

FORMATION ET ORGANISATION D'UNE TOURBE ACIDE DU JURA

D. GRANDVOINNET ⁽¹⁾, S. BRUCKERT ⁽¹⁾ et M. CAMPY ⁽²⁾

RESUME

Les phases de formation d'une tourbe acide du Jura sont étudiées en procédant à une analyse de l'organisation des constituants de la tourbe et de son interface avec le support géologique. La tourbe s'organise selon deux axes, du centre vers la périphérie, dans un plan horizontal, et de bas en haut, selon un axe vertical. L'interface minéral s'organise selon l'axe horizontal. L'accumulation de tourbe s'est produite successivement à partir d'associations végétales dominées par des typha, des cypéracées, puis des sphalgnes, ce qui rend compte de l'évolution des paramètres hydriques et géochimiques avec le temps. La chronologie est tirée de l'analyse palynologique. La formation de tourbe débute vers — 5 500 BC. La turbification s'est faite à des vitesses différentes. Des souches d'arbres fossilisées en place dans la partie centrale de la tourbière paraissent démontrer qu'une phase forestière s'est déroulée à l'Atlantique récent, à la faveur d'un climat moins pluvieux que le climat actuel. La colonisation par les arbres correspond à la phase la plus lente de turbification.

INTRODUCTION

Dans le contexte calcaire du Jura, on observe la formation de tourbières soit acidophiles, soit neutrophiles. Les premières se localisent dans des périmètres alimentés essentiellement par les eaux de pluies (BRUCKERT et GAIFFE, 1980). Par contre, les secondes s'étendent là où se rassemblent les eaux de ruissellement des bassins-versants, chargées en calcium.

Cette note s'insère dans une étude plus large visant à déterminer les conditions d'installation et les phases de développement des tourbières à sphaignes du Jura. L'objectif du travail présenté ici reste cependant moins ambitieux, mais semble une étape nécessaire au but fixé. Il s'agit en effet de déterminer la structure d'une tourbière acide, en situant spatialement les débris identifiés qui la constituent, et d'analyser l'interface tourbe-support minéral.

I - SITUATION DE LA TOURBIERE, MATERIEL ET METHODES D'ETUDES

La tourbière analysée se situe à 850 m d'altitude sur la commune de Bief-du-Fourg (coordonnées Lambert 888,65 × 209,75 - carte IGN 1/25 000^e, Pontarlier) dans un

MOTS CLES : tourbe à sphaignes - turbification - bois - fossiles.

KEY WORDS : peat - sphagnum - peat formation - wood fossils.

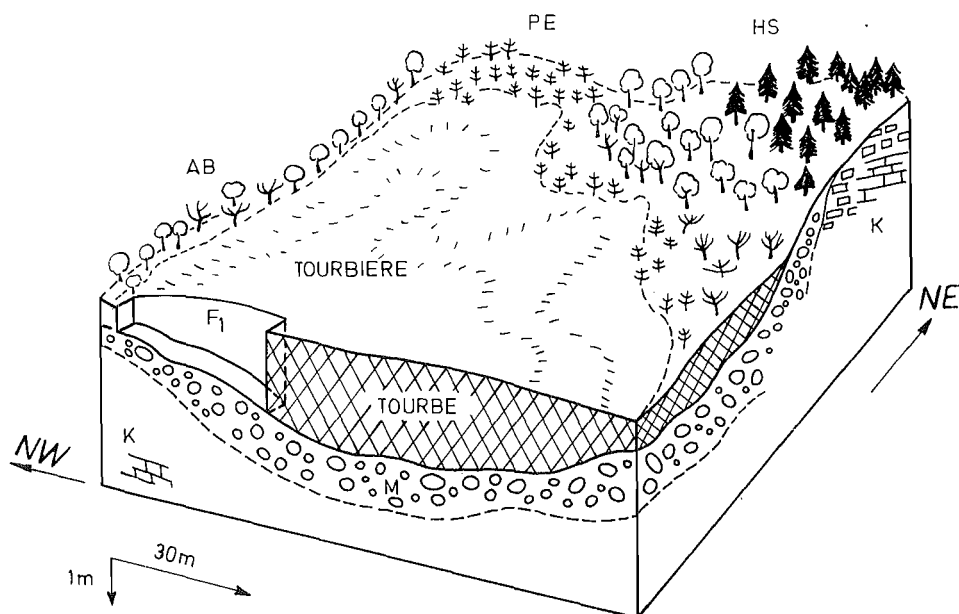
(1) Laboratoire de Pédologie, Université de Franche-Comté, Place Leclerc, 25030 Besançon Cédex.

