

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

**Herausgeber:** Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

**Band:** 41 (1968)

**Artikel:** Balance d'eau et d'azote dans les prairies à litière des alentours de Zurich

**Autor:** Léon, Rolando

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308316>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Balance d'eau et d'azote dans les prairies à litière des alentours de Zurich**

par ROLANDO LEÓN, Buenos Aires

Aus dem Geobotanischen Institut der ETH, Stiftung Rübel  
und der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen

1968

## Table des matières

<b>A. Préface .....</b>	<b>5</b>
<b>B. Les prairies à litière, généralités sociologiques et écologiques .....</b>	<b>5</b>
<b>C. Régions et associations examinées</b>	
I. Situation géographique .....	7
II. Généralités géologiques .....	8
III. Généralités climatiques .....	9
IV. Associations étudiées et places d'investigation .....	11
<b>D. Méthodes de travail</b>	
I. Analyse phytosociologique .....	19
II. Mesurage du niveau de la nappe phréatique .....	19
III. Description des profils du sol .....	19
IV. Analyse granulométrique .....	19
V. Détermination de la matière organique	
1. Extraction par perte au feu .....	19
2. Analyse par la méthode d'oxydation sulfochromique .....	20
VI. Détermination du poids spécifique réel et apparent .....	20
VII. Dosage de l'humidité de la terre .....	20
VIII. Mesure de la tension de l'eau dans le sol	
1. Méthodes utilisées .....	20
2. Comparaison des résultats .....	21
IX. Détermination du volume de pores .....	22
X. Dosage du calcaire .....	23
XI. Détermination du pH .....	23
XII. Détermination de la capacité d'accumulation d'azote minéral	
1. Préparation des échantillons .....	23
2. Dosage du $\text{NO}_3$ et $\text{NH}_4$ .....	23
XIII. Mesures microclimatiques .....	23
<b>E. Expériences et résultats</b>	
I. Facteurs édaphiques	
1. Profils du sol .....	24
2. La réaction du sol .....	28
II. Facteurs microclimatiques .....	28
III. Facteur eau	
1. Niveau de la nappe phréatique, ses variations saisonnières .....	31
2. Humidité par rapport à la tension de l'eau dans le sol .....	35
IV. Facteur azote	
1. Généralités .....	39
2. Résultats des analyses périodiques d'accumulation d'azote minéral (ammoniacal et nitrique) .....	40
a. Forme donnée à leur représentation .....	40
b. Commentaire sur les courbes annuelles .....	41
c. Rythme saisonnier .....	48

3. Relation entre l'humidité du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique .....	51
4. Relation entre le contenu d'air des pores du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique .....	52
5. Relation entre la profondeur de l'horizon et sa capacité d'accumulation d'azote minéral .....	55
<b>F. Discussion et conclusions</b>	
I. Facteur eau .....	58
II. Facteur azote .....	60
III. Facteur réaction des sols .....	63
<b>G. Résumé .....</b>	63
<b>H. Bibliographie .....</b>	64

## A. Préface

Le présent travail a été fait à l’Institut de Géobotanique de l’Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich. Le «Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina» et la «Commission fédérale des bourses pour étudiants étrangers» (de la Suisse) ont prêté leur appui financier à la réalisation de ce travail.

Le sujet de recherche a été suggéré par le Prof. Dr H. ELLENBERG et il a été développé sous sa direction compétente et toujours bienveillante.

Le travail au champ, spécialement en ce qui concerne l’étude sociologique, a été facilité par l’aide du Dr F. KLÖTZLI. Ses connaissances et expériences ont servi de base très précieuse pour cette étude.

La plus grande partie des études pédologiques ont été réalisées au laboratoire de la Division de pédologie de l’Institut suisse de recherches forestières à Birnensdorf. Le Prof. Dr F. RICHARD a donné ses conseils efficaces et critiques.

Les assistants de l’Institut de Géobotanique, le Dr H. HELLER et l’Ing. forest. N. KUHN, ont contribué par leurs suggestions et leur entraide amicale à l’occasion donnée.

Frau M. SIEGL a bien voulu faciliter l’initiation aux travaux de laboratoire.

Frl. D. WEBER a fait la rédaction du texte français, lequel a été revisé par l’amabilité du Prof. Dr E. BADOUX.

Que ces institutions et ces personnes trouvent ici l’expression de mes sincères remerciements et de ma vive reconnaissance.

Zurich, le 9 juillet 1965.

ROLANDO LEÓN

## B. Les prairies à litière

### Généralités sociologiques et écologiques

Les prairies fauchées mais non amendées (prairies à litière) sont des prairies semi-naturelles qui doivent leur existence à l’intervention de l’homme. Pendant des décennies, voire des siècles, celui-ci a maintenu la composition remarquablement stable de ces communautés de plantes en effectuant la coupe annuelle toujours à la même époque et au même endroit. Abandonnées à elles-mêmes, ces communautés suivraient la succession jusqu’à devenir une forêt, le type de végétation climax édaphique et climatique dans les conditions correspondantes du centre de l’Europe.

Le but de ce fauchage a toujours été la récolte de litière pour le bétail. Cette pratique revêtait une grande importance pour l’économie rurale jusqu’au moment où l’usage d’engrais chimiques, qui remplaçait partiellement celui du fumier, prit une grande extension. L’emploi de la paille des céréales comme litière et celui des machines de dispersion ont rendu la litière provenant des prés semi-naturels non amendés beaucoup moins indispensable. Autrefois, la molinaie

(*Molinietum*), source de litière par excellence, était et resta longtemps aussi appréciée qu'une bonne prairie à foin, p.ex. l'*Arrhenatheretum*. Aujourd'hui, elle a perdu presque entièrement sa valeur économique. Beaucoup de paysans suisses l'ont déjà transformée en prairie à foin en l'amendant et en y pratiquant plusieurs coupes par an. Ceci étant relativement aisé, l'intervention humaine, à laquelle elle doit son existence, tend de nos jours à la rendre rare. Même des prairies fauchées d'un type plus hydrophile sont changées en prés fournisseurs de foin, riches en graminées et en herbe tendre (*Arrhenatheretum*, ou prairie à *Cirsium oleraceum*) par drainage et amendement (voir le travail de WILLIAMS dans cette publication).

Les prairies à litière qui restent dans la région examinée se trouvent dans la plupart des cas sous protection et, sauf celles qui présentent une surface peu favorable à la coupe mécanique, sont exploitées comme d'habitude. Pas seulement le *Molinietum*, mais aussi le *Caricetum elatae*, le *C. davalliana*e, le *Schoenetum* et le *Mesobrometum* sont traités de cette manière. À part ce dernier, qui dans les régions étudiées, marécageuses ou alimentées par des sources de pente, se cantonne dans les endroits les plus secs, toutes les associations mentionnées occupent des surfaces étendues et sont riches en variantes et facies (voir tabl. 1).

Le *Molinietum* est, comme on vient de dire, la prairie à litière non amendée par excellence. Depuis les premiers auteurs qui l'ont décrit – STEBLER (1897), SCHERRER (1923–1925) et KOCH (1923, 1926) –, beaucoup d'autres ont élargi sa connaissance du point de vue sociologique: DUTOIT (1924), ZOBRIST (1935) et WEBER (1958) en Suisse, ISSLER (1932), KAISER (1943), WAGNER (1949, 1954), VON ROCHOW (1951), OBERDORFER (1957), LANGER (1958), PHILIPPI (1960), GÖRS (1960), KUHN (1961), KORNECK (1962) et Kovács (1962) dans d'autres pays d'Europe. D'autres encore ont spécifié ses habitats typiques et ses exigences écologiques: TÜXEN (1954), ESKUCHE (1955, 1962), MEYER (1957), KULLMANN (1957), ZARZYCKI (1956, 1958a, 1958b), AMBROZ-BALÁTOVÁ (1962), ELLENBERG (1963), etc., ou ont concentré leurs études sur *Molinia coerulea* et son écologie particulière, comme GRABHERR (1942), WEISE (1959, 1960), WEBSTER (1962) et CHWASTEK (1963).

On est arrivé à la conclusion que les conditions écologiques qui permettent au *Molinietum* de s'installer, d'exister et de se maintenir dans un lieu donné ne sont pas seulement de nature édaphique et climatique, mais encore et surtout anthropogène. Quant à l'influence du sol, tous les auteurs sont d'accord sur le rôle déterminant de sa pauvreté en matières nutritives. Ils ne sont toutefois pas du même avis en ce qui concerne l'influence de l'eau phréatique. La grande amplitude des variations du niveau de la nappe avec des inondations plus ou moins prolongées au printemps et de forts abaissements en été, qui a toujours été considérée comme déterminante par la plupart des auteurs, est contestée par ELLENBERG (1963). Quant à l'influence de l'homme, elle s'exerce principalement par:

- a) la coupe annuelle en automne, au moment où le *Molinietum* présente une coloration typique cuivrée,
- b) la récolte de la litière,

c) l'absence de tout amendement.

Il est, quant aux prairies fauchées en général et à la molinaie en particulier, un facteur écologique dont on n'a pas encore une connaissance très exacte: c'est le bilan d'azote. La plupart des travaux considèrent le N total, ce qui ne donne pas une idée claire des quantités de cet élément disponibles dans le sol et accessibles aux plantes. Le facteur eau a été traité et étudié maintes fois, mais presque exclusivement en ce qui concerne le niveau phréatique et ses variations. On a toujours accentué le rôle que ses changements jouent dans l'existence d'associations, comme p.ex. le *Molinietum*. On a décrit les conditions de sécheresse superficielle que, pendant l'été, peuvent supporter certaines sous-unités de cette association, mais on n'a pas fait de mesures qui permettent de porter un jugement sur l'humidité du sol en fonction de sa force de rétention. L'étude de ces deux facteurs, par l'application de méthodes d'une efficacité déjà mise à l'épreuve, mais pas encore essayées sur les sols des communautés examinées, pourrait éclaircir les idées et donner une base scientifique à la connaissance de leur écologie générale. Ces études furent entreprises dans ce but. Elles essaient de faire connaître la capacité de production et d'accumulation des sels solubles d'azote dans les sols des communautés utilisées dans la région comme prairie à litière. Ces études ont été poursuivies pendant deux périodes de végétation. En même temps, on a fait des mesures périodiques du niveau de l'eau phréatique et, en ce qui concerne le dynamisme de l'eau dans le sol, des investigations sur les forces de rétention des horizons superficiels dans plusieurs sols considérés comme représentatifs.

Une étude similaire, ayant surtout trait à l'azote, a comme sujet les prairies humides fertilisées, spécialement celles du type à *Cirsium oleraceum*. Cette étude a été confiée au Dr J. T. WILLIAMS (voir page 69).

## C. Régions et associations examinées

### I. Situation géographique

Les prairies fauchées (non amendées) qui font l'objet de cette étude sont situées dans les cantons de Zurich, d'Argovie et de Zoug. Toutes se trouvent à 20 km au plus de la ville de Zurich (fig. 1). Pour les choisir, on s'est basé sur les cartes topographiques ordinaires au 1:25000 et sur quelques cartes spécialisées, comme p.ex. celle de FRÜH et SCHRÖTER (1903) concernant les tourbières de la Suisse, qui nous ont fourni des indications sur la possibilité de l'existence de telles prairies. Mais on s'est surtout servi des conseils et de l'aide du Dr KLÖTZLI.

