

Observations écologiques dans la tourbière du Cachot

Autor(en): **Matthey, Willy**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **87 (1964)**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-88943>

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.

OBSERVATIONS ÉCOLOGIQUES DANS LA TOURBIÈRE DU CACHOT

par

WILLY MATTHEY

AVEC 4 FIGURES ET 1 CARTE

INTRODUCTION

La tourbière du Cachot (ou du Bas du Cerneux), dans la vallée de La Brévine, constitue le plus important lambeau intact de ce qui dut être un vaste ensemble de deux kilomètres de longueur environ, allant du Marais rouge (Vers-Chez-les-Combes) jusqu'à Le Marais (Sous le Maix-Rochat). Elle est située à l'Ouest du Grand Cachot, à une altitude de 1050 mètres. De forme vaguement rectangulaire, elle occupe une surface d'environ sept hectares.

Sur les flancs Nord, Est et Sud, elle est entourée de prés drainés et cultivés, alors qu'à l'Ouest, le massif tourbeux, irrégulièrement exploité, la prolonge.

Le trop-plein de la tourbière se déverse, par l'intermédiaire de drains, dans deux dolines situées à deux cents mètres environ de ses angles Est et Sud.

LESQUEREUX a été le premier à étudier les tourbières de la vallée de La Brévine, donc celle du Cachot. FRÜH et SCHRÖTER, MEYLAN, ont poursuivi l'étude de la flore. SPINNER y a procédé à des recherches floristiques et à des analyses polliniques. Ces dernières ont été reprises récemment par JÉQUIER. FAVRE en a étudié les associations fongiques.

Notre travail se propose d'étudier les associations végétales de la tourbière et la place qu'y occupent les sphaignes, en fonction des conditions écologiques.

Pour établir la carte phytosociologique, nous avons jalonné et quadrillé la surface de la tourbière, ce qui nous a permis de situer par rapport à l'ensemble, puis de dessiner, la mosaïque des associations végétales.

Seules les associations du haut-Marais seront traitées, à l'exclusion des intéressantes formations qui marquent la régénération de la tourbière sur certains fonds exploités.

La tourbière en tant que milieu écologique

1. *Climat.* — Le climat local des hautes vallées jurassiennes a été étudié par SPINNER (1927), HOFFMÄNNER (1930), BURGER (1959).

2. *Humidité atmosphérique.* — Le pluviomètre de La Chaux-du-Milieu donne une moyenne supérieure à 1200 mm de précipitations pour les années 1960 à 1963.

En outre, les brouillards et les brumes sont fréquents dans la vallée de La Brévine, surtout la nuit. Ils jouent un rôle assez important en humectant la surface des végétaux.

Dans la tourbière, l'hygromètre marque 90 à 100% pendant la nuit durant toute la belle saison.

L'eau de fonte des neiges est évacuée rapidement, mais auparavant, elle sature la partie superficielle du massif tourbeux, ce qui est d'une grande importance pour les espèces des parties sèches et pour les buttes.

3. *Température.* — Un thermomètre a été installé à un mètre cinquante du sol dans le *Sphagno-Mugetum* (endroit couvert), un autre dans le *Sphagnetum medii* (endroit exposé). Dans cette dernière association, l'amplitude maximum-minimum est plus grande en moyenne de 2,8°, variant de 1 à 6°. L'échauffement de l'air y est plus fort, et le refroidissement plus prononcé.

Dès octobre, les sphaignes restent gelées en certains endroits, et elles ne dégèlent de façon générale qu'au début d'avril.

Si la température s'élève considérablement à la surface du sol, l'intérieur du massif tourbeux est beaucoup plus froid. La tourbe y reste gelée jusqu'à fin mai.

Les mesures en profondeur ont été prises avec un thermomètre-sonde. Le 28 juillet 1960, nous avons mesuré :

Température de l'air :	27°
»	à 20 cm de profondeur : 14°
»	à 30 cm de profondeur : 10°
»	à 40 cm de profondeur : 9,5°
»	à 50 cm de profondeur : 9,5°
»	à 75 cm de profondeur : 8,5°

LÉGENDE DE LA CARTE PHYTOSOCIOLOGIQUE

	<i>Sphagno-Piceetum.</i>
	<i>Sphagno-Mugetum.</i>
	<i>Sphagnetum fusci.</i>
	(Sur le haut-marais). <i>Sphagnetum medii.</i>
	<i>Scheuchzerietum.</i> (Gouilles)
	<i>Molinieto-Trollietum europaei.</i>
	Landes de dégradation.
	Bord du haut-marais.
	Rigole de drainage.
	Axe I.



Le 16 juillet 1961, le thermomètre marquait $1\frac{1}{2}^{\circ}$ à un mètre de profondeur dans le centre du marais.

En 1961, le sol n'a pas dépassé 10° à un mètre de profondeur.

Ces chiffres montrent que, malgré de violents échauffements superficiels, la tourbière reste un milieu plutôt froid.

4. *Acidité.* — Les mesures de *pH* dans le terrain ont été faites au moyen de papiers ou de liquide indicateurs, en exprimant l'eau des prélèvements.

Les chiffres ci-dessous ont été calculés au moyen du *pH*meter (marque Metrohm) du Laboratoire de l'Institut de Botanique. Ils sont tirés du graphique de la figure 1. Nous avons reporté sur celui-ci les acidités des prélèvements effectués systématiquement d'un bord de la tourbière à l'autre, tous les cinq mètres, sur l'axe 1.

L'acidité moyenne est de 4,3 en surface, de 4,2 à 10 cm de profondeur. Elle est comprise entre *pH* 3,4 et 4,9, amplitude 1,5.

Les endroits les plus acides sont :

- a) La tourbe nue des landes de dégradation ;
- b) Le sol de la zone d'enracinement des pins.

Les sphaignes vivantes se maintiennent entre *pH* 4,2 et 4,9.

La différence entre l'acidité du sol en surface et à 10 cm de profondeur est plus marquée dans les sphaignes.

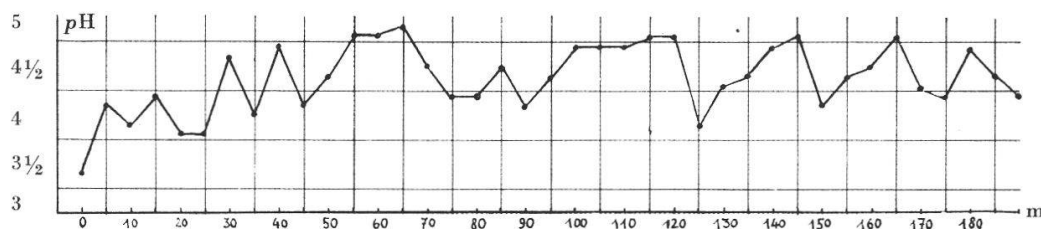


Fig. 1

Associations végétales

Scheuchzerietum

Sphagnetum medii et sous-associations

Sphagnetum fusci

Sphagno-Mugetum et stades de dégradation

Sphagno-Piceetum betuletosum pubescentis

Moliniето-Trollietum europaei swertietosum perennis.

Ces groupements végétaux entrent dans le cadre des associations, sous-associations et variantes décrites par GUINOCHET (1950), OBERDORFER (1957), et RICHARD (1961).

Trois termes souvent utilisés par la suite doivent être définis.

a) Nous entendons par *gouille* toute dépression naturelle et remplie d'eau, généralement profonde de 10 à 30 cm. On la trouve en particulier dans le *Sphagnetum medii*; elle est le plus souvent occupée par le *Scheuchzerietum*. SPINNER (1932) appelait cette formation « Kolke ».

b) Le *replat* est une surface plane, formée par les sphaignes du *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi* en particulier. Il correspond au « Schlenke » de SPINNER.

c) La *butte* répond à la définition du dictionnaire, à ceci près qu'elle est formée par des sphaignes et autres mousses en proportions variables. SPINNER l'appelait « Bulte ».

SCHEUCHZERIETUM. Tx. 1937

Définition. — C'est l'association qui occupe les gouilles à l'intérieur du *Sphagnetum medii*.

Historique. — La plupart des auteurs qui ont traité de la flore du haut-marais ont rencontré cette association, dans ses stades plus ou moins évolués. FRÜH et SCHRÖTER (1904), SPINNER (1932), ISCHER (1935), MOOR (1942), JORAY (1942), CHASTAIN (1952), EBERHARDT et KRÄHENBÜHL (1952), OBERDORFER (1957).

Généralités. — Les gouilles sont situées surtout dans le centre de la tourbière, où affleure la nappe phréatique. Leur surface varie entre quelques dm² et 15 m², leur profondeur n'excède pas 30 cm. Elles sont à sec par les longues périodes sans pluie, mais leur fond reste toujours humide. Par pluies abondantes, l'eau s'écoule superficiellement en direction des bords de la tourbière (NYS 1955).

On mesure en moyenne les acidités suivantes :

Boue du fond :	pH 4,5
Eau :	pH 5 à 5,5
Sphaignes des bords :	4,5.

L'insolation est forte, car les pins des alentours sont petits, et ne donnent que peu d'ombre.

Plantes de l'association

Cette liste résulte de 36 relevés. Les chiffres indiquent le pourcentage de présence (I = 1 à 20% ; II = 21 à 40% ; III = 41 à 60% ; IV = 61 à 80% ; V = 81 à 100%).

Caractéristiques d'association :	<i>Carex limosa.</i> IV <i>Scheuchzeria palustris.</i> II
Différentielles d'association :	<i>Sphagnum cuspidatum.</i> II <i>Drepanocladus fluitans.</i> I
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Carex filiformis.</i> II <i>Drosera longifolia.</i> II <i>Carex chordorrhiza.</i> IV

	<i>Trichophorum alpinum</i> . I
	<i>Eriophorum angustifolium</i> . I
	<i>Menyanthes trifoliata</i> . II
	<i>Comarum palustre</i> . I
Compagnes :	<i>Carex inflata</i> . IV
	<i>Oxycoccus quadripetalus</i> . II
	<i>Trichophorum caespitosum</i> . II
	<i>Sphagnum recurvum</i> et ssp. II
	<i>Sphagnum subsecundum</i> . II
	<i>Andromeda polifolia</i> . I
	<i>Sphagnum medium</i> . I
	<i>Carex pauciflora</i> . I
	<i>Eriophorum vaginatum</i> . I
	<i>Vaccinium uliginosum</i> . I.

Une seule gouille présente l'association à l'état pur et ne contient que :

Carex limosa
Scheuchzeria palustris
Sphagnum cuspidatum
Drepanocladus fluitans.