(2) Centre des Sciences de la Terre, Université de Dijon, 6, boulevard Gabriel, 21100 Dijon.

vaste synclinal crétacé dont l'axe SO-NE s'étire le long de la zone centrale de la chaîne jurassienne, entre Nozeroy et Pontarlier. Morphologiquement, cette « plaine » est en réalité une succession de collines et de cuvettes aux formes arrondies, constituées de moraines calcaires abandonnées par les glaciers würmiens. La présence de tourbières remarquables lui a valu d'être l'un des sites botaniques les plus étudiés de Franche-Comté (GUINOCHET, 1956 ; GILLET *et al.*, 1980). Le climat y est de type tempéré froid, marqué de pluies abondantes, régulièrement réparties sur toute l'année et d'une évapotranspiration potentielle estivale inférieure aux précipitations.

La tourbière appartient à un complexe « humide » très étendu qui comprend la Grande Seigne (50 ha), la Seigne des Ponts (35 ha) et d'autres tourbières à sphaignes de moindre importance. Elle couvre elle-même 5 ha d'une dépression ovale de 200 m de large sur 230 m de long qui communique au nord avec la Grande Seigne. Elle se subdivise en une partie NE qui a conservé sa structure primitive et une partie SW qui a été exploitée (fig. 1).

La tourbière est couverte de sphaignes et de callune (association *Sphagnetum magellanici trichophoretosum*). Elle est bordée à l'ouest et à l'est par du bouleau et de l'aulne ; elle est colonisée au nord par du pin à crochets.



Légende

- F₁ = fosse décrite et analysée
- M = moraine
- K = substratum calcaire
- AB = aulnes , bouleaux
- PE = pins à crochets
- HS = hêtraie sapinière

Figure 1 : Bloc diagramme de la tourbière étudiée de Bief du Fourg (partie N-E).

Diagramm of musked studied in Bief du Fourg (Part N-E).

C'est dans la masse tourbeuse que nous avons ouvert une fosse de 2 m de large sur environ 40 m de long.

Nous avons procédé à une description détaillée des différents niveaux de tourbes en examinant la morphologie de la matrice, la position précise et la nature des restes identifiables ou non — fibres, racines, branches, souches, troncs —. Nous avons mesuré les pH et estimé les teneurs en eau rapportées au poids de tourbe séchée à l'air. Les fibres ont été extraites en agitant pendant 4 heures 250 cm³ de tourbe dans 1,5 l de NaOH 0,5 N et en tamisant à 2 mm en phase aqueuse. Vers le centre de la tourbière, à l'endroit le plus profond de la fosse, nous avons prélevé des échantillons pour effectuer des analyses palynologiques. Nous l'avons fait à 26, 46, 67, 98, 122, 142, 166 et 205 cm, en tenant compte des niveaux observés. Afin d'étudier l'interface tourbe-moraine, nous avons prélevé des échantillons en 16 points régulièrement répartis depuis la périphérie vers le centre de la tourbière (fig. 2). Nous en avons déterminé la granulométrie.

