

~~TH 211 15~~
3

GALI

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER

Diplôme d'Etude Approfondie d'Agronomie
Option Pédologie

RELATIONS ENTRE LA COMPOSITION MICROMORPHOLOGIQUE
DES TOURBES ET LEURS COMPORTEMENTS HYDRIQUE
MECANIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE

par

JC. BOTTRAUD

Présenté devant la Commission d'Examen en Octobre 1980

Jury : SERVAT E.
BORNAND M.
MOINEREAU J.

AVANT PROPOS

Je désire remercier ici les personnes et les organismes qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire. Ces remerciements s'adressent en particulier à M. SERVAT, Directeur du Laboratoire de Science du Sol de l'E.N.S.A.M. ainsi qu'à M. BORNAND, Maître de Recherches I.N.R.A. qui a bien voulu accepter d'orienter et de diriger ce travail. Je remercie également M. MOINEREAU, Maître de Conférence pour ses conseils et la correction du texte, et A. GUYON, Technicien I.N.R.A. qui s'est chargé d'une part importante de la fabrication des lames minces.

Une mention particulière doit être faite pour M. MONNIER, Directeur du Laboratoire de Science du Sol I.N.R.A. à Montfavet, qui a bien voulu effectuer les mesures de retrait, et pour M. NIEL, Ingénieur à la Compagnie Nationale du Rhône pour l'appui matériel considérable qui me fut accordé par cette dernière.

RELATIONS ENTRE LA COMPOSITION MICROMORPHOLOGIQUE DES
TOURBES ET LEURS COMPORTEMENTS HYDRIQUE, MECANIQUE
ET PHYSICO-CHIMIQUE

P L A N

INTRODUCTION

I - LES TYPES DE TOURBES ETUDIES

11. CRITERES DE SELECTION DES SITES DE PRELEVEMENTS
12. MODE D'OPERATION DES PRELEVEMENTS

II - CARACTERISATION DES TOURBES

21. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

211. Etude chimique
212. Caractéristiques physiques, comportement au ressuyage

22. CARACTERISATION MICROMORPHOLOGIQUE

221. Etude préliminaire : observation générale des lames
222. Description des principales formes rencontrées
223. Méthode de quantification pour une caractérisation micro-
morphologique des tourbes
 2231. Mode de comptage : méthode opératoire
classes comptabilisées
 2232. Mise au point et validité de la méthode de comptage

III - CHOIX D'UNE METHODE D'INTERPRETATION DES DONNEES OBTENUES

31. PRESENTATION DE L'ENCHAINEMENT DES ETAPES DE L'ANALYSE

32. METHODOLOGIE DE L'INTERPRETATION

33. CHOIX DES VARIABLES RETENUES POUR L'INTERPRETATION

331. Variables physico-chimiques et variables du comportement hydrique

332. Variables micromorphologiques

IV - MISE EN EVIDENCE DES RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES DES TOURBES

41. COMPARAISON DE L'ASPECT MICROMORPHOLOGIQUE DES TOURBES ET DE LEURS AUTRES CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES

411. Comparaison avec les résultats des analyses physico-chimiques

412. Comparaison avec les caractéristiques du comportement hydrique

42. COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DE LA QUANTIFICATION MICRO-MORPHOLOGIQUE ET LES AUTRES TYPES DE DONNEES

421. Présentation de la méthode d'analyse des données choisies

422. Quantification micromorphologique et autres données numériques

4221. Préliminaire : relations entre grandeur de même type (analyses chimiques, micromorphologiques...)

a - variables micromorphologiques

b - autres variables

4222. Relations entre caractéristiques chimiques et données micromorphologiques numériques

4223. Relations entre caractéristiques physiques, caractéristiques du comportement hydrique et données micromorphologiques numériques.

43. RELATIONS ENTRE DONNEES QUANTITATIVES ET ASPECTS QUALITATIFS de L'OBSERVATION MICROMORPHOLOGIQUE

V - CONCLUSION

INTRODUCTION

Les tourbes et les matériaux tourbeux présentent un intérêt agronomique indiscutable notamment pour les cultures hors-sols. Par suite, ces matériaux ont fait l'objet d'études approfondies, tant du point de vue de leurs propriétés physiques que de leur extension en France.

Mais les analyses classiques utilisées pour caractériser les sols ne conviennent pas parfaitement pour ces matériaux holorganiques, fibreux ou altérés, dont les propriétés varient considérablement avec l'état d'humidité.

De nouvelles méthodes expérimentales de mesure des propriétés mécaniques et hydriques ayant été mises au point à l'INRA-Montfavet, il nous a semblé intéressant d'explorer parallèlement une autre voie pour la caractérisation de ces matériaux : celle de l'analyse qualitative et quantitative des échantillons en plaques minces.

Disposant à Montpellier de méthodes micromorphologiques adaptées et d'une instrumentation microscopique spécialement mise au point pour l'étude des matériaux organiques (thèse de G. SPECKLIN - 1979), nous avons essayé de rechercher si l'on pouvait établir des relations entre les caractéristiques microscopiques des tourbes et certaines de leurs propriétés mécaniques, hydriques, physiques et chimiques.

Dans ce mémoire, nous présenterons successivement le choix de l'échantillonnage, les diverses méthodes de caractérisation physico-chimiques et hydriques utilisées ainsi que l'interprétation de leurs résultats, les problèmes soulevés par l'analyse micromorphologique quantitative et les essais de corrélation entre les caractéristiques ainsi déterminées.

I - LES TYPES DE TOURBES ETUDIEES :

CHOIX DES CRITERES DE SELECTION DES SITES DE PRELEVEMENT
METHODE DE PRELEVEMENT

11. CRITERES DE SELECTION DES SITES DE PRELEVEMENTS

Les critères de la classification pédologique des sols organiques ont paru insuffisants pour rendre compte exactement et simplement de la grande variété existant dans les tourbes. Les critères retenus, faisant appel à des domaines non strictement pédologiques, sont plus ou moins empiriques, quoique recouvrant tous les types ordinairement reconnus.

Le choix des gisements retenus ici a été fait en fonction :

- des principales associations végétales de surface :

- . associations à Phragmites Mariscus dominant,
- . associations à Carex et à Cladium,
- . associations où dominant les mousses (Briophytes : Sphaignes essentiellement).

- de la position topographique : tourbières de vallées d'une part, de plateaux d'autre part ; ceci est d'ailleurs plus ou moins relié à la végétation, les premières étant souvent couvertes par les associations de phragmites, cladium ou Carex, les secondes plutôt par des associations à base de mousses ;

- de l'aspect morphologique, ce qui a été fait surtout en se référant à la classification classique (qui répartit les tourbes en trois grands types : fibrist ou fibreuse, lenist ou semi-fibreuse, saprist ou altérée).

Enfin, nous avons choisi quelques points de prélèvements dans des sites actuellement drainés et mis en cultures.

Ces critères figurent parmi ceux qui sont le plus généralement retenus pour classer les tourbières. Ils ne permettent cependant qu'imparfaitement de rendre compte des diversités rencontrées dans la nature de la tourbe.

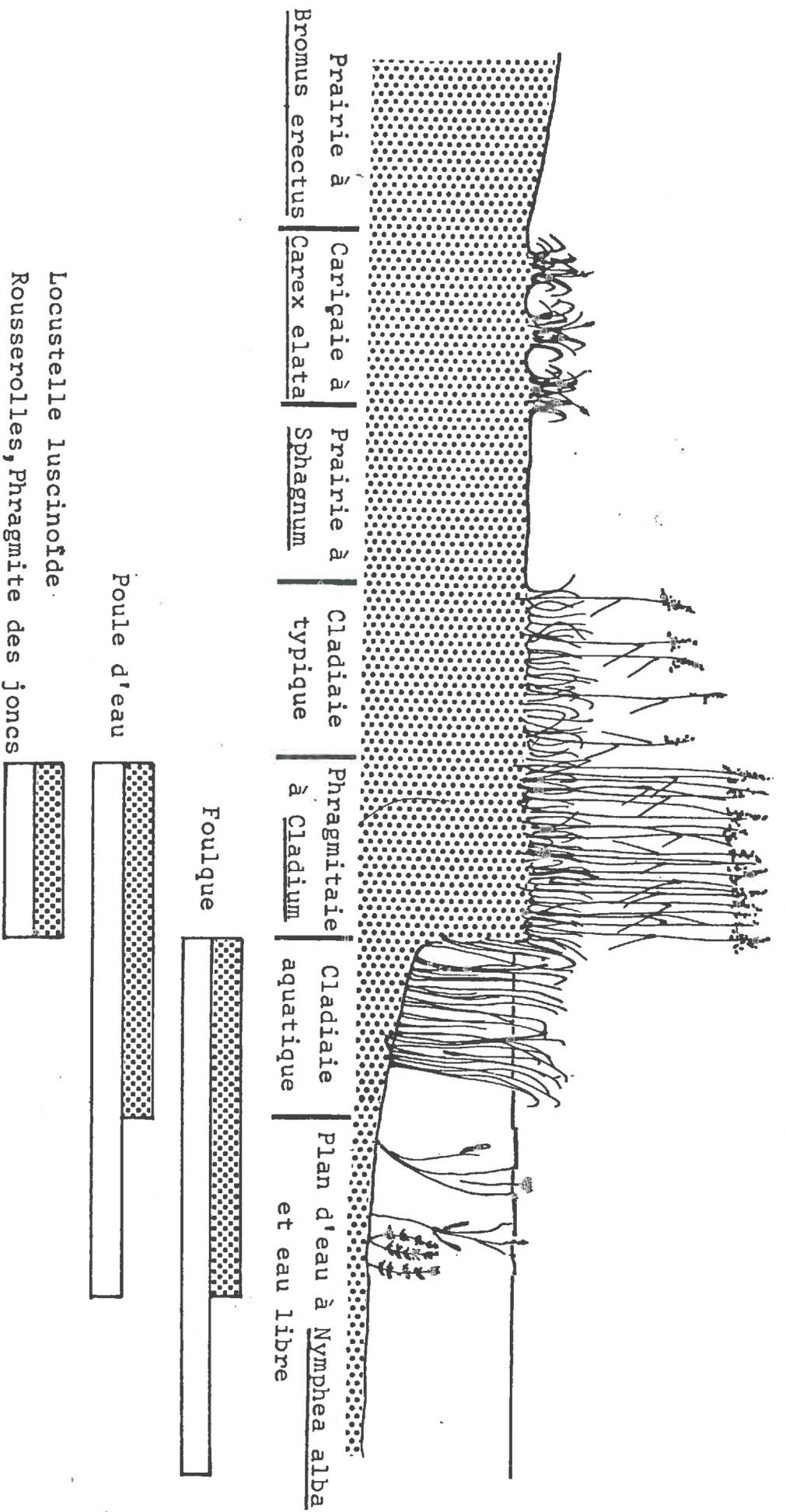


Fig. 1 = Coupe de végétation de l'étang du Grand Lemps
 in = "éléments pour étude écologique de l'étang et des marais du
 Grand Lemps (IX^e)" par SOUVERET (J), PAUTOU (G), TETRAUD (G)
 (O.S.H.C.4) (1975-1)

Les échantillons ont été choisis volontairement dans des sites aux caractéristiques très différentes, ceci pour obtenir une diversité aussi grande que possible dans les valeurs à obtenir. (ce qui est nécessaire pour pouvoir tenter avec quelques chances de réussite de mettre en évidence les corrélations susceptibles d'exister entre les différents types de variables). Il ne faut donc pas s'étonner des difficultés que rencontre toute tentative de rassemblement des échantillons en groupes relativement homogènes.

Finalement nous avons retenu 17 points de prélèvements, répartis surtout dans la vallée du Rhône et sur les hauteurs du Massif Central (on en trouvera une localisation plus précise en annexe 1), avec une série un peu particulière, celle des six profils du grand Lemps qui présente un intérêt génétique certain. En effet, comme le montre la coupe de végétation jointe (cf. fig. 1), cet étang présente, réparties dans l'espace, les différentes étapes de la colonisation d'un plan d'eau par la végétation et donc celle de la formation d'une tourbière (BOUVET et al. - 1975).

12. MODE D'OPERATION DES PRELEVEMENTS

Une fois les sites choisis, il reste à préciser quels sont les prélèvements effectués et de quelle façon ils l'ont été. Ceci s'est fait en fonction de plusieurs éléments :

- *Les particularités du matériau* : les tourbes opposent en effet, plusieurs difficultés à la réalisation des prélèvements :

- . une fibrosité importante,
- . une nappe d'eau proche de la surface,
- . une grande modification de certaines caractéristiques avec le dessèchement ou les perturbations de la structure.

- *Les analyses à effectuer* : en effet, que ce soit pour l'étude de la micromorphologie ou celle du comportement hydrique, il importe d'être au plus près des conditions naturelles et donc de travailler avec le moins de perturbations possible.

Finalement sur chaque profil retenu, *trois types de prélèvements* ont été effectués :

- en vrac, pour les analyses chimiques,
- au moyen de tubes PVC de diamètre relativement important (ce qui permet d'obtenir une très faible perturbation au coeur du cylindre prélevé) pour le comportement hydrique,
- avec des boîtes métalliques spéciales, d'utilisation classique pour la micromorphologie.

Chaque horizon présente donc un ensemble de trois prélèvements distincts. Quelques imprécisions dans le repérage des échantillons (notamment sur la profondeur et l'horizon des prélèvements) ont pu se produire à cause surtout des problèmes que présente un travail sous l'eau, fréquent dans le cas des tourbières (c'est le cas en particulier pour certains échantillons destinés à l'étude du comportement hydrique).

Nous avons donc été conduits à éliminer de notre analyse les échantillons pour lesquels il y avait doute possible sur l'origine précise des 3 types de prélèvements effectués.

Finalement, seuls une quinzaine d'échantillons peuvent être considérés comme satisfaisants et ont été retenus.

II - CARACTERISATION DES TOURBES

Il a paru indispensable de reprendre pour chacun des types de tourbes toute la série d'analyses, ceci essentiellement parce que dans les études existantes, les descriptions ne permettent pas de rattacher les tourbes étudiées à des valeurs ou à des types précis.

Comme il a été dit plus haut, la caractérisation a été effectuée dans trois domaines différents. Cependant, et pour des raisons diverses, tous les échantillons ne possèdent pas la série complète d'analyses.

21. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES (cf. tableaux 1 - 2 - 3 et 4).

211. ETUDE CHIMIQUE

La nature organique des matériaux étudiés a évidemment fortement orienté le choix des analyses à effectuer : c'est ainsi que, s'il paraît normal d'étudier les taux de carbone, d'azote et de cendres, il est aussi normal de ne pas se préoccuper des pourcentages de silice ou d'aluminium (par exemple).

Une mention particulière doit être faite pour la mesure du pH de ces tourbes. Car si relevé sur place il semble devoir garder quelque signification, son étude en laboratoire sur des échantillons desséchés (à 105°C) et broyés est davantage sujette à caution. En effet, les tourbes ainsi remaniées retrouvent difficilement les conditions initiales et, par leur forte demande en eau, ne permettent pas l'utilisation de rapport habituel eau/sol = 2,5, ce qui supprime tout point de repère (les proportions qui ont été utilisées sont de 2,5 g d'échantillon séché pour 50 cm³ d'eau, c'est-à-dire eau/sol = 20°). De ce fait, les résultats obtenus, à cause des profondes modifications intervenant dans les matériaux au cours du séchage et du broyage, ne donnent qu'une idée très éloignée des conditions naturelles. L'intérêt de cette mesure est donc très limité.

TABLEAU 1. :

ANALYSES CHIMIQUES

TOURBIÈRES DES VALLÉES (haute vallée du Rhône)
Tourbes eutrophes des marais.

N°	profondeur (cm)	pH	C %	S %	N %	C/N	pure au four %	Calcaire total %	CEC meq/kg	Cations échangeables meq/kg				P ₂ O ₅ ‰
										Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
3953	0-15	6,2	18,31		12,16	14,35	44,2	0	50,7	45,3	3,03	0,118	0,135	0,02
3954	15-25	6,3	25,50		14,24	17,91	64,2	5	69,8	60,1	2,45	0,092	0,154	
3955	25-55	5,7	49,55		12,25	33,10	77,4	0	67,9	47,2	1,86	0,095	0,180	
3956	55-90	5,7	41,63		14,93	27,88	75,3	0	57,7	44,9	2,30	0,082	0,172	
3957	0-25	5,0	18,31		13,56	13,50	45,2	0	53,0	51,7	2,72	0,136	0,098	0,02
3958	25-40	6,3	29,38	0,21	12,30	23,88	55,8	0	62,3	52,2	2,53	0,112	0,120	
3959	40-60	6,2	37,41	0,49	14,92	25,07	72,7	0	61,0	45,3	2,49	0,088	0,122	
3960	0-20	5,8	27,67		15,69	17,63	53,5	0	58,6	41,4	4,60	0,278	0,088	0,15
3962	40-50	5,9	25,76	0,13	9,67	26,64	51,4	0	49,8	42,3	6,44	0,138	0,255	
3963	50-70						62,7	0	62,3	47,1	6,44	0,139	0,328	
BELLEY														
3434*	10-45	6,5	24,64		24,91	14,25	80,1	0	65,1	54,6	4,22	0,105	0,297	0,02
3438*	15-50	6,4	16,42		14,41	14,39	44,4	3	57,6	50,4	3,55	0,042	0,142	0,02
3449**	15-45	6,7	14,90		13,49	14,05	37,5	5	44,3	54,1	4,20	0,080	1,568	0,16
LANCIN														
3457*	20-80	7,6	29,83		17,52	17,03	89,2	7	62,4	78,5	1,33	0,077	0,182	0,03

pH = dilution : 2,5 g de sol pour 50 cm³ d'eau

P₂O₅ = méthode

JORET-HERSÈRE

* * = le pH et le taux de carbone ont été mesurés à ARNAS (le carbone a été préalablement oxydant)
* = le pH a été mesuré à ARNAS

8
ANALYSES CHIMIQUES

TABLEAU 2 =

TOURBIÈRES DU GRAND LEMP (I^{ère})
Tourbières en formation.

N°	prof. (cm)	pH	C %	S %	N %	C/N	perte sur pes %	Calcaire total %	CEC mg/kg	cations échangeables mg/100g					P ₂ O ₅ %	
										Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺			
Tourbe à Cladium et Carex	3509	20-30	7,1	47,14		18,86	24,99	94,3	0	48,8						
	3510	40-60	7,1	43,98		19,60	22,44	89,1	0	49,3						
Cladium Mariscus Lemniscus	3511	0-50	6,5	47,80		24,52	22,21		0	64,4	64,0	1,30	0,802	0,569		
	3512	0-10						94,7		37,2						0,30
Tourbes à Sphagnum	3514	30-40	6,1	46,47		15,68	29,64	96,7		39,5	19,8	1,48	1,326	0,587		
	3515	0-5	6,2	49,39		16,26	30,38	93,9	0	58,6						0,23
Tourbes à Cladium ou Phragmites dominantes	3516	5-15				14,83		94,6	0	47,4	37,9	1,31	1,243	0,494		
	3517	30-40	6,4	46,80		15,74	25,73	96,4	0	60,5	48,8	1,41	1,251	0,395		
Tourbes à Sphagnum	3518	10-20	5,1	34,95		16,81	18,58	90,7		60,5	33,2	1,60	2,526	0,728	0,27	
	3519	20-25	5,1	37,25		22,20	16,78	95,4		49,3	26,2	0,93	0,778	1,021		
	3520	30-40	5,6	40,18		16,75	23,99	85,3		48,4	27,0	0,55	0,325	0,767		
3521	50-70						14,3		18,7							

TABLEAU 3 :

TOURBIÈRES ACIDES DE MOYENNE MONTAGNE

TOURBES SUR GRANITE			TOURBES SUR BASALTE											
n°	prof. (cm)	pH	C %	S %	N %	C/N	Pure sur. pur %	Calcaire total %	CEC mg/100g	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P ₂ O ₅ %
3500		5,1	27,56		13,48	20,45	64,9		35,8	3,0	0,48	0,161	1,157	
3498		5,2	44,20		14,47	28,47	92,3		39,1	15,3	3,75	1,682	0,696	
3499		5,0	42,63		13,44	32,44	92,2		44,7	10,3	1,99	0,681	0,392	
3504		5,5	40,30		18,06	22,31	77,8		49,3	13,9	7,56	0,385	1,231	0,04
3502		5,5	40,97		16,47	24,88	91,8		42,8	8,2	6,63	0,088	0,441	
3503							95,7		53,0	11,3	5,94	0,030	0,440	0,01

Les types d'analyses effectuées ont été choisis en fonction d'une part de leur aptitude supposée à expliquer les variations apparaissant dans les différentes tourbes (variations de couleur, de structure, du comportement à la dessiccation...), d'autre part des indications qu'elles apportent pour les corrections nécessaires à une exploitation agricole.

Les analyses ont donc porté sur les caractéristiques suivantes :

- *les taux de carbone et d'azote* ; les mesures ont été faites au laboratoire du SES Montpellier, par combustion et coulométrie pour le carbone et Kjeldahl pour l'azote, mais la richesse des échantillons en ces deux éléments étant nettement supérieure à la moyenne, il a fallu adapter les quantités utilisées aux possibilités des appareils, ce qui a amené à l'étudier à partir d'une masse très faible de matériaux (de l'ordre de 20 mg pour la mesure du carbone, de 200 mg pour celle de l'azote). Ceci a eu pour conséquence de nous obliger à multiplier les mesures pour chaque type de tourbe, afin de vérifier l'homogénéité par rapport à l'élément analysé.

