques sur l'évolution de la matière organique des sols tourbeux. Thèse Univ. Nancy I.
- REAL P. et al. (8 coll.) 1977. Connaissance et sauvegarde des tourbières de la chaîne jurassienne. Comité de liaison pour les recherches éco-faunistiques dans le Jura. Fac. des Sciences, Univ. Besançon.
- RICHARD J.-L. 1961. Les forêts acidophiles du Jura. Mat. levé géobot. Suisse, Fasc. 38, 164 pp.
- ROULIER C. 1983. Contribution à l'étude phytosociologique des groupements végétaux non boisés de la rive Sud du lac de Neuchâtel. Bull. Soc. Fribourg. Sci. nat. 72, p. 75-125.
- ROYER J.-M., VADAM J.-C., GILLET F., AUMONIER J.-P. et AUMONIER M.-F. 1978. Etude phytosociologique des tourbières acides du Haut-Doubs. Réflexions sur leur régénération. Coll. phyt. VII, Lille, p. 295-344.
- SCHMITT A. 1978. Observations phytosociologiques sur les forêts sur tourbe dans le Jura. Coll. phyt. VII, Lille, p. 345-357.
- SPINNER H. 1932. Le Haut-Jura neuchâtelois nord-occidental. Mat. levé géobot. Suisse, tome 17.

- SSSA 1974. Histosols. SSSA Special public. Series, Madison, USA.
- STONEK W. 1977. Classification of muskeg. Brawner C.O. and Radforth N.W. 1977. Muskeg Research Conference, 15th, Edmonton, Alta, 1973. Univ. of Toronto Press, Toronto and Buffalo, Canada.
- TERASMAE J. 1977. Postglacial History of Canadian Muskeg. Brawner C.O. and Radforth N.W. 1977. Muskeg Research Conference, 15 th, Edmonton, Alta, 1973. Univ. of Toronto Press, Toronto and Buffalo, Canada.
- WILDERMUTH H. 1978. Les tourbières, p. 170.

ANNEXE 1: LEXIQUE DES TERMES SCIENTIFIQUES

Ce lexique a été établi selon les définitions de DELPECH et al. (1985). Vocabulaire; typologie des stations forestières, ONF.

- Acides fulviques:** Acides organiques de faible masse moléculaire, constituants de l'humus; abondants dans les sols acides; très agressifs (AF).
- Acides humiques:** Acides organiques à masse moléculaire élevée, constituants de l'humus; abondants dans les sols bruns ou lessivés; moins agressifs que les AF (AH).
- Analyse multivariable:** Méthode d'analyse des données prenant en compte simultanément plusieurs variables, par opposition aux méthodes à une (histogramme) ou deux variables (corrélation).
- Association végétale:** Ensemble homogène de relevés floristiques effectués dans une région, possédant en commun de nombreuses espèces. L'association porte un nom scientifique, en latin, choisi selon certaines espèces dominantes ou caractéristiques. P. ex. Sphagno-Piceetum = Pessière à sphaignes.
- Aterrissement:** Elévation du niveau du sol par accumulation de débris végétaux.
- Bas-marais:** Marais à eau généralement mésotrophe à eutrophe, dominé souvent par une strate herbacée formée de laïches.
- Biocénose:** Ensemble des êtres vivants présents dans une station.
- Butte:** Elévation arrondie dans la topographie du haut-marais, due à la croissance des sphaignes.
- Cellulose:** Constituant de base des tissus végétaux, formé de molécules d'hydrates de carbone.
- Climacique:** Se dit d'un groupement végétal (ou d'un écosystème) ayant atteint un équilibre vis-à-vis des facteurs climatiques et édaphiques.
- Doline:** Dépression plus ou moins circulaire, en pays calcaire (emposieux).
- Ecologie:** Partie de la biologie étudiant les relations entre les êtres vivants et leur environnement. A ne pas confondre avec l'écologisme, qui est une philosophie, une manière de vivre, une politique.

Ecosystème:	Systeme biologique fonctionnel, comprenant les êtres vivants (biocénose) et leur milieu de vie (biotope).
Edaphique:	Qui concerne les relations entre les êtres vivants et le sol.
Eutrophe:	Riche en éléments nutritifs.
Gouille:	Terme jurassien, ayant trait aux dépressions remplies d'eau, dans les marais.
Haut-marais:	Marais à eau oligotrophe, acide, à végétation dominée par les sphaignes et les éricacées (= tourbière bombée).
Lignine:	Constituant de base des tissus végétaux (bois), formé notamment de phénols.
Mésotrophe:	Moyennement riche en éléments nutritifs.
Météorique:	Qui concerne l'atmosphère. Eau météorique: pluie, neige, ensemble des précipitations.
Milieu secondaire:	Milieu résultant d'une action humaine (Ex: lande de dégradation, pâturage).
Monophénols:	Molécules organiques à fonction «alcool», précurseurs des acides organiques.
Oligotrophe:	Pauvre en éléments nutritifs.
Pédologie:	Etude des sols, de leur formation, de leur répartition et de leur évolution.
pH:	Degré d'acidité du sol, variant de 1 (pH très acide) à 14 (pH très alcalin), 7 représentant la neutralité.
Replat:	En tourbière, zone à topographie peu accentuée résultant souvent de l'exploitation de grandes surfaces homogènes.
Sphaignes:	Sortes de mousses responsables de la formation de la tourbe.
Tellurique:	Qui concerne la terre. Eau tellurique: eau provenant du sol (nappe, sources, etc.).
Tourbe:	Type de sol organique à structure le plus souvent fibreuse, formé par la décomposition lente de végétaux, en milieu asphyxiant.
Turfigène:	Se dit d'un facteur permettant la formation de la tourbe.