Deux régions d'une certaine étendue s'avèrent spécialement appropriées à notre but et nous ont fourni le gros du matériel. Dans toutes deux, on rencontre non seulement le *Molinietum* sous ses formes les plus typiques, mais aussi des associations appartenant au *Magnocaricion*, au *Caricion fuscae*, au *Caricion davalliana* et au *Mesobromion erecti*, ces derniers fréquemment utilisés aussi comme fournisseurs de litière pour le bétail. Ces régions sont les marais de

Kloten et leurs alentours (420 m d'altitude) et la plaine de la basse vallée de la Reuss entre Mühlau et Bremgarten (environ 380 m d'altitude). A côté des prairies à litière, on y trouve aussi des prés où l'action de l'homme est plus marquée, p.ex. des variantes de l'*Arrhenatheretum* et des prairies à *Cirsium oleraceum* (*Calthion*), qui font le sujet d'un travail parallèle effectué par le Dr WILLIAMS.

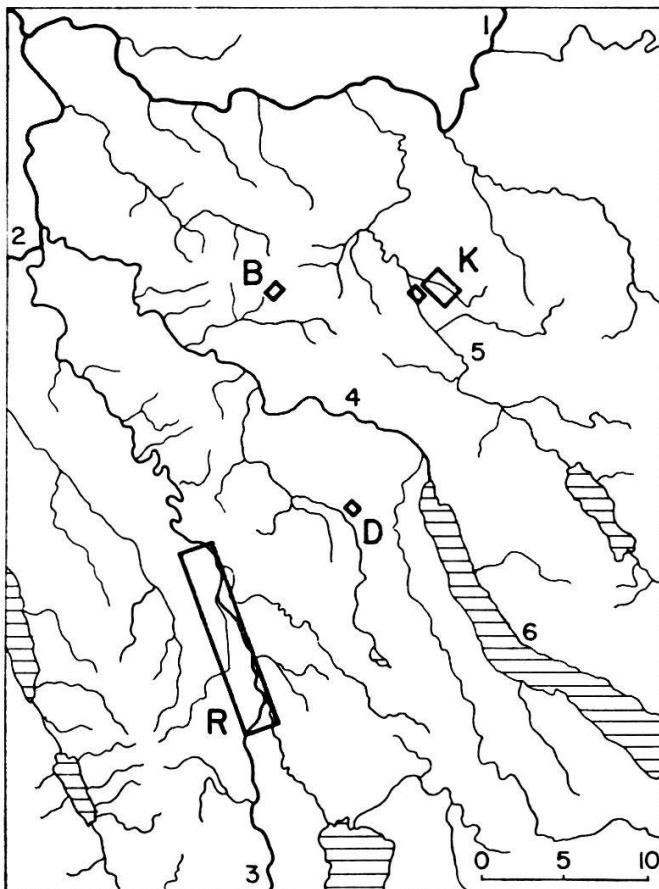


Fig.1 Situation des régions de recherche. B: Boppelsen Weid – D: Diebis – R: Reuss – K: Kloten et Peterli. En outre, sont indiqués: le Rhin (1), l'Aar (2), la Reuss (3), la Limmat (4) la Glatt (5) et le lac de Zurich (6).

Le reste du matériel provient de deux régions fort différentes de celles mentionnées ci-dessus. Elles ne sont pas situées sur terrain alluvial plus ou moins horizontal, mais sur des pentes assez fortement inclinées. Il s'agit du Diebis d'une part, qui se trouve sur le versant sud-ouest de l'Uetliberg (entre 590 et 620 m d'altitude) et de la Boppelsen Weid, d'autre part, sur le versant sud à l'extrémité de la chaîne des Lägern (550 à 600 m d'altitude).

## II. Généralités géologiques

Du point de vue géologique, la plaine de la Reuss aussi bien que les marais de Kloten, dans la vallée de la Glatt, sont des anciens lits glaciaires qui ont été comblés par des couches alluviales successives. Celles-ci sont formées de matériel

apporté par les fleuves qui coulent vers elles et par ceux qui les traversent. Dans les deux, on peut distinguer:

1. d'anciens cours d'eau abandonnés, transformés en petits lacs en forme de demi-lune, remplis par des sédiments; ils sont généralement à l'origine des tourbières actuelles,
2. entremêlés avec eux, des langues de gravier provenant des régions voisines et appartenant à (ce qu'on appelle) les Basses Terrasses; les sols qui en sont issus sont plus légers.

Le sol de la Boppelsen Weid se distingue nettement du matériel morainique et des alluvions anciennes (*älterer Deckenschotter*) qui l'entourent. Il est issu d'alluvions de pente de la molasse d'eau douce supérieure (*obere Süsswasser-Molasse*), qui affleure à cette altitude dans la chaîne des Lägern (SUTER et HANTKE, 1962). Une grande partie de la surface est constituée par des tufs calcaires.

Le Diebis est également une pente colluviale, formée du même matériel, provenant de la couche précitée.

### III. Généralités climatiques

D'après la carte pluviométrique dressée par UTTINGER (1949) et basée sur les quantités de précipitations annuelles moyennes pour la période de 1901 à 1940, nos régions d'observation se trouvent dans la zone qui est limitée par les isohyètes de 1000 et 1100 mm, à l'exception de la région du Diebis qui est traversée par l'isohyète de 1200 mm. Le tableau N° 1 indique les moyennes mensuelles

Tabl. 1 Moyennes de températures pour Zurich

Hiver		—0,4	
Printemps		8,5	
Eté		17,4	
Automne		8,7	
Annuelle		8,5	
Janvier		—1,4	
Juillet		18,4	
Moyennes	Minima	Janvier	—10,9
	Maxima	Juillet	30
Extrêmes	Janvier		—20
Absolues	Juillet		36,4

Tabl. 2 Précipitations moyennes mensuelles

Mois	Boppelsen	Mettmen-stetten(b)	Oerlikon(a)
1	70	49	59
2	60	45	49
3	74	63	67
4	89	78	81
5	103	111	100
6	120	139	125
7	126	136	127
8	115	127	121
9	98	100	94
10	88	72	83
11	70	53	62
12	81	57	72
Annuelle	1094	1030	1040

a) valables pour la région de Kloten

b) valables pour la région de la Reuss

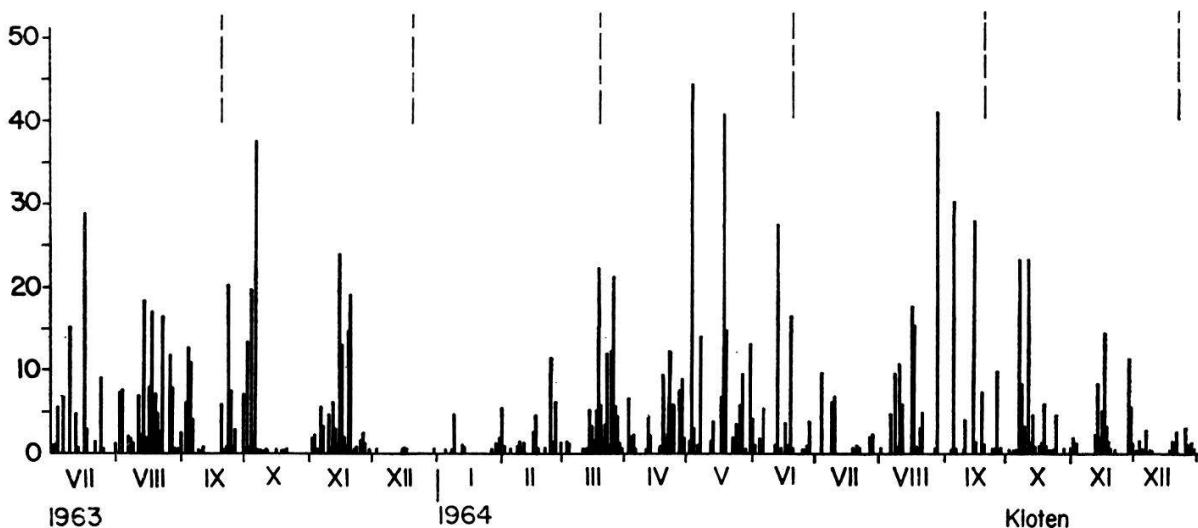


Fig. 2 Précipitations journalières enregistrées à Kloten

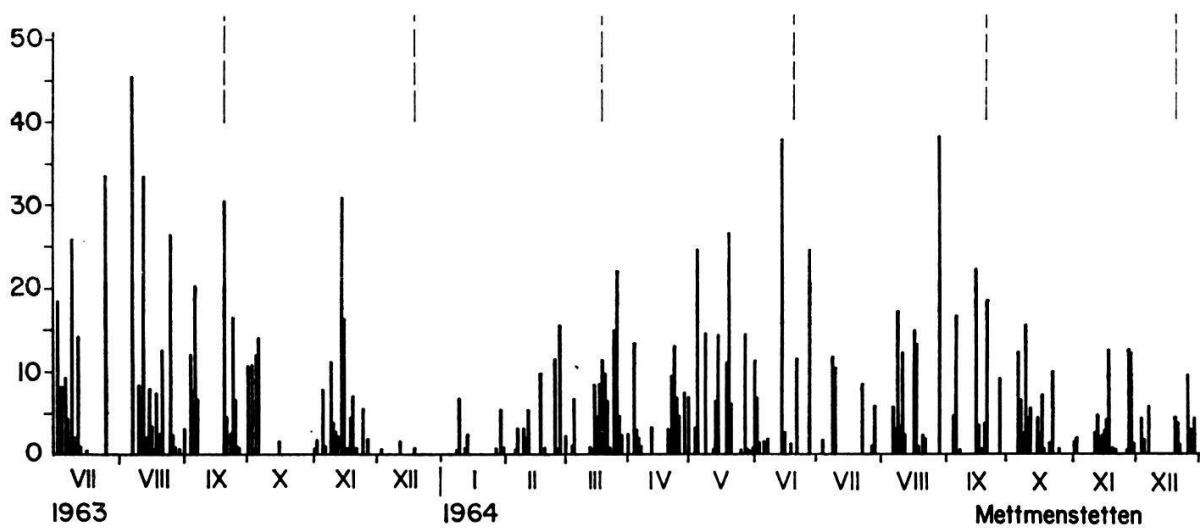


Fig. 3 Précipitations journalières enregistrées à Mettmenstetten (valables pour la plaine de la Reuss)

et annuelles de trois stations sises à proximité de nos aires d'expérience. En outre, dans les graphiques N°s 2 et 3, on trouvera la représentation des quantités de précipitations journalières pendant les deux années d'observation.

Quant à la température, nos régions ont un régime semblable. D'après les cartes publiées par FRÜH en 1930 et qui donnent les isothermes des moyennes de juillet et de janvier, elles sont limitées par celles de 15° et de 18°, respectivement de 0 et -2°. Selon une carte plus récente (Publications de la Station Météorologique Suisse, 1964) avec les isothermes moyennes annuelles, les régions considérées se trouvent entre les lignes de 7° et 9°. Les valeurs moyennes enregistrées pour Zurich sont également valables pour nos régions (cf. tabl. 2). Les chiffres moyens journaliers qui valent pour ces deux années d'observation (Kloten) sont représentés dans le graphique 4, accompagnés d'une courbe des moyennes men-

suelles. Un autre facteur caractéristique de la région est la fréquence du brouillard, qui varie entre 25 à 55 jours par an, surtout en automne et en hiver. Ceci est valable aussi pour Diebis sur la pente basse de l'Uetliberg et même pour la Boppelsen Weid.