- *la perte au feu et le taux de calcaire* : ce sont deux données importantes, la première permettant une évaluation de la fraction minérale (qui bien que réduite, joue un rôle important) et la seconde permettant de faire la séparation habituelle : tourbe calcique (ou mésotrophe), eutrophe, ou acide (oligotrophe), encore que pour cette dernière la distinction soit suffisamment nette pour que l'on n'ait pas à y recourir. Ces analyses ont été effectuées par le Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras.

- *la capacité d'échange de cations, les bases échangeables* et, dans certains cas, le taux d'acide phosphorique et celui du soufre, ont également été effectués par le laboratoire d'analyse des sols d'Arras.

Les résultats obtenus figurent dans les tableaux 1, 2 et 3.

212. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES. COMPORTEMENT AU RESSUYAGE

L'étude de ces données a été faite en deux parties : d'une part les états de l'eau, capacité de rétention et point de flétrissement permanent, mesurés au SES de Montpellier ; d'autre part la densité apparente, la densité de solide et le comportement au ressuyage qui ont été pris en charge par la station de science du sol d'Avignon-Montfavet.

TABLEAU 4 = DONNÉES PHYSIQUES ET HYDRIQUES

no	Densité apparente	Densité de solide	Retrait linéaire %	Retrait volumique %	Capacité de rétention	Puis de rétention	TOURBIÈRE DU GRAND LEHPS		TOURBIÈRES DES VALLÉES	
3955	0,110	1,6587	20,80	34,15	57,23	558,33	283,09			
3959	0,129	1,6459	20,03	23,79	54,19	650,52	369,87			
3963	0,149	1,6534	24,45	25,98	57,42	365,11	532,45			
3457	0,104	1,4421	23,21	19,38	52,20					
3511	0,057	1,4202	14,23	5,23	24,39	625,13	313,11			
3514	0,087	1,4192	6,14	3,57	17,89	560,22	445,11			
3516	0,100	1,4393	4,31	2,39	10,07	495,12	299,76			
3518	0,073	1,4394	8,79	7,32	20,58	627,13	516,21			
3519	0,088	1,4088	4,65	13,66	24,16	461,55	578,55			
3504	0,144	1,5474	12,44	11,80	31,76	409,95	373,78			
3502	0,133	1,4455	9,44	13,09	23,34	480,77	273,54			

d'après MONTIER (station Sédiments du S.E. INRA - MONTFAVET.)

En ce qui concerne la capacité de rétention et le point de flétrissement permanent, les mesures ont été faites sur des échantillons non remaniés, c'est-à-dire qu'au lieu de broyer les tourbes, puis d'utiliser les anneaux classiquement employés dans cette mesure, on a découpé des cubes d'environ 2cm de côté dans des tourbes dont la structure avait été préservée. Ceci a l'avantage de supprimer une des causes importantes de modifications des propriétés physiques de ces matériaux, mais présente un autre inconvénient : la qualité du contact entre l'échantillon et la plaque de presse devient incontrôlable, et varie probablement d'un cube à l'autre, ce qui introduit une source d'erreur difficile à apprécier.

La mesure de la capacité de rétention a également posé un autre problème. En effet, la forte teneur en matière organique de ces matériaux rend les conventions habituelles de pression inapplicables. Après plusieurs essais, nous avons donc choisi pF 2, 3, pour des raisons pratiques essentiellement. Pour le point de flétrissement permanent, nous avons utilisé la pression classique, à savoir pF 4,2 (Résultats en tableau 4).

213. UNE REVUE RAPIDE DES RESULTATS (Tableaux 1, 2, 3 et 4) révèle immédiatement plusieurs points importants :

- pour chacune des variables choisies, les valeurs se dispersent entre un minimum et un maximum très éloignés l'un de l'autre. Nous avons donc une grande diversité qui est évidemment à mettre en rapport avec celle des échantillons ;

- le grand nombre des variables analysées sur chaque specimen ainsi que l'hétérogénéité des valeurs rencontrées rendent toute comparaison entre échantillons ou variables très difficile.

Il en résulte, en particulier, qu'établir une classification de ces matériaux fondée sur des critères uniquement physico-chimiques devient très difficile et de peu d'intérêt. Ceci découle évidemment du choix de l'échantillonnage, choix qui, je le rappelle, visait à obtenir un maximum de diversité de types de matériaux tourbeux et donc à éviter de sélectionner des types de tourbes voisins.

22. CARACTERISATION MICROMORPHOLOGIQUE

Cette étude se fonde essentiellement sur l'observation au microscope de lames minces de sols non recouvertes (cf. annexes 4 et 5 : matériel utilisé, et fabrication des lames).

Cette observation s'est faite au moyen de différents types de lumière :

- naturelle (polarisée ou non) directe,
- réfléchie naturelle (polarisée ou non),
- fluorescente réfléchie, cette dernière devant permettre de distinguer minéral et végétal.

221. ETUDE PRELIMINAIRE : observation générale des lames

La première chose à faire étant d'acquérir quelques notions sur l'aspect micromorphologique global des matériaux étudiés, nous avons commencé par une observation systématique de toutes les lames avec des grossissements faibles, de l'ordre de 16 à 39.

Il est apparu tout de suite que les éléments végétaux de taille importante pouvaient être identifiés et souvent rattachés aux végétaux d'origine. C'est le cas pour les Sphaignes notamment.

On peut ensuite remarquer que certaines lames présentent quelques analogies d'aspects et de formes générales (disposition des fibres, rapport fibre-plasma, rapport vide et plein). L'idée de les comparer et de tenter de les regrouper s'est alors naturellement imposée. D'autant que nous pensions ainsi essayer d'obtenir un début de classification afin de réduire l'importance d'éventuels comptages au microscope en ramenant les lames à étudier à un nombre plus limité de groupes, représentatifs de l'ensemble (une fois l'homogénéité vérifiée sur un ou deux des groupes de la classification, il devenait possible de se contenter d'une lame par groupe). Ceci ne va cependant pas sans difficulté. En effet, si comparer 2 ou 3 lames entre elles au moyen d'un microscope est relativement facile, cela devient beaucoup plus complexe et malaisé quand le nombre de lames augmentent. Nous avons alors cherché à palier à cet obstacle en procédant de la façon suivante :

- toutes les lames ont été photographiées en lumière transmise naturelle (toujours à faible grossissement). La lame ne pouvant figurer en-

tière sur la photo, l'appréciation de l'observateur est intervenue dans le choix de la zone photographiée. On s'est efforcé de prendre des secteurs que l'on puisse considérer comme bien représentatifs de l'ensemble de la lame ;

- les photos obtenues ont été ensuite comparées. Nous avons ainsi obtenu une classification en groupes des lames présentant des aspects morphologiques comparables. Nous verrons plus loin (cf. § 222) les résultats obtenus.

Nous avons ensuite cherché à approfondir davantage nos observations avec des objectifs à plus fort grossissement, notamment 32 X à immersion (ce qui donne un grandissement de 320 X).

A cette échelle, les constituants observés présentent une grande similitude d'aspect d'une lame à l'autre, tant par la couleur que par la forme, et les différences apparaissent alors surtout comme quantitatives. Ceci rend évidemment toute classification difficile.

Les particules constitutives des matériaux étudiés semblent, indépendamment de l'échantillon, pouvoir se ranger en 3 catégories :

- les constituants nettement fluorescents, possédant encore une structure végétale très apparente (planche 1 c et d, fig. 2 c et d) ;

- les constituants peu ou pas fluorescents (au mieux fluorescence brune plus ou moins sombre) possédant également une structure observable. Il est à noter que, surtout à cause de l'agressivité des résines employées, les structures végétales sont réduites aux parois formées par la cellulose, la lignine et leurs dérivés (planche 1 e et f, fig. 2 e et f) ;

- un plasma organo-minéral, constitué par des débris de taille relativement très petite (proche de 10μ) où il est pratiquement impossible de distinguer minéral et végétal ; on y trouve en mélange substances minérales, substances humiques, gels, débris végétaux, etc... (planche 1 a et b; fig. 2 b).

D'après ces observations on peut faire deux remarques :

■ - Le squelette quartzéux revêt ici une importance tout à fait négligeable. En effet, si une observation à faible grossissement, *en lumière transmise*, semble indiquer une relative abondance de particules de quartz, on s'aperçoit en fait au cours d'une étude plus précise, utilisant en particulier *les lumières réfléchies*, que leur nombre est *relativement faible*,

PLANCHE 1 - 15 - Aspect des éléments quantifiés
(Grossissement = 240)

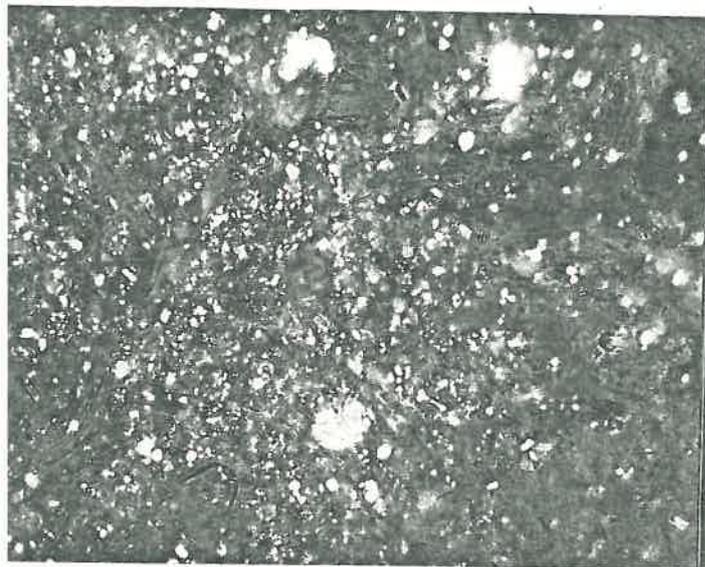


photo 1.a. = plasma organo-minéral
en lumière transmise polarisée

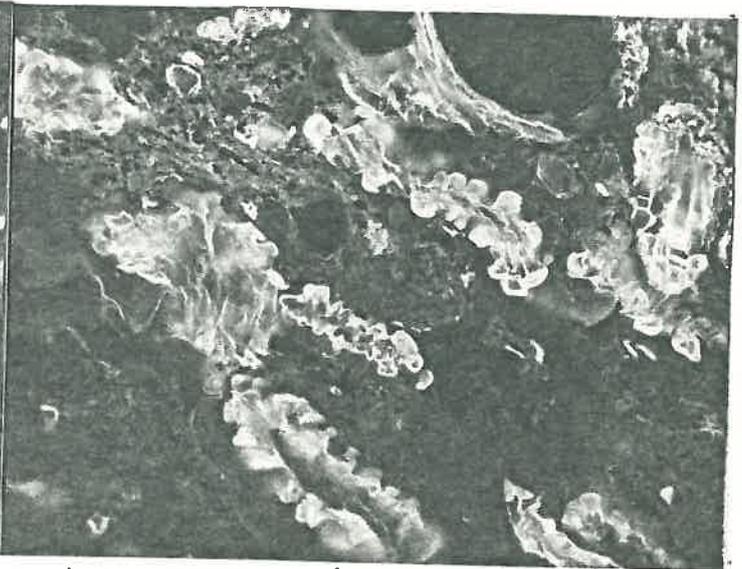


photo 1.b. = plasma organo-minéral
en lumière fluorescente.



photo 1.c. = fibres en lumière
fluorescente.

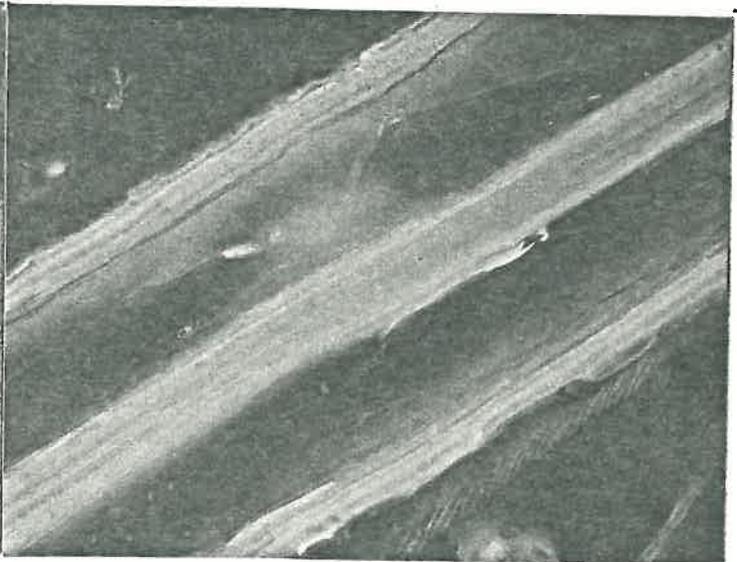


photo 1.d. = fibres en lumière
fluorescente

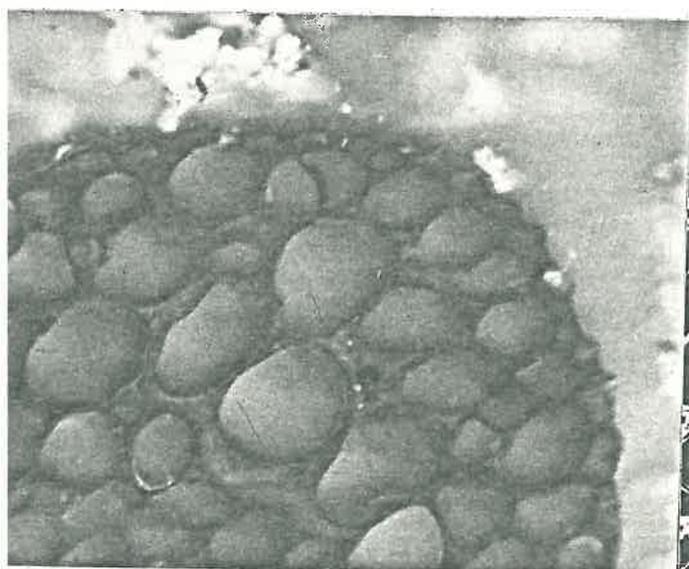


photo 1.e. = fibres non fluorescentes
en lumière fluorescente

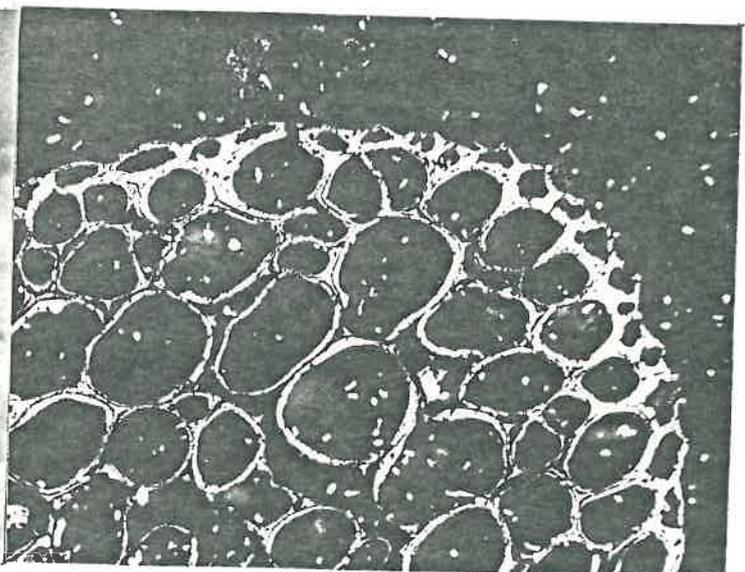


photo 1.f. = même sujet qu'en 1.e.
mais en lumière naturelle réfléchie

Fig. 2 = Schémas explicatifs des photos de la planche 1

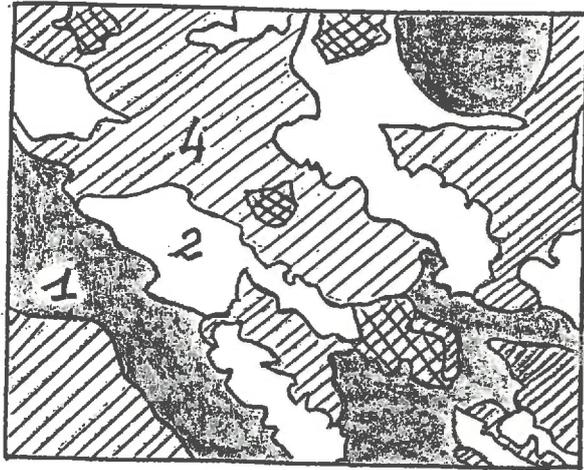


schéma 1b

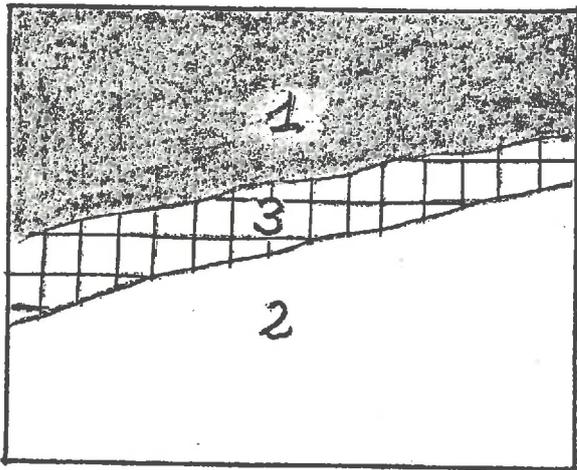


schéma 1c

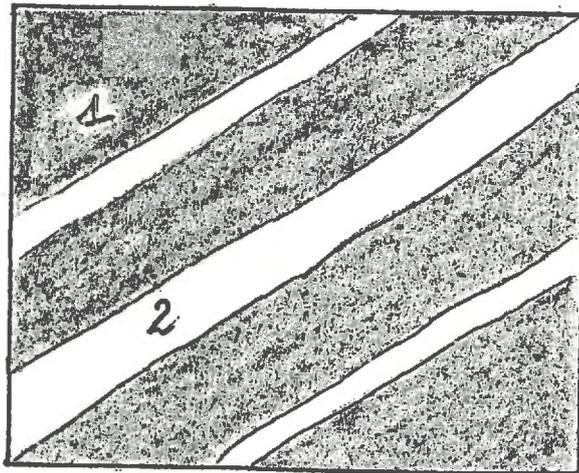


schéma 1d

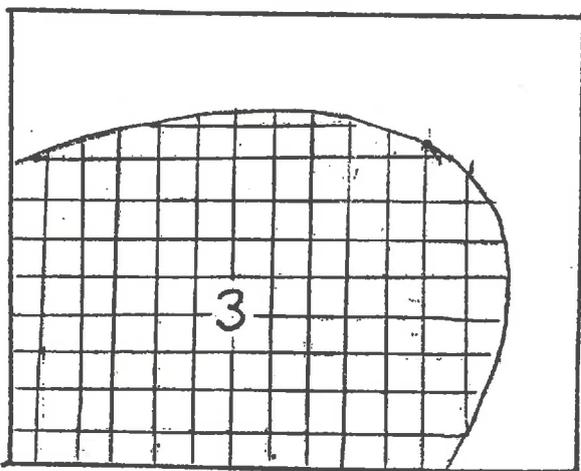


schéma 1e

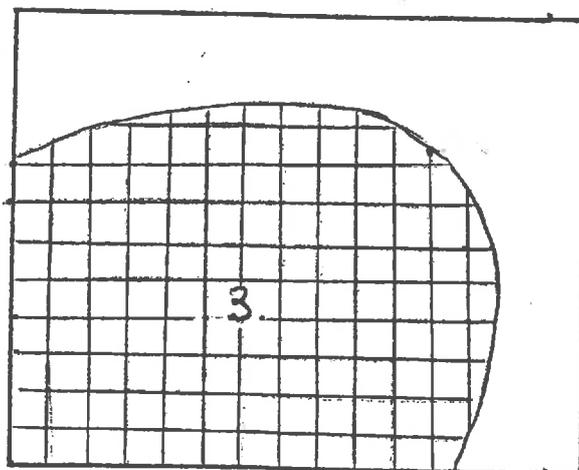


schéma 1f

- Légende :
- 1. ride
 - 2. fibres organiques fluorescentes
 - 3. fibre organique non fluorescente
 - 4. plasma organo-minéral

leur volume apparent étant dû surtout au fait que toute l'épaisseur de la lame intervient dans le premier cas, alors que seuls sont pris en compte les grains de surface en lumière réfléchie (cf. figure 3).

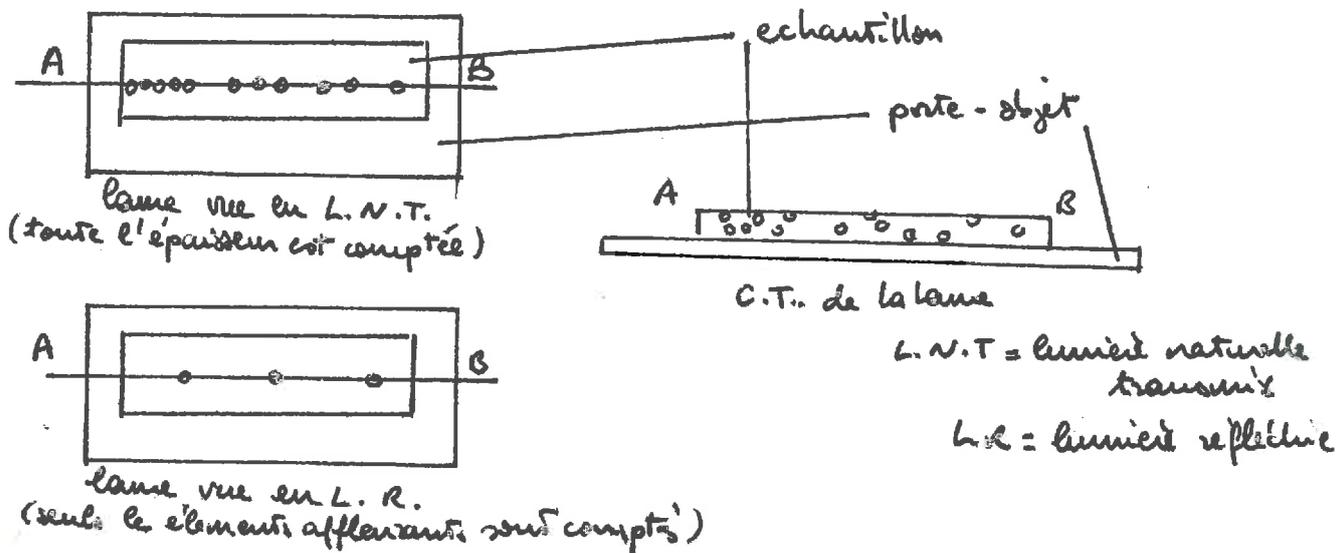


Fig. 3 : Influence du choix de la lumière sur le nombre des particules.