C'est une exception. Les autres relevés permettent de constater une invasion progressive du *Scheuchzerietum* par les plantes du *Sphagnetum medii*, invasion qui entraîne une modification des conditions écologiques.

Le processus aboutit à l'installation du *Sphagnetum medii* à la place du *Scheuchzerietum* (voir Tableau 1).

SPHAGNETUM MEDII. Käst. et Mitarb. 1933

Définition. — Cette association de haut-marais est caractérisée par la présence de *Sphagnum medium*. Elle est constituée par une mosaïque de sous-associations qui seront définies plus loin.

Historique. — FRÜH et SCHRÖTER (1904), SPINNER (1932), ISCHER (1935), JORAY (1942), EBERHARDT et KRÄHENBÜHL (1952) réunissent toutes les associations de buttes en une seule association, dont le nom varie selon les auteurs, mais reste pour une part synonyme du *Sphagnetum medii*.

MOOR (1942) définit l'association. OBERDORFER (1957) en reconnaît les différents faciès. GUINOCHET (1950) définit la sous-association à *Molinia*. Enfin, nous ne sommes que très partiellement d'accord avec CHASTAIN, qui décrit un *Sphagnetum medii* à la Vraconnaz.

Généralités. — La carte phytosociologique montre que le *Sphagnetum medii* est localisé dans le centre de la tourbière, endroit le plus élevé du bombement, puisque c'est là que les sphaignes trouvent leurs meilleures conditions de croissance.

Mis à part le *Scheuchzerietum*, c'est l'association la plus mouillée de la tourbière. Celle-ci retient en effet le maximum d'eau au centre,

endroit le plus éloigné du drainage périphérique, naturel ou artificiel. La surface des sphaignes ne s'éloigne guère du plan d'eau, qui correspond à la hauteur de la nappe phréatique, particulièrement *Sphagnum recurvum*, qui pousse le pied dans l'eau.

L'acidité oscille entre pH 4 et 4,5.

L'insolation est forte, car les pins sont petits ou groupés en îlots espacés.

Les sous-associations du *Sphagnetum medii*

Dans les grandes lignes, on peut suivre une évolution qui conduit du *Scheuchzerietum* au *Sphagno-Mugetum* à travers les sous-associations suivantes :

1. *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi*
2. *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli*
3. *Sphagnetum medii typicum*
4. *Sphagnetum medii sphagnetosum acutifolii*
5. *Sphagnetum medii vaccinietosum*.

Après les stades de comblement (1 et 2), on assiste souvent à un télescopage des sous-associations suivantes. Aussi faut-il se garder de voir dans cette succession un processus évolutif immuable, bien qu'il conduise toujours de la gouille à la forêt. Il faut plutôt la considérer comme un fil conducteur utile pour la compréhension de l'ensemble.

1. *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi*

Différentielles de la sous-association :

Sphagnum recurvum, ssp. *amblyphyllum*
angustifolium
mucronatum
pulchrum

Caractéristiques de l'association :

Sphagnum cuspidatum

Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :

Sphagnum medium
Sphagnum rubellum
Eriophorum vaginatum
Oxycoccus quadripetalus
Andromeda polifolia
Drosera rotundifolia
Trichophorum caespitosum
Polytrichum strictum (jeune)

Compagnes :

Carex filiformis
Carex inflata
Carex chordorrhiza
Carex dioica
Menyanthes trifoliata

Comarum palustre
Calluna vulgaris (jeune)
Calliergon stramineum
Betula nana (jeune)
Orchis maculata
Orchis latifolia
Salix repens.

C'est le stade de comblement des gouilles par *Sphagnum recurvum*, espèce différentielle de la sous-association. Cette espèce peut être considérée comme la plus dynamique des sphaignes du *Sphagnetum medii*.

2. *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli*

Caractéristiques de l'association :

Sphagnum rubellum (Différentielle de la
Sphagnum medium sous-assoc.)
Carex pauciflora

Caractéristiques d'alliance,
d'ordre et de classe :

Eriophorum vaginatum
Oxycoccus quadripetalus
Andromeda polifolia
Drosera rotundifolia
Sphagnum papillosum
Aulacomnium palustre
Calypogeia sphagnicola

Compagnes :

Calluna vulgaris
Carex inflata
Trichophorum caespitosum
Vaccinium uliginosum (jeune)
Drosera obovata
Sphagnum recurvum
Sphagnum Warnstorffianum.

La sous-association constitue la base des buttes en bordure des gouilles. L'avance centrifuge de la butte contribue à combler ces dernières, parallèlement au *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi* (fig. 2).

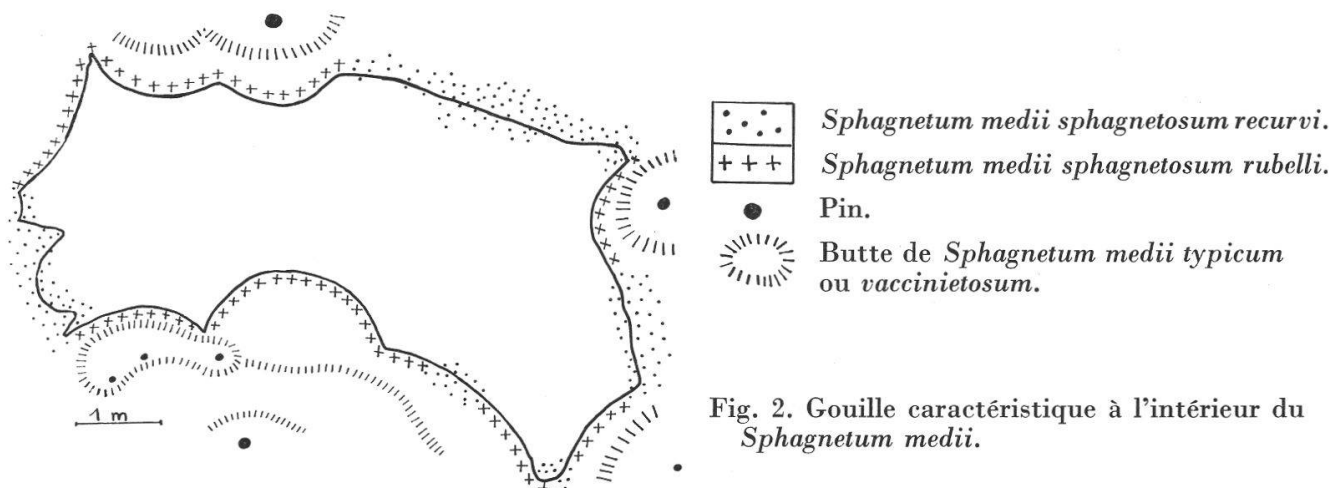


Fig. 2. Gouille caractéristique à l'intérieur du *Sphagnetum medii*.

3. *Sphagnetum medii typicum*

Caractéristiques d'association :	<i>Sphagnum medium</i> <i>Sphagnum rubellum</i>
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Eriophorum vaginatum</i> <i>Oxycoccus quadripetalus</i> <i>Andromeda polifolia</i> <i>Sphagnum acutifolium</i> <i>Dicranum Bergeri</i> <i>Sphagnum fuscum</i> <i>Calypogeia sphagnicola</i> <i>Drosera rotundifolia</i> <i>Trichophorum caespitosum</i> <i>Polytrichum strictum</i> <i>Aulacomnium palustre</i> <i>Leptoscyphus anomalus</i>
Compagnes :	<i>Calluna vulgaris</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> <i>Sphagnum Warnstorffianum</i> <i>Molinia coerulea</i> <i>Cladonia rangiferina</i> <i>Carex inflata</i> <i>Carex filiformis</i> <i>Comarum palustre</i> <i>Orchis latifolia</i> <i>Potentilla erecta</i> <i>Odontoschisma sphagni</i> <i>Pinus Mugo</i> (jeune).

Situé au contact et immédiatement en arrière du *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli*, il constitue le faciès le plus représentatif de l'association. Au Cachot, on le trouve dans de vastes buttes surbaissées, dues à la croissance normale des sphaignes, et pas encore à un changement des conditions écologiques.

Plus la butte s'agrandit, plus sa base gagne sur la gouille. Lorsqu'elle dépasse une certaine taille, elle se dessèche en son centre, où s'installent des buttes secondaires de *Sphagnum acutifolium* en particulier. Parfois, *Cladonia rangiferina*, *Polytrichum strictum* occupent directement la partie sèche et acidifiée.

Souvent, *Pinus Mugo* s'installe sur la partie supérieure de la butte, et, lorsqu'il atteint une certaine taille, en accélère l'évolution.

4-5. *Sphagnetum medii sphagnetosum acutifolii*, *Sphagnetum medii vaccinietosum*

Si la croissance normale de la butte se maintient, ou bien sous l'influence asséchante d'un pin, on aboutit à un stade de maturité où *Sphagnum acutifolium* prend une place importante, du fait que la

concurrence des espèces hydrophiles diminue. De même, les Vacciniées occupent une place de plus en plus grande. Le *Sphagnetum medii sphagnetosum acutifolii* marque le début de l'asséchement, qui va modifier la flore et conduire insensiblement au *Sphagnetum medii vaccinietosum*.

Par sa composition, ce dernier annonce le *Sphagno-Mugetum*.

Plantes du *Sphagnetum medii sphagnetosum acutifolii*

Caractéristique d'association :	<i>Sphagnum medium</i>
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Eriophorum vaginatum</i> <i>Oxycoccus quadripetalus</i> <i>Andromeda polifolia</i> <i>Sphagnum acutifolium</i> (Différentielle de la sous-assoc.) <i>Dicranum Bergeri</i> <i>Trichophorum caespitosum</i> <i>Polytrichum strictum</i> <i>Aulacomnium palustre</i>
Compagnes :	<i>Calluna vulgaris</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> <i>Sphagnum recurvum</i> <i>Cladonia rangiferina</i> <i>Cetraria islandica</i> <i>Carex inflata</i> <i>Pleurozium Schreberi</i> <i>Comarum palustre</i> <i>Pinus Mugo</i> .

Plantes du *Sphagnetum medii vaccinietosum*

Caractéristique d'association :	<i>Sphagnum medium</i>
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Eriophorum vaginatum</i> <i>Oxycoccus quadripetalus</i> <i>Andromeda polifolia</i> <i>Sphagnum acutifolium</i> <i>Dicranum Bergeri</i> <i>Sphagnum fuscum</i> <i>Polytrichum strictum</i> <i>Aulacomnium palustre</i>
Compagnes :	<i>Calluna vulgaris</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> (Différentielle de la sous-assoc.) <i>Sphagnum recurvum</i> <i>Molinia coerulea</i> <i>Cladonia rangiferina</i>

Cetraria islandica
Hylocomium splendens
Pleurozium Schreberi
Vaccinium myrtillus
Potentilla erecta
Betula nana (prend parfois la place des
Vacciniées)
Pinus Mugo.