#### IV. Associations étudiées et places d'investigation

Dans ce travail, on ne donnera pas de détails sociologiques. L'étude phytosociologique des régions examinées, et d'autres semblables du Plateau Suisse, sera publiée sous peu par le Dr KLÖTZLI. C'est la raison pour laquelle on ne joint au présent travail que des tableaux abrégés, dans lesquels figurent les

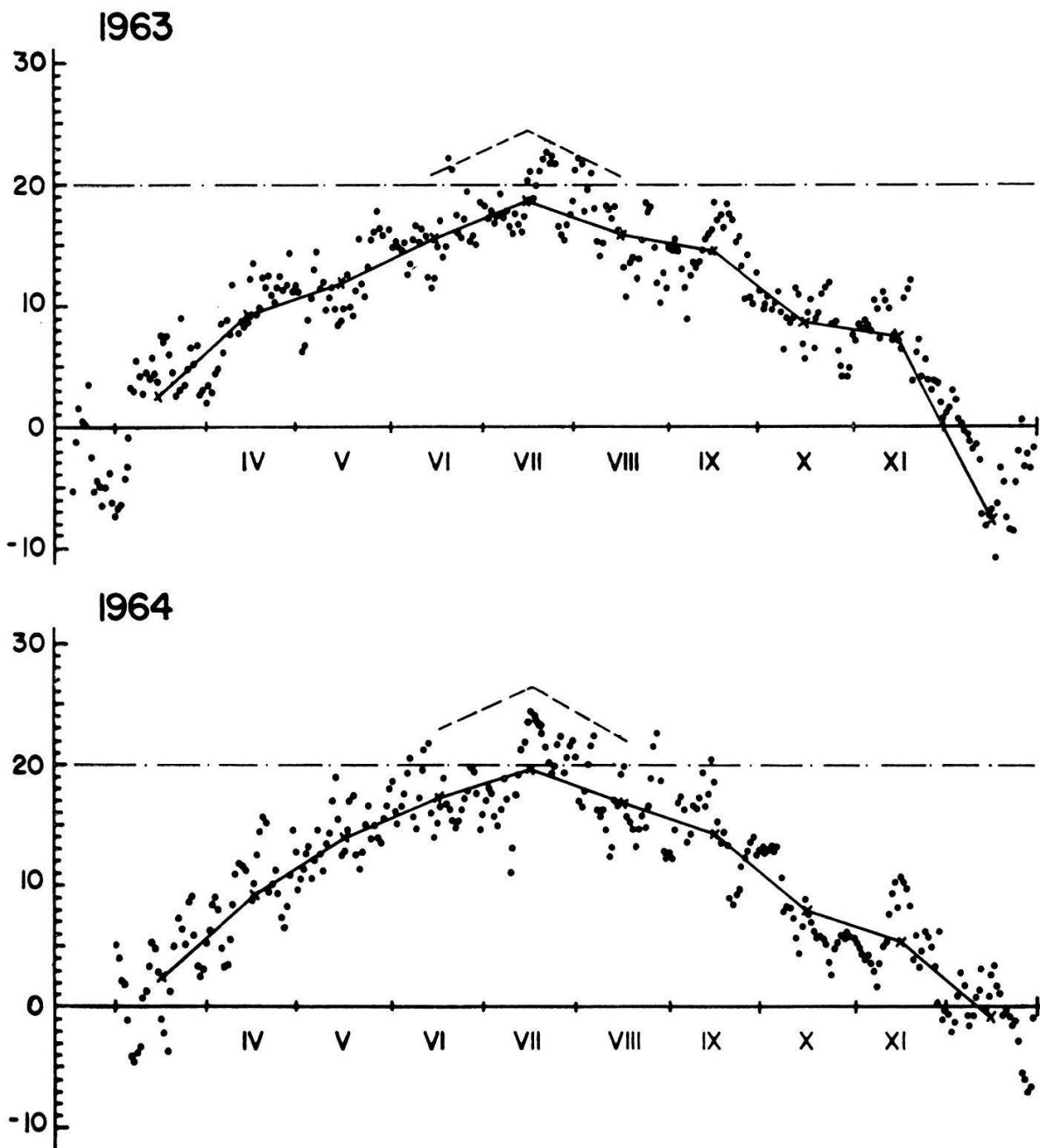


Fig. 4 Températures moyennes journalières enregistrées à Kloten (1963 et 1964).

groupes d'espèces différentielles appartenant à chaque région. Les tableaux N°s 2, 3, 4 ne sont que provisoires, étant donné la difficulté d'ordre systématique que présente la classification des sous-unités dans l'ordre des *Molinietalia* et celle des *Tofieldietalia*. De toute façon, les tableaux permettent de juger la valeur de représentation des résultats obtenus par les recherches écologiques. En outre, on publie aussi tous les relevés sociologiques correspondant aux stations de recherches (voir tabl. 5 à 8).

Tabl. 3 Désignation des associations et des stations qui font l'objet de cette recherche

Associations	Symboles	Régions dans lesquelles elles sont représentées		
		Kloten	Reuss	Boppelsen Diebis
<i>Mesobrometum alluviale</i>	I	K 12, K 13	R 16	B 3, D 10
<i>Molinietum coeruleae</i>				
- sec	IIa		R 8, R 9	B 2, B 4
- intermédiaire	IIb	K 11, K 14 K 5, K 8	R 6	
- humide	IIc	K 6	R 1	
- <i>schoenetosum</i>	IId	K 1, K 2		B 1
- <i>juncetosum</i>	IIe	K 3, K 7		
<i>Junco-Molinietum</i>				
- sec	IIIa	K 15		
- humide	IIIb		R 2	
- très humide	IIIc		R 7	
<i>Caricetum davallianae</i>	IV		R 5	B 5, B 6 D 9
<i>Schoenetum</i>				
- typique	Va	K 4		
- de pente	Vb			B 7, B 8
<i>Caricetum canescenti-fuscae</i>	VI	K 10		
<i>Caricetum elatae</i>	VII	K 9		B 11

Tabl. 4 Groupes différentielles locales pour les associations du marais de Kloten  
a) Combinaison des groupes

Groupes des espèces différentielles	Associations									
	I	IIa	IIIa	IIb	IId	IIc	IIe	Va	VI	VII
A	○									
B	○○○	□	○	●						
C	○○○	○	□	○	●		●			
D	○○	○	□	○	○	○	○	○		
E	○	□	○	○	○	○	○	□	□	
F	●		○	○	○	○	○	□	□	□
G		○		●						
H			○	○	□	○				
I					●		○		○	□
J										□
K							○		○	□
L	□	□	○	○	○	○	○	○	○	○

Légende: ○ Groupe bien représenté, constance dominante 50–100%  
 □ Groupe régulièrement représenté, constance dominante 10–50%  
 ○ Seulement quelques espèces du groupe sont présentées  
 ● Groupe très faiblement représenté, avec constance très basse

b) Espèces appartenant aux groupes différentielles locales<sup>1</sup>

A Groupe à <i>Salvia pratensis</i>	C Groupe à <i>Bromus erectus</i>	D Groupe à <i>Carex flacca</i>
<i>Plantago media</i>	<i>Bromus erectus</i>	<i>Stachys officinalis</i>
<i>Trisetum flavescens</i>	<i>Viola hirta</i>	<i>Carex flacca</i>
<i>Salvia pratensis</i>	<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	<i>Festuca rubra</i>
<i>Carex montana</i>	<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Ranunculus nemorosus</i>
<i>Arrenatherum elatius</i>	<i>Rhytidiodelphus</i>	<i>Linum catharticum</i>
<i>Medicago lupulina</i>	<i>triquetrus (M)</i>	<i>Centaurea jacea</i>
<i>Orchis mascula</i>	<i>Colchicum autumnale</i>	<i>Thuidium philibertii (M)</i>
<i>Picris hieracioides</i>	<i>Thymus serpyllum</i>	<i>Briza media</i>
B Groupe à <i>Sanguisorba minor</i>	<i>Primula veris</i>	<i>Galium verum</i>
<i>Sanguisorba minor</i>	<i>Koeleria cristata</i>	<i>Lotus corniculatus</i>
<i>Carex verna</i>	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Scleropodium purum (M)</i>
<i>Hippocratea comosa</i>	<i>Silaum silaus</i>	<i>Ajuga reptans</i>
<i>Knautia arvensis</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i>	<i>Rhytidiodelphus</i>
<i>Brachypodium pinnatum</i>	<i>Scabiosa columbaria</i>	<i>squarrosus (M)</i>
<i>Orchis morio</i>	<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Holcus lanatus</i>
<i>Campanula glomerata</i>	<i>Avena pubescens</i>	<i>Anthoxanthum odoratum</i>
<i>Achillea millefolium</i>	<i>Senecio erucifolius</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
<i>Equisetum arvense</i>		<i>Vicia cracca</i>
<i>Polygala vulgaris</i>		<i>Trifolium montanum</i>
<i>Carex tomentosa</i>		<i>Polygala amarella</i>
		<i>Ctenidium molluscum (M)</i>

<sup>1)</sup> La nomenclature des phanérogames est selon BINZ et BECHERER (1961). Ordre des espèces à l'intérieur des groupes selon leur constance dans le tableau phytosociologique.

E	<u>Groupe à <i>Orchis latifolia</i></u> <i>Orchis latifolia</i> <i>Cirsium oleraceum</i> <i>Angelica silvestris</i> <i>Carex pulicaris</i> <i>Deschampsia caespitosa</i> <i>Serratula tinctoria</i> <i>Fissidens adiantoides</i> (M) <i>Gymnadenia conopea</i> <i>Mnium seligeri</i> (M) <i>Climacium dendroides</i> (M)	G	<u>Groupe à <i>Carex umbrosa</i></u> <i>Carex umbrosa</i> <i>Trifolium medium</i> <i>Platanthera bifolia</i> <i>Juncus effusus</i> <i>Rumex acetosa</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Hieracium umbellatum</i> <i>Agrostis canina</i> <i>Genista tinctoria</i> <i>Viola canina</i>	J	<u>Groupe à <i>Iris pseudacorus</i></u> <i>Iris pseudacorus</i> <i>Carex appropinquata</i> <i>Epipactis palustris</i> <i>Caltha palustris</i> <i>Peucedanum palustre</i>
F	<u>Groupe à <i>Carex</i></u> <i>davalliana</i> <i>Carex davalliana</i> <i>Carex hostiana</i> <i>Carex lepidocarpa</i> <i>Lythrum salicaria</i> <i>Orchis incarnata</i> <i>Equisetum palustre</i> <i>Cirsium palustre</i> <i>Chrysosplenium</i> <i>stellatum</i> (M) <i>Epipactis palustris</i> <i>Lotus uliginosus</i>	H	<u>Groupe à <i>Juncus</i></u> <i>subnodulosus</i> <i>Juncus subnodulosus</i> <i>Schoenus ferrugineus</i> <i>Parnassia palustris</i> <i>Dicranum palustre</i> (M) <i>Primula farinosa</i> <i>Gentiana pneumonanthe</i> <i>Pinguicula vulgaris</i> <i>Schoenus nigricans</i>	K	<u>Groupe à <i>Carex fusca</i></u> <i>Carex fusca</i> <i>Comarum palustre</i> <i>Carex rostrata</i> <i>Carex vesicaria</i> <i>Cardamine pratensis</i> <i>Carex diandra</i> <i>Ranunculus flammula</i> <i>Menyanthes trifoliata</i> <i>Hypericum tetrapterum</i>
I		I	<u>Groupe à <i>Eriophorum</i></u> <i>angustifolium</i> <i>Carex elata</i> <i>Hydrocotyle vulgaris</i> <i>Eriophorum angustifolium</i> <i>Eriophorum latifolium</i> <i>Crepis paludosa</i> <i>Carex flava</i> ssp. <i>oederi</i>	L	<u>Groupe à <i>Filipendula</i></u> <i>ulmaria</i> <i>Selinum carvifolia</i> <i>Filipendula ulmaria</i> <i>Galium uliginosum</i> <i>Lysimachia vulgaris</i> <i>Mentha aquatica</i> <i>Valeriana dioeca</i> <i>Eupatorium cannabinum</i> <i>Agrostis alba</i>