» - La fluorescence ne permet pas aussi nettement que nous l'espérons la distinction minéral-végétal. En effet, à la longueur d'onde utilisée, seules les matières organiques sont sensées avoir une fluorescence. Or, dans les préparations étudiées il s'est avéré que pratiquement tous les éléments observés possèdent une fluorescence plus ou moins marquée, sauf certains éléments (notamment des fibres de grande taille, supérieure à 1 cm) qui présentent une structure évidente de végétaux. La distinction ne peut donc s'établir sur le seul critère de la fluorescence et devient même, de ce fait, assez malaisée pour les petites particules.

Une des suites, et non des moindres, des deux phases d'observation précédentes a naturellement été pour moi la familiarisation avec le microscope utilisé et l'utilisation des différents types de lumière permis et leurs inté-

rêts respectifs (cf. Thèse de G. SPECKLIN - 1979). D'autre part, j'ai également pu prendre conscience de l'importance du choix de l'objectif (immersion ou non) et du grossissement, l'impact étant surtout appréciable avec l'utilisation des lumières réfléchies (fluorescentes ou non).

En conclusion, cette première investigation nous a conduit à effectuer deux autres phases d'observation :

- la première a pour but la classification des lames et leur description à faible grossissement,

- la seconde est destinée à exploiter les premiers résultats obtenus à fort grossissement. En effet, comme les mêmes types de constituants se retrouvent à peu près sur toutes les lames mais dans des proportions apparemment différentes, l'idée d'une quantification fondée sur les 3 types de constituants décrits plus haut a paru s'imposer, d'autant qu'elle pouvait nous permettre d'avancer plus aisément vers les buts fixés.

Nous allons donc voir tout d'abord la classification obtenue ainsi qu'une description de chacun des groupes, puis nous préciserons les modalités qui vont diriger notre tentative de quantification.

222. DESCRIPTION DES PRINCIPALES FORMES RENCONTREES. CLASSIFICATION DES LAMES.

Avant de donner les caractéristiques les plus marquantes de chacune des formes rencontrées, peut-être est-il bon de voir ce qui a résulté de la comparaison des lames entre elles, c'est-à-dire de présenter sommairement la classification ainsi obtenue.

En effet une observation attentive montre, comme il a déjà été dit, l'existence d'aspects et de formes communes à certaines lames, ce qui permet de les rassembler et de les classer. Les groupes ainsi obtenus peuvent être présentés de la façon suivante :

- Groupe 1 : Tourbe fibreuse peu évoluée, à fibres de taille hétérogène.
échantillons 3498 - 3502 - 3518
- Groupe 2 : Tourbe à sphaignes typique, homogène, peu évoluée.
échantillons 3512 - 3499
- Groupe 3 : Tourbe fibro particulière peu évoluée, présentant de nombreux organes végétaux reconnaissables.
échantillons 3509 - 3511 - 3516 - 3510 - 3517

- Groupe 4 : Tourbe fibreuse moyennement évoluée, avec passées non fibreuses plus humifiées et fibres de diamètre fin.
échantillons 3514 - 3457 - 3955
- Groupe 5 : Tourbe fibro-humifiée, à fibres épaisses et zones plus fragmentées et plus évoluées.
échantillons 3956 - 3959 - 3958
- Groupe 6 : Tourbe massive humifiée à travées organo-minérales; plus sombres, plus fragmentées
échantillons 3961 - 3954 - 3953 - 3449 - 3957
- Groupe 7 : Tourbe humifiée avec gel et plasma organo-minéral en îlots
échantillons 3963 - 3962 - 3504 - 3434 - 3438

Ce premier groupement appelle quelques remarques :

1) - Le terme fibreux ne correspond pas obligatoirement ici au "fibrist" de la classification. Il signifie surtout que l'on oppose les fibres isolées aux masses plus ou moins indifférenciées que présentent certaines lames.

2) - Tous les échantillons ne sont pas cités ici parce que tous n'ont pas été utilisés dans la fabrication des lames.

3) - Les groupes établis ici ne sont pas vraiment absolus, et il n'est pas exclu de penser que dans certains cas de tourbes limitrophes ou plus ou moins hétérogènes un changement dans le choix de la lame entraînerait un changement de groupe.

4) - D'autre part, il est à noter que toutes les tourbes formées presque uniquement par des Sphaignes se retrouvent dans les groupes 1 et 2 et que ceux ci sont formés uniquement par ces tourbes. Ceci semble faire des tourbes à Sphaignes une catégorie à part.

Il convient maintenant de voir plus précisément quel peut être l'aspect des lames de chacun de ces groupes. Pour cela, plutôt que de décrire chacune de ces lames, ce qui serait long et répétitif, j'ai choisi de décrire une lame plus particulièrement représentative de chaque groupe. De plus, afin de donner une idée des disparités que peuvent présenter certains groupes, je décrirai deux lames d'un même ensemble (groupe 3). Ces descriptions sont présentées ci-après :

Groupe 1 : lame 3502 (cf. fig. 4a et planche 2A)

L'abondance des fibres végétales est la première des choses que montre l'observation de ces lames. On remarque également que, si ces fibres sont sectionnées plus ou moins longitudinalement et donnent l'impression d'un feuilletage sur une part de la lame (2),



photo 2.b. = groupe 2 (lame 3499)

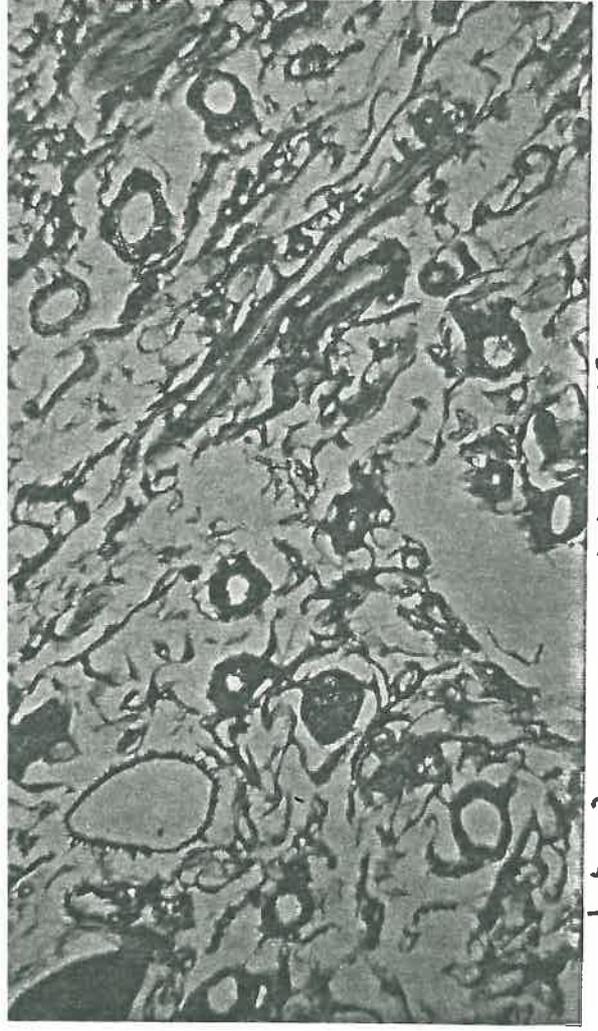


photo 2.a. = groupe 1 (lame 3502)

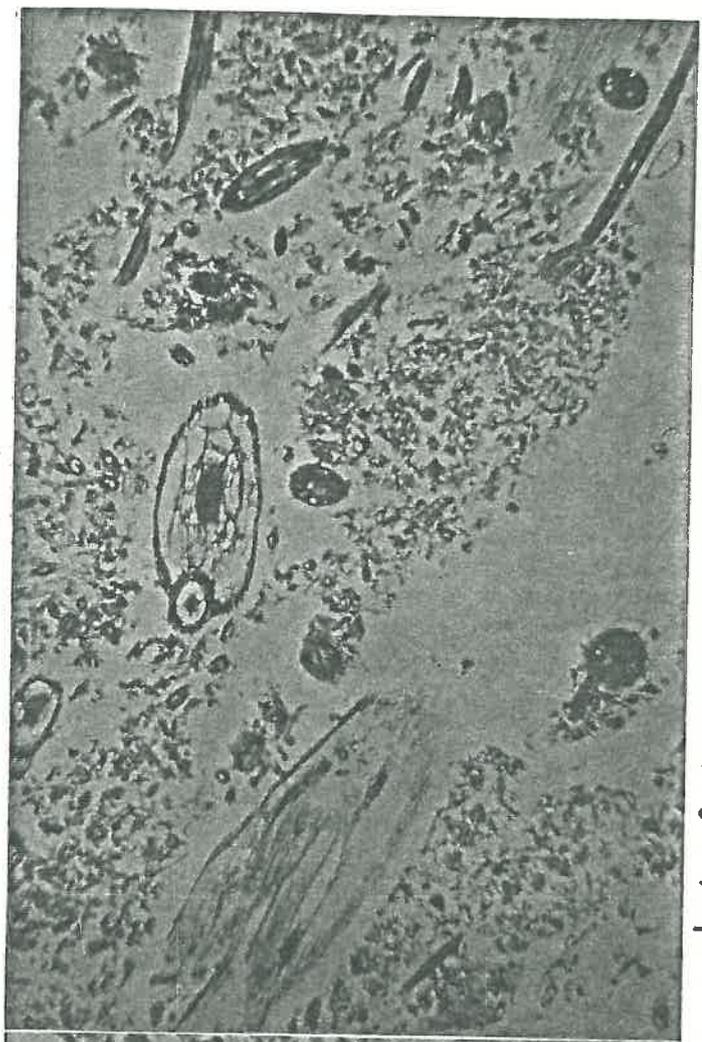


photo 2.d. = groupe 3 (lame 3516)

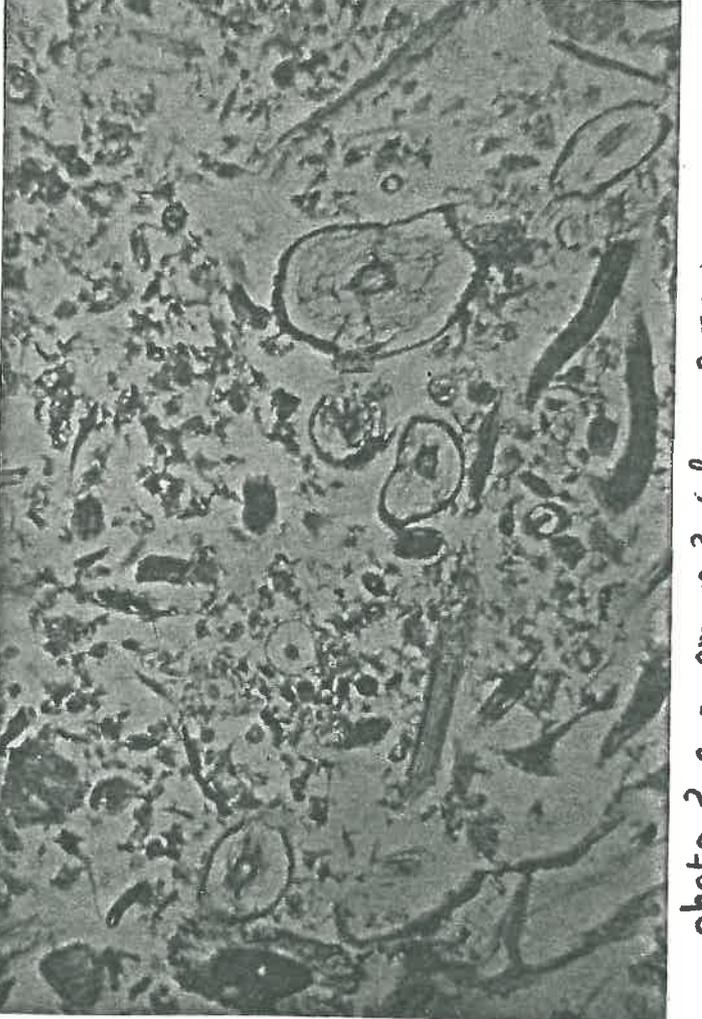


photo 2.c. = groupe 3 (lame 3511)

PLANCHE 2 = Aspect micromorphologique des tourbes étudiées

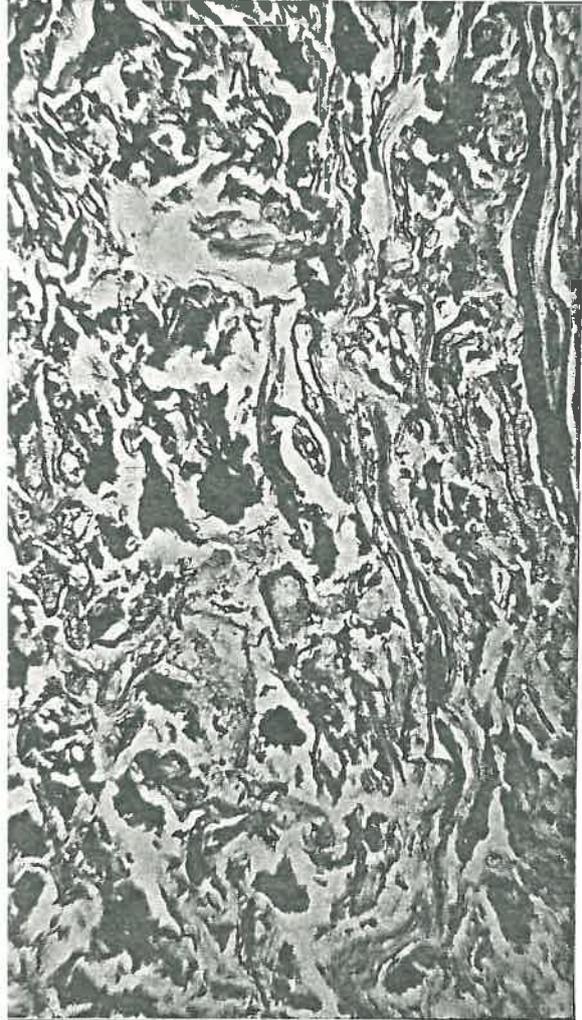


photo 3.b. = groupe 5 (lame 3958)

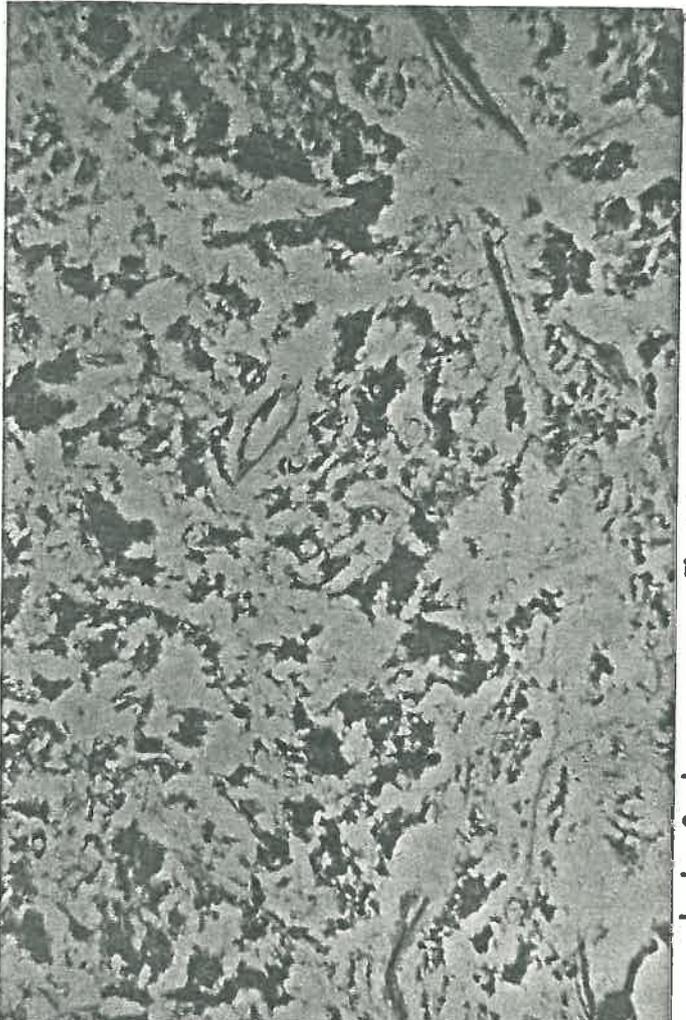


photo 3.d. = groupe 7 (lame 3963)

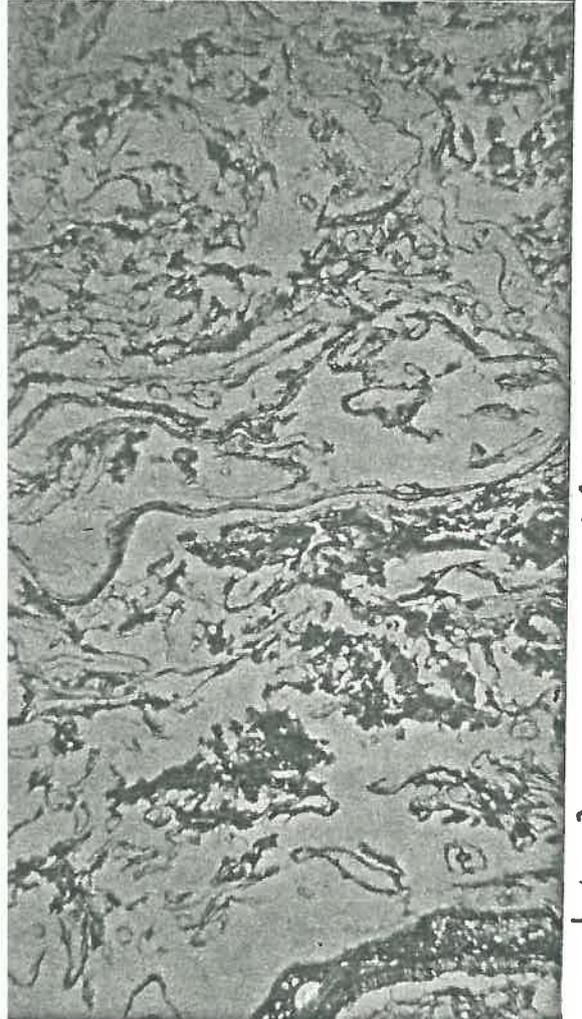


photo 3.a. = groupe 4 (lame 3457)

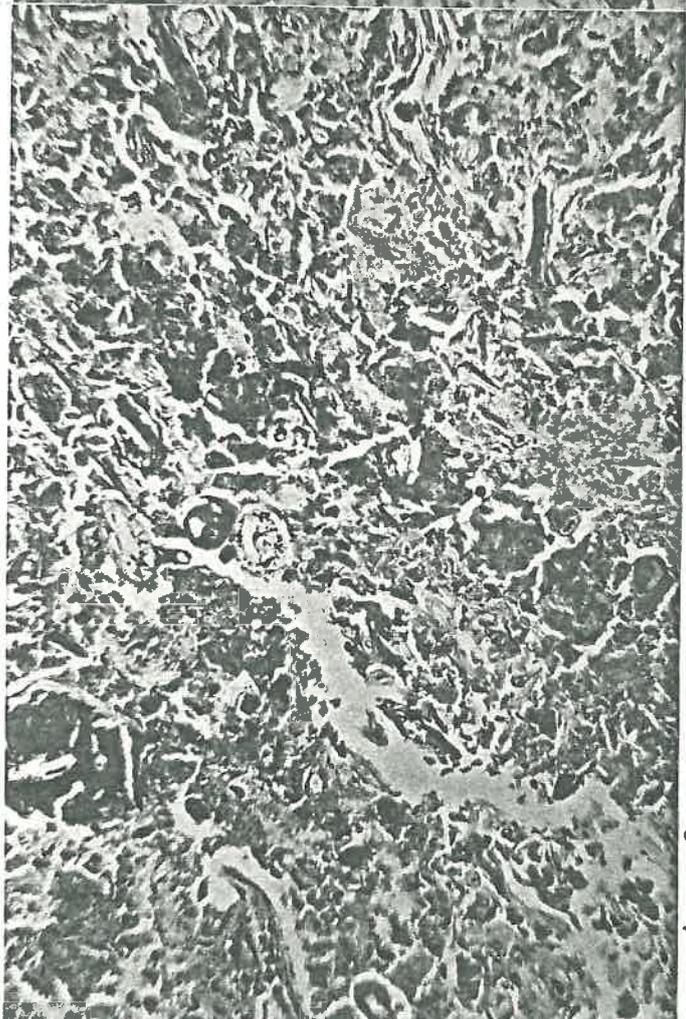


photo 3.c. = groupe 6 (lame 3957)

PLANCHE 3 = Aspect micromorphologique des tourbes étudiées.