6. *Sphagnetum medii sphagnetosum mollusci*

Caractéristiques d'association :	<i>Sphagnum medium</i> <i>Sphagnum rubellum</i>
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Eriophorum vaginatum</i> <i>Oxycoccus quadripetalus</i> <i>Andromeda polifolia</i> <i>Sphagnum acutifolium</i> <i>Trichophorum caespitosum</i> <i>Polytrichum strictum</i> <i>Sphagnum molluscum</i> (Différentielle de la sous-assoc.) <i>Dicranum Bergeri</i> <i>Sphagnum fuscum</i>
Compagnes :	<i>Calluna vulgaris</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> <i>Cladonia rangiferina</i> <i>Cetraria islandica</i> <i>Sphagnum recurvum</i> <i>Sphagnum cuspidatum</i> <i>Pinus Mugo.</i>

Cette sous-association a un caractère secondaire. Dans la tourbière du Cachot, elle marque un stade de régénération du *Sphagno-Mugetum* à partir de certaines landes de dégradation, à condition que le drainage n'ait pas empêché la remontée de la nappe phréatique en surface (effet de la suppression de la forêt).

Si cette condition est remplie, il peut s'établir en surface de petites gouilles. *Sphagnum molluscum* et *rubellum* en occupent les bords, *Sphagnum cuspidatum* et *recurvum* le fond.

7. *Sphagnetum medii montanum* variante *Molinietosum* (GUINOCHE 1950)

Caractéristique d'association :	<i>Sphagnum medium</i>
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Oxycoccus quadripetalus</i> <i>Andromeda polifolia</i> <i>Trichophorum caespitosum</i>

	<i>Polytrichum strictum</i> <i>Sphagnum acutifolium</i>
Caractéristiques de sous-association :	<i>Dicranum Bergeri</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> <i>Pleurozium Schreberi</i>
Différentielles de sous-association :	<i>Molinia coerulea</i> <i>Potentilla erecta</i>
Compagnes :	<i>Aulacomnium palustre</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i> <i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Betula pubescens</i> <i>Betula nana</i> <i>Sphagnum recurvum</i> <i>Picea Abies</i> <i>Pinus Mugo.</i>

La sous-association à *Molinia* marque un arrêt de l'activité des espèces édifiatrices de tourbe dans ses états initiaux et optimum (GUINOCHET 1950). Elle sera envahie par les espèces du *Sphagno-Mugetum* qui accompagnent l'installation des pins. Près du bord Nord-Ouest de la tourbière, elle occupe une zone d'environ vingt mètres de profondeur, qui prolonge le *Sphagnetum medii* entre le *Sphagno-Mugetum* et le *Sphagno-Piceetum*.

Le sol est assez rapidement desséché pendant les mois d'été.

L'acidité varie entre pH 4,5 et 5. Elle est nettement plus basse dans la zone d'enracinement des pins.

SPHAGNETUM FUSCI. Luqu. 1926

Définition. — C'est l'association à *Sphagnum fuscum*. Cette sphaigne est la principale constituante des « buttes brunes » du haut marais. Dans certains cas, le *Sphagnetum fusci* assure la transition entre le *Sphagnetum medii* et le *Sphagno-Mugetum*.

Historique. — On ne trouve pas mention de cette association dans les travaux consacrés aux marais jurassiens.

OBERDORFER (1957) l'a étudiée dans les marais de la Forêt noire.

Le *Sphagnetum fusci* étudié au Cachot est plus pauvre en espèces, certaines plantes, tel *Sphagnum balticum*, n'atteignant pas le Jura neuchâtelois.

Généralités. — La carte phytosociologique montre que le *Sphagnetum fusci* s'étend en lisière du *Sphagno-Mugetum* dans la partie Sud-Est de la tourbière, et le sépare du *Sphagnetum medii*.

Dans l'angle Sud, de vastes buttes de *Sphagnum fuscum* forment une zone de transition extrêmement intéressante qui sera étudiée en détail plus loin.

Dans le *Sphagnetum medii*, des buttes à *Sphagnum fuscum* émergent, encore isolées.

L'association ne comprend que des buttes, qui emmagasinent les eaux météoriques, seule source d'humidité, puisque la nappe phréatique n'affleure plus en cet endroit.

L'acidité croît dans la profondeur de la butte. La partie vivante a un pH moyen de 4,5. Dans les sphaignes mortes du centre, en contact avec le sol, le pH varie entre 3,5 et 4.

Dans la plupart des cas, les buttes sont bien exposées au soleil. Dans les stations ombragées, *Sphagnum fuscum* perd sa couleur brune et devient vert.

Liste des plantes (Résultat de 25 relevés)

Caractéristique d'association :	<i>Sphagnum fuscum</i> . V 4-5
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Sphagnum rubellum</i> . V <i>Oxycoccus quadripetalus</i> . V <i>Sphagnum medium</i> . IV <i>Eriophorum vaginatum</i> . V <i>Andromeda polifolia</i> . IV <i>Polytrichum strictum</i> . III <i>Sphagnum acutifolium</i> . II <i>Dicranum Bergeri</i> . II
Compagnes :	<i>Vaccinium uliginosum</i> . V <i>Calluna vulgaris</i> . V <i>Aulacomnium palustre</i> . V <i>Sphagnum recurvum</i> . IV <i>Pleurozium Schreberi</i> . III <i>Pinus Mugo</i> . III <i>Cladonia rangiferina</i> . II <i>Vaccinium myrtillus</i> . I <i>Vaccinium vitis-idaea</i> . I <i>Betula nana</i> . I <i>Molinia coerulea</i> . I <i>Carex filiformis</i> . I <i>Cladonia pixidata</i> . I

SPHAGNO-MUGETUM. Kuoch 1954

Définition. — C'est la forêt de pins sur tourbière.

Historique. — De nombreux auteurs ont traité de cette association dans leurs travaux, en particulier FRÜH et SCHRÖTER (1904), SPINNER (1932), ISCHER (1935), MOOR (1942), CHASTAIN (1952), OBERDORFER (1957), RICHARD (1961).

Généralités. — Il faut remarquer en premier lieu que les landes qui bordent la tourbière, qu'elles soient couvertes par *Polytrichum strictum* ou par des Vacciniées et leur cortège d'accompagnatrices, représentent

des stades de dégradation du *Sphagno-Mugetum*, par suite de l'exploitation de la tourbe.

La carte phytosociologique montre que la forêt de pins, à laquelle il convient d'ajouter les surfaces de landes, formait autrefois une large ceinture autour des associations centrales.

Le *Sphagnetum medii* est colonisé par des îlots de *Sphagno-Mugetum*, qui préparent l'installation de la forêt.

Les pins, en pompant l'eau de la rhizosphère, rendent le sol du *Sphagno Mugetum* extrêmement sec, du moins dans les endroits où la forêt atteint son plein développement.

L'acidité moyenne (résultat de vingt mesures) donne les chiffres suivants :

pH en surface : 3,9

pH dans la rhizosphère : 3,7.

Ces chiffres confirment les mesures effectuées par ISCHER au Bois des Lattes, par CHASTAIN à la Vraconnaz, et par RICHARD.

Tous les auteurs ont constaté l'augmentation de l'acidité avec la profondeur, et plusieurs d'entre eux signalent l'action acidifiante des pins.

Liste des plantes (Résultat de 70 relevés)

Caractéristique d'association : (selon RICHARD)	<i>Betula nana</i> . I
Différentielles d'association :	<i>Aulacomnium palustre</i> . II <i>Eriophorum vaginatum</i> . I <i>Oxycoccus quadripetalus</i> . II <i>Andromeda polifolia</i> . I
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Pinus Mugo</i> . V <i>Vaccinium uliginosum</i> . V <i>Vaccinium vitis-idaea</i> . IV <i>Pleurozium Schreberi</i> . V <i>Ptilium crista-castrensis</i> . II
Compagnes :	<i>Betula pubescens</i> . I <i>Sorbus aucuparia</i> . I <i>Vaccinium myrtillus</i> . II <i>Calluna vulgaris</i> . III <i>Orchis maculata</i> . I <i>Molinia coerulea</i> . I <i>Anthoxanthum odoratum</i> . I <i>Dryopteris austriaca</i> . I <i>Sphagnum medium</i> . II <i>Sphagnum acutifolium</i> . I <i>Sphagnum recurvum</i> ssp. <i>angustifolium</i> . I <i>Sphagnum fuscum</i> . II

Dicranum Bergeri. II
Dicranum scoparium. I
Hylocomium splendens. III
Polytrichum strictum. I
Rhytidiadelphus triquetrus. I
Rhytidiadelphus squarrosus. I
Dicranodontium longirostre. I
Dicranum undulatum. I
Cladonia rangiferina. I
Cladonia pixidata. I
Cladonia furcata. I

Les stades de dégradation du Sphagno-Mugetum.

En vue de l'extraction de la tourbe, les paysans aménageaient le bord du marais, en avant du mur d'exploitation, en abattant les pins sur une profondeur variable et en conservant les strates arbustive, herbacée et muscinale (landes à Vacciniées). Puis, sur une distance moindre, ils rasaient toute végétation. La zone dénudée qui en résultait permettait d'étendre les morceaux de tourbe pour les sécher (landes nues ou colonisées par *Polytrichum strictum*).

Pendant la guerre de 1939 à 1945, l'exploitation intensive de ce combustible a entraîné le déboisement de vastes parcelles, mais la fin des hostilités a marqué l'arrêt de l'exploitation. Actuellement, la tourbe est de moins en moins utilisée, si bien que les vastes surfaces préparées ont été laissées à l'abandon.

Ce sont les landes de dégradation, sans signification dans l'évolution naturelle de la tourbière.

Les landes à Vacciniées.

Elles représentent un *Sphagno-Mugetum* sans arbres. Les souches de pins coupés sont souvent restées en place et servent de support à des buttes desséchées de *Pleurozium Schreberi* (principalement).

La forêt s'y reconstitue, sous une forme aberrante parfois.

Dans les zones de contact, entre lande et forêt, on peut trouver de grands parterres de *Betula nana*, qui ne pénètre guère dans le sous-bois.