Tabl. 5 Groupes différentielles locales pour les associations de la plaine de la Reuss  
 a) Combinaison des groupes

Groupes des espèces différentes	Ia	IIa	IIb	IIc	IIIb	IIIc	IV
A'	○						
B'	□	□					
C'	□	□	□				
D'	□	□	□	○	□	□	□
E'	□	□	○	○	□	□	
F'			□	□	□	□	○
G'			□	□			○○
H'							
I'					○	○	

b) Espèces appartenant aux groupes différentielles locales

A' Groupe à *Daucus carota*

*Bromus erectus*  
*Sanguisorba minor*  
*Daucus carota*  
*Scabiosa columbaria*

B' Groupe à *Carex montana*

*Carex montana*  
*Tragopogon pratensis*  
*Agrimonia eupatoria*  
*Viola hirta*  
*Galium verum*  
*Ajuga reptans*  
*Brachypodium pinnatum*  
*Galium pumilum*  
*Satureja vulgaris*  
*Origanum vulgare*

C' Groupe à *Carex tomentosa*

*Inula salicina*  
*Carex tomentosa*  
*Colchicum autumnale*  
*Poa pratensis*  
 f. *angustifolia*  
*Carex verna*

D' Groupe à *Briza media*

*Briza media*  
*Linum catharticum*  
*Plantago lanceolata*  
*Fissidens adiantoides* (M)  
*Gymnadenia conopea*  
*Carex flacca*  
*Ctenidium molluscum* (M)  
*Polygala amarella*  
*Lotus corniculatus*  
*Ranunculus nemorosus*  
*Trifolium pratense*  
*Festuca arundinacea*  
*Trifolium montanum*  
*Chrysanthemum leucanthemum*  
*Agrostis tenuis*

E' Groupe à *Stachys officinalis*

*Lysimachia vulgaris*  
*Festuca rubra*  
*Angelica silvestris*  
*Galium mollugo*

F' Groupe à *Carex hostiana*

*Carex hostiana*  
*Galium palustre*  
*Lythrum salicaria*  
*Carex davalliana*  
*Equisetum palustre*  
*Carex lepidocarpa*

G' Groupe à *Epipactis palustris*

*Epipactis palustris*  
*Gentiana pneumonanthe*  
*Chrysohypnum stellatum*  
*Valeriana officinalis*

H' Groupe à *Drepanocladus intermedius*

*Drepanocladus intermedius* (M)  
*Ranunculus repens*  
*Senecio paludosus*  
*Juncus articulatus*  
*Juncus acutiflorus*  
*Ranunculus flammula*

I' Groupe à *Juncus conglomeratus*

*Carex fusca*  
*Juncus conglomeratus*  
*Anthoxanthum odoratum*  
*Agrostis canina*  
*Luzula multiflora*  
*Viola canina*  
*Iris pseudacorus*  
*Platanthera bifolia*

Tabl. 6 Groupes différentielles locales pour les associations des pentes de Boppelsen et Diebis

a) Combinaison des groupes

Groupes des espèces différentielles	Ia	IIa	IIc	IID	IV	Vb	VII
A''	○						
B''	○	○					
C''	□	○	□	□	○		
D''	□	□	○	○	○	○	○
E''		○	○	○	○	○	○
F''			□	○	○	○	
G''					○		

b) Espèces appartenant aux groupes différentielles locales

A'' Groupe à *Viola hirta*

- Salvia pratensis*
- Knautia arvensis*
- Scabiosa columbaria*
- Prunella grandiflora*
- Viola hirta*
- Trifolium pratense*
- Hypericum perforatum*
- Medicago lupulina*
- Trisetum flavescens*
- Cirsium acaule*
- Aster amellus*
- Hieracium pilosella*
- Equisetum arvense*
- Polygala vulgaris*
- Onobrychis viciaefolia*

C'' Groupe à *Plantago lanceolata*

- Stachys officinalis*
- Lathyrus pratensis*
- Galium verum*
- Plantago lanceolata*
- Trifolium montanum*
- Hippocrepis comosa*
- Vicia cracca*
- Bromus erectus*
- Plantago media*
- Koeleria cristata*
- Ctenidium molluscum*
- Thuidium philibertii* (M)
- Scleropodium purum* (M)

E'' Groupe à *Parnassia palustris*

- Carex davalliana*
- Parnassia palustris*
- Drepanocladus intermedius* (M)
- Lysimachia vulgaris*
- Succisa pratensis*
- Mentha aquatica*
- Gentiana pneumonanthe*
- Lythrum salicaria*
- Acrocladium cuspidatum* (M)
- Taraxacum palustre*
- Valeriana dioeca*

B'' Groupe à *Carex verna*

- Carex montana*
- Sanguisorba minor*
- Trifolium medium*
- Carex verna*
- Daucus carota*
- Thymus serpyllum*
- Ononis repens*
- Dactylis glomerata*
- Pimpinella saxifraga*
- Poa pratensis*  
f. *angustifolia*
- Helianthemum nummularium*

D'' Groupe à *Molinia coerulea*

- Molinia coerulea*
- Carex hostiana*
- Carex panicea*
- Equisetum maximum*
- Epipactis palustris*
- Schoenus nigricans*
- Equisetum palustre*
- Gymnadenia conopea*
- Polygala amarella*
- Phragmites communis*
- Selinum carvifolia*
- Gymnadenia odoratissima*
- Tofieldia calyculata*
- Chrysanthypnum stellatum* (M)

F'' Groupe à *Juncus articulatus*

- Eriophorum latifolium*
- Juncus articulatus*
- Spiranthes aestivalis*
- Juncus alpinus*

G'' Groupe à *Carex elata*

- Carex elata*
- Camptothecium nitens* (M)

Tabl. 7 Relevés sociologiques correspondant aux stations de recherches (voir tabl. 8–10)

Association	Station	Nº du relevé	Date	Mètres d'altitude	Coordonnées	Couverture de phanérogames en %	Couverture de mousses en %
I	K 12	97	2. 11. 62	422	683.775 258.825	100	15
I	K 13	100	2. 5. 63	421	683.750 258.800	95	50
IIb	K 14	98	2. 11. 61	421	683.700 258.700	100	10
IIb	K 8	102	2. 5. 63	422	684.135 257.800	100	50
IIb	K 11	99	2. 11. 61	419	683.410 258.600	100	15
IIb	K 5	51	25. 9. 61	424	684.600 257.600	100	5
IIc	K 6	10	8. 11. 60	424	684.250 257.550	95	50
IId	K 1	70	29. 4. 62	424	684.660 257.570	95	50
IId	K 2	104	9. 5. 63	424	684.700 257.600	100	60
IIe	K 3	90	10. 10. 62	424	684.740 257.580	95	40
IIe	K 7	34	10. 7. 61	422	684.125 257.800	95	60
IIIa	K 15	103	9. 5. 63	418	682.380 258.000	95	30
Va	K 4	105	15. 5. 63	422	684.580 257.760	70	10
VI	K 10	31	16. 6. 61	419	683.450 258.650	100	90
VII	K 9	113	20. 6. 63	419	683.350 258.850	95	20

Association	Station	Nº du relevé	Date	Mètres d'altitude	Coordonnées	Couverture de phanérogames en %	Couverture de mousses en %
I	R 16	14	16. 10. 62	378	670.000 240.150	95	5
IIa	R 8	35	6. 8. 63	382	672.030 237.260	100	10
IIa	R 9	10	9. 10. 62	383	671.760 237.110	100	25
IIb	R 6	17	19. 6. 62	388	673.525 232.300	100	80
IIc	R 1	27	14. 5. 63	386	672.480 233.700	95	10
IIIb	R 2	6	8. 10. 62	386	672.470 233.740	95	65
IIIc	R 7	5	8. 10. 62	385	671.890 233.980	100	80
IV	R 5	16	10. 10. 62	389	673.680 232.035	95	80
I	D 10	7	7. 5. 63	615	678.770 245.050	90	10
I	B 3	14	7. 5. 63	585	673.930 258.060	85	10
IIa	B 4	15	7. 5. 63	553	673.975 257.775	95	85
IIa	B 2	13	7. 5. 63	580	673.930 258.050	90	75
IId	B 1	11	7. 5. 63	580	673.900 258.050	90	75
IV	D 9	3	7. 5. 63	605	678.710 245.040	95	75
IV	B 6	17	7. 5. 63	566	673.900 257.925	90	90
IV	B 5	16	7. 5. 63	564	673.900 257.900	95	35
Vb	B 7	18	29. 5. 63	565	673.975 257.915	75	80
Vb	B 8	12	7. 5. 63	590	673.950 258.125	50	70
VII	B 11	19	29. 5. 63	588	673.925 258.110	80	60

Tabl. 8 Relevés sociologiques correspondant aux stations de recherches de la région de Kloten

Tabl. 9 Relevés sociologiques correspondant aux stations de recherches de la région de la Reuss