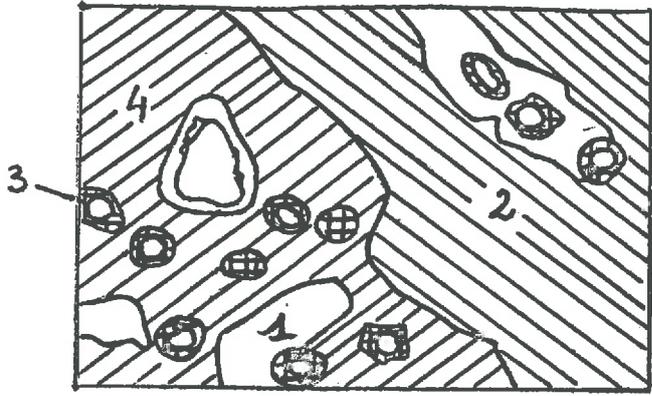
fig. 4 = schémas correspondants

aux planches

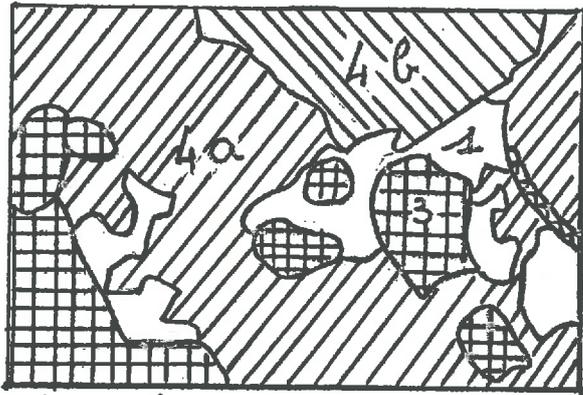
2 et 3

(La signification des numéros indiqués dans chaque schéma se trouve dans le texte p23,24,25)

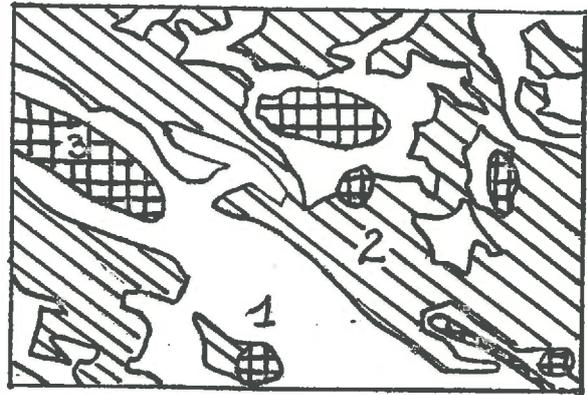
(Grossissement = 30)



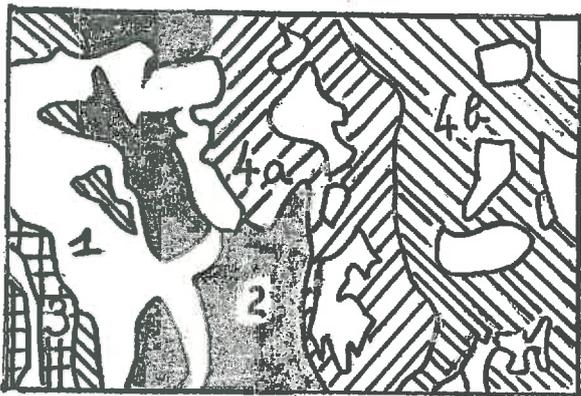
a. groupe 1
(lame 3502)



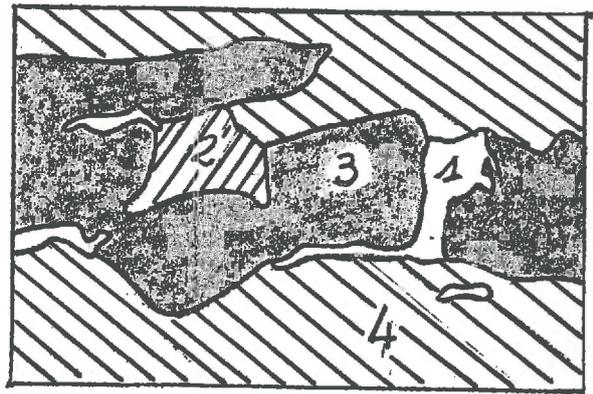
b. groupe 3
(lame 3511)



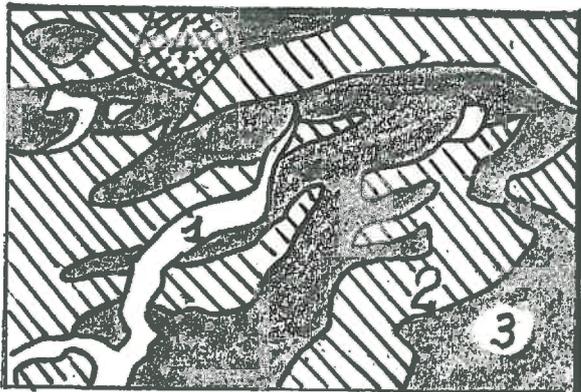
c. groupe 3
(lame 3516)



d. groupe 4
(lame 3457)



e. groupe 5
(lame 3558)



f. groupe 6
(lame 3957)



g. groupe 7
(lame 363)

elles sont aussi présentes sous forme de coupes transversales (3)[⊗], laissant voir les particules organiques de petite taille qui forment le fond de cet ensemble. On obtient ainsi une autre zone (4)[⊗] où l'on ne peut discerner de sens d'allongement préférentiel mais qui ne diffère de la précédente probablement qu'à cause de l'orientation du plan de coupe. L'image à conserver de cette tourbe semble donc devoir être celle d'un entrelac de fibres plus évoluées, relativement homogènes, dont les vides sont emplis en partie par des éléments organiques de taille nettement inférieure à celle des fibres.

D'autre part, il faut également noter dans cette lame l'importance des vides (1)[⊗], répartis de façon homogène.

Groupe 2 : lame 3499 (cf. planche-photo 2 b)

Nous nous trouvons ici devant une lame dont les éléments constitutifs sont particulièrement homogènes. On observe ainsi, outre une part notable d'espaces vides à peu près uniformément répartis, la présence d'éléments végétaux, pratiquement frais, tous de même type et de grandes dimensions, ce qui donne à cette tourbe un aspect très caractéristique.

Groupe 3 : lame 3511 (cf. fig. 4 b, planche photo 2 c)

La présence en proportion notable de coupes transversales ou longitudinales de fibres (2)[⊗] est la première observation que l'on peut faire sur cette lame. Ce qui apparaît ensuite est l'existence d'une zone composée par des débris végétaux juxtaposés de petites dimensions mais bien discernables (3 a)[⊗]. Ces derniers peuvent cependant être agglomérés et cimentés par des substances humifiées, ce qui donne alors à la zone un aspect plus sombre (3 b)[⊗].

Dans l'un ou l'autre cas, il faut noter l'importance prise par les vides, situés essentiellement entre les particules, malgré quelques espaces de dimension plus importante (1)[⊗].

Il est à souligner également que si l'on excepte la fragmentation notable de certains matériaux, les matériaux organiques ne présentent pas trace de grandes modifications.

Lame 3516 (cf. fig. 4 c, planche photo 2 d)

Cette lame apparaît immédiatement comme offrant une part importante de porosités de grande dimension. Elle donne en effet l'image d'un réseau de vides de grande taille (1)[⊗] parcourant une masse de matière formée par des éléments organiques finement fragmentés (2)[⊗], sans que l'on puisse préciser nettement la part respective des éléments humifiés et de ceux qui le sont moins, les deux types étant présents. Ces particules peuvent être juxtaposées, ou plus ou moins cimentées par des matières organiques humifiées.

⊗ - Ces chiffres renvoient à ceux des schémas correspondant à chaque lame (cf. fig. 4).

Il faut également noter la présence d'éléments végétaux nettement reconnaissables peu évolués (3)[Ⓜ].

Si l'on néglige la répartition des vides, qui varie généralement beaucoup sur la lame et dont l'évolution peut être faussée par diverses considérations (artefacts dus à l'épaisseur de la lame, au mode de fabrication), une comparaison avec la lame précédente montre que l'on retrouve les mêmes particules finement divisées arrangées de façon sensiblement identiques et pratiquement les mêmes types d'éléments végétaux reconnaissables, ce qui rend ces deux lames beaucoup plus proches l'une de l'autre qu'elles ne le sont de chacun des types représentés ici.

Groupe 4 : lame 3457 (cf. fig. 4 d - planche photo 3a)

L'observation de cette lame montre immédiatement deux aspects importants :

- l'importance des vides de grande taille (1)[Ⓜ]
- l'existence d'au moins deux types de surface, l'une plus sombre (2)[Ⓜ] correspondant à des matériaux relativement indifférenciés, plutôt humifiés, l'autre (4)[Ⓜ] formée par des fibres peu altérées, plus ou moins fragmentées.

Un regard plus attentif montre de plus que si les zones humifiées apparaissent sous forme de plages relativement compactes où s'impriment les vides, les zones de fibres semblent résulter de l'aggrégation d'éléments végétaux. On remarque alors également qu'il est possible de distinguer deux types dans ces zones, l'un (4a)[Ⓜ] formé par des fibres très longues, de petit diamètre, plus ou moins parallèles, l'autre (4b)[Ⓜ] par des éléments végétaux fragmentés où l'on ne peut discerner un sens d'allongement.

Enfin, on peut également voir la présence de coupes d'organes végétaux relativement frais et à peu près intacts.

Groupe 5 : lame 3958 (cf. fig. 4e - planche photo 3 b)

Cette lame apparaît au premier abord comme massive et peu poreuse. En fait, on s'aperçoit rapidement que, si les vides de grande taille que l'on rencontre ailleurs sont ici peu nombreux (1)[Ⓜ], il existe malgré tout un réseau de vides inséré entre les particules de la tourbe. A ce sujet on peut distinguer deux types de zones :

- l'une où les particules de taille notable, bien que relativement réduite ne présentent pas un sens d'allongement particulier, et paraissent en grande partie assez humifiées (2)[Ⓜ] et très sombres, malgré la présence de taches d'éléments beaucoup claires (3)[Ⓜ] ;

- l'autre (4)[Ⓜ] formée par des fibres très allongées, de diamètre relativement épais, plus ou moins parallèles et d'aspect assez divers (d'un degré d'altération probablement légèrement différents).

Groupe 6 : lame 3957 (cf. fig. 4 f - planche photo 3 c)

A première vue, cette lame semble présenter un plasma à peu près indifférencié, sur lequel est imprimé un réseau de vides (1)[Ⓜ]. Une observation plus attentive révèle en fait l'existence de plusieurs aspects. L'un des premiers est l'existence de grands vides de formes très allongées, en nombre restreint. On remarque ensuite l'existence de travées plus sombres (2)[Ⓜ], qui semblent formées d'un plasma organo-minéral totalement indifférencié (bien qu'un peu granuleux). Dans ces zones, il faut noter l'apparition de fentes dont la disposition laisse supposer qu'elles peuvent provenir d'un retrait produit au cours de la fabrication de la lame. Ces travées contiennent probablement un taux de matières minérales supérieur à celui du reste de la lame, ce qui expliquerait la localisation de ces fentes "de retrait". Enfin, la zone restante (3)[Ⓜ] apparaît un peu comme le "fond" de la lame, et est relativement claire. Très fragmentée, quoique de façon assez anarchique, elle semble formée par de petits amas de débris végétaux et de matières humifiées.

On peut de plus noter la présence d'une zone opaque totalement indifférenciée (4)[Ⓜ].

Groupe 7 : lame 3963 (cf. Fig. 4g - planche photo 3d)

Cette lame présente les caractères suivants :

- un plasma organo-minéral (2)[Ⓜ] sombre, semblant humifié, réparti en îlots de dimensions réduites et d'apparence homogène, le tout donnant l'impression d'une masse déchiquetée ;
- l'existence d'une zone plus claire, occupée par des matériaux plus ou moins translucides (gels ou autres) (4)[Ⓜ], ces substances se trouvant d'ailleurs également, bien qu'en faible quantité, entre les îlots.

On peut également voir quelques débris végétaux (3)[Ⓜ], en général déjà un peu altérés. On note aussi la présence de vides relativement importants (1)[Ⓜ] et à peu près uniformément répartis.

Remarques :

Pour donner un ordre de grandeur à ces descriptions, un élément y est dit de grande taille lorsqu'une de ces dimensions est de l'ordre du millimètre.

L'accent n'est pas davantage mis sur la couleur pour plusieurs raisons : on ne peut faire de comparaisons valables d'une lame à l'autre, car elles sont toutes dans les mêmes teintes ; et l'intensité de ces dernières dépend de nombreux facteurs extérieurs à l'échantillon (épaisseur de la lame, intensité de l'éclairage...) ; d'autre part des variations peuvent se produire à l'intérieur d'une même lame sans que la nature de la matière soit en cause (l'épaisseur de la lame n'est pas uniforme), bien que ceci soit plus exceptionnel.

223. METHODE DE QUANTIFICATION POUR UNE CARACTERISATION MICROMORPHOLOGIQUE DES TOURBES : DEFINITION ET MISE AU POINT.

Comme nous l'avons vu précédemment (cf. 221), il est possible de diviser de façon assez simple les éléments observés à grossissement important, et ceci de façon pratiquement similaire quelque soit la lame, ce qui nous a naturellement influencé dans le choix d'une méthode de quantification. D'autre part, plusieurs contraintes extérieures ont pesé sur nos décisions. C'est ainsi qu'ont influé :

- l'aspect assez nouveau de ce mode d'exploration des tourbes,
- le temps assez restreint imparti à cette étude, et qui limite son extension rejetant donc des schémas trop importants,
- enfin, derrière nos objectifs figurait l'espoir de pouvoir établir, ou du moins approcher, un processus simple de caractérisation des tourbes, permettant notamment d'évaluer quelques-unes des caractéristiques de leur retrait au cours d'un assèchement.

Tout ceci poussait à ne retenir que des méthodes de quantification simples, rapidement utilisables et susceptibles surtout de fournir une approche générale des caractéristiques micromorphologiques de ces matériaux sans se perdre dans trop de détails.

Par suite, nous avons décidé de pratiquer les comptages de la manière exposée ci-dessous.

2231. *Mode de comptage : méthode opératoire - classes comptabilisées.*

Comme il s'agissait de faire un comptage sous microscope, il a semblé naturel de procéder de la façon suivante :

- le comptage doit se faire autant que possible sur le plan superficiel de la lame (la préparation n'étant pas couverte par une lamelle, il faut le rappeler). Pour ne pas prendre en compte l'épaisseur de la lame, nous serons donc pratiquement contraint d'utiliser des lumières réfléchies (puisque celles-ci n'illuminent que la surface de la préparation observée) pour déterminer si le point compté correspond à un vide ou non.

Ce souci de limiter les comptages à un plan a au moins deux justifications :

- la plus importante est de retrouver les mêmes conditions de comptage d'une lame à l'autre, en supprimant les différences résultant des irrégularités d'épaisseur ;

- seul le résultat de comptages effectués sur un plan est susceptible d'être étendu au volume tout entier.

D'autre part, il s'agit d'un comptage point par point ; une utilisation correcte de tels résultats nécessite de respecter les conditions suivantes :

- le point observé doit être aussi réduit que possible, ceci pour limiter les cas limitrophes (en évitant que le point compté ne contienne deux parties d'éléments de classes différentes) ;

- il faut déterminer le nombre de points minimum à partir duquel les proportions sur une même lame restent relativement constantes ;

- la surface couverte par le comptage doit également être suffisante pour que le résultat soit représentatif de la lame.

Enfin, les points comptés ont été répartis en quatre catégories, déterminées directement d'après ce qui a été dit plus haut (cf. 221) ;

Catégorie M.A. : les vides. Ils correspondent à une taille de porosité supérieure à 10μ (limite du pouvoir séparateur pratique des systèmes employés).

Catégorie M.B. : les fibres holorganiques, peu ou pas altérées. Fortement fluorescentes, elles présentent, comme je l'ai déjà dit, une structure végétale nettement apparente.

Catégorie M.C. : les matières végétales présentant une structure végétale nette mais peu ou pas de fluorescence.

Catégorie M.D. : le "plasma organo-minéral" défini plus haut.

Une cinquième catégorie avait été définie au début du comptage, celle des éléments quartzeux. Ceux-ci étant peu abondants dans ces matériaux et n'apparaissant qu'exceptionnellement au cours du comptage, elle n'a finalement pas été conservée.

En résumé, la méthode de comptage se traduit comme étant la *comptabilisation en quatre catégories de points observés dans un plan matérialisé par la surface de l'échantillon étudié.*

Les bases du comptage étant posées, il reste encore à préciser les conditions pratiques d'utilisation, et à tester l'efficacité de ce comptage.

2232. *Mise au point et validité de la méthode de comptage*

Les comptages ont été effectués à un grossissement de 320 fois, ce qui permet de limiter notablement la surface du point compté. D'autre part, c'est à ce grossissement que les lumières réfléchie, fluorescente et naturelle, ont leur maximum de rendement avec le matériel utilisé (G. SPECKLIN 1979)

J'ai alors essayé, dans ces conditions, de rechercher quel était le nombre de points minimum à compter pour pouvoir étendre sans crainte les résultats à l'ensemble de la lame. J'ai donc procédé à un premier ensemble de comptages, en relevant les proportions des différentes classes pour des séries allant de 250 points à 1250 points. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

		250	500	750	1000	1250
3438	M.A.	58,2%	54,7	53,3	56,4	58,6
	M.B.	9,4	13,2	16,0	15,8	15,8
	M.C.	3,1	2,3	2,3	2,5	2,9
	M.D.	29,3	29,8	28,4	25,3	22,7
3963	M.A.	62,5	62,0	60,0	58,5	58,1
	M.B.	9,1	10,2	9,2	8,8	8,9
	M.C.	1,9	3,3	5,0	6,1	6,3
	M.D.	26,5	24,5	25,8	26,6	26,7
3956	M.A.	58,0	61,1	61,5	61,3	62,0
	M.B.	22,5	20,2	22,1	22,4	22,2
	M.C.	1,9	2,6	2,0	1,7	1,7
	M.D.	18,6	26,1	14,4	14,6	14,1
3499	M.A.	75,0	73,2	71,3	71,6	70,7
	M.B.	7,6	6,7	8,5	10,4	12,8
	M.C.	10,6	13,8	13,6	11,1	10,5
	M.D.	6,8	6,3	6,6	6,9	6,0
3517	M.A.	80,4	74,0	70,9	69,8	70,6
	M.B.	6,6	9,1	9,2	9,6	10,1
	M.C.	5,8	9,9	11,8	12,2	11,3
	M.D.	7,3	7,0	8,1	8,4	8,0

Il apparaît nettement dans ce tableau que compter 1250 points peut être considéré comme suffisant pour approcher de manière acceptable les proportions réelles des différents éléments sur une lame.

La surface alors couverte correspond à environ un tiers de celle de la préparation.

J'ai effectué plusieurs comptages de cette façon sur une même lame, et il semble que cela soit suffisant, les variations observées étant acceptables.

Les conditions d'application étaient donc maintenant fixées. Avant de me lancer dans l'analyse de mes lames, il restait cependant à voir encore un point : les résultats doivent être indépendants de la lame et donc bien caractéristiques de l'échantillon. Cette vérification a été faite en analysant deux lames fabriquées à partir d'un même échantillon. Les résultats sont les suivants :

Echantillon 3518

		M.A.	M.B.	M.C.	M.D.
lame	1	66,2	15,2	7,2	11,4
lame	2	63,7	16,1	7,7	12,5

(le comptage a été fait sur 1300 points).

On constate donc que s'il existe des variations, elles restent relativement limitées. Nous pouvons donc admettre que les résultats obtenus sur une lame sont valables pour l'échantillon. (Il faut cependant émettre quelques réserves ; faute de temps, nous n'avons pu pousser cette vérification aussi loin que nous l'aurions voulu. Pour être absolument certain de ces observations, il aurait fallu pouvoir les répéter sur d'autres échantillons. Il n'en reste pas moins que ce résultat apporte une indication sérieuse).

L'homogénéité des résultats tend à montrer aussi le bien fondé du choix des quatre catégories de comptages telles qu'elles ont été définies.

En résumé, même si nous n'avons pas de certitude absolue, nous pouvons déjà dire que la méthode de comptage employée dans cette étude fournit des résultats qui ne dépendent pas de la lame, mais de l'échantillon, les conditions de comptage rendant ces résultats reproductibles.