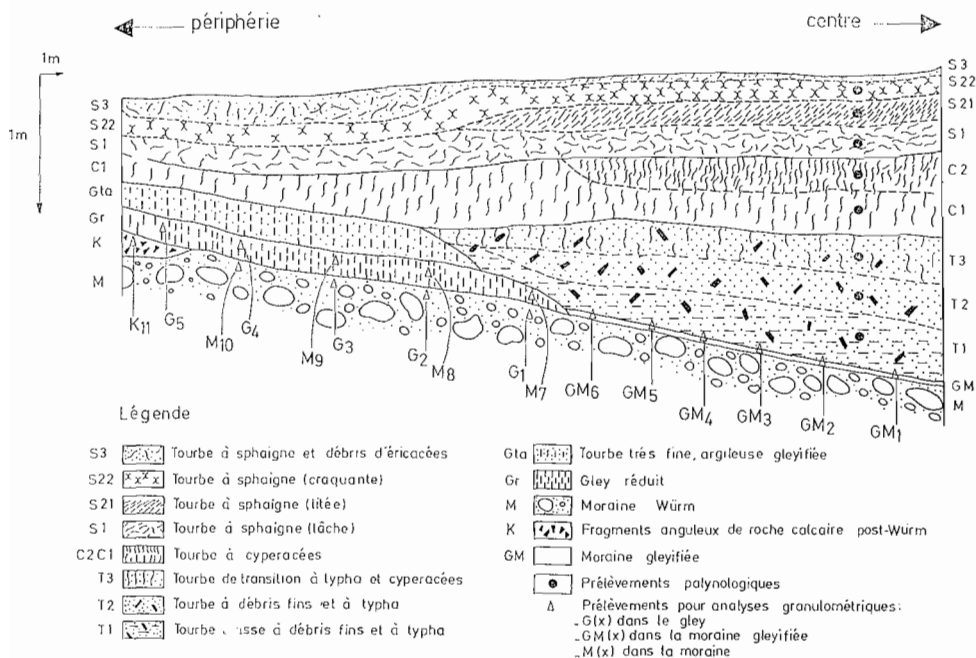


Figure 2 : Stratigraphie schématique de la tourbe.
Schematic stratigraphy of peat.

II - RESULTATS

A) Organisation de la tourbière et de son support

Dans notre analyse, nous examinerons d'abord l'interface moraine-tourbe, la matrice amorphe et les débris fibreux herbacés qui composent les différentes couches de tourbe. La plupart des restes végétaux seront identifiés par observation directe. Nous étudierons enfin la distribution et la position relative des restes ligneux au sein des niveaux identifiés.

Tableau I : Granulométrie des matériaux minéraux à l'interface moraine-tourbe.
Grain-size of mineral material in morain-peat contact.

ECHANTILLONS	GRANULOMÉTRIE				
	SG	SF	LG	LF	A
MATÉRIAUX CARBONATÉS* SABLO-LIMONEUX MORAINIQUE GLEYIFIÉS À ÉLÉMENTS GROSSIERS ARRONDIS					
GM 1	19,3	13,3	5,0	38,2	24,2
2	36,4	18,8	5,4	31,7	7,7
3	23,0	21,1	4,5	38,4	13,0
4	27,8	18,7	6,9	34,9	11,7
5	30,4	19,3	4,6	34,0	11,6
6	31,5	18,9	6,6	32,2	10,8
MATÉRIAUX CARBONATÉS* SABLO-LIMONEUX MORAINIQUES SAINS					
M 7	28,6	19,1	5,6	34,3	12,4
8	23,9	16,2	4,2	41,8	13,9
9	24,8	13,4	6,6	27,2	28,0
10	25,0	18,6	4,8	34,6	17,0
MATÉRIAUX NON CARBONATÉS ARGILO-LIMONEUX À ÉLÉMENTS GROSSIERS ANGULEUX					
K 11	0,3	12,6	5,9	38,6	42,6
MATÉRIAUX NON CARBONATÉS ARGILO-LIMONEUX ALLUVIAUX- COLLUVIAUX TRÈS GLEYIFIÉS					
G 5	0,5	11,5	8,8	38,1	41,1
4	0,4	12,2	5,7	40,1	41,6
3	0,3	11,3	7,7	37,2	43,5
2	0,1	10,4	6,7	38,1	44,7
1	0,2	10,2	2,0	41,6	46,0

* Forte effervescence à HCl

1. Analyse de l'interface moraine-tourbe

Depuis le centre de la tourbière vers la périphérie, les matériaux accumulés se différencient verticalement et latéralement en niveaux définis par leur consistance, leur couleur et leur composition :

- vers le centre, on dénombre 9 niveaux organiques qui reposent directement sur la moraine ;
- à la périphérie, on ne compte plus que 4 niveaux organiques, mais ceux-ci recouvrent des sédiments minéraux fins gleyifiés qui se sont eux-mêmes accumulés sur les matériaux morainiques.