Association	I	IIa	IIa	IIb	IIc	IIIa	IIIb	IV
	Ra	Rb	Rg	Rc	Rf	Rz	Rt	Rs
N° du relevé	14	35	10	17	37	6	5	16
Sanguisorba minor	2							
Dromus erectus	2							
Scabiosa columbaria	1		1					
Davous carota	1							
Satureja vulgaris	4	1	+					
Gallium palustre	+	1						
Drymocallis glandulosa	+							
Carex montana	2	4						
Ajuga reptans	1				+			
Agrimonia eupatoria	1	+	1					
Trengappon pratensis	1	+	+					
Origanum vulgare	1		2					
Galium verum	2	2	2					
Vitis hitzingeri	4	1			+	+	1	
Calochortus autumnale	+		1	1	1			
Carex verna	4	1						
Carex tomentosa	1		2	1				
Poa pratensis	+	4	2	1				
Indigofera tinctoria	1	2	2	1				
Ostria missouri	1	1	1	1	1	1		
Fragaria ananassa	1	1	1	1	1	1	+	
Linen catharticum	1	1	4	1		3	+	
Lotus corniculatus	1		1					
Carex flacca	1							
Convolvulus nemorosus	2	+	1	1	1	1	1	+
Gymnemisia conopea	+	+	1	1	1	1	+	
Cnidium molluscum	1	2	+	1				
Stellaria annua	+	2						
Agrostis tenella	1							
Dactyloctenium lanceolata	+							
Tritolium pratense	4	+	+	+				
Chrysanthemum leucanthemum	1	+	1					
Festuca arundinacea	+	+	1					
Trifolium medium	1	1	4	1				
Stachys officinalis	1	1	1	1				
Luzula sudetica	(*)	1	1	1	1	1	1	+
Festuca rubra	1	1	1	1	1	3	2	
Angelica sylvestris	+	1	1	1	1	1	1	
Galium mollugo	+	1	1	1	1	1	1	
Carex hirta	1	1	1	1	1	2	4	
Galium palustre	+	1	1	1	1	1	1	
Lathyrus salicaria	+	1	1	1	1	1	1	
Carex davalliana	1	1	1	1	1	1	1	
Equisetum palustre	+	1	1	1	1	1	1	
Carex stipitigera	1							
Epilobium palustre	+	1						
Gentiana lutea	1							
Chrysophorum stolonifera	1							
Valeriana officinalis	+							
Dipsacus intermedius	1							
Juncus acutiflorus	2							
Juncus articulatus	1							
Carex fuscata	1							
Juncus conglomeratus	1							
Luzula multiflora	+							
Agrostis canina	1							
Viola canina	1							
Anthoxanthum odoratum	1							
Stellaria media	+	1	1	2	2	2	4	
Carex paniculata	1	1	4	2	2	2	3	
Holcus corniger	1	3	4	3	4	4	4	
Filipendula ulmaria	+	2	+	1	1	1	2	
Potentilla erecta	1	1	1	1	1	1	1	
Actaea spicata	1	1	1	1	1	1	1	
Iris sibirica	1	1	1	1	1	1	1	
Centauraea jacea	2	+	1	1	1	2	2	
Selinum carvifolia	1	+	2	1	1	2	2	
Prunella vulgaris	1	+	1	1	1	1	1	
Thuidium philibertiae	1	+	1	3	1	1	1	
Serraria fimbriata	1	2	3	1	3	1	1	
Drymocallis argentea	1	2	4	1	1	1	1	
Menyanthes trifoliata	(*)	1	1	1	1	1	1	
Lathyrus pratensis	2	+	1					
Agrostis alba	1	+	1	1				
Valeriana dioica	+	1	1					
Climacium dendroides	1	1	1	1	1	1	1	
Galium uliginosum	1	1	1	1	1	1	1	
Calamagrostis epigejos	+	1	1					
Cirsium oleraceum	+	1	1	1	1	1	1	
Taraxacum palustre	1							
Festuca ovina	1	+						
Carex pauciflora	1							
Oenanthe fistulosa	(*)	1						
Luzula oligotricha	1							
Salicarpodium perfoliatum	1							
Rhytidiodelphus squarrosum	1							
Holcus lanatus	1							
Carex umbrosa	1							
Silium siliculosum	+							
Carex stans	1							
Juncus alpinus	1							
Cirsium palustre	1							
Darnassia palustris	1							
Orchis morio	+	1	1	1	1	1	1	
Trifolium medium	1							
Luzula ciliolata	1							
Erophila verna	+	1	1	1	1	1	1	
Thymus serpyllum	1							
Hypericum perforatum	1	+	1	1	1	1	1	
Stellaria decumbens	1							
Carex stans	1							
Carex gracilis	1							
Medicago lupulina	+							
Hypericum maculatum	+	(*)						
Musotilla scorpioides	1							
Primula elatior	1							
Primula elatior	1							
Drimia maritima	1							
Diervilla lonicera	1							
Diaphorolepis spinosa	1							
Dactylis glomerata	1		+	(*)	+			
Avens pubescens	1							
Trifolium repens	1							
Carex phleoides	1							
Brachypodium sylvaticum	+							
Hedlundia altissimum	+							
Dolichoglottis vulgaris	2							
Knautia arvensis	1							
Hedysarum occidentale	1							
Convolvulus sepium	1	(*)	+					
Salvia pratensis	1							
Campanula glomerata	1							
Plantago media	1							
Pastinaca sativa	1							
Erigeron glaucus	1							
Dianthus barbatus	1							
Cardamine pratensis	1							
Himantoglossum salicifolium	1							
Himantoglossum undulatum	1							
Orchis militaris	1							
Lepidochloa fragilis	2							
Anemone nemorosa	1							
Sanicula europaea	1							
Ophioglossum vulgatum	1							
Eupatorium cannabinum	1							
Hieracium umbellatum	1							
Geum urbanum	1							
Rumex acetosa	1							
Leontodon hispidus	1							
Gentiana pneumonanthe	1							
Rhinanthus minor	1							
Primula elatior	1							
Schizanthus greggii	1							
Calligrapha heterophylla	1							
Calochortus tristis	1							
Euophrys latilobum	1							
Chrysanthemum helodes	1							
Luzula campestris	1							
Halcomium brevirostre	1							

Tabl. 10 Relevés sociologiques correspondant aux stations de recherches des régions de Boppelsen et Diebis

## D. Méthodes de travail

### I. Analyse phytosociologique

La végétation fut analysée selon la méthode de l'école de Zurich/Montpellier, cependant que les sous-unités sociologiques étaient différencierées d'après ELLENBERG (1956). Les relevés furent effectués durant l'automne de 1962 et l'été de 1963. A l'occasion de chaque retour aux places d'investigation, des additions et des corrections ont été faites (voir tableaux 8–10).

### II. Mesurage du niveau de la nappe phréatique<sup>1</sup>

Les mesurages périodiques du niveau de la nappe phréatique ont été effectués à l'aide d'un tube enterré dans l'aire d'investigation et d'une sonde métallique graduée de 2 m de longueur. Une ficelle de chanvre, attachée aux extrémités de cette sonde et appliquée à celle-ci dans toute sa longueur, indiquait la limite entre mouillé et sec et permettait de lire la valeur sur l'échelle. On a utilisé deux types de tuyaux, l'un ayant la forme d'un parallélépipède de section carrée, fait en bois et fermé en bas par un treillis de fil de fer; l'autre, métallique, de forme cylindrique, et finissant en pointe pour faciliter la pénétration dans le sol. Les uns furent placés en creusant au préalable un trou d'une ampleur convenable, les autres furent enfouis à l'aide d'un compresseur ou tout simplement d'une masse, quand la pénétration était facile. La communication entre l'intérieur des tubes et le sol n'était pas seulement assurée par l'extrémité inférieure de ceux-ci, mais encore par des fentes longitudinales chez les tuyaux en bois et des trous répartis sur toute la surface chez les tuyaux métalliques.

### III. Description des profils du sol

La description des profils de sol en ce qui concerne la désignation des horizons et des types d'humus suit KUBIENA (1952) et DUCHAUFOUR (1965). La nomenclature des sols adoptée correspond à KUBIENA (1952). Les symboles utilisés dans les représentations graphiques ont été adaptés de ceux donnés par la Division de pédologie de l'Institut suisse de recherches forestières (RICHARD, 26.4.1961, Polycopie N° 300).

### IV. Analyse granulométrique

La fraction sable grossier fut déterminée à l'aide d'un tamis à mailles appropriées (0,2 mm). Les fractions plus fines furent déterminées en utilisant la pipette cylindrique d'Esenwein (WIEGNER et PALLMANN, 1938). Au départ, le matériel consistait toujours en 20 g de terre fine soumise à l'ébullition pendant 2 heures au minimum (lorsque le sol contenait beaucoup de matière organique, la durée de l'ébullition fut prolongée jusqu'à ce que l'eau oxygénée – nouvellement ajoutée – ne bouillît plus) et remuée pendant le même temps. Les résultats obtenus permirent de classer le squelette minéral du sol examiné selon les catégories d'Atterberg.

### V. Détermination de la matière organique

#### 1. Estimation par perte au feu

Les premières estimations de matière organique totale furent faites par la méthode classique de la combustion à sec ou perte au feu. On fit des déterminations préliminaires à l'aide du bec de Bunsen et ensuite on refit une certaine partie en utilisant une moufle (600 °C). Mais,

<sup>1</sup> D'ici en avant on emploie l'expression «nappe de l'eau phréatique» dans le sens que lui donne WECHMANN (1964), p. 160–161, d'après la terminologie standardisée TGLO-4049.

comme la perte au feu ne donne qu'une estimation grossière et souvent erronée de la teneur du sol en matières organiques (il serait nécessaire de déduire de la perte globale le poids de CO<sub>2</sub> perdu par les carbonates), une autre méthode a été utilisée.

## 2. Analyse par la méthode d'oxydation sulfochromique

Les mêmes échantillons ont été soumis à la méthode de combustion humide ou d'oxydation sulfochromique (WALKLEY and BLACK, 1934, et PIPER, 1950), adoptées par le Laboratoire de pédologie et l'Institut suisse de recherches forestières. Les valeurs indiquées (fig. 7) correspondent à cette dernière méthode; elles sont les moyennes obtenues par deux déterminations.

## VI. Détermination du poids spécifique réel et apparent

La densité apparente ( $\rho_a$ ) fut déterminée à l'aide des cylindres de Burger, la densité réelle ( $\rho_r$ ) ou poids spécifique, d'après la méthode pycnométrique.

## VII. Dosage de l'humidité de la terre

Il a été effectué au laboratoire sur des échantillons qu'on a soumis à un chauffage de 12 heures à l'étuve à 105 °C, c'est-à-dire en tout cas jusqu'à constance de poids. Les résultats ont été exprimés tantôt en pour cent de sol sec, tantôt rapportés au volume de sol. Ceci permet de mieux comparer les contenus en eau des sols très différents en ce qui concerne la densité.

## VIII. Mesure de la tension de l'eau dans le sol

### 1. Méthodes utilisées

Pour mesurer approximativement les forces de rétention de l'eau par le sol, trois méthodes furent essayées et comparées. La première utilise la centrifugation d'après RUSSELL et RICHARDS (1938), la deuxième emploie la pression d'air comprimée, selon RICHARDS (1947, 1948, 1949). La troisième est celle des capillaires, d'après URSPRUNG et BLUM (1930), modifiée par ELLENBERG (1939). La première ne s'emploie que sous pressions basses, inférieures à 0,2 atm. Les échantillons furent soumis à un essorage sous l'action des forces équivalentes à 40, 80 et 160 cm d'eau (460, 690 et 975 révolutions par minute). La deuxième a été appliquée selon la technique décrite par RICHARD et BEDA (1953) en employant un extracteur de basse pression et une presse à membrane pour les pressions élevées. Aux échantillons de sol préalablement saturés d'eau, on a appliqué des pressions (de 0,001, 0,02, 0,08, 0,160, 0,345, 0,690, 5 et 15 atm.) dans une enceinte fermée, en expulsant l'eau à travers des plaques poreuses ou des membranes perméables, selon les pressions.

Les deux méthodes furent appliquées à trois différents types de sol, dont chacun était représenté par huit répétitions (quatre seulement dans le cas du centrifugeur) à structure naturelle et deux répétitions à structure modifiée par le traitement employé pour déterminer l'accumulation d'azote, c'est-à-dire passés à travers un tamis à mailles de 0,4 cm. Le fait qu'on a examiné dans les essais des «sols types» aux valeurs déjà établies a permis de juger dans chaque cas de l'exactitude des déterminations.

La troisième méthode d'après URSPRUNG et BLUM (1930) a été appliquée à l'aide de capsules utilisées par les auteurs et de solutions de NO<sub>3</sub>K de différentes molarités. La méthode consiste à enfermer la terre dont on veut connaître la tension de rétention de l'eau avec une série de solutions de molarité (et de pression osmotique) déjà connue qui se trouvent dans des capillaires courtes, dans une petite salière. Le tout maintenu à température constante, après un certain temps le système arrive à un équilibre entre ces diverses solutions aqueuses. En effectuant les mesures de la longueur du contenu de chaque capillaire (d'un ménisque à l'autre) au commencement de l'expérience et après deux jours, on peut déterminer quelles solutions sont hypotoniques ou hypertoniques par rapport à la tension du sol, et, par conséquent, évaluer

avec une certaine approximation (pas plus grande que 0,5 atm.) la force de rétention de l'eau dans ces dernières.

Les capillaires, préparées en laboratoire, n'avaient pas une uniformité suffisante de diamètre pour permettre l'interpolation des valeurs, ni le calcul des moyennes. Pour obtenir des résultats assez exacts, il faut utiliser toute une série de capillaires avec des solutions de  $\text{NO}_3\text{K}$  correspondant à des valeurs osmotiques très proches l'une de l'autre. En outre, il est absolument nécessaire de maintenir une température constante pendant toutes les phases du travail.