Les landes à surface nue.

Ce sont des surfaces très acides (pH atteignant 2,9), violemment échauffées et rapidement refroidies, et irréversiblement asséchées à cause du drainage. Elles sont surtout colonisées par *Polytrichum strictum*, *Calluna vulgaris* et *Cladonia rangiferina*. On y trouve quelques coussinets de *Sphagnum acutifolium*.

SPHAGNO-PICEETUM BETULETOSUM PUBESCENTIS. Richard. 1961

Définition. — Cette sous-association du *Sphagno-Piceetum* est une pessière à sphaignes et à bouleau pubescent, qui se développe sur sol tourbeux, en bordure des marais bombés dans le Jura.

Historique. — Seul RICHARD (1961) a reconnu et défini de façon précise cette association dans les marais jurassiens.

Généralités. — Le *Sphagno-Piceetum betuletosum pubescentis* du Cachot est peu caractéristique, à cause de l'absence de *Sphagnum Girgensohni*. Il occupe l'angle Nord de la tourbière. Il est en contact, au Sud, avec le *Sphagno-Mugetum*, et au Nord, avec une prairie cultivée.

Sur la lisière Est, le sol est anormalement sec à cause du drainage artificiel. Vers l'intérieur de la tourbière, il est plus humide et l'association est plus caractéristique.

L'acidité moyenne est en surface de pH 5, de 10 à 50 cm de profondeur, de 4,2 à 4,5. Elle augmente depuis le bord extérieur jusqu'au *Sphagno-Mugetum*, passant de pH 6 à pH 4,5.

Liste des plantes (Résultat de 24 relevés)

Différentielle d'association :	<i>Polytrichum commune</i> . I
Différentielles de la sous-association :	<i>Betula pubescens</i> . V <i>Carex fusca</i> . I <i>Sphagnum recurvum</i> ssp. <i>angustifolium</i> . II <i>Sphagnum medium</i> . I <i>Pinus Mugo</i> . V
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Picea Abies</i> . IV <i>Rhytidiadelphus loreus</i> . II <i>Pleurozium Schreberi</i> . IV <i>Vaccinium vitis idaea</i> . IV <i>Ptilium crista-castrensis</i> . II <i>Melampyrum silvaticum</i> . I <i>Lycopodium annotinum</i> . I <i>Vaccinium uliginosum</i> . III
Compagnes :	<i>Sorbus aucuparia</i> . IV <i>Sorbus Aria</i> . I <i>Vaccinium myrtillus</i> . V <i>Oxalis acetosella</i> . I <i>Luzula luzulina</i> . II <i>Luzula multiflora</i> . I <i>Molinia coerulea</i> . II <i>Veronica officinalis</i> . I <i>Rubus idaeus</i> . I <i>Sphagnum acutifolium</i> . II <i>Sphagnum quinquefarium</i> . I <i>Hylocomium splendens</i> . IV <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> . III <i>Dicranum scoparium</i> . I <i>Plagiochila asplenioides</i> . I <i>Lophocolea bidentata</i> . I <i>Dicranodontium longirostre</i> . I

Mnium punctatum. II
Rhytidiadelphus squarrosus. I
Polytrichum juniperinum. I
Aulacomnium palustre. I
Cladonia furcata. I.

MOLINIETO-TROLLIETUM EUROPAEI

Sous-association *Swertietosum perennis*. Guinochet 1950

On trouve cette sous-association sur la lisière Nord-Ouest de la tourbière. Une rigole de drainage la sépare d'un pré cultivé. Elle prolonge le *Sphagnetum medii molinietosum* entre le *Sphagno-Mugetum* et le *Sphagno-Piceetum*. Gorgée d'eau après la fonte des neiges, elle reste humide sur son bord extrême. Vers l'intérieur, elle s'assèche assez rapidement entre les périodes de pluie.

Le pré voisin a une acidité moyenne de pH 6, l'eau de la rigole de drainage de pH 6, le *Moliniето-Trollietum* de pH 5,6 au bord, de pH 5 à dix mètres à l'intérieur.

Liste des plantes (Résultat de 18 relevés)

Caractéristiques d'association :	<i>Molinia coerulea</i> . V <i>Sanguisorba officinalis</i> . III <i>Swertia perennis</i> . II <i>Trollius europaeus</i> . I <i>Galium palustre</i> . I <i>Dianthus superbus</i> . I
Différentielles de la sous-association :	<i>Carex fusca</i> . II <i>Salix repens</i> . I <i>Agrostis tenuis</i> . I <i>Aulacomnium palustre</i> . I <i>Fissidens</i> sp. I <i>Parnassia palustris</i> . I
Caractéristiques d'alliance, d'ordre et de classe :	<i>Cirsium palustre</i> . II <i>Filipendula Ulmaria</i> . II <i>Caltha palustris</i> . II <i>Polygonum Bistorta</i> . II <i>Geum rivale</i> . II <i>Cirsium tricephalodes</i> . I <i>Deschampsia caespitosa</i> . I <i>Angelica silvestris</i> . I <i>Succisa pratensis</i> . I <i>Equisetum palustre</i> . I
Compagnes :	<i>Potentilla erecta</i> . III <i>Anthoxanthum odoratum</i> . II <i>Epilobium palustre</i> . II <i>Dicranum Bergeri</i> . II <i>Vicia Cracca</i> . I

Festuca rubra. I
Luzula multiflora. I
Galium uliginosum. I
Galium verum. I
Lathyrus pratensis. I
Valeriana dioica. I
Ranunculus acer. I
Dicranum undulatum. I

L'association, riche en espèces sur les bords du marais, s'appauvrit vers l'intérieur. Les feuilles mortes de *Molinia*, non décomposées, forment une croûte isolante qui recouvre le sol tourbeux. Sous ce couvert, dans des conditions écologiques assez différentes de celles de l'association considérée dans son ensemble, végètent *Catharinea undulata* II, *Climacium dendroides* II, *Hylocomium splendens* II, *Polytrichum strictum* I, *Mnium punctatum* I, *Rhodobryum roseum* I.

Dynamique des associations végétales dans la tourbière du Cachot

Les associations décrites précédemment représentent un ensemble dépourvu de stabilité, qui tend vers un état d'équilibre floristico-écologique, lequel est fonction des conditions générales de la flore, du climat et du sol, c'est-à-dire vers l'association climacique, représentée ici par le *Sphagno-Mugetum*.

En fait, on ne peut guère parler d'association climacique, mais plutôt d'association spécialisée, car les conditions d'établissement d'une tourbière, et son écologie, sont très particulières, sans compter qu'on peut difficilement assimiler le climat des hautes vallées jurassiennes à un climat général.

L'évolution de la végétation est conditionnée par la présence des sphaignes et par celle des pins. Elle est accélérée par le drainage périphérique artificiel.

1. Passage du *Scheuchzerietum* au *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi*

Sphagnum recurvum, espèce différentielle de la sous-association, en est également l'élément dynamique. Sa relative tolérance à l'égard des variations d'acidité lui permet de supporter un pH de 5, qui est celui du *Scheuchzerietum*. *Sphagnum recurvum* s'avance à partir des bords, jamais complètement immergé, forme des îles qui se rejoignent, se mêle à *Sphagnum cuspidatum* ou *subsecundum*, finit par occuper toute la gouille, et croît alors en un tapis qui s'égale, encore percé par les *Carex* qui peuplaient la dépression : *Carex inflata*, *C. chordorrhiza*, *C. filiformis*, parfois même *C. limosa*, par *Comarum palustre*, et par les feuilles de *Menyanthes trifoliata*, qui cesse alors de fleurir.

Sphagnum cuspidatum et *Scheuchzeria palustris* ont été rapidement éliminés.

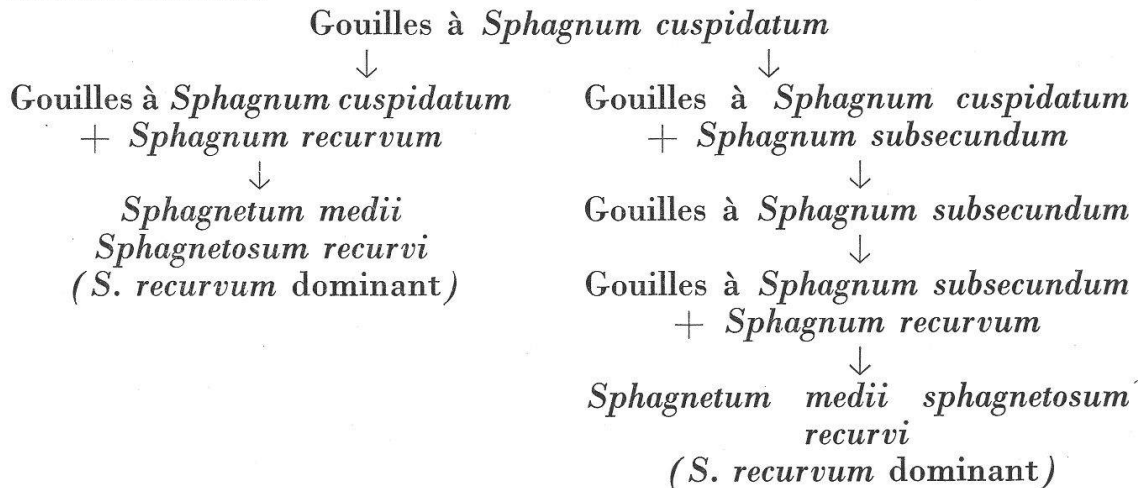
Andromeda polifolia, *Oxycoccus quadripetalus* ne tardent pas à s'installer dans ce tapis, accompagnés par les pousses minuscules de *Calluna vulgaris* et *Betula nana*, ce dernier abondant par endroits seulement.

Sphagnum recurvum a une croissance rapide, jusqu'à vingt-cinq millimètres par an (AMANN 1928), car il dispose ici de toute l'eau qui lui est nécessaire.

L'évaporation ne joue plus un rôle déterminant. Or, de par son anatomie, *Sphagnum recurvum* est très sensible à ce facteur écologique.

Chaque gouille évolue pour son compte, plus ou moins vite selon sa surface. Le stade de départ est constitué par l'ensemble : *Sphagnum cuspidatum*, *Scheuchzeria palustris*, *Carex limosa*, et l'évolution vers le *Sphagnetum medii* est amorcée avec l'introduction d'espèces étrangères à l'association.