Les analyses des niveaux situés à l'interface moraine-tourbe confirment les résultats tirés des observations morphologiques (Tableau I). La figure 2 indique la situation des prélèvements. On peut constater que les matériaux sont de 3 sortes :

- sablo-limoneux carbonatés dans la moraine saine M_{7-10} et gleyifiée GM_{1-6} où ils enserrent des cailloux et blocs usés ;
- argilo-limoneux non calcaires, mais renfermant des éléments caillouteux anguleux, issus d'un transport de courte durée, dans le colluvium K_{11} ;
- argilo-limoneux non calcaires et formés uniquement de particules fines dans le gley G_{1-5}

Les échantillons GM_{1-6} et M_{7-10} ont sensiblement la même composition : il apparaît que, dans la partie centrale, la tourbière repose directement sur les matériaux morainiques et que ceux-ci n'ont subi aucun remaniement granulométrique, aucun colmatage par des particules fines. La seule transformation observée est la réduction chimique qui s'est exercée sur 5 à 8 cm.

Il semble aussi que la périphérie de la cuvette morainique ait été recouverte de matériaux allochtones, issus du démantèlement d'un banc calcaire (K_{11}) et de l'érosion d'argile de décarbonatation ou de produits d'origine pédologique ; ces derniers auraient été entraînés et déposés là par l'eau, comme en témoigne le tri granulométrique observé : la fraction argileuse augmente régulièrement de la périphérie vers le centre.

Chronologiquement, les alluvions-colluvions argilo-limoneuses se sont mises en place à la périphérie de la cuvette morainique alors que le centre de celle-ci était déjà le site d'un dépôt tourbeux.

2. Caractéristiques des niveaux tourbeux

Dans la partie centrale, 3 couches majeures T-C-S⁽¹⁾ se différencient de bas en haut et se subdivisent en niveaux, 9 en tout, (fig. 2). La couche T est formée d'une tourbe compacte brun-jaune à *Typha* et à fibres oranges non identifiées (restes de *Typha* de 2 à 3 cm sur 3 à 15 cm avec parfois la base des racines) ; elle comprend 3 niveaux d'épaisseur à peu près égale. T_1 se compose d'une matrice pâteuse, massive, grasse au toucher, et de fibres fines, courtes, très abondantes (indice 7 sur l'échelle de Von Prost) ; T_2 renferme une proportion plus grande de fibres dans une matrice marron, pâteuse (indice 6), T_3 ressemble à T_2 , mais en moins compact et plus riche en eau ; ce niveau contient déjà des fibres de *cypéracées* (indice 6). La couche C est constituée d'une tourbe molle, lâche et noire à fibres longues (10-15 cm), jaunâtres de *cypéracées* ; la matrice se présente sous l'aspect d'une boue semi-liquide grumelleuse en C_1 (indice 9) ; elle tend à disparaître en C_2 où la protection de fibres augmente jusqu'à atteindre 100 % du matériau (figure 8). La couche S est composée d'une couche compacte brune à *sphaignes* ; elle comprend un premier niveau gorgé d'eau S_1 caractérisé par un enchevêtrement dense de fibres plates de 3 mm de large sur 4-5 cm de long, un deuxième niveau feuilleté de fibres cylindriques

(1) T = *Typha* ; C = *Carex* ; S = *Sphaignes*.

compressées de 0,5 mm de diamètre sur 2 à 3 cm de long, un troisième niveau de fibres lâches.

Dans la partie périphérique, les couches à *Typha* sont absentes. Le premier sédiment observé est minéral, non calcaire, argilo-limoneux et gleyifié. La série organique débute en C₁ et comporte au moins deux autres lacunes : absence de C₄ et de C₂₁. Le niveau C₁ de la périphérie diffère de son homologue plus central par des fibres noires au lieu de jaunes, plus altérées, moins nombreuses et noyées dans une matrice noire plus compacte à structure granuleuse mal exprimée (indice 7). La couche S se subdivise en 3 niveaux :

- S₁ gorgé d'eau, à débris de sphaigne fins et à matrice grumeleuse compacte (indice 4) ;
- S₂ fibreux, serré, sans matrice (indice 3) ;
- S₃ fibreux, lâche, assez sec, constitué de débris de sphaignes, d'éricacées et d'autres végétaux. Ce dernier niveau qui ressemble morphologiquement à un mor, est le plus épais des trois.