ANNEXE 2: NOTES FAUNISTIQUES

Résumé des connaissances actuelles sur les communautés animales des hauts-marais jurassiens

Willy Matthey
Institut de zoologie
Université de Neuchâtel

INTRODUCTION

La faune des tourbières jurassiennes comprend environ 2000 espèces animales, réparties grossièrement de la façon suivante:

Protozoaires	250 espèces	Acariens	150 espèces
Rotateurs	50 espèces	Autres Arachnides	10 espèces
Vers	30 espèces	Insectes	1200 espèces
Crustacés	30 espèces	(dont au moins 400 espèces de Dip-	
Myriapodes	10 espèces	tères)	
Aranéides	150 espèces	Vertébrés	75 espèces

Elles sont plus ou moins inféodées au milieu tourbeux et peuvent se répartir en deux catégories:

— celles qui ne s'y reproduisent pas. Ce sont des espèces migratrices, erratiques, accidentelles qui viennent chercher sur le marais abris, eau ou nourriture. On n'en capture que des adultes;

— celles qui s'y reproduisent. Parmi elles, on distinguera encore des espèces tyrphobiontes, strictement liées aux tourbières, des tyrphophiles à préférence plus ou moins marquée pour ces milieux, et des espèces ubiquistes qui colonisent parmi d'autres les habitats offerts, des points d'eau par exemple.

C'est parmi les tyrphobiontes et les tyrphophiles que l'on trouvera des espèces permettant de caractériser les différents faciès du haut-marais, mais il faut souligner que les autres espèces apportent également des informations intéressantes pour une étude écologique globale.

La faunistique des tourbières est moins avancée que la floristique ou que l'étude des tourbes. Ainsi, alors que c'est un véritable événement pour le botaniste que de découvrir une nouvelle station de telle ou telle plante rare, ce n'est pas une affaire extraordinaire pour le zoologiste que de capturer une espèce nouvelle pour la Science, tel le Diptère *Sepsis helvetica* dans la tourbière du Cachot (*Munari, 1985*).

Selon leur taille, les animaux ont des degrés de signification différents: alors que les Oribates permettent de caractériser les différentes formations de sphaignes (flottantes, de replats, de buttes, résiduelles), le Pipit farlouse est lié aux landes de dégradation dans leur ensemble. Enfin, est-il besoin de le rappeler, les animaux sont mobiles, et les Arthropodes ont souvent des habitats différents aux états larvaire et adulte, ce qui rend délicat de leur attribuer une fonction bioindicatrice.

Dans les lignes qui suivent, nous tenterons de préciser les caractéristiques animales de plusieurs des associations végétales ou des stations présentées par les auteurs de l'article, en signalant d'emblée que tous les faciès botaniques ne sont pas encore étudiés sous cet angle (par exemple le *Sphagno-Piceetum betuletosum pubescentis*), et que la rédaction d'une annexe nécessite une concision certaine.

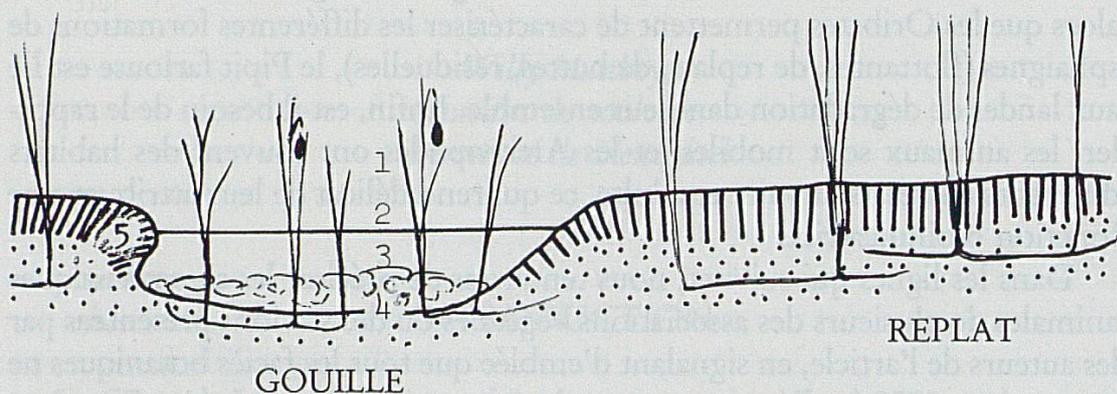
LE SCHEUCHZERIETUM

Les gouilles du haut-marais ont les caractéristiques suivantes:

- faible profondeur, donc grande variation de la température de l'eau;
- présence d'une couche de boue fluide sur le fond, formée de particules tourbeuses et de restes végétaux, où prolifèrent Desmidiées et Diatomées (2 à 5,5 millions d'algues/cm³). C'est un milieu très nutritif;
- ces points d'eau sont sujets à des assèchements périodiques, pouvant durer plusieurs semaines. Alors, la boue se dessèche et forme une croûte résistante qui protège de la dessiccation le fond humide où la faune aquatique trouve refuge;
- présence de *Carex* sp et de *Scheuchzeria palustris*, dont les tiges servent de support à l'envol des Coléoptères aquatiques et à l'éclosion des Odonates;
- les bords de sphaignes servent d'abri aux espèces qui hivernent hors de l'eau et constituent l'habitat des petites espèces sus-aquatiques.

Il n'y a pratiquement pas deux gouilles identiques. Les différences portent sur la surface, la profondeur, la composition végétale des rives, la densité et la nature des plantes qui colonisent le bassin, la présence ou non de *Sphagnum*

cuspidatum, la vitesse d'assèchement, le degré et le mode de comblement. Cet ensemble de paramètres influence le peuplement animal dans sa composition et son abondance. Toutefois, en dépit des différences, on retrouve le même schéma pour la plupart des gouilles (figure 1).



1. Strate herbacée (*Carex limosa*, *C. lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. chordorrhiza*, *Scheuchzeria palustris*, ...).
2. Surface de l'eau.
3. Zone pélagique.
4. Zone benthique et boue déposée sur le fond.
5. Bords de sphaignes en contact avec l'eau.

Dans une gouille bien ouverte, de vingt mètres carrés ou plus, on peut dénombrer plus de soixante espèces d'Arthropodes, alors qu'ils se réduisent à une douzaine d'espèces dans les stations de petites dimensions ou en voie de comblement (Matthey, 1971). Remarquons qu'au cours des vingt-cinq dernières années, aucune évolution naturelle notable n'a pu être observée dans les gouilles de la tourbière du Cachot (Vallée de La Brévine), ce phénomène est donc très lent.