Dans le tableau I, nous avons tenté une classification des gouilles d'après les espèces de sphaignes qui les occupent. On peut en déduire le schéma suivant :



2. Passage du *Scheuchzerietum* au *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli*

Si *Sphagnum recurvum* s'insinue d'abord parmi les espèces du *Scheuchzerietum* pour les éliminer ensuite, en comblant la gouille sans en changer la forme initiale, *Sphagnum medium* et *rubellum*, espèces dynamiques du *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli*, ne peuvent procéder de même. D'une part, ces espèces sont beaucoup moins plastiques que *Sphagnum recurvum*, et, d'autre part, elles font partie d'une formation végétale compacte, indissociable, qui implique une substitution totale quoique lente d'une association à une autre.

Le *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli* constitue à la fois la base des grandes buttes surbaissées à croissance centrifuge du *Sphagnetum medii typicum*, et le bord des gouilles, donnant à celles-ci leur forme caractéristique (fig. 2).

La progression de la bordure de sphaignes est rendue possible, au contact de l'eau, par l'existence d'une zone-tampon d'acidité intermédiaire constituée par *Drepanocladus fluitans* ou *revolvens*, qui se développent en avant des sphaignes.

Acidité moyenne de l'eau des gouilles : pH 5-5,5.

Acidité moyenne dans la zone-tampon : pH 4,5 à 5.

Acidité moyenne de *Sphagnum medium* et *rubellum* : pH 4,5.

En l'absence d'Hypnacées, les sphaignes meurent au contact de l'eau, et les sphaignes mortes peuvent jouer le même rôle protecteur.

La zone-tampon disparaît dans les gouilles où l'eau est plus acide.

CHOUARD et PRAT (1929) ont fait une observation similaire dans une tourbière flottante des Pyrénées.

La même gouille peut être comblée, à différents endroits de son pourtour, par les deux sous-associations (fig. 2).

On voit aussi *Sphagnum recurvum* envahir la gouille quand le *Sphagnetum medii sphagnetosum rubelli* en a réduit la surface.

3. Passage du *Sphagnetum medii* au *Sphagno-Mugetum*

C'est à partir du *Sphagnetum medii* que commence la compétition entre les sphaignes et les pins.

Ces derniers sont rares dans le *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi*, trop humide. Dans les faciès plus évolués et plus secs, les jeunes pins poussent mieux, tout en étant soumis à de dures conditions écologiques.

Les survivants de ce premier contingent, qui atteignent en moyenne une hauteur de cinq mètres, influencent le terrain dans leur zone d'enracinement, provoquant un assèchement partiel. Il en résulte souvent la formation d'une butte, d'où sont éliminées les hydrophiles strictes et où l'on retrouve les composantes du *Sphagnetum medii sphagnetosum acutifolii*.

Il se forme ainsi une zone favorable où les jeunes pins prolifèrent. Sur une butte de dix mètres carrés, par exemple, autour d'un pin de six mètres, on peut compter cinquante-cinq jeunes arbres de dix à cinquante centimètres de hauteur, alors que dans la zone environnante (*Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi* et *typicum*) on en dénombre de zéro à deux pour une même surface.

Lorsque les pins grandissent, l'assèchement et l'acidification s'accroissent, les Ericacées s'établissent sous leur couvert. Au centre du groupement, *Sphagnum* est supplanté par *Pleurozium Schreberi*, *Polytrichum strictum*, parfois par *Ptilium crista-castrensis* ou *Hylocomium splendens*.

C'est un îlot de *Sphagno-Mugetum*, qui étendra son influence sur le sol, s'agrandira, et finalement, rejoindra les îlots voisins.

Longtemps après, les arbres égaliseront leur taille, le sol sera acidifié et asséché, le *Sphagno-Mugetum* sera en place.

4. Passage du *Sphagnetum fusci* au *Sphagno-Mugetum*

L'association à *Sphagnum fuscum* marque une étape non obligatoire dans le passage *Sphagnetum medii-Sphagno-Mugetum*.

Elle se développe parallèlement aux stades de maturité du *Sphagnetum medii*, mais ses conditions écologiques sont différentes, et elle se cantonne dans la zone déjà sèche entre celui-ci et la forêt, où la nappe phréatique n'affleure plus.

TABEAU 1

Classification des gouilles

	1	2	3	4	5	6
Numéros des relevés . . .	1 2 17 16	3 25 4 5	18 19	26 27 30 35	28 29 36 33	1 2 3 7 6 9
<i>Sphagnum cuspidatum</i> . .	5 5 5 5	1 1 + +	2 r			
<i>Sphagnum recurvum</i> . . .		2 3 1 2			+ 1 1 3	5 5 5 5 4 3
<i>Sphagnum subsecundum</i> .			3 3	2 3 2 5	3 2 5 3	
<i>Sphagnum medium</i> . . .		3 2 3				2 3
<i>Sphagnum rubellum</i> . . .		2 2 3				1
<i>Drepanocladus fluitans</i> . .		1 1				
<i>Aulacomnium palustre</i> . .		r 3 1				
<i>Scheuchzeria palustris</i> . .	5 5 2	2 + +	+	r		
<i>Carex limosa</i>	1 2 +		r r	1 r	+ 2 1	
<i>Carex chordorrhiza</i>			r	+ 3	1 2 1	r
<i>Carex inflata</i>	r 1	1	+ +	+ 1 1	2 2 + 1	2 1 + + r
<i>Carex filiformis</i>	2		4 4	3 1 2	1 +	1 1 2 1 1
<i>Carex pauciflora</i>		1				
<i>Eriophorum vaginatum</i> . .		3 2 2 3				
<i>Eriophorum angustifolium</i>			1		r r	
<i>Trichophorum caespitosum</i>				1 1 2	1 3 3 2	2 1 1 2
<i>Trichophorum alpinum</i> . .					r	
<i>Menyanthes trifoliata</i> . .	1 r			2 3 4	1 1 2	1 1
<i>Comarum palustre</i>				+	+	2
<i>Drosera rotundifolia</i> . . .		2 r	+	+ +	+	+
<i>Drosera longifolia</i>			+	1 2	1	
<i>Andromeda polifolia</i> . . .	r r	1 2 + +	+	r +	r	3 + 1 1 2 1
<i>Oxycoccus quadripetalus</i> .	r r	2 3 3 4	1	r r 1	+ + r 1	3 2 2 2 3 3
<i>Betula nana</i>		r				r r 1
<i>Calluna vulgaris</i>		3 3 3				+ 1 1
<i>Vaccinium uliginosum</i> . .		+ r		+	+	1 1 + 1
<i>Orchis latifolia</i>						r r r
<i>Polytrichum strictum</i> . . .						+

Colonne 1. *Sphagnum cuspidatum*

Colonne 2. *Sphagnum cuspidatum* + *Sphagnum recurvum*

Colonne 3. *Sphagnum cuspidatum* + *Sphagnum subsecundum*

Colonne 4. *Sphagnum subsecundum*

Colonne 5. *Sphagnum subsecundum* + *Sphagnum recurvum*

Colonne 6. *Sphagnum recurvum* (*Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi*).

Les buttes, petites et nombreuses au début, peuvent se rejoindre et former d'énormes buttes composées, les buttes-mammouths de SCHRÖTER (FRÜH et SCHRÖTER 1904), dont le diamètre peut dépasser dix mètres. Elles éliminent, dans leur croissance centrifuge, les enclaves de *Sphagnetum medii* qui les séparaient au début de leur développement.

Mais elles deviennent trop vastes pour que la formation en butte soit encore capable de diminuer l'évaporation. Elles s'assèchent dans leur centre, où s'installent des pins. Ceux-ci accélèrent le processus d'assèchement et d'acidification. *Calluna vulgaris*, *Vaccinium uliginosum*, *Polytrichum strictum*, *Pleurozium Schreberi*, *Aulacomnium palustre*, *Cladonia rangiferina* accompagnent les pins. Il se crée ainsi un îlot de *Sphagno-Mugetum* qui, peu à peu, détruira la butte en la disloquant en nombreuses petites buttes refoulées à la périphérie. Ce sont ces dernières qui subsisteront en partie lorsque la forêt sera établie, selon le processus observé précédemment dans le *Sphagnetum medii*.

Facteurs écologiques conditionnant la vie des sphaignes

Trois d'entre eux sont très importants : l'humidité, la température, l'acidité. Le facteur lumière est secondaire, bien que capable d'accentuer de façon spectaculaire l'effet des premiers cités.

1. L'humidité du sol est en rapport avec la position de la nappe phréatique, qui dépend de la couverture forestière, et, dans le cas de la tourbière du Cachot, du drainage périphérique artificiel. En fait, la nappe phréatique n'affleure que dans le *Scheuchzerietum* et le *Sphagnetum medii*, mais son niveau s'abaisse ensuite rapidement (fig. 4), si bien que le *Sphagnetum fusci*, et particulièrement le *Sphagno-Mugetum*, sont secs. Les sphaignes n'y sont plus alimentées que par les eaux pluviales, nivales et par le brouillard.

2. L'insolation (qui détermine la température superficielle), le degré hygrométrique de l'air et les vents conditionnent l'évaporation. Si l'effet de cette dernière est de peu d'importance pour les sphaignes du *Sphagnetum medii*, il devient primordial pour les espèces des associations plus sèches, et donne une signification écologique très nette à la butte.

3. S'il est admis que les sphaignes acidifient leur milieu, il faut se montrer prudent dans l'acceptation de chiffres extrêmes cités par certains auteurs (pH inférieurs à 3) et qui ne sont pas compatibles avec la survie des sphaignes. Le sol de la tourbière peut atteindre un pH de 2,9, mais la sphaigne vivante aura toujours son maximum de vitalité entre pH 4 et 4,9. Les travaux d'ISCHER (1938) et de CHASTAIN (1952) confirment à ce propos les mesures effectuées par nous-même au Cachot.

L'écologie des sphaignes est assez stricte. Elles demandent avant tout une quantité d'eau suffisante et elles manifestent vis-à-vis de l'acidité une tolérance plus faible qu'on ne le pense généralement.

C'est dans le *Sphagnetum medii* que les sphaignes de haute tourbière trouvent leurs conditions optimales de développement, aussi cette association est-elle la plus riche en espèces. On y trouve couramment huit espèces, avec leurs sous-espèces et leurs variétés (voir tableau 2).