On observe donc le résultat de plusieurs processus :

- à la périphérie, un dépôt de sédiments minéraux au-dessus de la moraine ;
- vers le centre, une accumulation uniquement organique de nombreux niveaux ;
- depuis le centre vers la périphérie, une différenciation des niveaux organiques communs aux deux parties, en fonction des transformations apportées aux accumulations par le changement graduel des paramètres géochimiques : alimentation en eau, verticale (pluies) ou latérale (ruissellements), teneur des eaux en calcium nulle ou élevée, saturation complète ou partielle par l'eau.

3. Etude des restes ligneux

Tous les niveaux organiques et minéraux renferment des restes ligneux qui semblent s'ordonner en fonction de leur site d'implantation, puis de remaniements éventuels.

L'attention est particulièrement attirée par l'observation des souches en place. Elles demeurent en effet, plus que tout autre reste ligneux, les témoins des paysages tels qu'ils étaient à un moment donné de la formation du marais. Elles indiquent, par leur nature, le type calcique ou acide de la turbification (1). Les troncs, branches et racines complètent notre information par les renseignements tirés de leur identité et répartition, morphologie et état de conservation, taille et proportion.

En relevant la position relative des bois au sein des sédiments, nous avons subdivisé la fosse en six volumes dont les limites coïncident sensiblement avec les principales couches définies précédemment (fig. 3). La tourbe à *Typha* diffère totale-

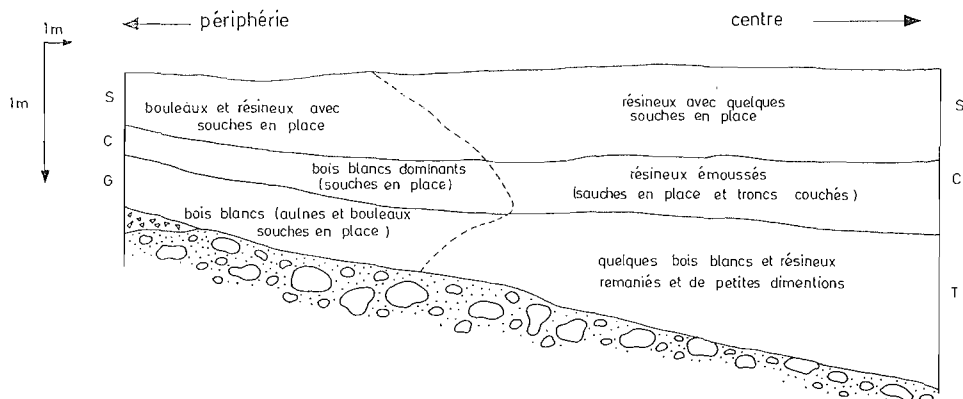


Figure 3 : Répartition des troncs.
Repartition of peus of wood.

(1) Turbification vient du francique TURBA : tourbe.

ment des autres sédiments parce qu'elle ne renferme pas de souches, mais uniquement des restes ligneux remaniés. Le premier niveau T₁, plus plastique que les suivants, ne contient que de très rares bois blancs (feuillus) aux structures bien conservées mais fragiles (de 3 à 4 cm de diamètre et de 5 à 20 cm de long). Les deux autres niveaux ont enfoui des bois résineux (de 10 à 20 cm de diamètre sur 20 à 30 cm de long) et des bois blancs de petite dimension (de 3 à 4 cm sur 5 à 20 cm). Sur la coupe, on en dénombre 3 à 4 par m². Les restes de bois blancs, plus petits que les résineux, sont gorgés d'eau.

Les sédiments G, homologues de T, sont caractérisés par une forte densité de bois blancs fragiles, 15 à 17 au m² [de 1 à 3 cm de diamètre sur 10 à 20 cm de long]. On subdivise cet ensemble en deux niveaux, le plus profond Gr marqué par une orientation verticale des restes avec quelques petites souches de 5 à 7 cm de diamètre sur 10 à 20 cm de haut, le moins profond Gta qui s'en distingue par des bois disposés en tout sens.

La couche C centrale contient essentiellement des souches de résineux en place et des troncs aux formes très émoussées (de 10 à 30 cm de diamètre pouvant atteindre plusieurs mètres de longueur), à raison de 7 à 8 par m². Son homologue périphérique en diffère à la fois par une très forte densité des restes (22 à 23 par m²) et par la prédominance des bois blancs sur les bois résineux (bois blancs rigides et de petite dimension, diamètre 2 à 5 cm, longueur 10 à 20 cm ; bois résineux moins émoussés en général avec des petites souches de 10 à 15 cm de diamètre).