TABEAU 5 : RESULTATS DE L'ETUDE MICROMORPHOLOGIQUE

①

Variables résultant directement du sondage :

HA = proportion des vides

HB = proportion des fibres plus ou moins

HC = proportions des fibres non plus ou moins

(à structure végétale reconnaissable)

② variables calculées à partir des précédentes :

$$HE = \frac{HB}{HD}$$

$$HF = \frac{MC}{MD}$$

$$HG = \frac{HB+MC}{MD}$$

$$HI = \frac{HB}{MC+MD}$$

$$HJ = \frac{HB}{100-HA}$$

$$HK = \frac{MD}{100-HA}$$

$$HL = \frac{HB+MC}{100-HA}$$

$$HM = \frac{HB}{MC}$$

$$HN = \frac{HB+MC}{MC}$$

$$HO = \frac{HB+MC}{MD}$$

n°	TOURBIERE DE MOYENNE MONTAGNE			TOURBIERE DU GRAND LEMS					TOURBIERES DES VALLEES										
	HA %	HB %	HC %	HD %	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO				
3954	55,2	4,1	43,5	27,3	0,15	0,49	0,64	0,10	0,09	0,30	0,61	0,39	0,54	0,54	0,70				
3955	57,7	18,9	5,9	18,2	1,04	0,29	1,32	0,84	0,45	0,12	0,43	0,58	0,55	0,55	0,70				
3956	62,1	22,2	1,7	14,0	1,59	0,12	1,71	1,41	0,59	0,04	0,37	0,63	0,44	0,44	0,70				
3959	55,4	13,3	3,1	28,2	0,47	0,11	0,58	0,42	0,30	0,07	0,63	0,37	0,70	0,70	0,70				
3438	58,7	15,8	2,9	22,8	0,70	0,13	0,83	0,62	0,38	0,07	0,55	0,45	0,62	0,62	0,62				
3457	64,8	18,5	0,6	19,0	0,97	0,03	1,01	0,94	0,48	0,02	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51				
3511	68,5	8,5	6,2	16,8	0,51	0,37	0,88	0,37	0,27	0,20	0,53	0,47	0,73	0,73	0,73				
3514	68,6	15,6	11,0	4,8	3,25	2,29	2,29	0,99	0,50	0,35	0,15	0,85	0,50	0,50	0,50				
3516	70,7	12,5	3,9	12,9	0,97	0,30	1,27	0,74	0,18	0,06	0,18	0,23	0,24	0,24	0,24				
3517	70,5	10,1	11,3	8,1	1,25	1,40	2,64	0,52	0,34	0,38	0,27	0,62	2,92	2,92	2,92				
3518	64,9	15,5	8,4	15,7	1,30	0,62	1,92	0,80	0,43	0,20	0,33	0,63	0,53	0,53	0,53				
3504	52,5	14,1	1,1	32,3	0,44	0,03	0,47	0,42	0,30	0,02	0,68	0,32	0,70	0,70	0,70				
3502	63,1	9,2	9,1	18,7	0,49	0,49	0,98	0,33	0,25	0,25	0,51	0,50	0,55	0,55	0,55				
3499	70,7	12,8	10,5	6,0	2,13	1,75	3,88	0,78	0,44	0,36	0,20	0,80	0,56	0,56	0,56				

D'autre part, les quelques données obtenues semblent renforcer l'impression que les classes retenues correspondent à un aspect concret de la structure micromorphologique des échantillons.

On trouvera dans le tableau 5, les résultats de tous les comptages effectués ainsi que les valeurs des variables qui ont pu en être déduites.

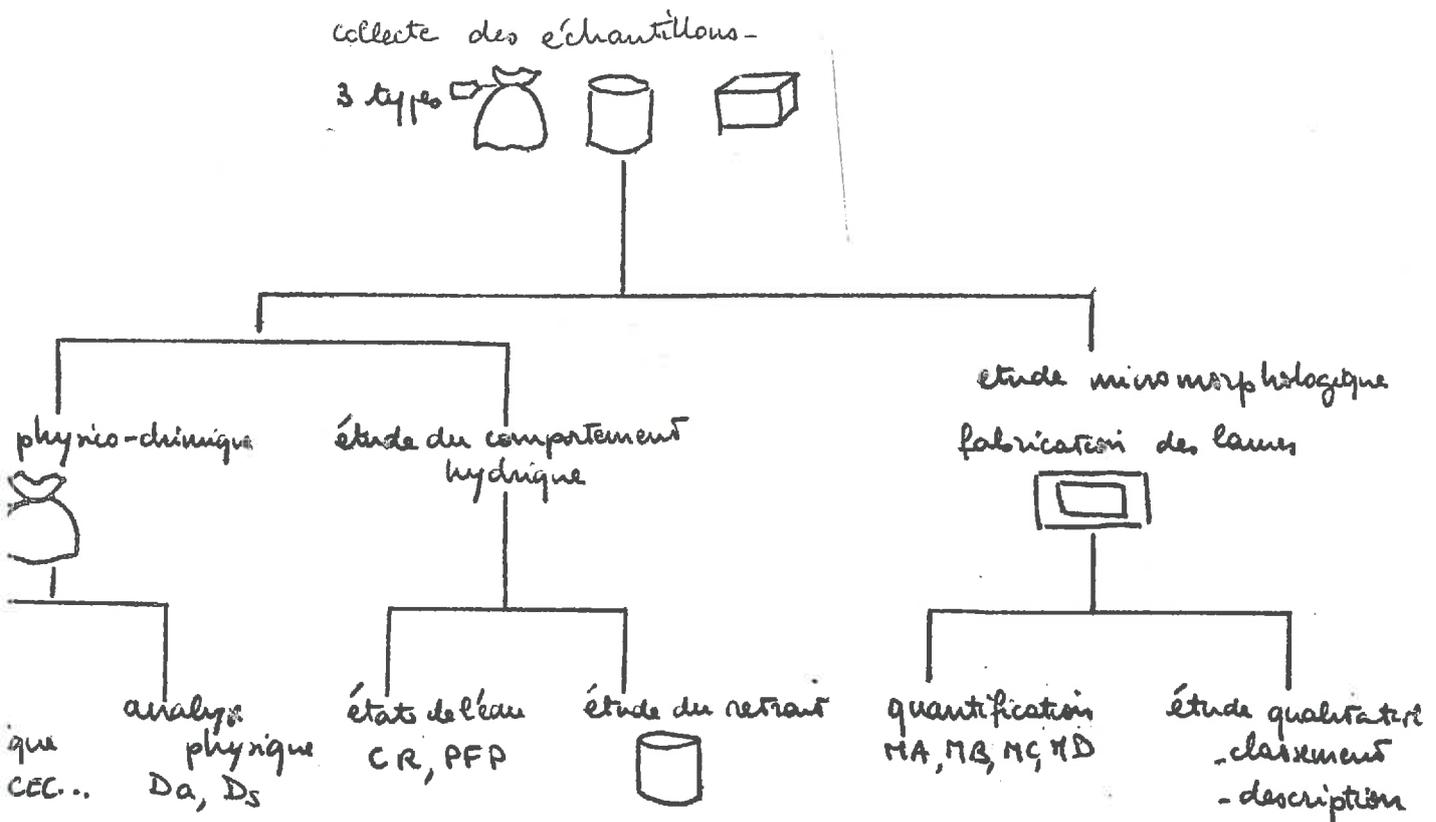
Etant en possession de toutes les données analytiques que nous nous étions proposés d'obtenir sur nos échantillons (cf. Tableaux 1, 2, 3 et 4 pour les analyses physico-chimiques, tableau 5 pour les données micromorphologiques), nous pouvons passer à la phase suivante de notre étude, c'est-à-dire la recherche des liens pouvant exister entre les diverses caractéristiques déterminées.

III - CHOIX D'UNE METHODE D'INTERPRETATION DES DONNEES OBTENUES

Pour mieux expliquer la forme prise par notre interprétation, peut-être est-il bon de résumer brièvement notre démarche au cours de cette étude.

31. PRESENTATION DE L'ENCHAINEMENT DES ETAPES DE L'ANALYSE

Le déroulement de ce travail peut être schématisé de la façon suivante :



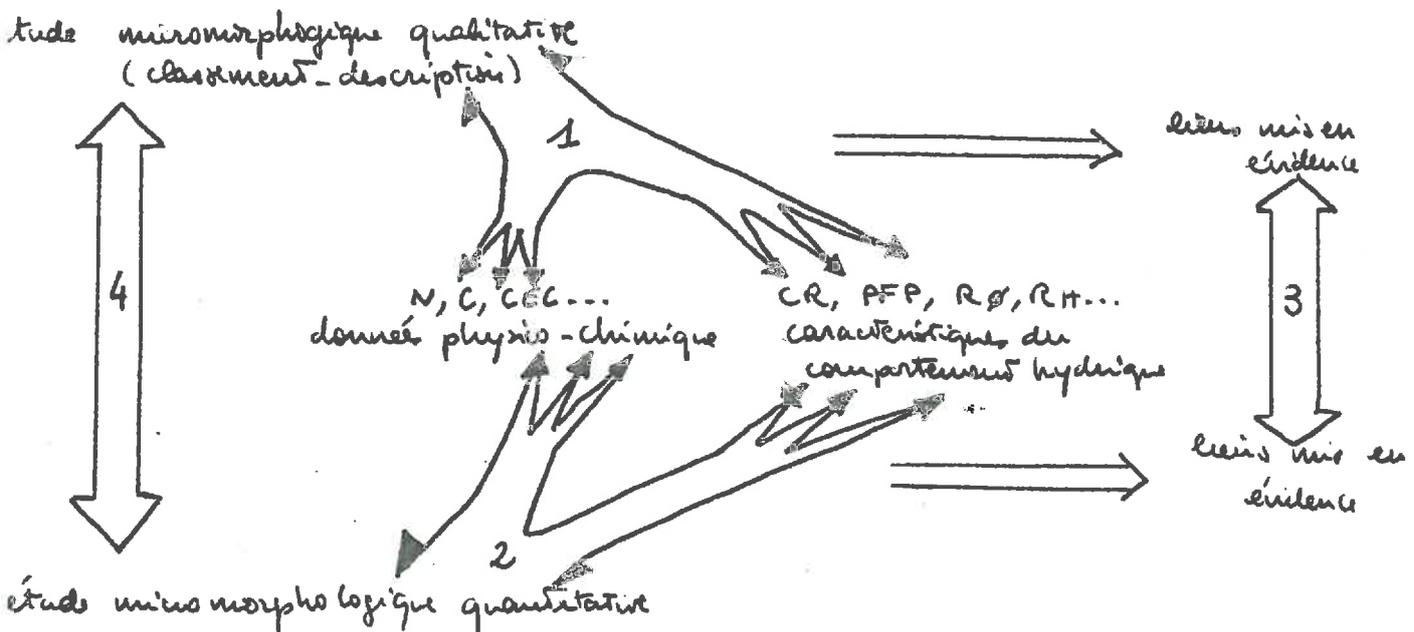
Jusqu'à présent nos observations ont été faites en suivant plusieurs filières parallèles, que l'on peut scinder en deux groupes : celles relevant de la micromorphologie et celles fondées sur des critères physico-chimiques. Pour répondre aux objectifs que nous nous étions fixés, il va falloir comparer maintenant ces deux types de filières.

32. METHODOLOGIE DE L'INTERPRETATION

L'interprétation va donc se dérouler à plusieurs niveaux. Il va en effet falloir déterminer quelles sont les relations existant entre :

- l'aspect morphologique des tourbes (aspect qualitatif) et toutes les données numériques déterminées dans les analyses physico-chimiques et du comportement hydrique ;
- les résultats de la quantification opérée sur les lames et ces mêmes données numériques ;
- les résultats obtenus dans chacun des deux cas ;
- enfin, l'aspect micromorphologique qualitatif et l'analyse quantitative des tourbes étudiées.

L'étude et l'interprétation des données réunies jusqu'ici va donc se dérouler suivant le diagramme schématique ci-dessous.



Les flèches 3 et 4 permettent d'introduire une sécurité dans cet ensemble. En effet, si les résultats de ces comparaisons ne sont pas suffisamment cohérents, on pourra raisonnablement en déduire que l'un des deux aspects micromorphologiques au moins mis précédemment en évidence ne correspond pas vraiment à la réalité des tourbes étudiées. Ces deux flèches ont donc chacune leur importance.

Dans un autre plan, il reste à préciser suivant quelles modalités les comparaisons entre ces différents types d'analyses vont être effectuées.

Les observations relevant de 3 et 4 se situent dans un domaine différent des autres, et ne posent pas de problème particulier. D'un autre côté, en ce qui concerne la flèche 1, il est évident que les comparaisons ne peuvent être faites que par l'intervention d'un observateur, et dépendent en grande partie de son appréciation, mais il est possible d'opérer les comparaisons relevant de la flèche 2 de façon à restreindre son intervention. En effet, pour ce qui concerne la mise en évidence de relations entre données de type numérique, nous pouvons choisir entre deux façons d'opérer, soit :

- par une méthode graphique, en prenant les variables analytiques deux à deux, et en les utilisant à chaque fois pour tracer des graphes. Cette procédure, assez lourde ne serait applicable ici qu'à un petit nombre de variables, et nous amènerait à augmenter le risque de négliger certaines relations. Cette méthode ne pouvait donc convenir qu'imparfaitement ;

- par une méthode statistique, en calculant le coefficient de corrélation entre deux variables, et en testant le résultat obtenu. Tout ceci peut être fait avec l'aide d'un ordinateur, ce qui a l'avantage d'éviter de se limiter à un nombre restreint de données.

Ce dernier point a naturellement conduit à choisir la deuxième méthode, mieux adaptée à nos besoins.

D'un autre côté, nous avons cependant cherché à restreindre l'importance du travail à effectuer et à en accroître la signification en limitant le nombre des variables, de façon à ne retenir que les plus significatives.

Il en va cependant différemment dans le cas des variables micro-morphologiques. Là le nombre des variables est de 4 au départ, mais on cherche ici à relier ces observations avec les autres types de caractérisations, et il s'agit donc de rechercher les variables les plus significatives possibles, ce qui n'est peut être pas le cas des variables brutes obtenues. En combinant ces dernières (en faisant des rapports notamment), on peut espérer mettre en évidence des faits nouveaux. La démarche suivie va donc être l'opposée de la précédente et va multiplier les variables (dans des limites raisonnables toutefois). Voyons finalement quelles sont les données retenues.

33. CHOIX DES VARIABLES RETENUES POUR L'INTERPRETATION

331. VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES ET VARIABLES DE COMPORTEMENT HYDRIQUE

Nous avons évidemment commencé par éliminer les variables peu significatives, ou apportant une information douteuse. C'est ainsi, par exemple, que nous avons fait disparaître le pH, sujet à de fortes restrictions (cf. § 211). De la même façon, le taux de matières organiques n'a pas été retenu, d'autant que, calculé à partir de celui du carbone, il fait ici double emploi. Toujours dans un esprit de simplification, les teneurs en soufre et en phosphore n'ont pas été prises en compte (connues sur trop peu d'échantillons, elles n'avaient de toute façon été mesurées que dans certains cas, pour obtenir un complément d'information). Il en a été de même pour les taux des différents cations échangeables, seule la valeur globale ayant été retenue, ainsi que pour le taux de calcaire total.

Finalement, les variables retenues ont été les suivantes :

- taux de carbone, d'azote, de perte au feu,
- capacité d'échange des cations,
- rapport taux de carbone - taux d'azote (C/N),
- point de flétrissement et capacité de rétention en eau,
- densité apparente (séchage à 105° C) et densité de solide.

En ce qui concerne le comportement en cours d'assèchement, ce sont les valeurs du retrait (diamètre, hauteur, volume) correspondant à un ressuyage sur limon qui ont été prises en compte (elles rassemblent finalement une part notable de l'information concernant le retrait). Nous nous sommes ainsi ramenés à onze variables (contre plus de trente au départ).

332. VARIABLES MICROMORPHOLOGIQUES

Il s'agit d'exploiter au mieux les données recueillies pour les mettre en relation avec les autres variables analytiques. Dans cette optique, les données brutes n'apparaissent pas alors comme obligatoirement les meilleures. Deux autres types de variables ont paru intéressants. Il s'agit :

- des proportions des différents constituants observés, rapportés à la quantité de matière totale (vides non pris en compte) (cf. tableau 5 où sont présentées les variables obtenues) ;

- des rapports que l'on peut établir entre deux variables. Ceux-ci peuvent être intéressants à plusieurs titres, notamment $M.E. = \frac{M.B.}{M.D.}$ (cf. signification des variables M.B. et M.D. p.) qui, représentant le rapport des éléments fibreux et fluorescents sur le plasma organo-minéral, pourrait être en liaison avec le niveau d'humification des tourbes.

Une autre considération nous a fait ajouter un type supplémentaire de variables aux précédentes : la catégorie M.C. nous paraissant intermédiaire entre M.B. et M.D., nous avons ajouté dans le calcul des variables composées avec M.B. + M.C. et M.C. + M.D., ce qui nous a conduit à introduire, par exemple $M.G. = \frac{M.B. + M.C.}{M.D.}$ (cf. tableau 5).

Ce système a en fait été développé, surtout pour pouvoir prendre en considération des rapports fibres/plasma organo-minéral. Le nombre des variables micromorphologiques est en définitive de quatorze.

Finalement ce sont donc 25 variables numériques différentes qui ont été retenues.

Passons maintenant à la phase suivante de notre étude, à savoir la recherche des liens pouvant exister entre les différents types de résultats et de caractérisations retenus.

IV - MISE EN EVIDENCE DES RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES APPROCHES DES TOURBES

41. COMPARAISON DE L'ASPECT MICROMORPHOLOGIQUE DES TOURBES AVEC LES AUTRES CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES

411. COMPARAISON AVEC LES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES

Il faut tout d'abord comparer les groupes que nous avons fait apparaître dans le classement micromorphologique vu plus haut avec les caractéristiques obtenues avec les autres types d'analyses et en particulier voir si les échantillons d'un même groupe présentent des valeurs comparables pour leurs différentes caractéristiques. En fait, on se rend rapidement compte que l'homogénéité des groupes par rapport aux caractéristiques physico-chimiques de leurs échantillons est variable (cf. tableaux 6 et 7). On voit apparaître trois types :

- les groupes dont tous les échantillons présentent des valeurs sensiblement comparables pour une ou plusieurs variables. C'est le cas du groupe 1 pour les taux de perte au feu, de carbone et d'azote ;
- les groupes dont l'ensemble des échantillons présentent des valeurs identiques ou à peu près pour une ou plusieurs caractéristiques avec cependant quelques exceptions. C'est le cas du groupe 6 pour la perte au feu par exemple ;
- les groupes totalement hétérogènes (ex. groupe 7).

Il faut cependant remarquer que ce sont presque toujours les mêmes caractères qui semblent homogènes (à savoir perte au feu et carbone). Ces variations dans l'homogénéité peuvent s'expliquer peut-être par le caractère relatif des regroupements effectués. En effet nous avons opéré par comparaison d'aspects en partant des lames existantes, ce qui peut avoir les effets suivants :

- si une morphologie est relativement bien représentée dans les lames, elle apparaîtra naturellement et donnera naissance à un groupe homogène ;

TABLEAU 7 =
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES
DU COMPORTEMENT HYDRIQUE ET
PRINCIPALES DONNÉES PHYSIQUES
ET MECANIQUES REGROUPÉES
 SUIVANT LE CLASSEMENT MICRO-
 MORPHOLOGIQUE OBTENU.

			D _a	D _s	PPP	CR	R _∅	RH	RV
TOURBES FIBREUSES	groupe 1	3 5 6 2 3 5 1 9	0,088 0,133	1,4088 1,4455	273,54 578,55	480,77 461,55	9,44 4,65	13,09 13,66	23,34 21,16
	groupe 3	3 5 1 1 3 5 1 6	0,057 0,100	1,4202 1,4393	313,11 299,76	625,13 495,12	11,23 4,31	5,23 2,39	24,39 10,07
TOURBES PEU OU PAS FIBREUSES	groupe 4	3 5 1 4 3 4 5 7 3 9 5 5	0,087 0,104 0,110	1,4192 1,4421 1,6587	445,11 283,09	560,22 558,23	6,14 23,21 20,80	3,57 19,98 31,15	17,89 52,20 57,23
	groupe 5	3 9 5 9	0,129	1,6159	363,87	650,52	20,03	23,79	51,19
	groupe 7	3 9 6 3 3 5 0 4	0,149 0,144	1,6534 1,5474	532,45 373,78	365,11 409,95	24,45 12,44	25,98 11,80	57,42 31,76

- si une morphologie est représentée par une seule ou un petit nombre de lames, elle apparaîtra moins nettement, et on pourra hésiter à créer un autre groupe pour elle seule. On aura ainsi tendance à rassembler des morphologies non parfaitement semblables. Des groupes plus ou moins hétérogènes pourront ainsi être obtenus.

L'examen détaillé des tableaux 6 et 7 fait également apparaître que :

1 - la densité apparente et, à un degré moindre, la densité de solide sont des variables à valeurs hétérogènes quelque soit le groupe ;

2 - La perte au feu est la seule caractéristique chimique qui permet de retrouver le classement obtenu par la micromorphologie (le taux de carbone le pourrait également, mais cela n'apporte rien de plus, à cause de la relation unissant ces deux caractéristiques). On remarque alors que les groupes 1, 2 et 3 ont globalement un niveau de perte au feu nettement supérieur à celui des groupes 6 et 7, les groupes 4 et 5 apparaissant comme des intermédiaires. Il est intéressant de constater que la distinction qui apparaît alors correspond à celle que l'on pourrait faire entre les tourbes à l'aspect fibreux et celles à l'aspect fondu, plus évoluées, ces dernières possédant une fraction minérale plus importante. Par contre, cette caractérisation physico-chimique est insuffisante pour rendre compte des distinctions plus fines observées directement à partir des lames.

412. COMPARAISON AVEC LES CARACTERISTIQUES DU COMPORTEMENT HYDRIQUE

Le tableau 7 montre que le niveau d'homogénéité des groupes varie plus ou moins, et en fait, seule la capacité de rétention en eau semble devoir présenter des valeurs relativement comparables au sein d'un même groupe.

Cependant, on peut trouver ici une différence entre les tourbes fibreuses, apparemment peu altérées (groupes 1, 2, 3) et les autres (groupes 4, 5, 7). Les premières semblent avoir un retrait plus faible (de l'ordre de 20 à 25 % en volume) que les secondes (qui peuvent aller jusqu'à 57 %).

Ici encore il n'est cependant pas possible d'aller plus loin et d'expliquer pourquoi des groupes de morphologie légèrement différentes présentent des comportements hydriques similaires.

Finalement, il semblerait que soit justifiée uniquement une division en trois grands groupes d'aspect micromorphologique :

- les tourbes fibreuses (groupes 1, 2, 3),
- les tourbes non fibreuses ou altérées (groupes 6 et 7),
- les tourbes intermédiaires (groupes 4 et 5).