Les communautés animales typiques du *Scheuchzerietum* sont les suivantes (les chiffres correspondent à ceux de la figure 1, les lettres L et A signifient respectivement Larves et Adultes):

1. *Aranéides*. *Tetragnatha extensa*.

Insectes. Coléoptères: *Cyphon variabilis* (A) (Helodidae), *Plateumaris rustica* (A) (Chrysomelidae).

Homoptères: *Macrosteles sexnotatus* (A).

2. *Aranéides*. *Dolomedes fimbriatus* (A) (Pisauridae), *Pirata hygrophilus*, *P. piraticus*, (A) (Lycosidae).

Insectes. Collemboles. Espèce principale: *Podura aquatica*. (L et A).

Diptères. *Hydrophorus albiceps* (A), *H. nebulosus* (A) (Dolichopodidae), plusieurs espèces de *Notiphila* (A) (Ephydriidae).

Hétéroptères. *Gerris gibbifer*, *G. lacustris*, *G. lateralis* forme ailée (tous L et A).

3. *Insectes*. Coléoptères. *Agabus affinis*, *A. bipustulatus*, *A. congener*, *Hydroporus erythrocephalus*, *H. melanocephalus*, *H. notatus*, *H. obscurus*, *H. tristis*, *Ilybius aenescens* (Dytiscidae, tous L et A).

Anacaena limbata (A), *A. globulus* (A), *Crenitis punctatos-triata* (A), *Enochrus affinis* (L et A), *E. quadrimaculatus* (L et A), *Helochares lividus* (L et A), *Helophorus flavipes* (A) (Hydrophilidae).

4. *Oligochètes*.

Larves d'Insectes. Odonates. *Aeschna juncea*, *Leucorrhinia dubia*, *Somatochlora arctica*, *Sympetrum danae*.

Coléoptères. *Cyphon variabilis*, *Plateumaris rustica*.

Trichoptères. *Asynarchus coenosus*.

Diptères. Chironomidae, *Idioptera fasciata*, *Prionocera pubescens* (Tipulidae).

5. *Insectes*. Collemboles. *Podura aquatica*. (L et A).

Coléoptères. *Anacaena limbata* (A), *Helochares lividus* (L et A).

Hétéroptères. *Hebrus ruficeps* (L et A), *Gerris gibbifer*, *G. lacustris* (L1, L2).

MILIEUX AQUATIQUES N'ENTRANT PAS DANS LA CLASSIFICATION PHYTOSOCIOLOGIQUE

Les FAILLES DE DISTENSION, disposées parallèlement aux murs d'exploitation, sont dues au déchirement du massif tourbeux à proximité des bords. Elles sont le plus souvent situées en forêt, et peuvent être très profondes (jusqu'à 3 m). Le microclimat est froid, et la température ne dépasse pas 16° au cours de l'année à la surface de l'eau. Les parois tombent à la verticale, elles sont diversifiées par des coussins de sphaignes qui fournissent, avec les

fentes et les surplombs, des abris à la faune hivernante. Ce sont des milieux peu nutritifs, la majorité de la nourriture tombe des arbres et des bords (proies surtout, il n'y a pas de phytophages).

Hormis la profondeur de l'eau, les CHENAUX DE DRAINAGE offrent des conditions de vie comparables à celles des failles de distension pour la faune.

Les espèces recensées sont les suivantes (Matthey, 1981):

Surface de l'eau.

Insectes. Collemboles. Podura aquatica (L et A).

Diptères. Hydrellia sp. (A) (Ephydridae), Hydrophorus nebulosus (A) (Dolichopodidae).

Hétéroptères. Gerris lateralis, dont la forme aptère est caractéristique de ces milieux froids (L et A), Velia caprai (L et A).

Zone pélagique.

Insectes. Coléoptères. Agabus bipustulatus, Hydroporus erythrocephalus (Dytiscidae, A) Anacaena limbata, Crenitis punctatostriata (Hydrophilidae, A).

Diptères. Larves de Culidicae.

Hétéroptères. Hesperocorixa sahlbergi (A) (Corixidae).

Zone benthique, parois submergées.

Oligochètes.

Insectes. Diptères. Larves de Chironomidae.

Les coussinets de mousses accrochés aux parois contiennent des larves de Crenitis punctatostriata et d'Anacaena limbata, ainsi que de Diptères.

Il faut mentionner également les petites gouilles formées par l'arrachement ou le renversement des pins par le vent. Peu profondes, relativement vite asséchées, ce sont des stations plutôt froides à cause de leur situation généralement ombragée. La végétation ne s'y installe que très lentement.

Surface de l'eau.

Insectes. Collemboles. Podura aquatica (L et A).

Diptères. Notiphila sp (A) (Ephydridae).

Zone «pélagique».

La faible profondeur de l'eau sélectionne des formes nageuses de petite taille.

Insectes. Coléoptères. *Crenitis punctatostriata* (A) (Hydrophilidae), *Hydroporus notatus*, *H. obscurus*, *H. tristis* (Dytiscidae, tous A).

Diptères. Larves de Culicidae (*Aedes* groupe communis).

Fond.

Insectes. Trichoptères. *Asynarchus cœnosus* (L).

Diptères. Larves de Chironomidae (*Chironomus* sp).

Ces larves construisent des tubes avec des granules de tourbe, implantés verticalement dans la vase et accolés, ils peuvent recouvrir le fond de la gouille.

LE SPHAGNETUM MAGELLANICI

Le passage du Scheuchzerietum au Sphagnetum magellanici est marqué par la disparition de la faune aquatique et l'apparition de quatre taxons importants: les Carabidae s.l., les Formicidae, les Lépidoptères et les Lycosidae.

Cette association occupe le centre des tourbières. Elle entoure les gouilles et ménage le passage vers la forêt de pins. C'est dire qu'on peut y distinguer plusieurs sous-associations végétales. Les deux faciès les plus évidents sont les replats et les buttes de sphaignes. Dans les replats, la strate muscinale est plus lâche et la strate herbacée mieux représentée que sur les buttes. Ces différences structurales entraînent des modifications dans la communauté animale, mais plutôt d'ordre quantitatif au niveau des Macroarthropodes. Elles sont sans doute plus visibles au niveau des Microarthropodes (*D. Borcard*, thèse en cours).