La couche S centrale ne renferme que des restes de résineux bien conservés, 7 à 8 au m² avec des souches en place, surtout en S₂₂. Les pièces de bois varient dans leur taille de 5 à 20 cm de diamètre et de 20 à 80 cm de longueur. Son homologue périphérique est dominé par les restes de résineux ; on y trouve des souches en place et des bois blancs ayant conservé leur dureté avec une proportion de 8 à 10 par m².

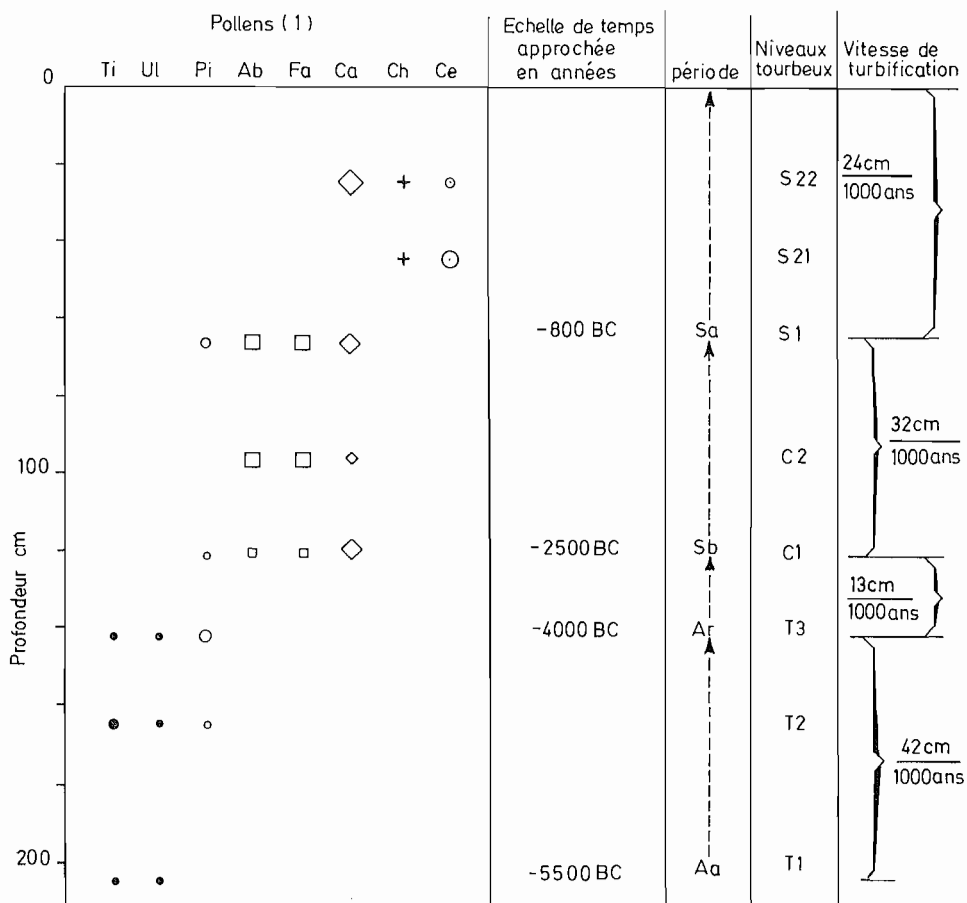
Il ressort de l'observation des bois, les faits suivants :

- la périphérie du marais était boisée par des essences feuillues, probablement neutrophiles pendant l'accumulation de la tourbe à *Typha* ;
- le remplacement des bois blancs par les résineux a débuté pendant l'accumulation de la tourbe à cypéracées et s'est poursuivi pendant celle de la tourbe à sphaignes ;
- la présence de souches fossilisées en place dans la partie centrale, semble indiquer qu'une phase forestière s'est déroulée à l'Atlantique récent, à la faveur d'un climat moins pluvieux que le climat actuel.