TABEAU 2

Répartition des sphaignes

	Emplacement			Associations
	Gouilles	Replats	Buttes	
<i>Sphagnum acutifolium</i> var. <i>viride</i>	Bords	x	x	<i>Sphagno-Piceetum</i> , <i>Sphagno-Mugetum</i>
var. <i>purpurascens</i> .			x	<i>Sphagnetum medii</i> , <i>Sph. fusci</i>
var. <i>versicolor</i> . . .			x	<i>Sph.-Mugetum</i> , <i>Sph. medii</i> , <i>fusci</i>
<i>Sphagnum cuspidatum</i> .	x			<i>Scheuchzerietum</i>
var. <i>plumulosum</i> . .	x			<i>Scheuchzerietum</i>
var. <i>submersum</i> . .	x			<i>Scheuchzerietum</i>
<i>Sphagnum fuscum</i> . .	Bords	x	x	<i>Sph. fusci</i> , <i>Sph.-Mugetum</i>
<i>Sphagnum medium</i> . .			x	Toutes les associations
var. <i>pallescens</i> . . .			x	<i>Sph.-Mugetum</i> , <i>Sph.-Piceetum</i>
var. <i>roseum</i>			x	<i>Sph.-Mugetum</i> , <i>Sph.-Piceetum</i>
var. <i>purpurascens</i> .	x	x	x	<i>Sph. medii</i> , <i>fusci</i> . <i>Scheuchzerietum</i>
<i>Sphagnum molluscum</i> .		x	x	<i>Sph. medii sphagnetosum mollusci</i>
<i>Sphagnum papillosum</i> .		x		<i>Sphagnetum medii</i>
<i>Sphagnum quinquefarium</i>		x	x	<i>Sphagno-Piceetum</i>
<i>Sphagnum recurvum</i> . .	Bords	x	x	<i>Sph. medii sphagnetosum recurvi</i>
ssp. <i>amblyphyllum</i> .				<i>Sph. medii</i> , <i>Sph.-Mugetum</i> , <i>Piceetum</i>
ssp. <i>angustifolium</i> .	Bords	x		<i>Sph. medii sphagnetosum recurvi</i>
ssp. <i>mucronatum</i> .	Bords	x		<i>Sph. medii sphagnetosum recurvi</i>
ssp. <i>pulchrum</i> . . .	Bords	x		<i>Sph. medii sphagnetosum recurvi</i>
<i>Sphagnum rubellum</i> . .	Bords	x	x	<i>Sph. medii</i> , <i>Sph. fusci</i>
var. <i>sordidum</i> . . .	Bords			<i>Sph. medii sphagnetosum rubelli</i>
<i>Sphagnum subsecundum</i>	x	x	(x)	<i>Sph. medii</i> , <i>Scheuchzerietum</i>
<i>Sphagnum Warnstorffianum</i>		x	x	<i>Sphagnetum medii</i>

De ce nombre, cinq se retrouvent en bonnes conditions dans les buttes du *Sphagnetum fusci* : *Sphagnum fuscum*, *medium*, *acutifolium*, *rubellum*, *recurvum*.

Enfin, sur le sol sec et acide du *Sphagno-Mugetum*, trois espèces subsistent couramment : *Sphagnum acutifolium*, *medium*, *fuscum*, tandis que *Sphagnum recurvum* végète dans les endroits les plus humides (rigoles de drainage, etc.).

La butte

C'est en tant que réaction de défense contre un milieu défavorable, et, à la limite de leurs conditions écologiques, c'est-à-dire dans le *Sphagno-Mugetum*, en tant que formation permettant la survie que nous envisagerons les buttes formées par *Sphagnum acutifolium*, *medium*, *fuscum*.

Parallèlement, on peut aussi y voir des formations résiduelles des *Sphagnetum medii* et *fusci*.

Les quarante buttes à sphaignes du *Sphagno-Mugetum* dans la partie Sud de la tourbière mesurent entre trente centimètres et un mètre de diamètre. Elles sont relativement élevées (vingt à quarante centimètres). Une couche peu épaisse de sphaignes vivantes (deux à quatre centimètres) très denses recouvre un coussin de sphaignes mortes de plus en plus décomposées en direction de la base, généralement de même espèce qu'en surface. Ces buttes sont bien délimitées ; elles ont souvent l'aspect de coussins hémisphériques posés sur le sol.

Deux observations générales sont significatives.

1. Toutes les buttes observées montrent que l'acidité croît avec la profondeur. Les sphaignes vivantes ont un *pH* allant de 4,3 à 4,7. Le sol tourbeux présente, en surface, un *pH* moyen de 3,9, et, à dix centimètres de profondeur, de 3,7. Les coussins de sphaignes mortes, au centre des buttes, ont toujours une acidité intermédiaire. On peut les considérer comme une zone-tampon.

2. Les sphaignes mortes, comme les vivantes, sont courtes, à verticilles resserrés et très fournis. Les secondes forment un dôme compact.

Cette structure permet une mise en réserve d'eau considérable. Par exemple, une butte de *Sphagnum fuscum* de 260 g après séchage à l'étuve, absorbe plus de 6 kg d'eau pour atteindre la saturation. Le même poids sec de *Sphagnum recurvum*, beaucoup plus lâche, n'en absorbe que 5 kg.

Sphagnum medium a la plus forte capacité, mais il s'imbibe plus lentement que *Sphagnum fuscum* et *acutifolium*. En période de sécheresse, les buttes de *Sphagnum fuscum* et *acutifolium* conservent au minimum cinq à six fois leur poids sec d'eau, *Sphagnum recurvum* seulement trois fois.

Une petite butte de *Sphagnum fuscum* peut absorber jusqu'à trente grammes d'eau en une nuit de brouillard ; une butte identique de *Sphagnum recurvum* ssp. *angustifolium* n'en retient que dix grammes.

La couverture dense de la butte forme un isolant thermique efficace, qui ralentit considérablement l'évaporation de l'eau contenue au centre de la butte. Ainsi, dans une butte de *Sphagnum fuscum*, ombragée, on mesure en surface 20°, et au centre 8,5°. Dans une butte de *Sphagnum fuscum* exposée au soleil, on mesure en surface 27°, et au centre 8,5°.

Sur une période de dix-sept jours en juillet 1961, alors que la surface de la même butte de *Sphagnum fuscum* accuse jusqu'à 38°, jamais le centre ne dépasse 23° (fig. 3).

La disposition en buttes permet sans doute aux sphaignes de maintenir des conditions de vie se rapprochant de celles qu'elles trouvent dans le *Sphagnetum medii*.

Cinq mesures comparatives sont intéressantes à cet égard.

Les températures ont été mesurées en profondeur à l'aide d'un petit thermomètre-sonde. Elles ont été prises le même jour. La température ambiante était de 16,5°, celle du sol de 7° à cinquante centimètres de profondeur. L'insolation était moyenne.

1. Dans le *Sphagnetum medii sphagnetosum recurvi*. *Sphagnum recurvum* forme un tapis lâche, dont la base est en contact avec la nappe d'eau. Les sphaignes sont saturées. pH 4,5.

Température en surface : 25°

Température à cinq centimètres sous la surface : 12°

Température à vingt-cinq centimètres sous la surface : 9°

2. Dans le *Sphagno-Mugetum*, butte de *Sphagnum acutifolium*, à dôme de texture serrée. Sphaignes normalement humides. pH 4,5.

Température en surface de la butte : 20°

Température à six centimètres sous la surface : 12,5°

Température à vingt-cinq centimètres sous la surface : 8,5°.

3. Dans le *Sphagnetum fusci*. Butte de *Sphagnum fuscum*, à dôme de texture serrée. Sphaignes normalement humides. Eau contenue : pH 4,5.

Température en surface de la butte : 27°

Température à cinq centimètres sous la surface : 18°

Température à vingt-cinq centimètres sous la surface : 8,5°.

La remarquable convergence de ces chiffres montre que *Sphagnum acutifolium* et *fuscum* maintiennent à la surface de la butte des conditions presque identiques à celles des sphaignes du *Sphagnetum medii*. Ces dernières, placées dans les conditions de vie du *Sphagno-Mugetum*, résistent beaucoup moins bien.

4. *Sphagnum recurvum* en tapis sur le sol tourbeux d'une lande de dégradation, à la lisière du *Sphagno-Mugetum*. Desséché.

Température à la surface des sphaignes : 16°

Température à cinq centimètres de profondeur : 16,5°.

Ces cinq centimètres correspondent à l'épaisseur du tapis, *Sphagnum recurvum* ne formant pas de buttes.

5. Dans une surface lâche de *Sphagnum recurvum* mêlé à *Polytrichum strictum*, sur sol tourbeux. Desséché. Tapis de cinq centimètres de hauteur.

Température en surface des sphaignes : 21°

Température à cinq centimètres de profondeur : 20,5°.

La disposition lâche de ces tapis permet à la température interne de s'élever, accélérant le dessèchement ; *Polytrichum strictum*, *Pleurozium Schreberi* envahissent semblable peuplement et finissent par éliminer les sphaignes.

Il semble donc bien que les trois espèces constructrices de buttes se créent leur propre milieu. Et le fait qu'on ne rencontre pratiquement plus qu'elles dans le *Sphagno-Mugetum* montre l'efficacité de ces formations.

Il faut noter la frappante convergence des buttes à sphaignes et des coussinets de certaines plantes alpines.

Les buttes, malgré tout, se dessèchent insensiblement. Elles sont envahies par *Aulacomnium palustre* sur les flancs, *Polytrichum strictum* au sommet. Ces deux espèces disloquent le dôme homogène, ce qui accélère l'évaporation. *Pleurozium Schreberi* envahit la base, puis les flancs, et recouvre enfin la butte. *Hylocomium splendens* ou *Ptilium crista-castrensis* le remplacent occasionnellement.

Parfois, ce sont les Ericacées qui disloquent les buttes et provoquent leur mort.

Ainsi, dans l'angle Sud de la tourbière, on ne rencontre que des buttes recouvertes de ces trois espèces de mousses, supportées par un coussinet central de sphaignes mortes. Trente buttes examinées présentent cette particularité.