Une trappe d'interception (tente Malaise), installée dans un replat d'avril à octobre 1973, a mis en évidence l'importance des déplacements d'Insectes: elle a capturé plus de 150 000 individus volant dans la strate herbacée jusqu'à un mètre de hauteur (surface d'interception: 3 m²). On ne peut toutefois guère en tenir compte pour caractériser le milieu. A cette fin, nous avons retenu les espèces suivantes:

Strate herbacée.

Araignées. *Dolomedes fimbriatus* (jeunes).

Insectes. Coléoptères. *Cyphon variabilis* (A) (Helodidae), 9 espèces de Cantharidae adultes, dont *Absidia pilosa*, *Cantharis paludosa* et *Rhagonycha testacea* sont les plus abondantes (*Brancucci et Matthey*, 1980), *Plateumaris rustica* (A) (Chrysomelidae).

Diptères. Les adultes de Tipulidae abondent dans la strate herbacée: *Prionocera turcica*, *P. pubescens*, *Tipula melanoceros*, *T. subnudicornis*. Plusieurs familles, les Sepsidae par exemple, abondent dans les herbes, elles pourront sans doute aider à caractériser ce milieu quand elles seront mieux connues.

Lépidoptères. (Geiger, 1981). Parmi une trentaine d'espèces qui marquent une préférence pour le centre de la tourbière, et dont les adultes sont souvent observés dans la strate herbacée, nous mentionnerons *Boloria aquilonaris*, espèce tyrphobionte dont les chenilles se nourrissent sur la canneberge.

Homoptères. *Neophilaenus lineatus* se développe sur les *Carex* («crachats de coucou» sur les tiges) (Cercopidae), *Cicadula quadrinotata* et *Scleroacus plutonius* (Jassidae, L et A), *Ommatidiotus dissimilis* (Issidae, L et A).

Strate muscinale.

Araignées. Septante et une espèces ont été capturées, parmi lesquelles les Lycosidae dominant (toutes L et A): *Alopecosa pulverulenta*, *Pardosa pullata*, *Pirata uliginosus*, *Trochosa spinipalpis* + *terricola*, *Tricca alpigena*.

Parmi les autres familles: *Gnaphosa lugubris* (Gnaphosidae), *Neon reticulatus* (Salticidae). Enfin, les petites Linyphiidae représentent près de 11% des captures d'Araignées avec 30 espèces, parmi lesquelles *Centromerus expertus*.

Insectes. Orthoptères. *Metrioptera brachyptera* (L et A).

Coléoptères. *Agonum ericeti*, *A. viduum*, *Dyschirius globosus*, *Pterostichus diligens* (Carabides s.l., tous L et A); larves de *Crenitis punctatostriata* et d'*Anacaena limbata* (Hydrophilidae), *Cytilus sericeus* (A) (Byrrhidae), larves de *Plateumaris rustica* (Chrysomelidae) dans la rhizosphère.

Diptères. Larves des Tipulidae mentionnées dans la strate herbacée.

Hyménoptères. *Formica picea*, *Myrmica ruginodis* et *M. scabrinodis* font des nids dans les sphaignes, *Formica rufa* construit des dômes dans les endroits les plus secs, souvent en lisière de la forêt de pins.

LE PINO MUGO-SPHAGNETUM

Les diverses strates de la forêt de pins de montagne n'ont pas toutes été étudiées. *Basset* (1984, 1985) a échantillonné de manière intensive la faune des

pins. Travaillant en parallèle sur des arbres en bonne santé, dépérissants ou morts sur pied, il a capturé 241 espèces régulièrement présentes sur cette essence, réparties en communautés de la couronne (171 espèces), du tronc (57 espèces) et du bois (11 espèces). Signalons en passant qu'un des arbres daté par la méthode dendrochronologique dans la tourbière du Cachot, est mort en 1973 à l'âge de 246 ans.

La faune du pin de montagne sur tourbe est relativement pauvre par comparaison à d'autres espèces d'arbres. Ceci est vraisemblablement dû au fait qu'il forme dans le Jura des peuplements plutôt restreints et très localisés.

Basset relève l'abondance particulière des taxons suivants :

Aranéides. 8 espèces.

Insectes. Diptères. Dolichopodidae, 17 espèces, dont 8 du genre *Medetera*; Empididae, 12 espèces; Mycetophilidae, 16 espèces; Phoridae, 13 espèces.

Psocoptères. 11 espèces.

Hyménoptères. Symphytes, 6 espèces.

Homoptères. 18 espèces.

Dans la strate arbustive, une quarantaine d'espèces de Lépidoptères sont liées à *Calluna* (10 espèces) et à *Vaccinium* (30 espèces). Parmi elles, *Geiger* (1981), mentionne quatre espèces caractéristiques de ce milieu, aimant l'ombre et le couvert: *Diarsa mendica* (Noctuidae), *Hepialus hecta* (Hepialidae), *Eulithis populata* et *Perizoma alchemillata* (Geometridae).

Formica rufa construit souvent ses dômes à la lisière de la forêt, mais on en trouve aussi de grande taille au cœur du sous-bois. L'un d'eux est actif depuis 23 ans dans la tourbière du Cachot.

La monotonie du sous-bois est rompue par la présence des failles de distension, de buttes de sphaignes et de clairières qui permettent la pénétration de la faune aquatique dans ce milieu au sol plutôt sec.

* * *

La faune du SPHAGNO-PICEETUM et du CARICETUM FUSCAE, dernières associations des milieux intacts, n'a pas encore fait l'objet d'études systématiques dans les tourbières jurassiennes.

En ce qui concerne les milieux perturbés, nous ne pouvons superposer dans tous les cas les points de prélèvement de la tourbe et les communautés animales, car les premiers ne forment pas forcément des unités faunistiques (par exemple le flanc d'un canal de drainage), ou parce que les secondes ne sont encore qu'imparfaitement connues.

* * *

LES LANDES DE DÉGRADATION

1. *Les landes à Calluna vulgaris et à Vaccinium uliginosum.*

Ce sont des milieux relativement secs, bien éclairés, formés des restes de la forêt après élimination des arbres. Si la nappe phréatique est suffisamment proche de la surface, et si les drains superficiels sont bouchés, la réinstallation des sphaignes et la repousse des pins est assez rapide.