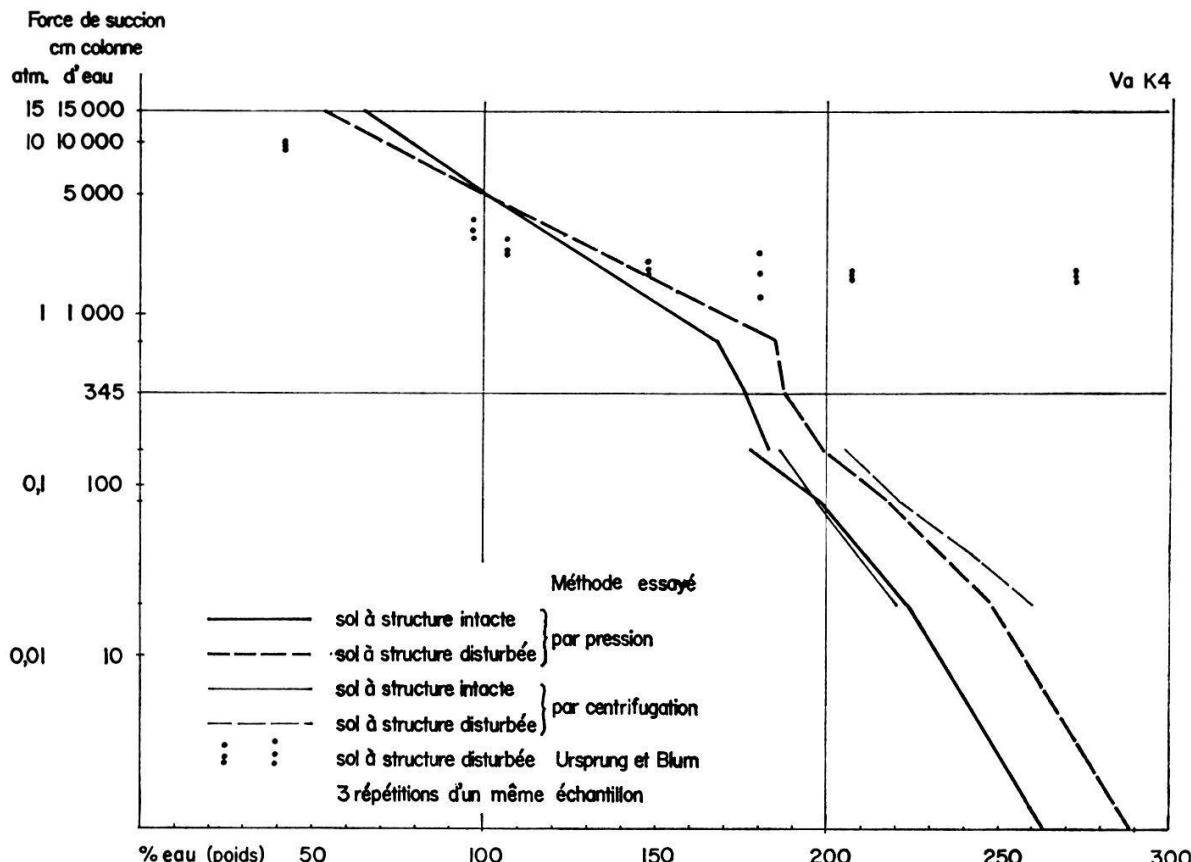


Fig. 5 Comparaison de différentes méthodes de mesurement de la force de rétention de l'eau dans le sol. Les courbes correspondent à l'horizon superficiel (5–15 cm) d'un Anmoor de tourbe ( $\rho_a = 0,31 \text{ g/cm}^3$ ) peuplé par un *Schoenetum* typique, station K4.

Pour obtenir des échantillons avec un pourcentage de teneur en eau échelonné, les trois sols examinés furent soumis à une dessiccation progressive. Chacun de ces échantillons a été soumis à une épreuve d'encadrement, en employant d'abord les molarités de la solution  $\text{NO}_3\text{K}$  à des intervalles de 2 atm. Une fois qu'on a connu les marges entre lesquelles il faut chercher, on a pris une autre portion du même échantillon et on l'a soumis à une gamme de concentration à intervalles plus petits (0,5 atm.), compris entre les valeurs données par l'épreuve préliminaire.

## 2. Comparaison des résultats

Les figures 5 et 6 présentent les valeurs obtenues en appliquant les trois méthodes mentionnées sur trois sols très différents l'un de l'autre. Les valeurs dues à la méthode Ursprung-Blum concernent des sols à structure modifiée. Il y a indéniablement une forte correspondance entre les courbes qui les représentent et celles qui proviennent du même type de sol examiné à l'aide de la méthode des membranes de pression. Evidemment, la première méthode perd sa validité dans un ordre de grandeur inférieur à 2 atm. Les courbes représentant les valeurs fournies par la centrifugation sont aussi en étroite harmonie avec celles fournies par la membrane de pres-

sion. Une autre particularité se manifeste dans les trois graphiques: les courbes qui représentent le sol modifié et celles du sol de structure intacte s'entrecoupent. Il faut en chercher la raison dans le fait que le passage du sol à travers un tamis réduit le nombre des micropores, d'une part, mais fait augmenter le volume total des pores, de l'autre (ceci au cas où la relation entre la quantité d'eau contenue dans ces deux sols à 1 cm de tension et à l'état de saturation, tension = 0, est constante). Cette modification accroît sa capacité de retenir l'eau avec des forces faibles et diminue celle qui met en jeu des pF supérieurs à 3 (1 atm. =  $1000 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ ).

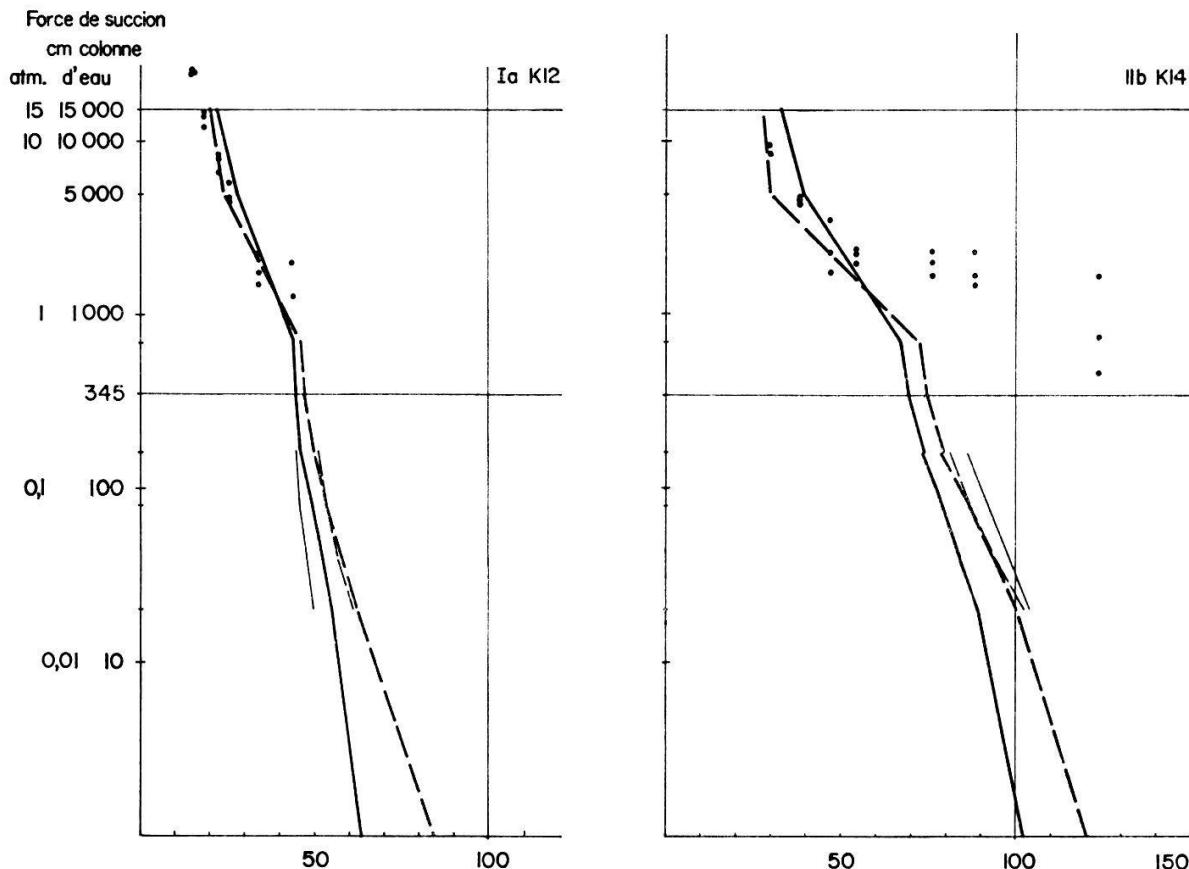


Fig. 6 Comparaison de différentes méthodes de mesurement de la force de rétention de l'eau dans le sol. Les courbes correspondent à l'horizon superficiel (5-15 cm) d'un sol brun gleyifié ( $\rho_a = 1,01 \text{ g/cm}^3$ ) et d'un Gley à mull-moder ( $\rho_a = 0,7 \text{ g/cm}^3$ ) peuplés par un *Mesobrometum* et par un *Molinietum* intermédiaire, stations K 12 et K 14. Voir légende fig. 5.

On a décidé d'adopter la méthode des membranes de pression à cause de la plus grande exactitude de ses résultats et à cause de ses avantages d'ordre technique. L'emploi de la méthode Ursprung-Blum aurait été indiqué si les sols avaient été salins. Mais dans ces recherches, l'absence de ce type de sol permet de procéder en négligeant les pressions osmotiques de la solution du sol, peu importantes dans les régions au climat humide.

## IX. Détermination du volume de pores

Les valeurs du volume poreux furent évaluées sur la foi des données de densité apparente ( $\rho_a$ ) et réelle ( $\rho_r$ ), celles du pourcentage des différentes catégories de pores selon les courbes des valeurs de tension de rétention de chaque sol. Pour former ces catégories, on a classé comme macropores ceux qui sont remplis d'air quand le sol retient l'eau avec une tension de  $\frac{1}{3}$  atm.; comme micropores, ceux qui contiennent encore de l'eau lorsque le sol est au point permanent de flétrissement (15 atm.); finalement comme pores moyens, ceux qui contiennent de l'eau retenue entre les deux états mentionnés.

## **X. Dosage du calcaire**

Comme méthode d'orientation, on a employé celle des gouttes d'acide chlorique au 50%. Lorsque la présence de carbonates (en quantité supérieure à 1%) était constatée, les échantillons étaient analysés à l'aide du calcimètre Passon (cf. WIEGNER et PALLMANN, 1938).

## **XI. Détermination du pH**

Il fut mesuré en suspension aqueuse, avec des électrodes de verre. 30 à 40 cm<sup>3</sup> de terre fraîche furent dilués dans de l'eau distillée, de manière à obtenir une consistance pâteuse, en remuant simplement plusieurs fois avec un bâton. Lorsque la terre était grumeleuse ou se prêtait difficilement à la formation d'une pâte, on avait recours à un remueur mécanique. La détermination ne fut jamais effectuée avant que la pâte ait reposé au moins 5 heures. Mais au moment même de la détermination, on remuait encore une fois pour avoir une suspension homogène. L'appareil utilisé était une Batterie-pH-Meter, Typ E280, Metrom AG, Herisau (Suisse).