B) Chronologie des accumulations de tourbe

L'échelle de temps donnée par l'analyse palynologique est présentée dans la figure 4. On peut noter que la formation de la tourbe débute, sur le site étudié, à l'Atlantique vers — 5 500 BC. Pendant l'Atlantique ancien, l'accumulation de tourbe semble avoir été la plus rapide. Le développement de la pinède en fin de période marque le passage de l'ambiance calcique à l'ambiance acide résultant de l'épaississement des dépôts et de leur alimentation de plus en plus pluviale. Entre — 4 000 et — 2 500 BC, à l'Atlantique récent, se produit un fort ralentissement de la turbification qui coïncide avec la venue d'un climat plus sec, signalé par la callune. Entre — 2 500 et — 800 BC, l'accumulation de tourbe redevient active, puis ralentit à nouveau de — 800 à nos jours avec le développement d'une deuxième phase climatique plus sèche (callune).

La différence entre les vitesses de turbification estimées à l'Atlantique ancien et à l'Atlantique récent peut être considérée comme d'autant plus significative que la tourbe à *Typha* est compactée, alors que la tourbe à cypéracées (C₁) est extrêmement lâche.



Légende :

— des pollens : Ti : Tilia ; Ul : Ulmus ; Pi : Pinus ; Ab : Abies ; Fa : Fagus ;
Ca : Calluna ; Ch : Carpinus ; Ce : Plantago et céréales.

— des « périodes » : Aa : Atlantique ancien ; Ar : Atlantique récent ; Sb : Subboréal ;
Sa : Subatlantique ; BC : before Christ (avant Jésus-Christ).

(1) La taille des signes augmente avec l'importance relative des pollens.

Figure 4 : Chronologie des accumulations de tourbe et vitesse de turbification.

Chronology of accumulation of peat and speed of formation peat.

III - DISCUSSION ET CONCLUSION

D'après l'étude, le début de l'accumulation tourbeuse se situerait vers 5500 BC. Ce résultat est en accord avec les estimations précédentes faites dans le périmètre des moraines jurassiennes würmiennes (CAMPY et RICHARD, 1987). Pour expliquer ce départ aussi tardif, on peut émettre l'hypothèse qu'aux périodes antérieures, les températures étaient trop froides pour permettre le développement d'une végétation sur les sites tourbeux actuels. Ce ne serait que vers 7 000/8 000 BC qu'un réchauffement suffisant aurait favorisé leur colonisation par les plantes.

La turbification semble s'être produite en plusieurs phases, à des vitesses variables, au vu des épaisseurs de tourbe rapportées au temps (fig. 4). Pendant ce dérou-

lement, les changements survenus dans les espèces végétales fossilisées témoignent de l'évolution des conditions géochimiques. Ces variations de rythme et d'environnement seraient en relation avec des modifications climatiques et avec les conséquences du processus lui-même d'accumulation verticale de tourbe.

Une première phase très active de turbification aurait duré de 5 500 à 4 000 BC, pendant l'Atlantique ancien. Le site est alors occupé par un marais à *Typha*, environné de la chênaie mixte à orme et noisetier. Un climat tempéré chaud et humide aurait entraîné une turbification élevée, de l'ordre de 42 cm par 1 000 ans, dans une ambiance calcique. Avec l'épaississement de tourbe et une alimentation en eau devenant de plus en plus pluviale, les entrées de calcium cessent et une ambiance mésotrophe se développe. Les *Typha* régressent au profit des scirpes.

La turbification subit en même temps un ralentissement très important entre 4 000 et 2 500 BC. Pendant cette deuxième période de 1 500 ans, la vitesse d'accumulation tourbeuse tombe à 13 cm/1 000 ans. Le changement de végétation herbacée, en relation avec les modifications géochimiques, n'explique pas la régression de turbification. On est conduit à émettre l'hypothèse d'un changement climatique dont les caractères (plus sec et plus froid) seraient indiqués par deux critères :

- l'invasissement de la tourbière par des résineux avec la fossilisation des souches sur pied et l'augmentation des pollens de pin ;
- le développement de la hêtraie sapinière autour du site tourbeux.

Une période boisée analogue a été aussi décrite au Canada (RADFORTH et BRAWNER, 1977 ; BIRKS et BIRKS, 1980). Elle se termine avec l'arrivée d'un climat plus humide, mais tout aussi froid : celui du plein développement de la hêtraie sapinière. Les arbres de la tourbière régressent et ne persistent qu'en bordure où l'on observe un mélange de bois résineux et feuillus.