L'étude détaillée de la faune des landes est en cours. Mentionnons pour l'instant :

Insectes. Orthoptères. *Metrioptera brachyptera*, *Myrmeleotettix maculatus*, *Tetrix undulata* (tous L et A).

Coléoptères. Outre les Carabides s.l., on mentionnera *Lochmaea caprea* (L et A) (Chrysomelidae) liée à la callune.

Lépidoptères. Parmi les espèces héliophiles liées aux plantes de la lande, *Geiger* (1981) signale comme caractéristique *Colias palaeno* (Pieridae), *Ematurga atomaria*, *Itame brunneata* et *Eulithis testata* (Geometridae), *Anarta myrtilia* et *Lycophotia porphyrea* (Noctuidae).

Le petit Paon de nuit, *Eudia pavonia*, est également caractéristique de ces milieux dans nos régions.

Les landes à Ericacées et à Vacciniées constituent l'habitat de prédilection du Lézard vivipare dans les tourbières, ainsi que de la Vipère péliade au Bois des Lattes. Lorsque leur étendue est suffisante, on peut y noter la nidification du Pipit farlouse (*Pedrola*, 1975).

Une faune abondante d'insectes erratiques transite sur les landes comme au-dessus des replats à sphaignes. Les callunes, fleuries jusqu'à fin septembre, attirent de nombreux Diptères et Hyménoptères butineurs alors que les régions environnantes sont dépourvues de fleurs.

2. *Les landes nues et à Polytrichum strictum.*

C'est sans doute le milieu le plus extrême de la tourbière, sec, très chaud, pauvre en ressources alimentaires. Pourtant, quelques espèces caractérisent cet habitat quasi désertique, où la température en plein soleil dépasse 50° C à la surface du sol.

Insectes. Orthoptères. *Tetrix undulata*.

Coléoptères. *Cicindela campestris*, dont les larves creusent leurs terriers en forme de puits dans la tourbe découverte; *Byrrhus pilula* (A) est régulièrement trouvé dans les plages de *Polytrichs*, se réfugiant sous des mottes de tourbe par temps sec.

Hyménoptères. *Formica lemani* et *F. truncorum* construisent leurs fourmilières dans la tourbe ou sous des troncs ou des planches posées sur le sol.

MILIEUX HUMIDES RÉSULTANT DE L'EXPLOITATION DE LA TOURBE

1. *Les canaux.*

L'exploitation artisanale de la tourbe de chauffage a été importante pour le maintien de points d'eau libre dans les tourbières. Les fosses d'exploitation, appelées canaux dans le langage courant, sont situées au pied des parois qui limitent le haut-marais. Elles sont aussi diverses que les gouilles du *Scheuchzerietum*, les conditions de vie pouvant y varier considérablement selon leur étendue, leur degré de comblement (profondeur de 0,40 m à 1 m), leur exposition. Les canaux qui présentent une zone littorale et une zone profonde abritent une faune très variée, surtout si la surface de l'eau est colonisée par les Utriculaires et les algues filamenteuses, et leur rive par des Cypéracées et des Graminées.

Dans la tourbière du Cachot, nous avons recensé plus de 60 espèces aquatiques dans les canaux. De plus, une bonne vingtaine d'espèces sont liées à la zone de contact tourbe-eau, soit à l'état larvaire (*Tabanidae*, par exemple. *Auroi*, 1983), soit à l'état adulte (*Carabides*, s.l., *Dolichopodidae*). Par rapport aux gouilles, les canaux abritent de plus grandes espèces, le plus souvent prédatrices :

Insectes. Coléoptères. *Dytiscus marginalis*, *Acilius sulcatus*, *Ilybius ater* (tous L et A).

Odonates. Larves d'*Aeschna cyanea* et *juncea*.

Hétéroptères. *Notonecta glauca*, divers *Corixidae* (L et A).

Il existe dans les canaux profonds une zone pélagique bien caractérisée, où l'on observe un zooplancton composé d'une vingtaine d'espèces de Copépodes, Cladocères et Ostracodes, ainsi que de bancs de larves de *Chaoborus crystallinus*.

Les Batraciens se reproduisent uniquement dans les canaux et dans les mares des creuses (Grenouille rousse, Crapaud commun, Triton alpestre). Ils semblent en nette diminution dans les tourbières de la Vallée de La Brévine.

2. Les creuses.

Ces dépressions de grandes dimensions résultent de l'ancienne exploitation de tourbe malaxée. Selon leur profondeur et leur pente, on y trouve des points d'eau libre, de petits marais tremblants, des prairies à *Carex rostrata* plus ou moins inondées, des replats où les sphaignes reprennent leur croissance, des endroits plus secs où s'implantent de jeunes bouleaux et des zones de contact où prolifèrent *Filipendula ulmaria*, *Epilobium angustifolium* et les grandes Ombellifères. Le contraste est brutal entre le fond des creuses et leurs parois assimilables aux landes nues ou à callune. C'est ainsi que se présente le Fossé Pochon dans la tourbière du Cachot (Geiger, 1980).

Cette sorte de synthèse de tous les milieux dégradés du marais abaissé par l'exploitation de la tourbe est d'une grande richesse faunistique. Une centaine d'espèces très diverses y sont recensées actuellement, mais elles ne représentent sans doute pas la moitié du peuplement animal, car les Diptères n'y sont pas comptés. Or, Auroi (1983) y a capturé 11 espèces de Tabanidae, Dufour (1984) y a identifié 12 espèces de Tipulidae, et on y a observé près d'une vingtaine de Dolichopodidae et une douzaine de Stratiomyiidae, etc.

Il n'est donc pas possible de donner ici la liste faunistique d'une creuse. Mentionnons cependant :

- que toutes les espèces d'Odonates de la tourbière y vivent, sauf *Soma-tochlora arctica*.
- que les Donacia y sont localisées.
- que les Orthoptères commencent à s'y diversifier avec *Mecosthetus grossus*, *Chorthippus montanus*, *Omocestus viridulus*, *Chorthippus biguttulus* et *brunneus*. (Les espèces sont classées selon une hygrophilie décroissante) (P. Thorens, communication personnelle).
- que, parmi les Hétéroptères sus-aquatiques, seul *Gerris odontogaster* parvient à se déplacer entre les tiges denses des Cypéracées inondées.
- que, parmi les Jassidae, *Cicadella viridis* forme d'énormes populations dans la strate herbacée.