## **XII. Détermination de la capacité d'accumulation d'azote minéral**

### **1. Préparation des échantillons**

Les échantillons destinés aux déterminations périodiques du pouvoir d'accumuler le nitrate et l'ammonium furent prélevés et traités comme suit: 5 à 6 échantillons furent pris dans la zone marginale de la surface examinée et choisie comme représentant bien la sous-unité végétale en question. Ces échantillons, prélevés à 4 à 12 cm de profondeur approximativement, furent passés à travers un tamis de 0,4 cm de largeur de maille. Du matériel ainsi tamisé, recueilli dans une pièce de nylon, rendu parfaitement homogène et débarrassé de tous restes visibles de racines ou de rhizomes, on prit deux portions, l'une suffisant à en remplir un sac de nylon (approximativement 1 litre), destiné aux analyses en laboratoire, l'autre remplissant un gobelet en plastic (approximativement 200 cm<sup>3</sup>) muni d'un couvercle. Ce gobelet fut enterré à profondeur identique, au même endroit, et laissé en place pendant 6 semaines. La terre fut légèrement comprimée. Un échantillon de la terre destinée aux analyses de laboratoire fut utilisé pour la détermination du pourcentage d'humidité (105 °C), dont les résultats permirent de calculer la quantité de sol frais à analyser, équivalant à 5 g de sol sec. Avec le reste de la terre, on a rempli des récipients en verre d'un demi-litre de contenance et couverts avec de l'ouate, qui furent emmagasinés dans la chambre humide pendant 6 semaines (20 °C; 95–99% HR).

### **2. Dosage du NO<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub>**

Les analyses de NO<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub> furent effectuées suivant les méthodes adoptées par l'Institut de Géobotanique de l'EPF qui correspondent à celles développées par ZÖTTL (1958); les déterminations du NO<sub>3</sub> selon la méthode du 2,4-xylénole (BARNES, 1950; SCHARRER et SEIBEL, 1956), celles du NH<sub>4</sub> d'après le procédé de Conway en utilisant de petites boîtes de micro-diffusion (CONWAY, 1947). Les lectures ont été faites à l'aide d'un spectrophotomètre (Beckman, modèle B).

## **XIII. Mesures microclimatiques**

Pour les mesurages des températures du sol (à 1, 10 et 25 cm de profondeur), on a utilisé des thermomètres à mercure ordinaires et à long cou, tandis que pour les températures des différentes couches aériennes (à 10, 25 et à 200 cm), on s'est servi de psychomètres à aspiration. La double lecture de celui-ci a permis de calculer l'humidité relative. L'évaporation fut mesurée moyennant des évaporimètres Piche, muni d'un papier buvard vert de 3 cm de diamètre. Les lectures furent faites périodiquement entre 5 et 17 heures approximativement, en tâchant de déterminer ainsi les registres extrêmes de la journée.

## E. Expériences et résultats

### I. Facteurs édaphiques

#### 1. Profils du sol

Douze profils correspondant à autant de stations sont représentés dans la fig. 7. Ils peuvent être considérés comme représentatifs des communautés végétales examinées. Les profils ont été rangés selon l'hydrophilie des associations, ordre qui coïncide presque exactement avec celui de certains caractères de l'horizon supérieur. Ainsi, la teneur en matière organique et le volume des pores, en conséquence, sont remarquablement bas dans le *Mesobrometum* (I) et dans les variantes sèches du *Molinietum* (II a). Les densités apparentes, qui varient de 1,01 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) dans le *Mesobrometum* à 0,2 dans le *Caricetum fuscae* (VI), sont en relation inverse.

Les indications de texture des sols non tourbeux ont été faites sur la base du résultat des analyses granulométriques et d'après le schéma (diagramme triangulaire selon les catégories granulométriques d'Atterberg) dressé par FREI (1953). Les valeurs du pH dans les graphiques ainsi que les hauteurs du niveau de la nappe phréatique correspondent à des mesures effectuées dans la première semaine de juin 1964. A ce moment, on a fait les observations de tous les profils à l'exception des stations K 12, K 14, K 3 et K 4. Celles-ci ont été examinées au mois de novembre 1963.

Le premier profil (Ia, K 12), qui se rapporte à un des *Mesobrometum* les plus homogènes et étendus qui existent dans les alentours de Zurich, présente quelques caractères d'un sol brun, mais est gleyifié. C'est donc un sol qu'on pourrait classer comme gley brunifié (toujours d'après KUBIENA) s'il ne présentait pas des variations si fortes de la nappe phréatique (environ 2 m d'amplitude). Malgré l'absence de limites nettes, l'horizon A<sub>1</sub> (0–15 cm) se distingue d'A<sub>2</sub> par sa structure grumeleuse et son plus fort contenu en matière organique. Il présente une teneur de 6,75% de matière organique, une valeur comparable à celles indiquées par FREI (1963) pour des types de sols similaires. Quant à sa texture, il peut être considéré comme un limon. La pauvreté en argile est remarquable. Sa réaction est légèrement acide (pH 5,6). L'horizon A<sub>2</sub> (15 à 35 cm) se différencie du B par sa couleur légèrement plus foncée, il n'a pas de calcaire et son pH oscille entre 5,6 et 6. L'horizon B/G est visiblement plus argileux et s'étend homogènement à partir de 45 cm de profondeur. Il réagit positivement à l'épreuve de ClH. Sa réaction est neutre (pH 7). Au printemps et en automne, l'eau phréatique ou celle qui s'est accumulée dans le sol, l'inonde complètement (voir graph. N° 10a), c'est pourquoi il manifeste une forte gleyification. En été, le niveau de cette eau descend à plus de 2 m de la surface, provoquant ainsi un dessèchement assez intense, ce qui se montre par la formation de crevasses superficielles. Dans ces conditions, l'horizon A<sub>1</sub> arrive parfois à retenir l'humidité avec des forces plus hautes que celle qui correspond au point de flétrissement permanent (fig. 12). Il est intéressant de constater que, en dépit de cela, on n'observe pas

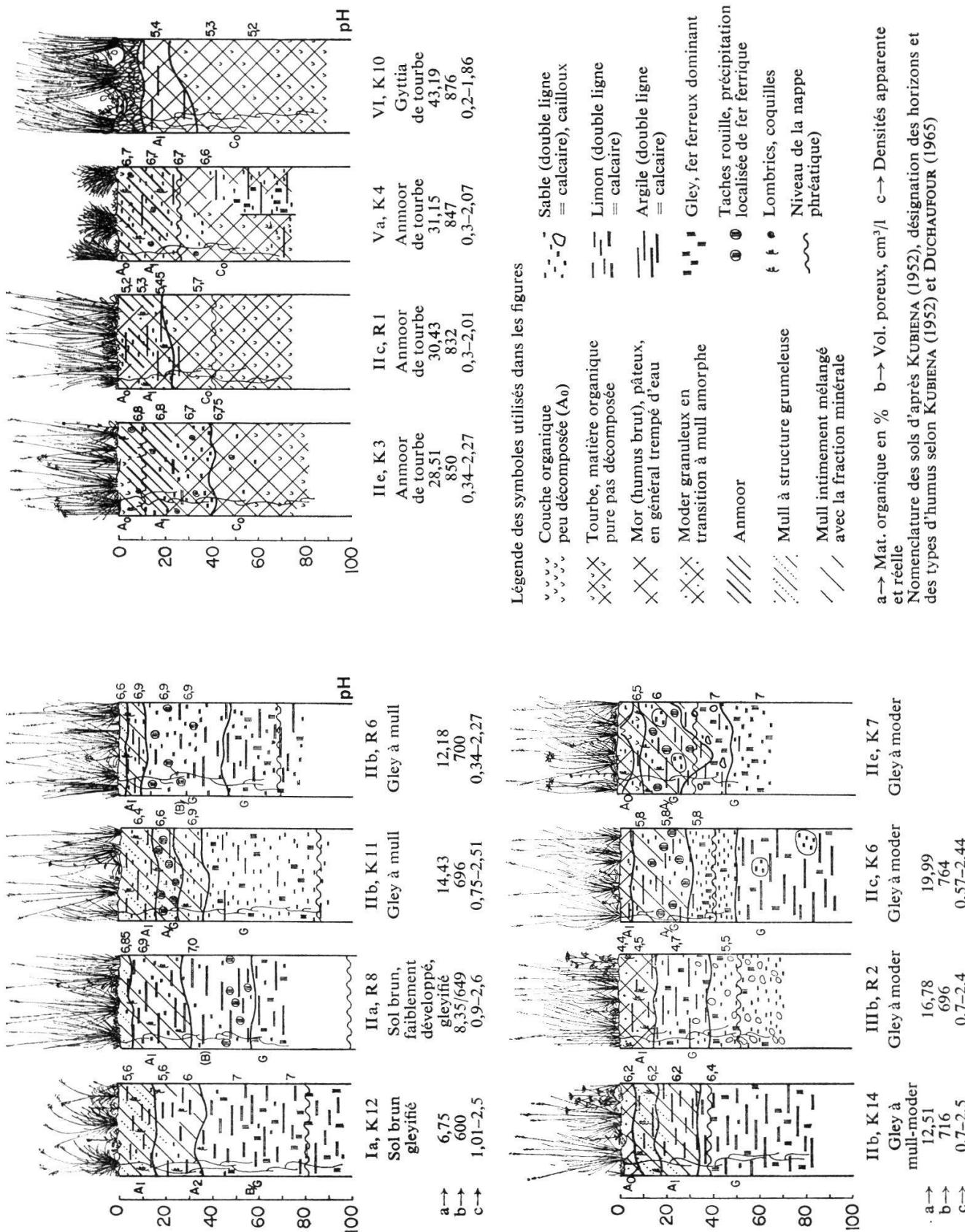


Fig. 7 Profils des sols appartenant à quelques communautés en étude.

de flétrissement chez les plantes, ce qui signifie que les horizons profonds peuvent encore fournir l'eau requise par la couverture végétale. Jusqu'à 40 cm de profondeur, le sol est exploré par une quantité abondante de racines, on en rencontre en moindre quantité jusqu'à une profondeur de 90 cm. Au moment de l'observation, il ne se trouvait de lombrics que dans l'horizon A.

Le deuxième profil (IIa, R8), correspondant à un *Molinietum* sec, est un sol brun faiblement développé et gleyifié. Son horizon superficiel, dont l'épaisseur atteint à peine 4 à 5 cm, est plus riche en matière organique que celui du profil qu'on vient de décrire. Son pH est légèrement inférieur à 7. L'horizon A, selon les résultats des analyses granulométriques, peut être classé comme sable limoneux, faiblement argileux. Il a un pourcentage d'argile et un volume de pores plus grands que celui du sol brun geyifi. Sa teneur en CaCO<sub>3</sub> est de 6,5%. A 30 cm de profondeur commence l'horizon (B), différent de l'horizon A par sa structure plus compacte et par l'absence de matière organique. Son pH révèle la réaction entièrement neutre. Le CIH provoque encore la formation de bulles, et on constate des taches et de petites concrétions de rouille. A 60 cm, il est remplacé par un autre horizon décidément gleyifié.

Le troisième profil (IIb, K11) vient d'un *Molinietum* intermédiaire. C'est un gley à mull développé sur un matériel mère relativement léger. Son horizon supérieur est riche en humus et profond, puisqu'il atteint une épaisseur de presque 40 cm. Il n'a pas de CaCO<sub>3</sub>, et ses valeurs de pH varient entre 6,4 et 6,9. L'analyse granulométrique le classe comme sable limoneux, faiblement argileux. Cet horizon embrasse une zone fortement tachée de rouille. Un typique horizon de gley commence à partir de 40 cm de profondeur et imprime son caractère à la couche sablonneuse qui s'étend en dessous de 60 cm.

Un autre sol du *Molinietum* intermédiaire (IIb, R6) peut être défini comme un gley à mull. Son horizon organique n'a que 10 à 15 cm d'épaisseur et se compose d'un mull intimement mélangé avec la fraction minérale (limono-sableuse). Ce n'est qu'en surface qu'on observe une mince couche de mull grumeleux quasi pur et à réaction légèrement plus acide que le reste du profil. Seuls les deux horizons sis en dessous de 15 cm contiennent des carbonates. Le plus profond, fort gleyifié, montre qu'il subit de longues périodes sous des conditions anaérobiques. L'autre est un horizon (B)/G sans matière organique, plus compacte que A et sans la couleur bleuâtre de G, mais avec des précipitations d'oxydes ferrugineux sous forme de taches et de concrétions rouille. Il n'est atteint par la nappe phréatique que pendant quelques jours au printemps.