La turbification reprend activement entre 2 500 et 800 BC, avec 32 cm/1 000 ans. La tourbière mésotrophe à scirpes s'accumule encore pendant 1 700 ans environ. Son épaississement, en modifiant les conditions chimiques, entraîne une acidification de plus en plus accentuée. Le site est alors colonisé par les sphaignes. La turbification à partir de ces mousses semble très active jusqu'à une époque récente (24 cm/1 000 ans) où elle paraît freinée à la suite d'une modification du régime hydrique. L'assèchement relatif attesté par le développement de la callune viendrait du drainage entraîné par l'exploitation de la tourbe : on observe en effet dans la région, des tourbières intégralement conservées, dont l'accumulation tourbeuse se poursuit à partir de sphaignes et de scirpes en association.

Au plan physique, il faut souligner que les modalités des phases de turbification, marquent encore à l'heure actuelle la structure du volume tourbeux : le premier niveau très lâche à cypéracées se comporte en réservoir d'eau captive entre deux niveaux compacts.

Reçu pour publication : Novembre 1987

Accepté pour publication : Juin 1988

FORMATION AND ORGANIZATION OF SPHAGNUM PEAT IN JURA

A peat was studied in the Jura mountains (fig. 1). Special attention was devoted to morphological features, botanical composition, proportions and organization of wood fossils in fine materials.

Peat is to be found along two lines : from the center toward the periphery on a ground-plan and from the top to the bottom on a vertical axis. A horizontal axis serves as a meeting part between the peat and the mineral basis (tab. 1).

Peat horizons were dominated by residues of typha, scirpus and sphagnum from bottom to top.

This sequence account for the evolution of hydric and geochemical parameters in process of time.

Pollens were analysed as time indicators (fig. 4). Peat formation started around 5500 BC.

The organic matter was accumulated with variable rate. Apparently, it is during the ancien Atlantic that peat accumulated most rapidly. Pine development at the end of the period shows the transition from calcic to acidic environment because of the accumulation of sediments and an increase in rainfall supply. Between 4000 and 2500 BC, during the recent Atlantic, an important decrease in peat formation occurred which corresponded to the on-coming of a drier climate marked by *calluna*. Between 2500 and 800 BC peat accumulated again then there was another decrease from 800 until now in response to a second drier period (* *calluna*). A slow accumulation occurred during the period of « recent Atlantic », at the same time that wood period was taking place.

Bibliographie

- BIRKS HJB. et BIRKS HH., 1980. — *Quaternary Paleoecology*. Ed. Edward Arnold. London, 289 p.
- BRUCKERT S. et GAIFFE M., 1980. — Analyse des facteurs de formation et de distribution des sols en pays calcaire glaciaire ou karstique. *Ann. scient. Univ. Besançon, Biol. vég.*, 4^e série, fasc. 1, 19-67.
- CAMPY M. et RICHARD H., 1987. — Dynamique et typologie des remplissages lacustres tardi- et postglaciaires de la chaîne jurassienne. *Travaux français en Paléolimnologie. Document du CERLAT, mémoire n° 1*, 165-180.
- GILLET F., ROYER J.M. et VADAM J.C., 1980. — Etude monographique des tourbières du département du Doubs et du nord du département du Jura. In *Etude pluridisciplinaire des zones humides formant le complexe étangs, marais et tourbières de Frasne (Doubs)*. Contrat de Recherche 71-11, Ministère Qualité de la Vie. Lab. Taxonomie expérimentale, Univ. Besançon, 125-273.
- GOBAT J.M., 1984. — Ecologie des contacts entre tourbières acides et marais alcalins dans le Haut-Jura. *Thèse*, Université de Neuchatel, 255 p.
- GUINOCHET M., 1956. — *Carte phytosociologique au 1/20 000 Pontarlier sud-ouest*. Publiée par le Service de la Carte des groupements végétaux de la France du CNRS et In *Phytosociologie*, 1973, Masson, Paris, 227 p.
- RADFORTH N.W. and BRAWNER C.O., 1977. — *Muskey and the northern environment in Canada*. By muskey subcommittee of the NCR. Associate Committee on Geotechnical Research. University of Toronto Press, 399 p.