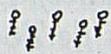
BIBLIOGRAPHIE

- AUROI, C. 1983. Les Tabanides (Diptères) de la tourbière du Cachot (Jura neuchâtelois). III. Chorologie des espèces les plus abondantes. Bull. Soc. neuchâtel. Sc. nat. 106: 73-82.
- BASSET, Y. 1984. Contribution à la connaissance des peuplements d'Arthropodes sur *Pinus Mugo* Terra dans les tourbières du Haut-Jura neuchâtelois. Travail de licence. Institut de Zoologie. Université de Neuchâtel.
- — — 1985. Les peuplements d'Arthropodes sur *Pinus Mugo* Terra dans les tourbières du Haut-Jura neuchâtelois. Bull. Soc. neuchâtel. Sc. nat. 108: 63-76.
- BRANCUCCI, M. et MATTHEY, W. 1980. Notes sur quelques Cantharides (Col.) récoltés dans la tourbière du Cachot (Jura neuchâtelois). Bull. Soc. neuchâtel. Sc. nat. 103: 5-10.
- DUFOUR, C. 1984. Les Tipulidae de Suisse (Diptères, Nématocères). Essai d'une méthodologie faunistique. Thèse de Doctorat. Institut de Zoologie. Université de Neuchâtel.
- GEIGER, W. 1980. Phytosociologie des landes de dégradation dans la tourbière du Cachot (Jura neuchâtelois, Suisse). Documents phytosociologiques 5: 5-10.
- — — 1981. Observations écofaunistiques sur les Lépidoptères de la tourbière du Cachot (Jura neuchâtelois). II. Microdistribution des adultes. Bull. Soc. ent. suisse 54: 117-132.
- MATTHEY, W. 1971. Ecologie des insectes aquatiques d'une tourbière du Haut-Jura. Revue suisse Zool. 78(2): 267-536.
- — — 1981. Observations sur *Gerris lateralis* Schumm (Het. Gerridae) dans les tourbières du Haut-Jura neuchâtelois. Bull. Soc. ent. suisse 54: 333-339.
- MUNARI, L. 1985. Una nuova species di *Sepsis* del gruppo «punctum» (Diptera, Sepsidae). Notulae Sepsidologica IX. Lavori Soc. Ven. Sc. nat. 10: 51-57.
- PEDROLI, J. C. 1975. Aspects de la biologie du Pipit farlouse *Anthus pratensis* (L) dans le Jura suisse: répartition, milieux de nidification, fluctuation et protection. Nos Oiseaux 33: 141-148.

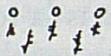
ANNEXE 3: CHOIX DE PROFILS PÉDOLOGIQUES

Les profils dessinés correspondent à ceux illustrés à la fig. 24 (analyse en composantes principales), et dont les caractères physicochimiques sont présentés dans le tableau 3.

Légendes des annexes



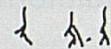
Sphaignes mortes, entières



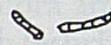
Débris de sphaignes, encore parfaitement reconnaissables



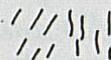
Racines



Radicelles



Rhizomes



Tourbe fibreuse



Degré de décomposition chimique (révélé par « indice pyro ») de la tourbe:

— faible (tourbe brun clair, beige)

— moyen (tourbe brune, brun foncé)

— fort (tourbe brun-noir)



Marne

SCHEUCHZERIETUM

SPHAGNETUM

PINO MUGO -

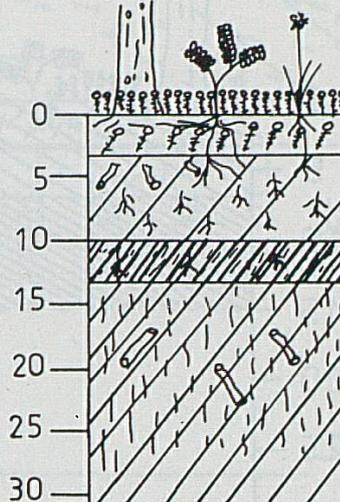
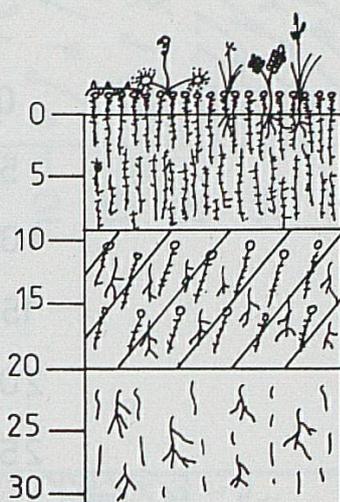
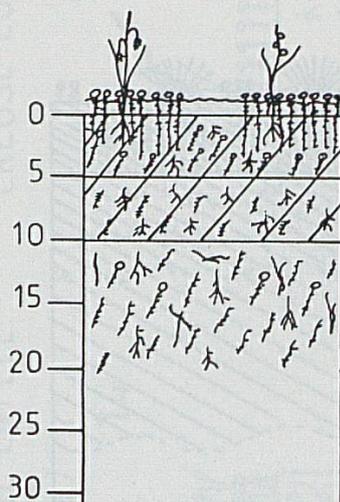
MAGELLANICI

SPHAGNETUM

1

2

3



SPHAGNO -

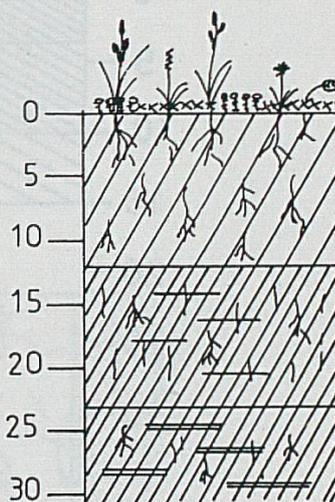
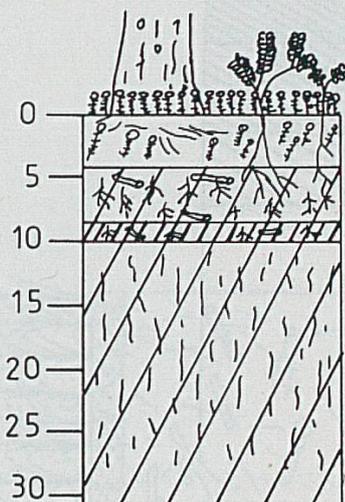
CARICETUM