Or cette subdivision se rapproche beaucoup de celle de la classification des sols (sols à tourbes fibreuses -ou fibrist-, à tourbes semi-fibreuses -ou lenist-, à tourbes altérées -ou saprist- d'autant plus que les tourbes entrant dans chaque groupe micromorphologique ainsi défini les font correspondre à ceux de la classification (c'est ainsi que les échantillons des groupes 1, 2, 3 correspondent à des tourbes fibreuses et ainsi de suite (cf. annexe 1).

On pourrait donc penser que cette nouvelle manière d'aborder l'étude des tourbes, qui reste qualitative et descriptive, apporte peu de choses nouvelles à ce qui existe déjà.

En fait, il faut se garder de conclure trop vite. On améliore déjà par ce moyen la sûreté du diagnostic de terrain dans les cas limites. De plus, toutes les potentialités de cette méthode n'ont probablement pas été mise en évidence, comme peut le laisser supposer les réflexions émises en 411.

Passons maintenant au deuxième volet de cette analyse, et voyons ce qui peut être déduit de l'aspect quantitatif de notre étude.

42. COMPARAISONS ENTRE LES RESULTATS DE LA QUANTIFICATION MICROMORPHOLOGIQUE ET LES AUTRES TYPES DE DONNEES

421. PRESENTATION DE LA METHODE D'ANALYSE DES DONNEES CHOISIEES

Notre analyse qui fait appel à des méthodes de calcul statistiques et informatiques éprouvées sur lesquelles je ne m'étendrai pas, va se dérouler en trois étapes :

- établissement du fichier de données (cf. en particulier 33.),
- calcul de la matrice des coefficients de corrélation,
- détermination de la signification des coefficients de corrélation ayant pour but de voir dans quelles mesures et à quels risques on peut admettre l'égalité entre 1 (ou - 1) et un des coefficients trouvés +1 étant la valeur du coefficient de corrélation pour laquelle on peut considérer que l'une des variables est fonction de l'autre, et uniquement de l'autre [fonction de type $y = f(x)$].

Cette analyse a été faite deux fois, ceci pour tenter d'en améliorer la fiabilité. En effet, comme je l'ai déjà signalé, de nombreux échantillons ne possèdent pas la série complète des analyses effectuées ; il n'y en a en fait que neuf la possédant. Cependant, si dans un premier temps on ne prend pas en compte les données concernant le comportement au retrait, quatorze échantillons sont utilisables. Pour exploiter au mieux ce fait, j'ai donc procédé à deux traitements informatiques :

- le premier concernant les variables micromorphologiques et physico-chimiques (soient 20 variables et 14 individus) ;
- le second considérant de plus les variables caractérisant le comportement au ressuyage et la densité du solide (soient 25 variables et 9 individus).

Voyons maintenant quels ont été les résultats ainsi obtenus.

N.B. Les matrices des coefficients de corrélation, ainsi que les valeurs seuils de signification des coefficients figurent en annexes 2 et 3.

422. QUANTIFICATION MICROMORPHOLOGIQUE ET AUTRES DONNEES NUMERIQUES

Pour pouvoir faire une interprétation correcte des relations qui peuvent apparaître entre les données obtenues par la quantification et celles résultant des autres types d'analyses, il semble nécessaire de devoir commencer par présenter les relations entre variables micromorphologiques d'une part et entre variables à caractères physico-chimiques d'autre part. Ceci permettra de déterminer et d'ordonner les résultats les plus intéressants en éliminant notamment les relations faisant double-emploi.

n° : 1
 at n° : 3955

Perte au feu : 63,61%
 Densité de solide : 1,6587

Anneau
 Hauteur : 5 cm
 Diamètre : 7,163 cm
 Volume : 201,85

POIDS SEC 105°C de SUBSTRAT = 17,39 g

	3/1/80	3/2/80	5/3/80	10/3/80
	Drainage libre	Ressuyage limon	Séchage air	Séchage 105°C
Total	157,50 cm ³	67,37 cm ³	34,35 cm ³	31,56 cm ³
Solide	10,48 cm ³	10,48 cm ³	10,48 cm ³	10,48 cm ³
Eau	147,02 cm ³	56,89 cm ³	23,87 cm ³	21,08 cm ³
Air	422,58 cm ³	24,38 cm ³	2,35 cm ³	0
Échelle	0,440	0,258	0,506	0,551
Pondérale % W	700,39	140,20	13,51	0
Vides total	14,03	5,43	3,28	2,01
Eau	11,70	3,33	0,88	0
Air	2,33	2,10	2,40	2,01
Totale %	93,34	84,44	63,50	66,80
Volumique %	77,83	36,18	6,84	0
Air %	15,51	48,26	62,65	66,80
Humidité %	33,33	48,35	9,84	0
Humidité relative W	564,69 80,11%	130,69 20,36%		
%	20,80%	20,61	3,06	
Hauteur %	34,95	17,06	5,10	
Volume %	57,22	43,01	8,43	

4221. *Préliminaire : relation entre grandeur du même type (analyse chimique, morphologique...)*

a. Variables micromorphologiques

Les corrélations entre ces types de variables sont assez nombreuses. Tout d'abord, on doit remarquer une forte relation entre MA et MD, et l'on peut admettre avec un risque de 1 % qu'une tourbe ayant une proportion importante de vides supérieurs à 10 μ , (ce qui pourrait correspondre à la *macroporosité*) aurait une ^{plus} faible proportion de plasma organo-minéral (puisque la fonction est inverse), qu'une tourbe ayant moins de vide et partant une importance moindre de fibres peu décomposées ; c'est ainsi qu'une *tourbe à forte porosité serait fibreuse*. Ceci paraît logique si on considère les tourbes fibreuses comme les moins altérées et comme nous l'avons vu les *moins sujettes à tassement*. Inversement, une tourbe ayant une faible proportion de vides aurait également une faible proportion de fibres et serait donc assez altérée ou humifiée.

Cette relation a une autre conséquence. Nous avons déjà une équation reliant MA, MB, MC, MD ($MA+MB+MC+MD = 100$) ceci nous en fait une seconde. Ces quatre variables n'ont donc que deux degrés de liberté ce qui explique pratiquement toutes les autres relations apparaissant entre les variables micromorphologiques (un bon nombre peut ainsi être retrouvé par le raisonnement).

b. Autres variables

Plusieurs relations peuvent ici être mises en évidence. Celles qui ont le plus d'intérêt et le plus de conséquences dans cette partie de l'analyse sont les suivantes :

- la relation existant entre le taux de carbone et celui des pertes au feu (ce qui est une relation déjà bien connue),
- les relations liant la densité de solide, les retraits en hauteur, en diamètre et en volume.

En ce qui concerne les retraits, il semble normal d'admettre une relation entre retraits en hauteur et en diamètre, la relation avec le retrait en volume en découlant normalement (puisque l'on a $RV = R \emptyset \times RH$).

- On retrouve également une relation entre densité de solide et perte au feu.

non !

- Enfin, la liaison entre la perte au feu et les différents retraits (les relations du taux de carbone avec ces retraits sont à mettre ici en parallèle).

Remarques :

Ces variables peuvent présenter d'autres corrélations entre elles. On trouvera en annexe 6 un exposé de celles qui peuvent être déduites des données que nous possédons. Maintenant qu'ont été évoquées les principales liaisons des variables micromorphologiques entre elles, ainsi que de celles reliant les autres variables, voyons maintenant, quels sont les liens existant entre ces deux domaines.

4222. *Relations entre caractéristiques chimiques et données micromorphologiques*

La seule corrélation vraiment convaincante est celle existant entre la perte au feu et la variable ^{M.A.} (proportions des vides supérieurs à 10 μ). Cette relation étant directe (le coefficient étant proche de 1) cela semblerait indiquer qu'une tourbe ayant une perte au feu importante aurait (à l'examen micromorphologique) une proportion importante de vides ; or nous avons vu que celà était lié à une faible valeur du pourcentage de plasma organo-minéral et par conséquent à une proportion des fibres plus importante, tout ceci devant nous annoncer une tourbe plutôt fibreuse. Donc une *tourbe ayant une perte au feu élevée serait fibreuse* et inversement une tourbe ayant une perte au feu plus faible serait moins fibreuse (on pourra d'ailleurs vérifier en tableau n° 1 que les tourbes de Chautagne et de Lavours, qui sont déjà moyennement altérées, possèdent des taux de perte au feu nettement inférieurs à ceux des tourbes acides à sphaignes).

Les autres relations liant la perte au feu avec des variables micromorphologiques (MD et MK notamment) semblent devoir découler des relations existant entre ces dernières, et de celle qui vient d'être signalée. On peut noter l'existence d'autres relations, notamment entre C/N et MK, la CEC et ME. Celles-ci sont sujettes à de fortes réserves et demandent confirmation. Cependant, elles apparaissent normales. En effet :

- MK (qui est égal à $\frac{MD}{100 - MA}$) représente le pourcentage de plasma organo-minéral présent dans la matière comptabilisée (on a supprimé l'influence des vides) et donc ^{on peut} constater que C/N décroît quand MK croît ce qui revient à dire que C/N décroît (c'est-à-dire que le degré d'altération de la matière

organique augmente) quand le taux de plasma organo-minéral présent dans la matière de la tourbe augmente ; ce qui permet de dire que plus une tourbe apparaît altérée dans les comptages, plus elle possède un C/N bas. Il n'y a donc là rien de surprenant.

- ME (égal à $\frac{MB}{MD}$) représente le rapport des taux de fibres fluorescentes et de plasma organo-minéral, par conséquent, la CEC semblerait liée à l'importance relative des fibres par rapport au plasma, la première étant élevée quand la seconde est faible, soit : la CEC est importante quand il y a peu de fibres, et que le plasma occupe la place la plus importante dans la matière organique. Là encore, ceci semble normal, en effet les fibres organiques fraîches n'ont certainement qu'une très faible CEC, celle-ci doit donc être surtout attribuée au plasma.

4223. *Relations entre caractéristiques physiques, du comportement hydrique et données micromorphologiques numériques.*

On trouve dans ce cas trois séries de corrélations importantes :

a) - La première est constituée par celle rapprochant les vides comptabilisés et les différents retraits (ce qui est à mettre en parallèle avec celle reliant ces dernières à la perte au feu). En tenant compte de ce qui a été dit, cela montrerait que les tourbes les plus fibreuses sont les moins sujettes au retrait (les coefficients de corrélation étant voisins de 1). D'autre part, MA (proportion des vides) est également reliée à la densité de solide (cf. la relation perte au feu - densité de solide) ainsi qu'à la densité apparente dans les deux cas en fonctions inverses.

Ceci semble logique pour le deuxième point puisque cela implique qu'une tourbe de faible densité possède une forte proportion de vide.

b) - La deuxième série de corrélations est formée par celles reliant les variables micromorphologiques MD, MK et MN aux variables du retrait et à la densité de solide. Il n'y a cependant là rien de nouveau, tout ceci étant à rapprocher des liens entre variables micromorphologiques (avec MA notamment).

c) - Enfin, la troisième concerne le point de flétrissement permanent, la capacité de rétention et les trois variables MF, MG et MI. Ces relations ne se retrouvent que dans l'une ou l'autre des deux matrices calculées, sont cependant à retenir car ce sont les seules où apparaissent les deux caractéristiques du comportement hydrique. Elles donnent à penser qu'une approche micromor-

phologique de ces deux variables est possible. On remarquera d'autre part que deux de ces variables micromorphologiques font intervenir un rapport fibres - plasma (ce qui pourrait indiquer une relation avec le degré d'évolution des tourbes).

En résumé, on constate que les données micromorphologiques quantitatives sont en relation avec :

- *la perte au feu,*
- *les valeurs des différents retraits,*
- *la densité apparente, la densité de solide,*
- *enfin, à un degré moindre, le rapport C/N, la CEC, le Point de flétrissement permanent et la capacité de rétention.*

Avant de conclure, il reste maintenant à aborder le troisième point de cette étude : la comparaison des aspects qualitatif et quantitatif de notre observation micromorphologique.

43. RELATIONS ENTRE DONNEES QUANTITATIVES ET ASPECTS QUALITATIFS DE L'OBSERVATION MICROMORPHOLOGIQUE

Nous allons effectuer l'étude de ces relations de deux façons :

- directement, en confrontant les groupes créés dans la première phase de notre observation micromorphologique avec les données numériques obtenues dans la seconde ;
- indirectement, en comparant les liens mis en évidence en 41. et 42.

En ce qui concerne le premier point, quelques groupes ont été représentés par plusieurs lames dans les comptages. En fait, si on représente ces lames groupées, on obtient le tableau suivant :

		MA %	MB %	MC %	MD %
groupe 1	3502	63,1	9,2	9,1	18,7
	3518	64,9	15,5	8,4	15,7
groupe 3	3511	68,5	8,5	6,2	16,8
	3516	70,5	12,5	3,9	12,9
	3517	70,5	10,1	11,3	8,1
groupe 4	3514	68,6	15,6	11,0	4,8
	3457	61,8	18,5	9,6	19,0
	3955	57,7	18,9	5,9	18,2
groupe 5	3556	62,1	22,2	1,7	14,0
	3959	55,4	13,3	3,1	28,2
groupe 7	3504	52,5	14,1	1,1	18,7
	3438	58,7	15,8	2,9	22,6

Comme on le voit, les écarts sont trop importants pour pouvoir considérer les résultats de chaque groupe comme bien homogènes. Nous retrouvons une situation analogue à celle déjà rencontrée avec les données physico-chimiques en 41. On remarque d'ailleurs également que le groupe 3 paraît relativement plus homogène (surtout au niveau de M.A.).

Ici encore on peut cependant se demander si cette absence de relation apparente entre les deux aspects est réelle, ou simplement due à une insuffisance d'échantillonnage qui nous a conduit à des imprécisions au cours des regroupements effectués, les regroupements pratiques réalisés n'étant que grossièrement assimilable à ceux que l'on devrait obtenir théoriquement. Pour essayer de préciser ce point, nous pourrions utiliser une approche plus indirecte et comparer les relations obtenues séparément dans les deux chapitres précédents (41. et 42).

On s'aperçoit alors immédiatement que les deux caractéristiques (perte au feu et capacité de rétention) que l'on avait pu relier à un aspect micromorphologique global interviennent également dans les relations avec les données quantitatives. On remarquera d'ailleurs que dans les deux cas, c'est

la perte au feu qui donne les relations les plus convaincantes. Pourtant il semble que ce soit ici l'analyse quantitative qui permet l'analyse la plus finé ; en effet, la liaison avec la perte au feu apparaît comme très forte (ce qui est moins net dans l'analyse qualitative), et on constate également les nombreuses autres relations, déjà signalées plus haut (cf. § précédent).

En conclusion, il semble que si l'on a bien mis en évidence l'un des traits les plus importants d'un classement micromorphologique des tourbes (à savoir la distinction entre tourbes fibreuses et tourbes non fibreuses), on n'a probablement pas déterminé toutes les formes qu'elles peuvent prendre, sans doute à cause d'un échantillonnage insuffisant, qui aura conduit à des regroupements plus ou moins discutables. Par contre, l'analyse quantitative, peut-être parce que faisant appel à des critères moins subjectifs, semble avoir permis une interprétation *un peu plus fine*, sans que l'on puisse cependant dire si les deux aspects ne sont reliés autrement que grossièrement.

V - CONCLUSION

En définitive, la méthode de caractérisation micromorphologique des tourbes présentée ici a permis l'obtention de quelques résultats intéressants, par ses aspects tant qualitatifs que quantitatifs. L'un de ceux-ci, et non des moindres, est d'avoir montré qu'une approche microscopique de ces matériaux était possible. Il est vrai que l'aspect qualitatif de cette observation n'a permis d'autres résultats que ceux que l'on peut déduire de leur morphologie sur le terrain, en permettant toutefois d'obtenir une plus grande sûreté de décision. Une étude approfondie, utilisant un échantillonnage plus étendu permettrait sans doute d'affiner cette analyse.

Nous avons cependant pu mettre en évidence, surtout par l'aspect quantitatif de notre étude, l'existence de nombreuses relations liant la micromorphologie des tourbes à leurs autres caractéristiques. C'est notamment le cas avec :

- la perte au feu et la densité de solide,
- les caractéristiques du comportement mécanique,
- le C/N, la CEC, le point de flétrissement permanent et la capacité de rétention en eau, bien qu'à un degré moindre.

Il est d'ailleurs à noter que la capacité de rétention en eau semble être reliée à la micromorphologie des échantillons quelque soit le mode d'observation utilisée. Il serait certainement intéressant de pousser l'étude dans cette direction.

On voit donc que cette nouvelle méthode d'approche des tourbes recèle de nombreuses potentialités. Il en existe d'autres que nous n'avons pu explorer. En particulier, nous n'avons envisagé dans l'interprétation que des relations entre deux variables ; or on pourrait également voir s'il n'en existe pas entre trois ou plus. Ceci ne pouvait être fait sérieusement ici d'une part à cause d'un nombre insuffisant de données, d'autre part à cause de la lourdeur des processus de recherche intervenant.

Enfin, cette étude reste imparfaite par bien des points que l'on devrait pouvoir améliorer. En particulier, pour augmenter la qualité de l'in-

formation, il faudrait être en mesure d'accroître le nombre des données recueillies, ce qui me semble passer par au moins deux améliorations :

1 - La suppression des problèmes de liaison des analyses (pour un échantillon donné) que nous ont posé les prélèvements en 3 parts (ce qui a été la cause de la perte d'une partie de nos informations). Ceci doit pouvoir se faire en n'effectuant qu'un seul prélèvement pour les 3 types d'analyse.

2 - L'élaboration d'une méthode de comptage automatique. Ceci permettrait entre autre d'affiner la division en classes pratiquée dans la classification micromorphologique présentée, et d'augmenter sans peine le nombre des observations.

BIBLIOGRAPHIE

- AIN G. - PAUTOU G. - 1969 : Etude écologique du Marais de Lavours (Ain).
Extraits de : Documents pour la carte de végétation des Alpes
(Laboratoire de Biologie Végétale de l'Université de Grenoble).
- BOUVET J. - PAUTOU G. - TETARD J. : Eléments pour l'étude écologique de
l'étang et des marais du Grand Lemps (Isère). Biologie-Géologie
Formation permanente, n° spécial. Janvier 1975 (USMG1).
- BOTTRAUD JC. - 1979 : Les matériaux tourbeux situés entre le Lac de Bart
et le VC 10 sur le tracé du canal d'aménée (Chute de Belley).
Etude réalisée pour le compte de la C.N.R.
- BORNAND M. - GUYON A. - 1979 : Etude pédologique dans la Haute Vallée du
Rhône. Aménagements de Chautagne et Belley. Etude réalisée à la
demande de la CNR (SES n° 460 - Montpellier).
- CABIDOCHÉ YM. - 1976 : Relations entre la matière organique des sols et
le milieu de haute montagne dans le Parc National des Pyrénées
D.E.A. disponible au S.E.S. de Montpellier.
- GEYER E. - 1967 : Die Strukturbildungen in den Humus horizontalen von Böden
der höhen Sierra Nevada (Spanien).
GEODERMA, 1, pp. 229-247.
- JATON JF. - 1977 : Etude de quelques propriétés des sols tourbeux et leur
influence sur le drainage. IGR n° 133 (Ecole polytechnique de
Lausanne).
- JEGLUM JK. - 1971 : Plants indicators of pH and water level in peatlands
at Candle Lake, Saskatchewan. Canadian Journal of Botany. Vol. 49
n° 9.
- JEGLUM JK. - BOISSONEAU AN. - HAAVISTO VF. - 1974 : Toward a wetland clas-
sification for Ontario (Cereat Lakes Forest Research Centre -
Sault Ste-Marie - Ontario. Information report O.X. 215).
- MENUT G. - 1974 : Recherches écologiques sur l'évolution de la matière or-
ganique des sols tourbeux (Thèse 3ème cycle. Nancy).
- MONNIER G. - 1977 : Caractérisation physique et mécanique des substrats ar-
tificiels de culture. Compte-rendu de fin d'étude DGRST, action
n° 73.

PAUTOU G. - GIREL J. - AIN G. : Etudes écologiques de la vallée du Rhône.
Cartes de la végétation à 1/25 000
(1979) - Feuille Belley Seyssel
(1978) - Feuille Morestel-Yenne
Laboratoire de Biologie Végétale - Grenoble

PAUTOU G. - VIGNY F. - GRUFFAZ R. avec la collaboration de AIN G. - 1971 :
Carte des groupements végétaux de Chautagne (Savoie)
Extraits de : Documents pour la carte de la végétation des Alpes.
Laboratoire de Biologie Végétale de l'Université de Grenoble.

S.O.G.R.E.A.H. - 1960 : Mise en valeur des Marais de Lavours. Etude agronomique.

SPECKLIN G. - 1979 : Application à la microscopie de réflexion et de fluorescence à l'étude micromorphologique des sols.
Thèse 3ème Cycle - SES Montpellier.

VIDALIE JF. - 1976 : Relations entre les propriétés physico-chimiques et les caractéristiques mécaniques des sols compressibles. Rapport de recherche LPC n° 65 (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Les tourbières françaises. Atlas 1949. Ministère de l'Industrie et du Commerce
Direction des Mines (Imp. IGN).

ANNEXE 1

ORIGINE DES ECHANTILLONS = sites de prélèvements des tourbes
- profils de ces tourbes

TOURBIERES DE VALLEES (haute vallée du Rhône) =

Tourbes eutrophes épaisses des marais (assainis ou non)

BELLEY (Ain) = (extrait de carte 1)

Profil 01 = situation = Marais de Coron - zone centrale (aval)

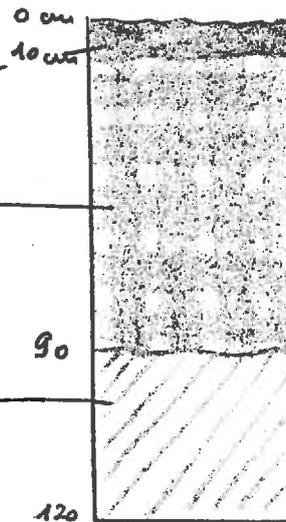
végétation = Phragmites, Cladium mariscus.

profil = (nappe en surface)

horizon organique noir
tourbescent limoneux

Tourbe brune semi fibreuse
avec nombreux débris végétaux non
reconnaisables apparents. Charbon
racinaire assez dense. Rhizomes.