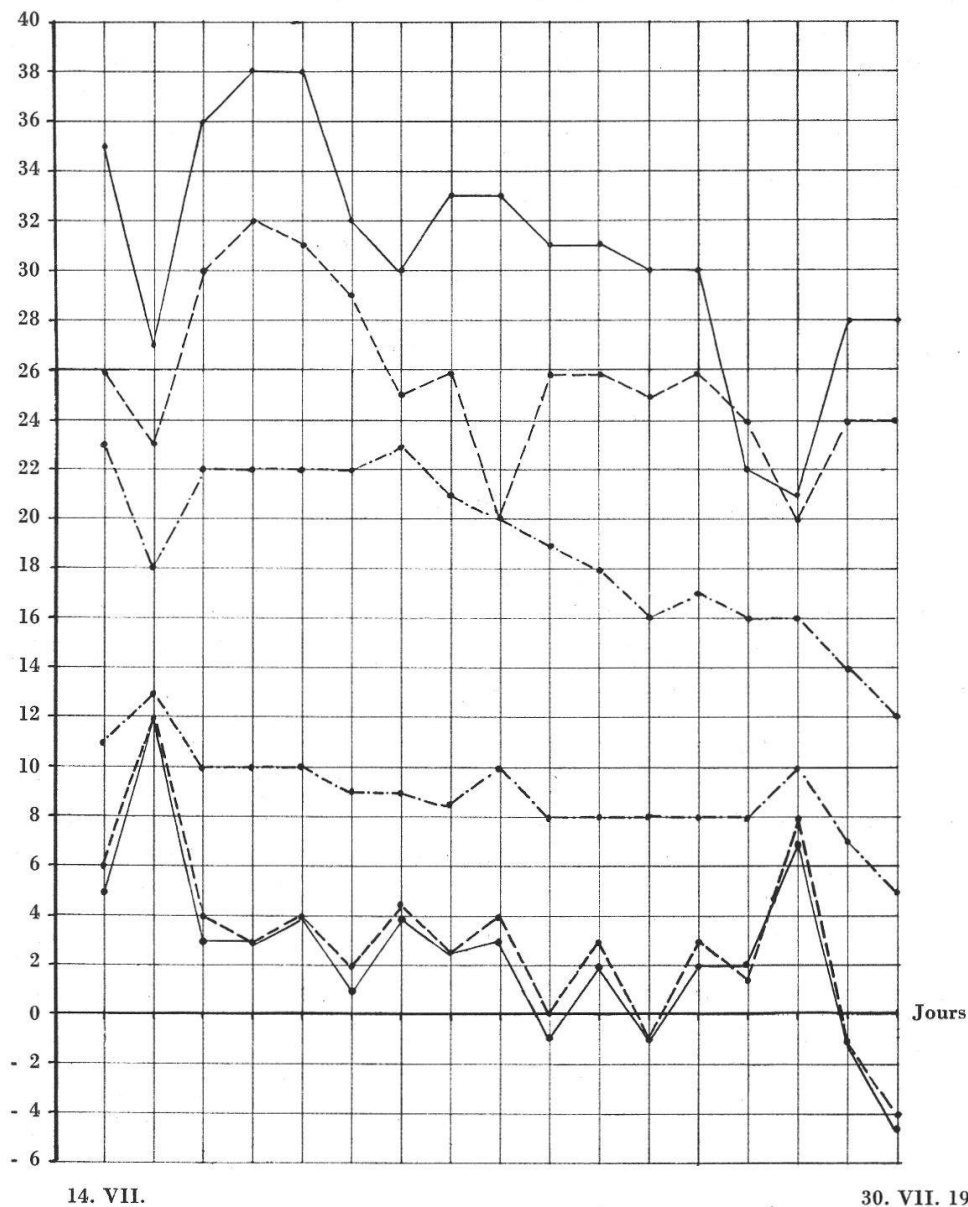
On assiste donc à la disparition des sphaignes lorsque les facteurs écologiques (principalement acidité et sécheresse) deviennent trop rigoureux pour elles, ce qui se passe dans le *Sphagno-Mugetum* (au sens strict) sous l'influence des pins. La concurrence de ceux-ci est si forte que les sphaignes disparaissent.

Cette constatation nous conduira à examiner les conditions de réalisation du cycle classique du marais tourbeux tel que l'ont décrit de nombreux auteurs.

Sur les landes de dégradation colonisées par *Polytrichum strictum*, on rencontre des coussinets de *Sphagnum acutifolium*. On peut considérer ces formations comme des buttes dont les caractéristiques sont poussées à l'extrême.

Ces coussinets sont souvent envahis par certaines hépatiques, particulièrement *Odontoschisma sphagni* et *Calypogeia sphagnicola*, qui en disloquent la surface. La formation perd alors son efficacité, et les sphaignes disparaissent.

Températures en °C



— — — — — Température à la surface de la butte.
 - - - - - Température à 1,50 m au-dessus de la butte.
 - . - . - . - Température à l'intérieur de la butte.

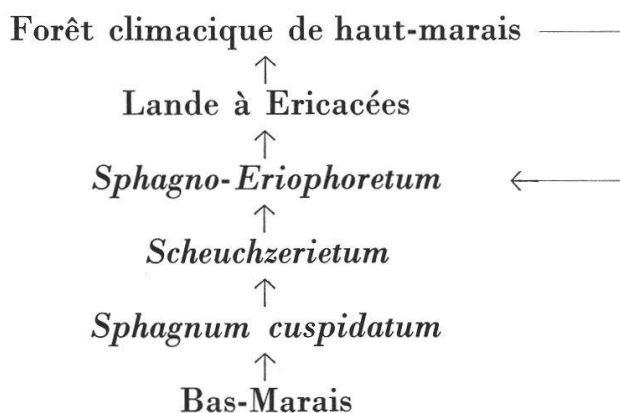
Les trois mesures supérieures indiquent les maxima, les trois inférieures les minima.

Fig. 3. Ces mesures, prises pendant dix-sept jours consécutifs, mettent en évidence l'atténuation des écarts de température à l'intérieur d'une butte de *Sphagnum fuscum*.

Remarques sur l'évolution du marais bombé

L'idée du renouvellement cyclique et autonome de la végétation du haut-marais est trop connue pour que nous en fassions l'historique.

On peut la résumer par cette phrase de SPINNER (1932) : « La forêt de tourbière... serait le stade climacique définitif du haut-marais si elle ne se tuait elle-même. » et par le schéma suivant (ISCHER 1935) :



Les données hydrologiques, l'évolution de la végétation, les conditions écologiques des sphaignes dans le *Sphagno-Mugetum* ne concordent pas avec la notion de cycle, issue de l'examen des restes végétaux contenus dans l'épaisseur de la tourbière.

Hydrologie. — Par nappe phréatique, il faut entendre le volume de tourbe imbibée au maximum. Dans nos tourbières drainées, c'est au centre que la proportion eau/tourbe est constante jusqu'en surface. Vers les bords, la nappe s'abaisse jusqu'au niveau de l'exploitation, qui constitue une sorte de niveau de base.

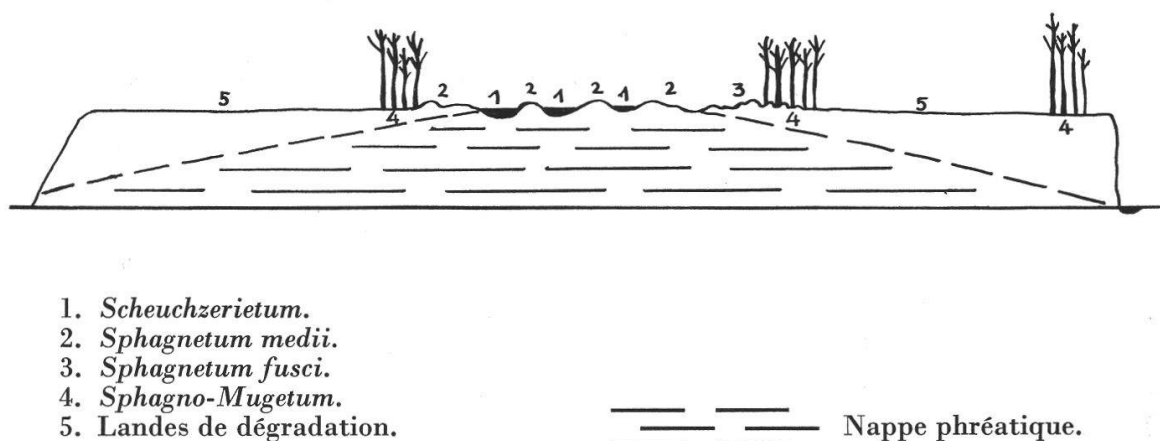


Fig. 4. Coupe transversale de la tourbière du Cachot, montrant la position probable de la nappe phréatique. (Les hauteurs sont fortement exagérées.)

Les eaux météoriques ne peuvent, par conséquent, occuper qu'une couche relativement faible sous la surface, couche qui va s'épaississant vers les bords, à cette réserve près que la tourbe se dessèche irréversiblement et ne peut plus se réimbiber normalement (LUGEOIS et NYS 1952).

Les rigoles creusées sur le marais évacuent rapidement une partie importante des précipitations, et les drains posés à la périphérie vident

progressivement la tourbière de la nappe aquifère normalement retenue par la tourbe.

La forêt de pins a, d'autre part, une action asséchante sur le sol. Dans un marais norvégien, on a observé que la nappe aquifère, maintenue à quarante centimètres sous la surface par la forêt, remonte en surface lorsqu'on déboise la tourbière (NYS 1954).

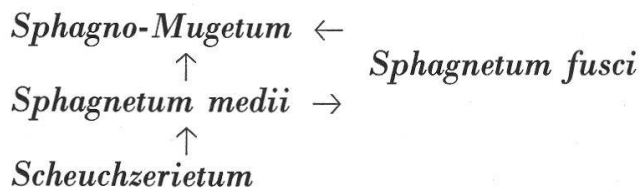
DUCHAUFOR (1948) a fait la même observation dans la chênaie atlantique française.

Ces faits montrent que la forêt assèche la surface du sol et que son action est accentuée par le drainage.

En outre, de nombreuses mesures comparatives de la température et du degré hygrométrique de l'air nous ont montré qu'il n'y a pas de différence sensible entre le *Sphagno-Mugetum* et le *Sphagnetum medii*.

Certains auteurs prétendent que la forêt, par son poids, ramène le niveau de la tourbière au niveau de la nappe phréatique, et par son ombrage une humidité suffisante pour permettre un nouvel essor des sphaignes. Ces arguments ne peuvent être maintenus, à la lumière de ce qui précède.

Evolution de la végétation. — La composition et la dynamique des associations de la tourbière du Cachot nous conduisent à résumer l'évolution de la couverture végétale de la façon suivante :



La comparaison de ce schéma avec celui d'ISCHER fait ressortir deux différences essentielles :

1. L'absence du stade lande à Ericacées, qui peut être considéré comme un stade de dégradation.
2. L'absence de retour en arrière du *Sphagno-Mugetum* au *Sphagnetum medii*.

Comme nous l'avons montré, les buttes sont des formations de résistance d'espèces résiduelles du *Sphagnetum medii* et *fuscii*, bien incapables de concurrencer les pins, et partant, de détruire la forêt.