PICEETUM

FUSCAE

4

5



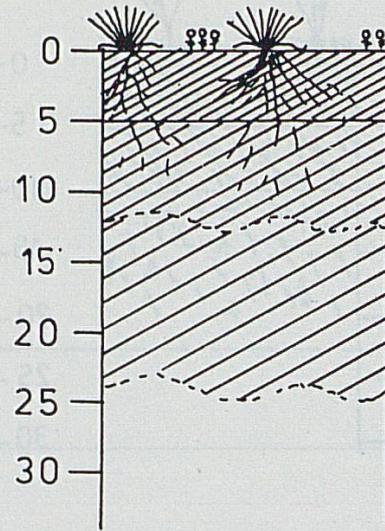
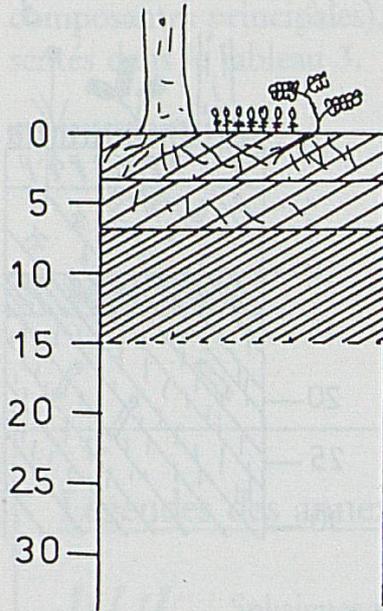
Annexe 3A: milieux naturels intacts.

SPAGNO - PICEETUM

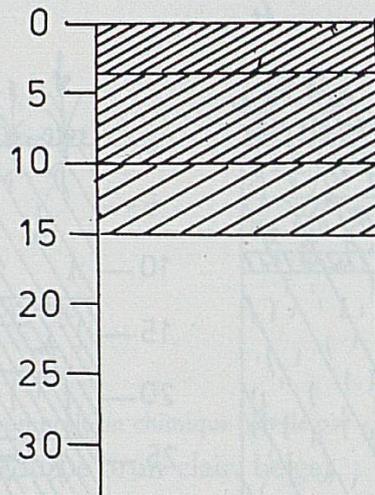
LANDE A TRICHOPHORE

7

9



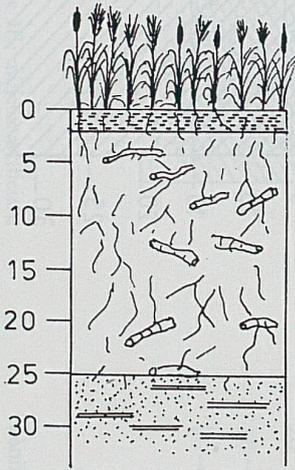
TOURBE NUE
10



Annexe 3B: milieux asséchés, déboisés et râclés.

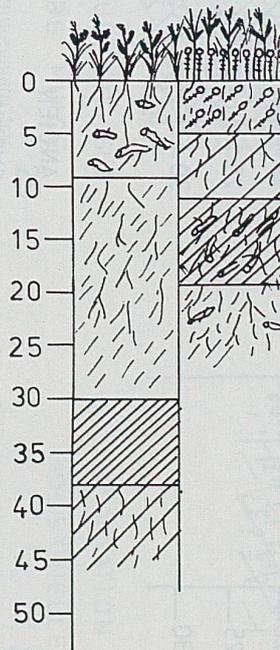
REGENERATION AVEC TOURBE
 TOTALEMENT ELIMINEE

13



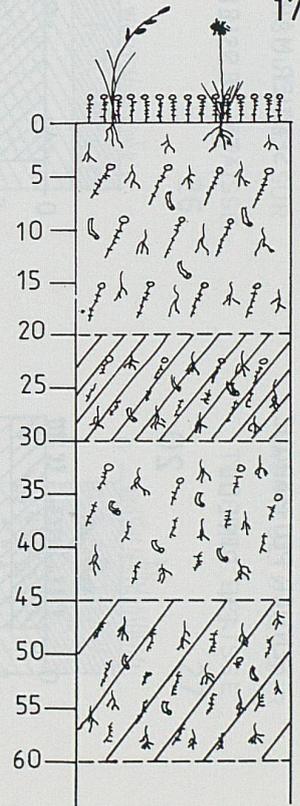
GROUPEMENT A LAICHE ENFLEE
 (*Caricetum rostratae*)