Argile gris-brun plus ou moins
organique - présence de nombreux
cailloux



Profil 02 = situation = Marais de Coron - zone centrale (amont.)

végétation = idem profil précédent.

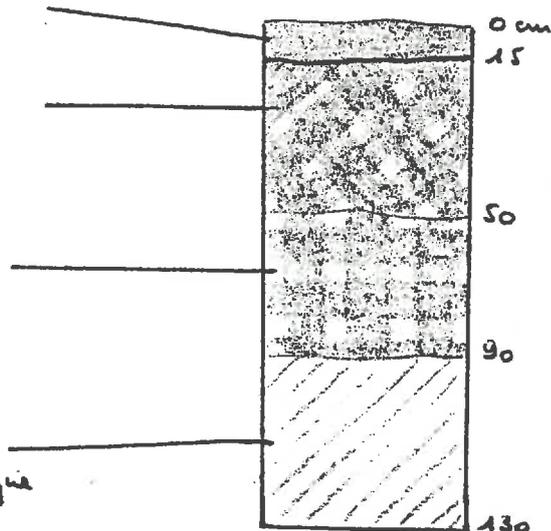
profil = (nappe en surface)

horizon organique noir,
tourbescent et limoneux

Tourbe brune altérée
(peu de structures végétales
apparentes) - Charbon racinaire
et rhizomes.

Tourbe plus sombre,
paraissant un peu moins
altérée. Charbon racinaire
et rhizomes.

Niveau argileux brun
plus clair, encore très organique
rhizomes



Profil 03 = situation = marais de l'Ousson

végétation = prairie (Brome, ...)

profil = (nappe à 1,50 m)

Argile noire riche en matière organique, calcaire (coquilles), chevelu racinaire important.

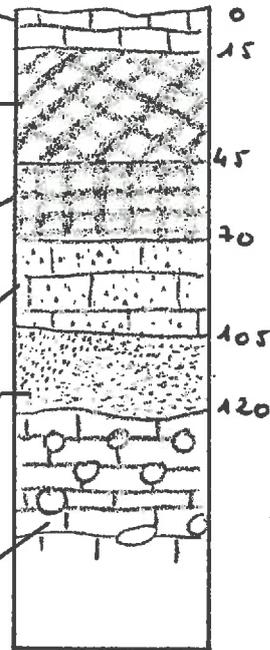
Niveau tourbescent rose (argilo-limoneux) - Débris végétaux reconnaissables (rhizomes et feuilles) Nombreuses racines - (Calcaire -

Niveau tourbescent gris brun (argilo-limoneux sableux) - Rhizomes et feuilles reconnaissables

Limon sableux argileux gris brun - Chevelu racinaire important Débris végétaux noirs (putrides)

Sable gris (gley)

Argile bleue à cailloux (gley) (Marnes vaseuses)



LANCIN (Ain)
extraits de carte 1)

Profil 04 =

situation = marais en bordure du Rhône - Tourbière exploitée (Léudet = Tourbière de Lancin)

végétation = phragmites dominant

profil = (nappe à 120 cm)

Horizon tourbescent brun rose coquilles - chevelu racinaire - calcaire (effervescence nette)

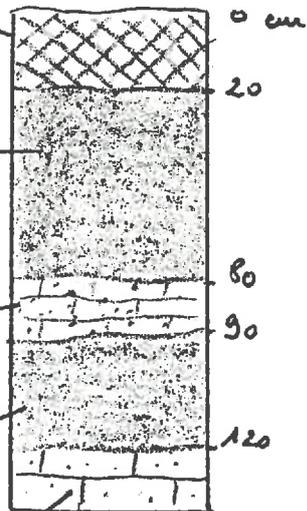
Tourbe brun très sombre altérée effervescence faible - peu sombre débris végétaux mal décomposés plus ou moins reconnaissables. Un peu coquilles

Argile sableuse tourbescente gris jaunâtre très effervescente

Tourbe brun très sombre altérée peu sombre - débris végétaux plus ou moins reconnaissables

Argile limono-sableuse gris clair

Remarque = Rhizomes et racines abondants jusqu'à 120 cm.



CHAUTAGNE (Savoie) = (extrait de carte 1)

Profil 10 = situation = marais non assaini

végétation = *Cladium mariscus*, *Alnus glutinosa*,
quelques rares phragmites.
Fauces litées annuelles.

profil = (nappe à 80-90 cm)

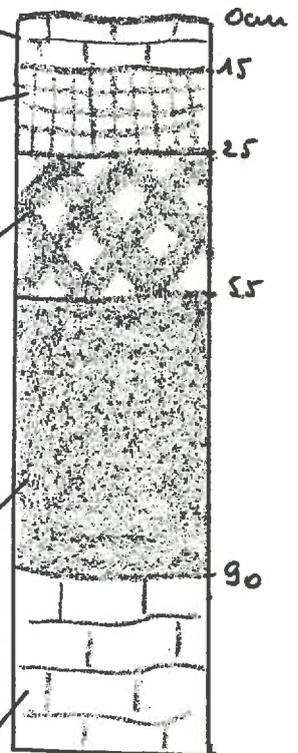
Horizon limoneux à limoneux argileux
avec chèvêche racinaire important
forte charge minérale noble, matière
organique bien incorporée.
Suintée - Type Anmoor calaque

Horizon limoneux - Type Anmoor calaque
très bonne incorporation matière minérale
et matière organique. Début aspect
fibreuse. Nombreux racines sèches
verticales.

Horizon brun, aspect fibreuse peu
décomposé. Fibres roses et fibres
noires altérées. Nombreux tiges
de phragmites sèches. (sommet
des niveaux à phragmites) descente
des racines grossières. Matières
minérales et organiques ne se mélangent
pas.

Tourbe altérée (saprot), brun olive
racines continues à descendre. Débris
de feuilles donnant un aspect fibreuse
grossier. Niveau putride à 80 cm
(niveau nappe permanente)

lentilles argilo limoneuses qui redonne



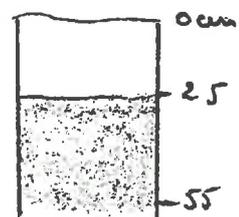
Profil 11 = situation = marais assaini (10-15 m d'un fossé)

culture = blé. (1^{ère} année de mise en valeur)

profil

Horizon cultural (glay de labour)

Tourbe fibreuse rosée
plus ou moins altérée



LAVOURS (A1M) = (extraint de carte 1)

Profil 12 = situation = marais assaini

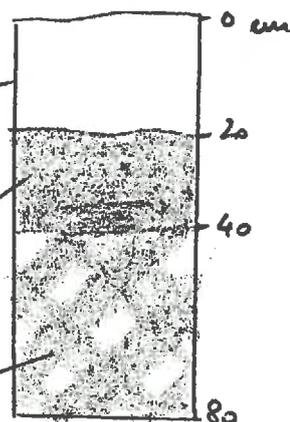
altitude = maïs

profil = (nappe à 80 cm)

horizon tourbeux en surface avec
lunions argileux superposés - Travailés.
Bien brunifiés, bien structurés (structure
serrée)

Tourbe rousse altérée (saprot) mélangée
avec lits argileux gris intercalés

Tourbe plus fibreuse rousse putride
sorgée d'eau



ANNEXE 1

ORIGINE DES ECHANTILLONS = - sites de prélèvement des tourbes

- profils de ces tourbes.

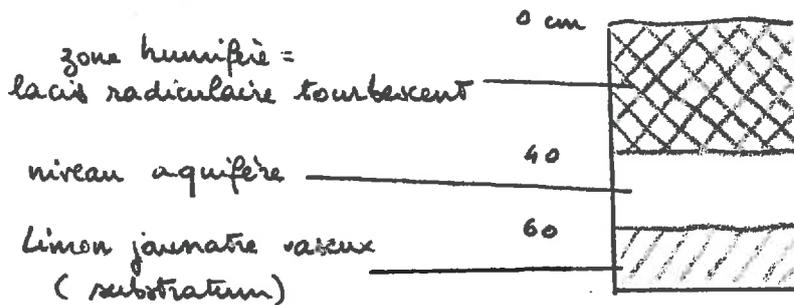
TOURBIERE EN FORMATION: la tourbière du Grand Lempis

(Tourbes en formation, peu épaisses, peu humifiées - Passage en continu d'une tourbe eutrophi à une tourbe acide à sphaignes)
- extrait de carte 1 -

Profil 21 = position = en bordure du marais

végétation = Carex elata, Cladium mariscus, Phragmites, Saule des marais

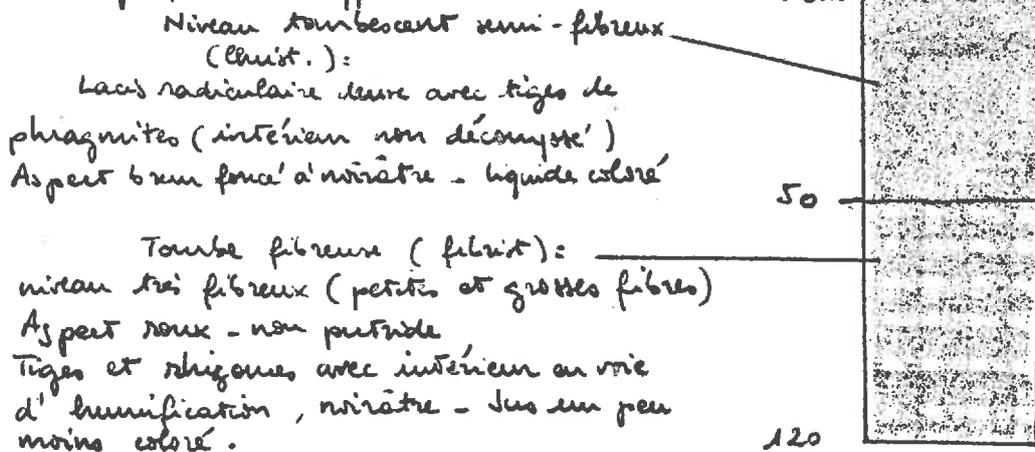
profil =



Profil 22 = position = bordure du plan d'eau

végétation = Carex elata, Cladium mariscus, Phragmites, Houx.

profil = (nappe remonte à 0.)



Remarque = Plan d'eau permanent en surface, ou à 30 cm au dessus de la surface.

Profil 23 = situation = en limite du plan d'eau et d'une zone exondée plus proche des collines morainiques.

végétation = Carex elata - Cladium mariscus (dominant) - quelques Phragmites - Fougères.

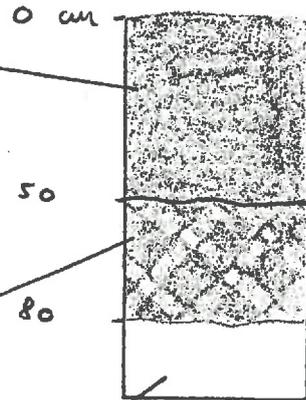
profil = (nappe à 20 cm)
Tourbe altérée (saprot):

Aspect fibreux fin brun foncé à noir très humifié - Chevelu racinaire dense très dégradé - Plasma noir beaucoup plus humifié - (Ensemble très compact) Gros rhizomes de phragmites - Jus très noir.

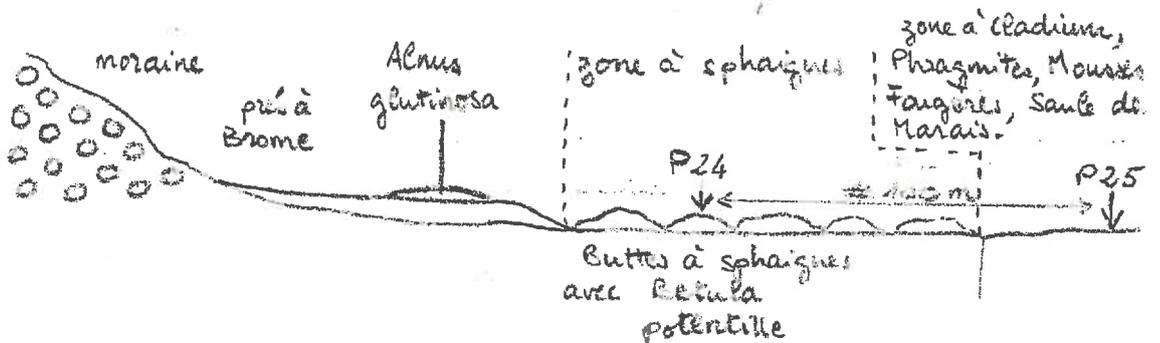
Chevelu plus fibreux, plus grossier, mais restant fin - Roux - Putride.

Tourbe semi-fibreuse (à altérée?)

plan d'eau - libre.



Profil 24 = situation =



végétation = buttes de sphaignes de 15 à 20 cm d'épaisseur, colonisées par des sphaignes vivants verts, beige et rouges en surface, blanc dans la couche sous-jacente.

profil =

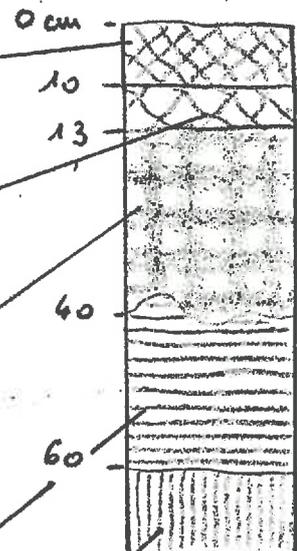
Fibres brunes assez grossières en surface - Réseau lâche de tiges de Sphaignes et de Lycopodiées non à peu décomposés, gorgé d'eau, avec jus plus coloré.

Fin lacié blond clair lâche de racines, très typique, encore gorgé d'eau, très fragile, homogène, non décomposé.

Niveau tourbeux en voie de formation, brun sombre - lacié de tiges et racines de Sphaignes, Carex et Cladium moyennement dense, gorgé d'eau. Produits humiques entre le lacié - Jus brun clair.

Passage progressif à un niveau plus roux moins humifié = lacié dense de racines de Cladium assez peu transformé.

Passage à tourbe blonde fibreuse peu décomposée



Profil 25 = situation = cf profil 24

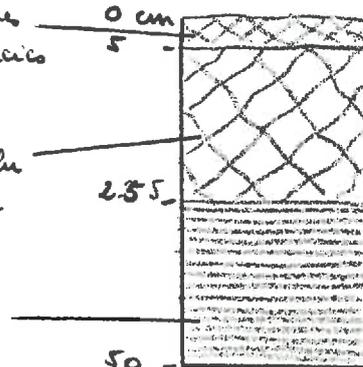
végétation = Cladium mariscus, Phragmites, Fougères, Saule
des Marais

Profil = (nappe à 10 cm)

chevelu racinaire dense.
Fibres résistantes. Nombreux rhizomes
de Phragmites. Tiges et racines vivants
paraissant humifiés.

Niveau plus clair. Chevelu
fibreuse racinaire dense brun clair
à blond.

Passage progressif à une
zone plus fibreuse, plus grossière,
blonde, putride, peu décomposée



Profil 26 = situation = dans zone à sphérique, en bordure immédiate de la
prairie à Brume (Bordure picévent)

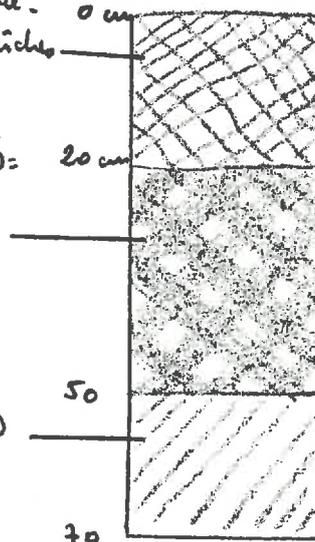
végétation = Tris diversifiés - dilués = Potentilla, Carex elata, Prêles,
Bombement peu marqué (plutôt tapis généralisé)

profil = (nappe à 20 cm)

niveau tombescent spongieux.
Fibres moyennement décomposées. Brun foncé.
Jus sombre. Tris nombreuses racines fraîches
Plasma humique brun sombre à noir.

Tourbe semi-fibreuse (à altérée):
chevelu fibreuse un peu plus grossière, plus
décomposée. Aspect brun rouge, s'oxyde
très rapidement et brunit à l'air.
Plasma humique abondant. Touches
lunaires

Vase gris-bleue à gley (LA)
avec racines pourries et fibres.





Grand-Colombier

Point de vue du Fenestré

X P12

X P11

X P04

X P05

X P06

X P07

X P08

X P09

X P10

X P11

X P12

X P13

X P14

X P15

X P16

X P17

X P18

X P19

X P20

X P21

X P22

X P23

X P24

X P25

X P26

X P27

38

extrait carte IGN
1/250 000 n°112
"Savoie Dauphinoise"
plis = 4 - 5 - 6
extrait 1
ANNEXE 1

ORIGINE DES ECHANTILLONS = sites de prélèvement des tourbes

- profils de ces tourbes.

TOURBIÈRES ACIDES DE MOYENNE MONTAGNE

(cf extrait de carte 2)

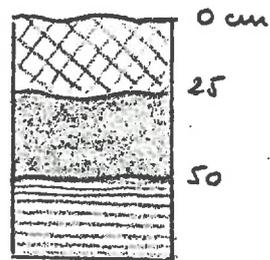
Profil 30 = situation = tourbière de Landros

profil = (nappe en surface - eau trouble, rougeâtre à reflets huileux)

louis radicaux

tourbe altérée (saprot) noire
bien décomposée

tourbe plus fibreuse (levist)
et plus claire (brunâtre)



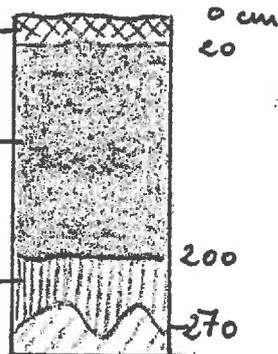
Profil 31 = situation = tourbière de la Sauvetat (en exploitation depuis quelques mois)

Profil = (eau à 1m,50 - 2m)

louis radicaux

Tourbe brune semi-fibreuse
(levist)

Tourbe rose (à sphagnum ?)
très claire, peu altérée (fibrist)



Profil 32 = situation = tourbière d'Issanlas

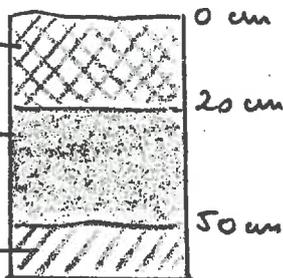
végétation = 3 zones = Carex ; Mousses et bryophytes ; prairie dégradée
(même profil, sur une profondeur variable)

profil =

louis radicaux

Tourbe noire très altérée
(saprot), structure floconneuse,
odeur putride par endroits

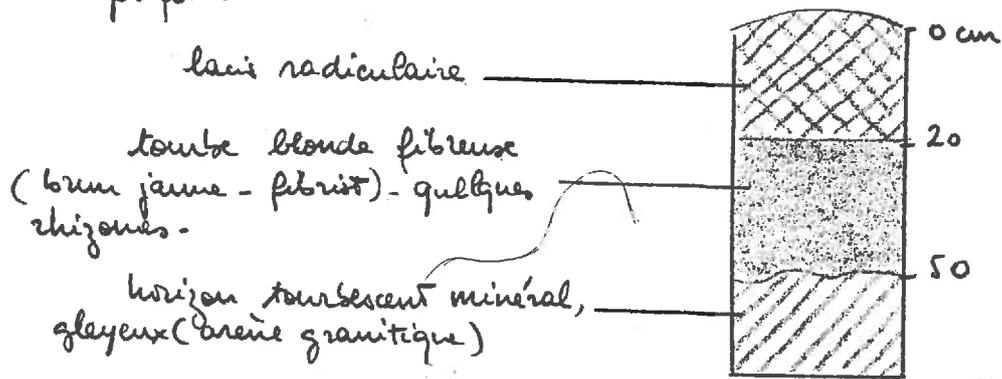
Sables grossiers
(cailloux granitiques)