Cette dernière constitue une association spécialisée en équilibre avec le climat actuel des hautes vallées jurassiennes, et l'évolution de la tourbière tend à l'établissement du *Sphagno-Mugetum* sur toute sa surface, comme le montrent plusieurs petites tourbières de la Vallée de La Brévine, dont le drainage a accéléré l'évolution en les vidant de leur nappe phréatique.

Rajeunissement du Sphagno-Mugetum. — Le pin offre peu de résistance au vent à cause de son faible enracinement dans le sol tourbeux. Quand les branches sont chargées de neige, il se renverse fréquemment, d'une pièce, tronc et racines. Les arbres cassés sont également nombreux.

La destruction d'un grand individu ouvre une trouée dans le groupe forestier et livre à l'action destructrice du vent d'autres arbres qu'il protégeait jusque là (FLAHAULT 1925).

Au cours des quatre derniers hivers, la partie Nord de la tourbière a considérablement souffert des effets conjugués de la neige et du vent, exemple de ce qui vient d'être dit.

Il se forme ainsi des clairières jonchées d'arbres morts. Le sol y redevient humide, car, d'une part, les pins n'y exercent plus leur action évaporante, et, d'autre part, si la clairière est assez grande et si le drainage le permet, il est possible que la nappe d'eau remonte localement.

Après quelques années, des sphaignes, particulièrement *Sphagnum recurvum*, s'installent dans les trous formés par les pins renversés, et souvent occupés par de petites gouilles temporaires. Elles reforment des tapis consolidés par d'autres espèces du *Sphagnetum medii*, mais sans que ce dernier s'y développe normalement. De jeunes pins colonisent la clairière, assurant le renouvellement de la forêt.

La plupart des arbres tombés pourrissent en surface, mais quelques-uns sont scellés dans le sol et formeront probablement des « kerbes ». Ce terme désigne les souches et les troncs, de pins principalement, qui sont conservés dans la profondeur de la tourbière et exhumés lors de l'exploitation de la tourbe.

La localisation variable des kerbes, leur nombre relativement restreint ne permettent guère d'y voir les vestiges d'une forêt détruite dans un lointain passé.

Le *Sphagno-Mugetum* est ainsi soumis à un renouvellement irrégulier et partiel, ce qui permet de comprendre la position des enclaves de *Sphagnetum medii* plus ou moins caractéristique à l'intérieur de la forêt climacique.

Les conclusions que nous avons tirées de l'observation de la végétation dans la tourbière du Cachot sont valables pour cette localité, et un travail sur l'ensemble des tourbières jurassiennes serait nécessaire avant de leur attribuer une valeur plus générale.

Remerciements

Nous sommes tout particulièrement reconnaissant à M. le professeur C. Favarger de nous avoir aidé de ses précieux conseils et de nous avoir ouvert les portes de la bibliothèque de l'Institut de Botanique.

Résumé

Les associations végétales de la Tourbière du Cachot offrent des exemples de succession naturelle, notamment le passage du *Scheuzerietum* au *Sphagnetum medii* (comblement de gouilles). Toutefois, leur répartition dans l'espace est surtout déterminée par le niveau de la nappe

phréatique et il n'existe aucun indice d'une évolution cyclique, ramenant par exemple le *Sphagnetum* à partir de la forêt de pins de montagne.

C'est pourquoi le *Sphagno-Mugetum* doit être considéré comme une association spécialisée, en équilibre avec les conditions climatiques actuelles, au moins à la périphérie du marais tourbeux.

Zusammenfassung

Die Pflanzengesellschaften des Hochmoores vom Cachot bieten Beispiele von natürlichen Sukzessionen, insbesondere den Übergang von *Scheuzerietum* zu *Sphagnetum medii* (Auffüllen von Pfützen). Ihre räumliche Verteilung jedoch wird hauptsächlich durch den Grundwasserspiegel bestimmt und es besteht kein Anzeichen einer zyklischen Entwicklung, die zum Beispiel *Sphagnetum* aus dem Bergföhrenwald zurückbringen würde.

Deshalb muss *Sphagno-Mugetum* als Dauergesellschaft betrachtet werden, die sich im Gleichgewicht mit den gegenwärtigen Klimabedingungen befindet, wenigstens am Rande des Torfmoores.

Summary

The plant associations of the peat-bog at Le Cachot offer examples of natural successions, especially the passage from *Scheuzerietum* to *Sphagnetum* (by the filling of the ponds). However, their distribution is essentially governed by the level of the underground water, and there is no evidence of a return to original conditions, i.e. of a *Sphagnetum* arising from a forest of mountain pine. Hence the *Sphagneto-Mugetum* must be considered as a specialised association in balance with the present conditions of the climate, at least this is so on the periphery of the peat-bog.

BIBLIOGRAPHIE

- AMANN, J. — (1912). Flore des mousses de la Suisse. 414 pp., pl. 1-12, *Lausanne*.
- (1933). Flore des mousses de la Suisse : revision et additions. *Mat. Flore crypt. suisse* 12 (2) : 186 pp., *Zürich*.
- BOPP, E. — (1959). Die Bülte als Lebensraum unter besonderer Berücksichtigung ihrer Milbenfauna. (Thèse multicopiée.)
- BRAUN-BLANQUET, J. — (1951). Pflanzensoziologie. 631 pp., *Wien*.
- BURGER, A. — (1959). Hydrogéologie du bassin de l'Areuse. *Bull. Soc. neuch. géogr.* 52 : 5-304, pl. 1-6, 29 fig.
- CHASTAIN, A. — (1952). Inventaire floristique de la tourbière de la Vraconnaz. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 75 : 45-72.
- (1952). Recherches écologiques et floristiques sur le « Pinetum » de la haute tourbière de la Vraconnaz. *Mém. Inst. bot. Univ. Montpellier* 2 : 176 pp., 4 cartes, 2 pl.
- DAVY DE VIRVILLE, A. — (1927). L'action du milieu sur les mousses. 169 pp., pl. 1-18, *Paris*.
- DUCHAUFOR, P. — (1960). Précis de pédologie. 448 pp., pl. 1-16, *Paris*.
- EBERHARD, A. et KRÄHENBÜHL, C. — (1952). La tourbière des Pontins sur Saint-Imier. *Bericht. Geob. Inst. Rübel Zürich* : 87-122, 3 fig., pl. 1-5.
- FAVARGER, C. et RICHARD, J.-L. — (1960). Rapports du sol et de la végétation : les enclaves acidophiles dans le Jura et le problème du climax. *Premier colloque de la Soc. bot. de France* : 99-109, *Paris*.
- FAVRE, J. — (1948). Les associations fungiques des hauts-marais jurassiens. *Mat. pour la Flore crypt. suisse* 10 (3) : 228 pp., pl. 1-6.
- et THIÉBAUD, M. — (1908). Monographie des marais de la chaîne de Pouillerel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 34 : 25-87, 18 fig.
- FLAHAULT, C. — (1925). Vent et neige, notes écologiques. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel. Zürich* : 176-177.
- FRÜH, J. et SCHRÖTER, C. — (1904). Die Moore der Schweiz. 750 pp., *Bern*.
- GUINOCHET, M. et LEMEE, G. — (1950). Contribution à la connaissance des races biologiques de *Molinia coerulea* (L.) Moench. *Rev. gén. Bot.* 57 : 565-593, 2 fig.
- HOFMÄNNER, B. — (1930). Le climat de La Chaux-de-Fonds. 20 pp., *La Chaux-de-Fonds*.
- ISCHER, A. — (1935). Les tourbières de la Vallée des Ponts-de-Martel. *Travaux Inst. bot. Univ. Neuch.* 3 : 163 pp., pl. 1-4.
- (1938). Les relations entre le pH et la végétation dans les tourbières. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 63 : 37-59, 3 fig.
- JOIGNEREZ, R.-M. — (1948). Remarques écologiques sur une tourbière du Jura. *C.-R. Acad. Sci.* 226 : 1835-1837.
- JORAY, M. — (1942). L'étang de la Gruyère, Jura bernois. Etude pollénanalytique et stratigraphique de la tourbière. *Mat. pour le levé géobot. de la Suisse* 25 : 117 pp., 42 fig.
- KELLER, P. — (1928). Pollenanalytische Untersuchung an Schweizer Mooren. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich* 6 : 163 pp.

- LESQUEREUX, L. — (1844). Quelques recherches sur les marais tourbeux en général. *Mémoires Soc. Sc. nat. Neuch.* 3 : 139 pp.
- MOOR, M. — (1942). Die Pflanzengesellschaften der Freiberge. *Bull. Soc. bot. suisse* 52 : 363-422.
- NYS, L. — (1954). La capacité pour l'eau et le pH des tourbières bombées. *Ann. Soc. géol. de Belgique* 77 : 289-296.
- (1955). La circulation de l'eau dans les tourbières bombées. *Ibid.* 78 : 463-467.
- et LIEGEOIS, P.-G. — (1952). Le régime hydrique des Hautes-Fagnes. *La Technique de l'eau* 72 : 23-26.
- OBERDORFER, E. — (1949). Pflanzensoziologie Excursionsflora für Südwestdeutschland und die angrenzenden Gebiete. 411 pp., 42 fig., Stuttgart.
- (1957). Süddeutsche Pflanzengesellschaften. *Pflanzensoziologie* 10 : 564 pp., 16 fig., Jena.
- RICHARD, J.-L. — (1961). Les forêts acidophiles du Jura. Etude phytosociologique et écologique. *Mat. pour le levé géobot. de la Suisse* 38 : 164 pp., 38 fig.
- SPINNER, H. — (1918). La distribution verticale et horizontale des végétaux vasculaires dans le Jura neuchâtelois. *Mém. Univ. Neuch.* 2 : 197 pp., pl. 1-8.
- (1926). Le climat de la Vallée de La Brévine. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 51 : 20-52, 1 fig., 3 pl.
- (1926). Analyse pollinique de la tourbe dans deux marais de la Vallée de La Brévine. *Ibid.* 50 : 95-100, 2 pl.
- (1930). Nouvelle contribution à l'analyse pollinique des tourbières de la Vallée de La Brévine - La Chaux-du-Milieu. *Ibid.* 54 : 3-36, 6 fig.
- (1932). Le Haut-Jura neuchâtelois Nord-occidental. *Mat. pour le levé géobot. de la Suisse* 17 : 197 pp., pl. 1-6, 2 cartes.
- WARNSTORF, C. — (1958). Sphagnales-Sphagnacées. *Das Pflanzenreich* 51 : 545 pp.
-