14



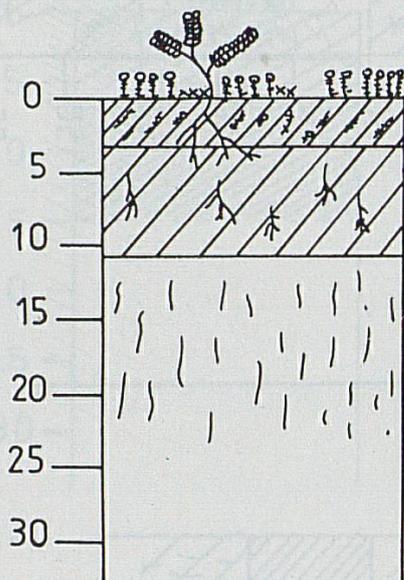
CREUSE COMBLEE

17



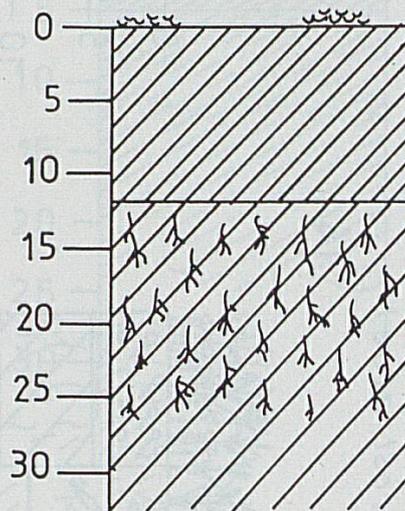
SENTIER PEU MARQUE
EN PINEDE

20



SENTIER MARQUE
EN PESSIERE

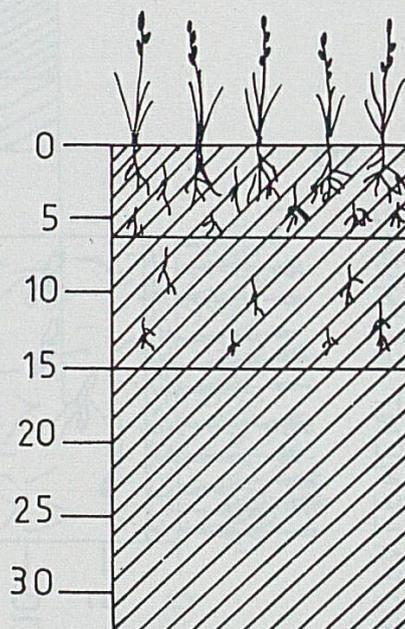
22



ANCIEN

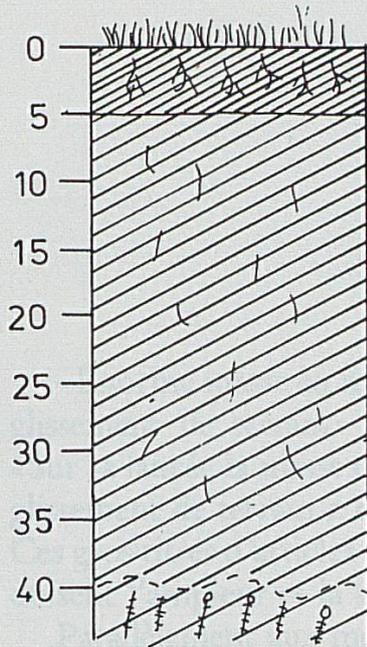
CHEMIN

25

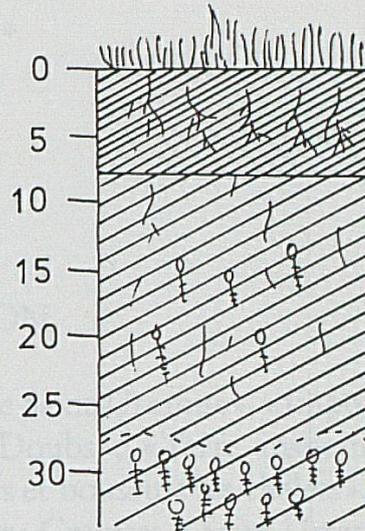


Annexe 3D: milieux piétinés.

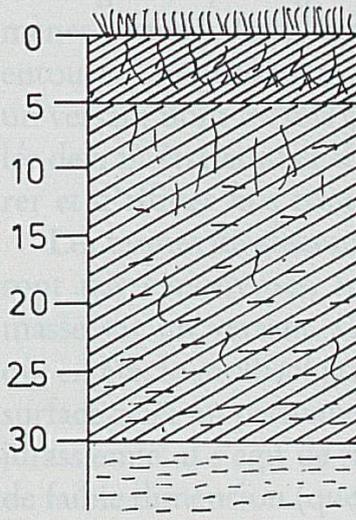
AGRICULTURE SUR
TOURBE EPAISSE
26



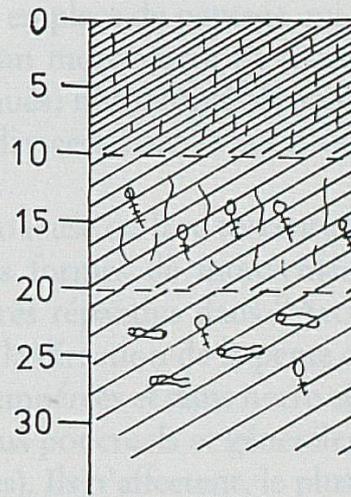
AGRICULTURE SUR
TOURBE EPAISSE
27



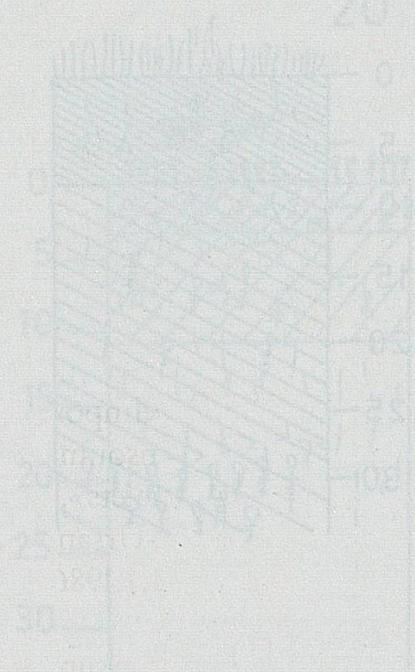
AGRICULTURE SUR
TOURBE MINCE
29



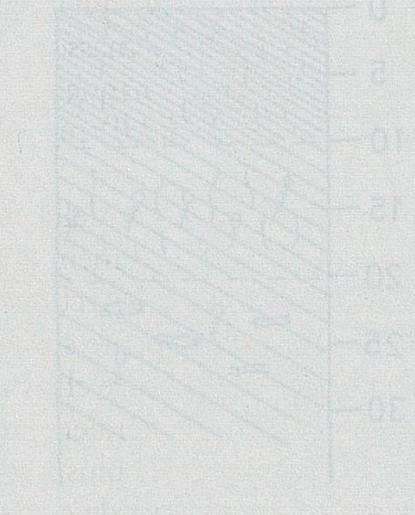
EXPLOITATION
INDUSTRIELLE
30



INDUSTRIELLE
TOURBE ERASSE
27



INDUSTRIELLE
EXPLOITATION
30



INDUSTRIELLE ERASSE
28



TOURBE MINEUSE
AGRICULTURE SUR
29