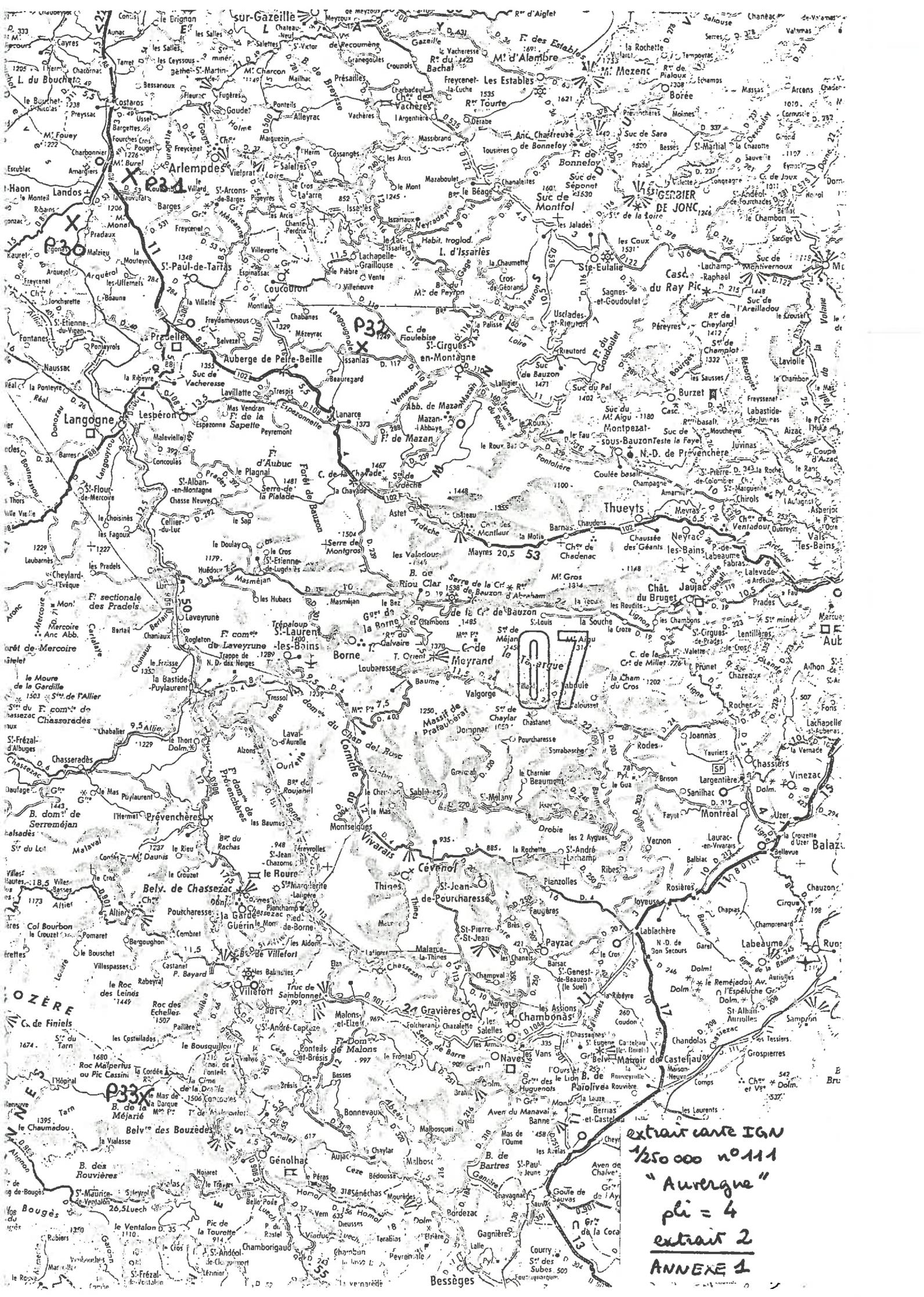
Profil 33 = situation = tourbière de Bellecote (Mont Lozeire)

végétation = zones à Hautes (dont Sphaignes) légèrement bombées

profil =



Remarque = drainage - fossés de 80 cm de profondeur - Malgré tout, eau en surface à 5 ou 6 m des fossés



extrait carte IGN
1/250 000 n° 111
"Auvergne"
pli = 4
extrait 2
ANNEXE 1

ORIGINE DES ECHANTILLONS = Répartition dans les profils

Lieu de prélèvement	n° du profil	n° des échantillons
Belley	01	3434
	02	3438
	03	3449
Lancin	04	3457
Chautagne	10	3953
		3954
3955		
3956		
	11	3957
		3958
		3959
Lavours	12	3960
		3962
		3963
Grand Lemps	22	3509
		3510
	23	3511
	24	3512
3514		
	25	3515
		3516
		3517
	26	3518
		3519
		3520
		3521
Landos	30	3504
La Sauvetat	31	3502
		3503
Issanlas	32	3500
Belleviste (Mont Lozière)	33	3498
		3499

	CA	PF	CEC	MA	MS	MC	MD	ME
CA	1,000							
PF	0,8231	1,000						
CEC	-0,4102	-0,4254	1,000					
MA	0,5793	0,7204	-0,3747E-01	1,000				
MS	-0,3517E-01	-0,1044	-0,1347	-0,8933E-01	1,000			
MC	0,1617	0,2898	0,4589	0,3862	-0,6388	1,000		
MD	-0,5249	-0,6227	-0,5412	-0,9048	-0,1590	-0,4222	1,000	
ME	0,3827	0,4204	-0,5156	0,5688	0,4094	0,2819	-0,8087	1,000
CA	0,4061	0,4882	-0,3950	0,6264	-0,1628	0,7256	-0,7637	0,8081
PF	0,3942	0,4766	-0,2025	0,7089	0,1218	0,4867	-0,8478	0,7542
CEC	0,1733	0,1557	-0,1166	0,2934	0,8765	-0,3506	-0,5307	0,6717
MA	0,7169E-01	0,8780E-01	-0,1166	0,1542	0,8687	-0,2956	-0,4427	0,6526
MS	0,2873	0,4028	-0,2475	0,5246	-0,5337	0,9534	-0,5808	0,4322
MC	-0,5094	-0,5820	0,5073	-0,8461	-0,1976	-0,3738	0,9359	-0,8066
MD	0,2302	0,3338	-0,2094	0,4579	0,2981	0,4553	-0,7344	0,8363
ME	0,1594	0,1521	0,2333	0,2039	-0,3488	0,3966	-0,1769	-0,6012E-01
CA	0,1742	0,2112	-0,9585E-01	0,4598	0,2725	0,4883E-01	-0,5144	0,4618
PF	0,6547E-01	0,3929	-0,1953	0,3514	0,9236E-02	0,3330	0,3624	0,4777

	NF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MH	CR	PF
NF	1,000									
MG	0,7955	1,000								
MH	0,1420	0,4208	1,000							
MI	0,2117	0,4541	0,8717	1,000						
MJ	0,8485	0,6480	0,2331	-0,1160	1,000					
MK	-0,7160	-0,8066	0,5540	-0,3560	0,4690	1,000				
ML	0,7720	0,7907	0,5127	0,6934	0,6130	-0,5917	1,000			
MN	0,2931	0,2610	0,2925	-0,1377	0,4832	-0,7135E-01	0,1024	1,000		
CR	0,3656	0,6835	0,3869	0,5160	0,2217	-0,4088	0,5792	-0,9851E-01	1,000	
PF	0,5829	0,5233	0,6691E-01	0,2381	0,4268	-0,4040	0,4566	0,3603	0,3279	1,000

nombre de degrés de liberté = 12

Seuil de signification des coefficients de corrélation =

- 0,53 à 5%
- 0,66 à 1%
- 0,78 à 1/100

(Les coefficients supérieurs à 0,53 ont été soulignés)

	N	C/N	CA	PF	CEC	MA	MB	MC	MD	ME
N	1,000									
C/N	-0,3578	1,000								
CA	0,2771	0,7955	1,000							
PF	0,4403	0,4236	0,6919	1,000						
CEC	0,7228E-01	-0,6953	-0,6707	-0,8847	1,000					
MA	0,2350	0,4885	0,6281	0,4199	-0,4349	1,000				
MB	0,1363	0,6655E-01	0,1028	0,2472	-0,2472	0,1515	1,000			
MC	-0,2475	0,9358E-03	-0,1249	-0,8494E-01	-0,5656E-01	0,1735	-0,5904	1,000		
MD	-0,7038E-01	-0,4731	-0,5083	0,5235	0,5235	-0,9204	-0,2814	-0,3212	1,000	
ME	-0,8694E-01	0,4342	0,3736	0,5570	-0,5570	0,5360	0,5208	0,2556	-0,7239	1,000
MF	-0,1673	0,4174	0,3329	0,3839	-0,5245	0,4538	0,1100	0,6171	-0,4854	0,8959
MG	0,2292E-01	0,3108	0,3050	0,6533	-0,4664	0,6917	0,4285	0,3922	-0,8797	0,8920
MH	-0,1820	0,4724	0,3491	0,4595	-0,4604	0,3725	0,5653	-0,3618	-0,4444	0,5821
MI	0,3237	-0,8665E-01	0,8571E-01	0,4995	-0,2294	0,2376	0,8646	-0,2513	-0,4444	0,6820
MJ	-0,1054	0,6934E-01	0,4002E-02	0,9576E-01	-0,1890	0,2804	-0,4684	-0,9564	-0,4560	0,4196
MK	0,1549	-0,5956	-0,4772	-0,7127	0,5588	-0,8389	-0,3375	-0,2571	0,9812	-0,7811
ML	0,1699	-0,1983E-01	0,8944E-01	0,4355	-0,3030	0,3642	0,3248	0,4759	-0,6451	0,8061
NM	0,1108	-0,5944	-0,4864	-0,7385	0,5944	-0,6864	-0,5660	0,2930	0,6496	-0,4557
OR	0,3865	0,1301E-01	0,2505	0,3953	+0,2400	0,3944	0,4289	-0,1930	-0,3644	0,2758
PPF	0,2297	-0,6537E-02	0,1109	0,2406	-0,1197	0,1267	0,5968	0,3668E-01	-0,2983	0,5992
Pa	-0,5329	0,1025	-0,2174	-0,5152	-0,2087	-0,6923	-0,6607E-01	-0,2347	0,6162	-0,3446
D3	-0,5120	-0,2775	-0,5853	-0,9855	0,5640	-0,8436	-0,4548	0,1088	0,7963	-0,5234
RØ	-0,1361	-0,6949	-0,7946	-0,6885	0,7691	-0,6781	-0,6121E-01	-0,2108	0,6272	-0,4754
RM	-0,4342	-0,5779	-0,8530	-0,8740	0,6881	-0,7691	-0,3529	0,1059	0,6859	-0,5314
RV	-0,2603	-0,6471	-0,8182	-0,7229	0,7516	-0,7447	-0,1566	-0,8879E-01	0,6602	-0,4566

degré de liberté = 7

Seuil de signification des coefficients de corrélation =

- 0,67 à 5%
- 0,80 à 1%
- 0,90 à 10%

(les coefficients supérieurs à 0,67 ont été soulignés)

MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	CK	PF
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
0,8039	0,2934	0,4726	-0,5413E-01	0,3128	-0,4621	-0,6008E-01	1,000		
0,3427	0,6030	-0,2031	-0,3359	0,6564	0,7828	0,3737	-0,1867		
0,3980	0,4944	-0,4567	0,7176	0,2538	0,2168	0,5951	-0,1774	1,000	
0,7555	-0,8797	0,2159	-0,3277	-0,6016E-01	-0,3715	0,4292	0,1392	0,4816	
-0,6634	0,7932	0,5509	0,5548	0,1112	0,4701	-0,4510	0,6972	-0,6213	1,000
0,8277	-0,5420	0,9524E-01	0,6869	-0,3071	0,6623	-0,2242	0,6000	-0,3743	-0,2503
-0,1686	0,3525	-0,6599E-01	-0,2945	-0,6629E-01	0,7109	-0,2803	0,6743	-0,3651E-02	-0,3186
0,9964E-01	0,6648	0,2501E-01	-0,5475	-0,2775	0,6892	-0,2181	0,6699	-0,2633	-0,3953
0,4386	-0,5503	0,4307	-0,5033E-01	0,3915E-01	0,7172			-0,9834E-01	-0,3155
-0,2990	-0,6394	-0,8842E-01	-0,3445	-0,1765					
-0,3305	-0,5955	-0,3060	-0,1368						
-0,4787	-0,6030	-0,1414							
-0,3839	-0,5934								
-0,4014									

Da	Ds	Rø	RH	RV
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,5359	0,6143	0,889	0,9466	
0,2483	0,8309	0,9819		
0,4363	0,7330			
0,3188				

Signification des symboles utilisés dans les matrices =

- N = taux d'ajuste
- C/N = rapport du taux de carbone et de celui d'ajuste.
- CA = taux de carbone
- PF = pente au feu
- CÉC = capacité d'échange des cations
- M. (MA, ME, MC...) = variables provenant de l'analyse micro morphologique quantitative.
- CR = capacité de rétention en eau
- PF = point de pétrissement permanent
- Da = densité apparente
- Ds = densité de solide
- Rø = retrait en diamètre
- RH = retrait en hauteur
- RV = retrait en volume

La première matrice des coefficients de corrélation (cf. Annexe 2) a été calculée en utilisant les échantillons suivants:

Tourbières de vallées =

3954 3959
3955 3438
3956 3457

Tourbières du Grand Lemps =

3511 3517
3514 3518
3516

Tourbières acides de moyenne montagne =

3502 3504 3499

La seconde matrice a été calculée en utilisant (cf. Annexe 3)

Tourbières de vallées =

3954
3959
3457

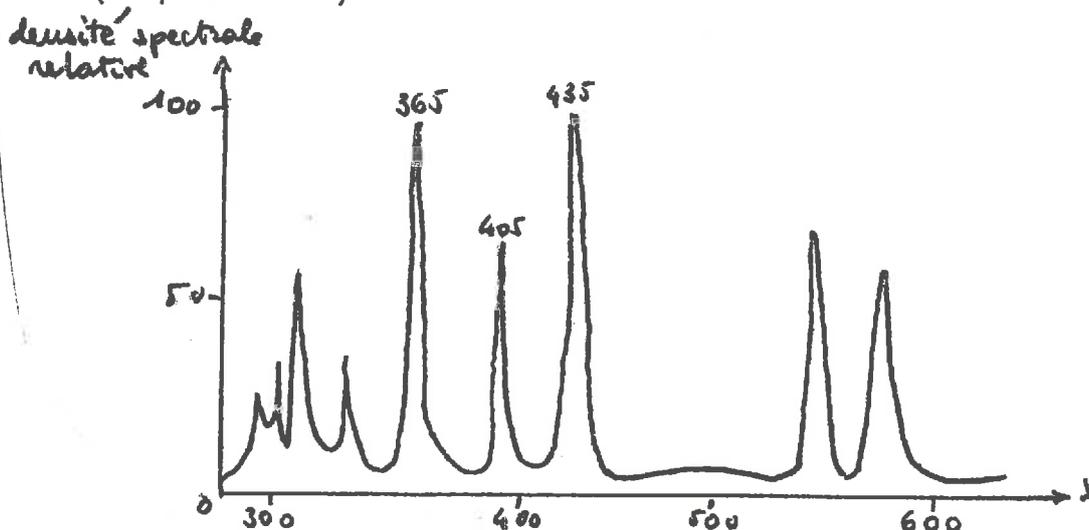
Tourbières du Grand Lemps =

3511 3518
3514
3516

Tourbières acides de moyenne montagne = 3502. 3504.

CARACTERISTIQUES DU MATERIEL DE MICROSCOPIE

- Microscope orthoplan de marque Leitz
- Sources de lumière :
 - . boîtier avec lampe à incandescence pour la lumière naturelle transmise et réfléchi (lampe à bas voltage variable 60 w)
 - . boîtier avec lampe à vapeur de mercure pour la lumière fluorescente (lampe HBO 50 W)
 - . boîtier miroir 500 Leitz (modifié pour l'utilisation des boîtiers de lampes 100 et 100 z).
- Illuminateur :
 - . illuminateur Leitz Pol-Opak pour lumière réfléchi muni d'un prisme de Berek pour la lumière polarisée transmise et réfléchi et d'un miroir séparateur dichroïque pour la lumière de fluorescence (modèle TK 510 permettant la fluorescence en excitation à bande large de l'UV au bleu) ;
 - . illuminateur Ploem-Opak Leitz (avec le miroir dichroïque).
- Objectifs :
 - . avec l'illuminateur Pol-Opak (facteur de tube 0,8) : objectif à immersion d'huile de grossissement 32x, et d'ouverture numérique 0,65
 - . avec l'illuminateur Pol-Opak : objectifs de grossissement 1x, 2,5 x ; 10x ; 16x.
- Oculaires : grossissement 12,5x
- Compteur de points avec platine intégratrice Swift and son à déplacement manuel.
- Chambre photographique Orthomat W
- Caractéristiques spectrales de la source d'excitation pour fluorescence (d'après Schott)



METHODES DE FABRICATION DES LAMES (d'après G. SPECKLIN - 1979)

1. Cryodessication

Effectuée dans un lyophilisateur (SERAIL, de type Sublivar RP, labo. de Zoot. INRA Montpellier), elle se déroule comme suit, sur des échantillons ne dépassant pas 3 cm d'épaisseur :

- congélation "lente" (8 heures) à -45°C
- sublimation de la glace sous un vide primaire (8.10^{-7} torr à la fin du processus) pendant 2 à 4 jours suivant l'humidité et le type de matériaux,
- vérification de l'état de déshydratation de l'échantillon par pesée avant et après la lyophilisation, et par comparaison avec un témoin séché à l'étuve.

Cette façon de faire a au moins deux avantages : un gain de temps appréciable pendant le séchage (quelques jours contre 3 semaines ou plus pour le séchage à l'air), la conservation de structure disparaissant lors du séchage à l'air (gels humiques notamment).

2. Inclusion dans une résine polymérisée

Les inclusions ont été réalisées selon les techniques utilisées classiquement en micromorphologie : résine Statyl 108 CCL Rhône-Poulenc dilué au styrène, avec catalyseur et accélérateur.

Proportions moyennes : résine : 300 cm^3
 styrène : 100 à 300 cm^3 suivant la porosité
 de l'échantillon
 catalyseur : 2 cm^3
 accélérateur : 0,1 cm (naphténate de cobalt)

Inclusion sous vide (3 cm de mercure) pendant 2 à 3 heures.

La polymérisation est achevée au bout de 48 heures à 1 semaine. Le collage des blocs sur la lame porte-objet se fait avec une colle non fluorescente.

La lame ainsi obtenue n'est alors pas recouverte. Elle est polie de la façon suivante :

- dressage de la surface au carborandum, de grain 12,5 et $2\ \mu\text{m}$ (en suspension dans de l'huile Isopar L) avec nettoyage de la lame aux ultrasons entre chaque poudre ;
- finissage avec un liquide à polir type "Miror".

1. CORRELATION EXISTANT ENTRE CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Plusieurs variables semblent pouvoir être reliées. Il doit notamment y avoir une relation entre :

- le taux de carbone et celui de perte au feu (ce qui est une relation normale, le taux de perte au feu correspondant à une évaluation de la matière organique. Il s'agit donc là d'un fait connu).

- le rapport C/N et le taux de carbone. Cela indiquerait que le calcul du rapport C/N ne dépend que du carbone, le taux d'azote étant une fonction de ce dernier (ce qui ne semble pas devoir se vérifier), où tout au moins, *ayant une influence modérée*. Ce qui apparaît plus normal, si l'on se souvient que le taux d'azote est faible, celui-ci se trouvant sous forme de protéines tannées très peu biodégradables. En conséquence, quand l'altération augmente, c'est la diminution du taux de carbone, celui-ci étant éliminé sous forme de méthane ou de dioxyde de carbone, qui va faire varier le rapport C/N.

- la capacité d'échange des cations et le rapport C/N d'une part, le taux de carbone d'autre part (encore que cette dernière relation puisse découler de celle reliant C/N et taux de carbone). Cependant, il faut remarquer que cette liaison n'apparaît que dans la deuxième matrice calculée, ne prenant en compte que neuf échantillons et non dans la première qui en considère quatorze. On peut alors remarquer que les cinq échantillons retirés correspondent à des matériaux relativement pauvres en matières organiques, alors que ceux conservés sont dans l'ensemble assez riches. Si l'on se rappelle alors que la matière organique possède une très forte C.F.C., on peut penser que dans un ensemble de matériaux possédant un taux de matières organiques élevé (et à peu près de même niveau), seule la nature de la matière organique va entraîner des différences (les matières minérales n'ayant plus qu'une influence très restreinte) ; le rapport C/N étant justement en relation avec cette dernière, on peut ainsi expliquer la relation trouvée dans le deuxième cas. Pour le premier, l'introduction d'un autre facteur de variation par des différences significatives des taux de matières organiques entre échantillons expliquerait que cette relation, passant au second plan, n'apparaisse plus (la différence étant beaucoup plus petite entre deux types de matières organiques qu'entre l'un de ceux-ci et une argile).

2. CORRELATIONS ENTRE CARACTERISTIQUES DU COMPORTEMENT HYDRIQUE, CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Il semble que la densité du solide, les retraits en hauteur, en diamètre et en volume soient reliés entre eux. En ce qui concerne les retraits, il semble normal d'admettre une relation entre retrait en hauteur et retrait en diamètre, la relation avec le volume en découlant normalement (puisque l'on a $R_V : R_D \times R_H$). Les relations avec la densité de solide me semblent plus difficile à expliquer dès à présent.

3. CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES DU 1 D'UNE PART, du 2 D'AUTRE PART

Plusieurs relations plus ou moins claires peuvent être mises en évidence. On a notamment une relation entre densité de solide et perte au feu, ce qui semble indiquer qu'une augmentation de la densité correspond à une baisse de la perte au feu. Ceci peut s'expliquer si on considère les minéraux comme généralement plus lourds que les végétaux, et donc qu'une tourbe plus riche en matières minérales doit être plus dense. La densité de solide apparaît donc comme pouvant être un indicateur du taux de matières organiques, au moins dans les tourbes (ce qui permet d'expliquer les relations constatées entre cette dernière et les retraits).

On a également des relations entre :

- la perte au feu et les différents retraits (ce qui, si on se souvient des relations entre ces retraits ne fait qu'une relation nouvelle. De même, les corrélations apparaissant entre les taux de carbone et les retraits sont à rapprocher de la relation unissant celui-ci et la perte au feu. Il faut également se rappeler ici la relation entre densité de solide et perte au feu. densité de solide et retrait).

- la CEC et les variables des retraits. Cette corrélation serait particulièrement intéressante car elle indiquerait, bien qu'indirectement, une intervention de la nature de la matière organique (ce qui pourrait se faire en particulier par l'intermédiaire du degré d'humification). Ceci reste cependant

sujet à caution, et ce pour deux raisons :

. les relations du rapport C/N avec les différents retraits ne peuvent se retenir, sauf dans un cas, avec un risque admissible (les valeurs des coefficients de corrélation restent cependant assez proches du seuil) ;

. ces relations, comme celles qui liaient la CEC au rapport C/N, peuvent ne caractériser que les tourbes à très forte teneur en matières organiques.