Le troisième exemple d'un sol du *Molinietum* intermédiaire (IIb, K14) est un gley à mull-moder qui a un horizon organique d'approximativement 30 cm d'épaisseur. On y reconnaît une couche supérieure de seulement 1 à 4 cm, riche en moder, avec peu de matériel minéral et avec des restes de feuilles et de chaumes, une couche intermédiaire de 15 à 20 cm d'épaisseur avec du mull finement granulé et avec une plus grande densité, et une troisième, inférieure, dans laquelle le matériel minéral est intensément coloré par la matière organique. Du point de vue granulométrique, cet horizon est sablo-argileux. Il ne contient pas

de CaCO<sub>3</sub> et a un pH de 6,2 dans les trois strates. En dessous de 40 cm, on trouve une zone de réduction totale, d'une teinte uniforme gris-bleuâtre, par l'accumulation du fer ferreux. Dans cet horizon, la réaction avec le ClH est positive.

Le sol sur lequel est installé le *Junco-Molinietum* (III b, R 2) est un gley à moder, qui s'est probablement développé à partir d'une paternia. Le sous-sol se compose de sables et de cailloux. On rencontre, superposée, une couche d'approximativement 25 cm avec un plus grand pourcentage de limon. Toutes deux témoignent, par des marques évidentes, d'une forte gleyification. L'horizon organique superficiel, à 15 cm d'épaisseur, est plus riche en argile que les horizons inférieurs, mais malgré cela il est texturellement un limon sableux. Il contient un fort pourcentage d'humus en forme de moder. En outre, les racines y abondent, et les lombrics y sont très actifs. La réaction fort acide à la surface s'atténue dans les strates sablonneux jusqu'à 5,1.

Le sol du *Molinietum* humide (K 6) est un gley à moder, avec un horizon organique d'à peu près 30 cm d'épaisseur, reposant sur un autre, sableux-limo-neux, de 20 cm, et un troisième, argileux, qui contient des paquets de sables. Le premier montre dans sa partie inférieure une abondante quantité de taches de rouille, et les deux autres, une gleyification accentuée.

Le *Molinietum juncetosum* (K 7) présente lui aussi un profil du type gley à moder. Dans son profond horizon A, il y a en surface des couches de moder d'épaisseur inégale, mélangées avec des restes végétaux. En dessous, le même humus à l'état pur recouvre du mull intimement mélangé avec la fracture minérale (sablo-limoneuse). Dans cette couche profonde, on observe des taches de rouille et des paquets de sables calcaires, ces derniers provenant du matériel qui constitue le sous-sol du profil. Une forte gleyification existe en dessous de 30 cm de profondeur.

Les profils des sols appartenant aux stations sociologiquement représentatives du *Molinietum juncetosum*, *Molinietum* humide et *Schoenetum ferruginei* (K 3, R 1 et K 4) sont trois variantes du type de sol appelé anmoor de tourbes par KUBIENA. Les deux premiers ont eu comme matériel d'origine de la tourbe pure, le troisième a évolué sur une mosaïque composée de matériel tourbeux pur ou mélangé, en partie, avec de l'argile et du sable. Les trois ont un horizon superficiel où la matière organique a été fortement transformée et partiellement mélangée avec des éléments minéraux. Dans R 1, le pourcentage d'argile qui est relativement élevé, domine, alors que c'est la fraction grosse dans les deux autres profils. Tous trois sont fortement colonisés par des lombrics et présentent, à la surface, des restes végétaux non décomposés et non liés. La réaction est acide dans le profil R 1 seulement; dans les deux autres, elle est proche de la neutralité. La station K 3 montre des traces calcaires sur tout le profil.

Le *Caricetum (canescens-)fuscae* (VI, K 10) est installé sur une gyttja de tourbe, c'est-à-dire une tourbe transformée sous des conditions subaquatiques. *Carex fusca* avec *Comarum*, *Menyanthes* et *Molinia* occupent une tourbière qui, actuellement, n'est pas décomposée en dessous de 60 cm. La masse de matière organique a été transformée en une pâte noirâtre, homogène, fangeuse, forte-

ment humifiée et sans matière minérale. Ce n'est que par des étés très secs que l'eau phréatique laisse les 20 cm superficiels libres. En dessus de cet horizon se développe un lacis de racines d'une épaisseur variant entre 10 à 15 cm, appartenant aux espèces susmentionnées. Il n'y a pas de calcaire dans tout le profil et le pH oscille entre les valeurs de 5,2 à 5,4.

## 2. La réaction du sol

Les valeurs correspondant aux déterminations périodiques du pH ont été représentées dans le même graphique qui indique les accumulations d'azote minéral de chaque station en étude (parties supérieures des graphiques des figures 16 à 20). L'allure des courbes confirme l'observation déjà maintes fois constatée (ELLENBERG, 1958; LÖTSCHERT, 1964) en ce qui concerne les variations auxquelles est sujette la réaction des sols. En général, les sols en question vont en s'acidifiant à mesure que l'été avance et regagnent à la fin de la période végétative leurs valeurs de pH du printemps.

Dans plusieurs stations, et spécialement dans celles correspondant aux communautés moins hydrophiles, cet abaissement des valeurs du pH, dans les couches superficielles (10 cm) du sol, se présente en étroite corrélation directe avec les contenus d'eau (cf. courbes correspondant aux stations K 12, K 13, R 8, K 14, R 6, K 15 et K 11). Dans d'autres stations, ces relations ne se manifestent que faiblement (R 9, K 5, K 8, K 6, K 2, K 1, K 7, K 3, K 4 et K 5). Ce phénomène est probablement dû à l'influence de la nappe phréatique qui mouille les horizons superficiels du sol au printemps surtout et en automne. L'acidité diminue sous l'action de l'eau phréatique généralement riche en calcaire (ELLENBERG, 1939). La plus grande de ces variations n'atteint qu'une unité de pH. Mais elle est considérable comparée aux amplitudes enregistrées dans les stations situées sur des pentes alimentées par des sources (Boppelsen et Diebis). Celles-ci ne dépassent pas 4 dixièmes de pH. L'influence constante de l'eau calcaire de source empêche l'abaissement du pH en dessous de 6,7 dans tous ces sols.

La plupart des sols étudiés sont à réaction neutre ou légèrement acide. Parmi les 19 molinaires examinées, 15 ont des valeurs qui oscillent entre 5,9 et 7,2. Seulement deux stations appartenant au *Junco-Molinietum* accusent des valeurs inférieures à 5,1 et des minima de 4,4. Même les sols tourbeux ( $\text{pH} = 6,3$  à 5,1) ne sont pas plus acides.

## II. Facteurs microclimatiques

Les observations microclimatiques ont été effectuées dans des stations correspondant à sept unités végétales, à une seule occasion, le 4 juin 1964. Le jour choisi fut serein et sans nuages à l'exception d'une légère nébulosité, typique pour l'époque, qui a commencé à se manifester à 14 heures et s'est intensifiée jusqu'à 17 heures. Le brouillard local des premières heures du matin fut commun à toutes les stations. Il commença à se dissiper à 6.30 heures et avait complètement disparu à 8 heures. La comparaison des courbes résultantes permet de formuler les observations suivantes (fig. 8 et 9).

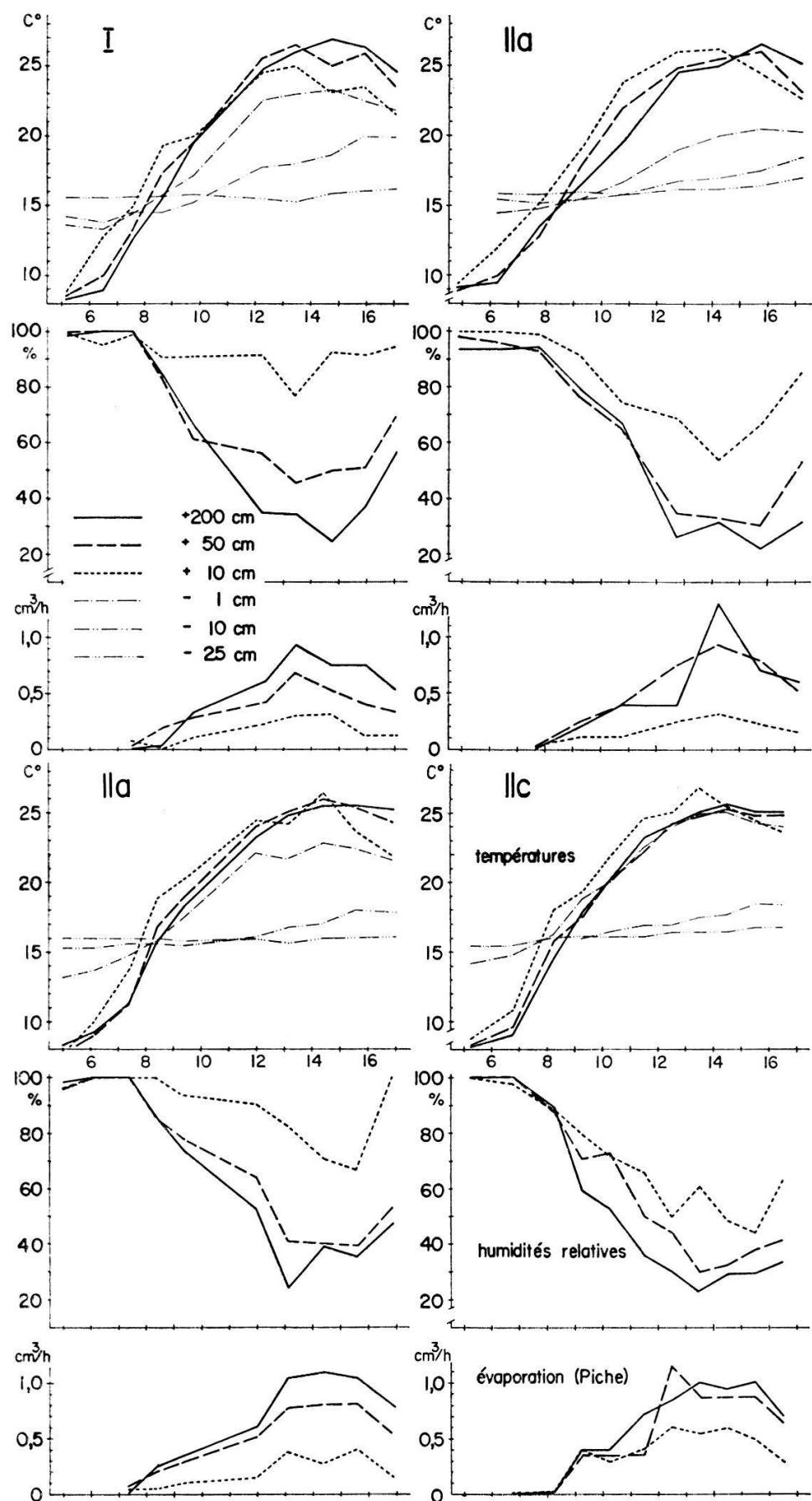


Fig.8 Marche journalière des températures de l'air et du sol et de l'évaporation (Piche) le 4 juin 1964 dans quelques stations correspondant au *Mesobrometum* (I), au *Molinietum* sec (IIa) et au *Molinietum* humide (IIc).

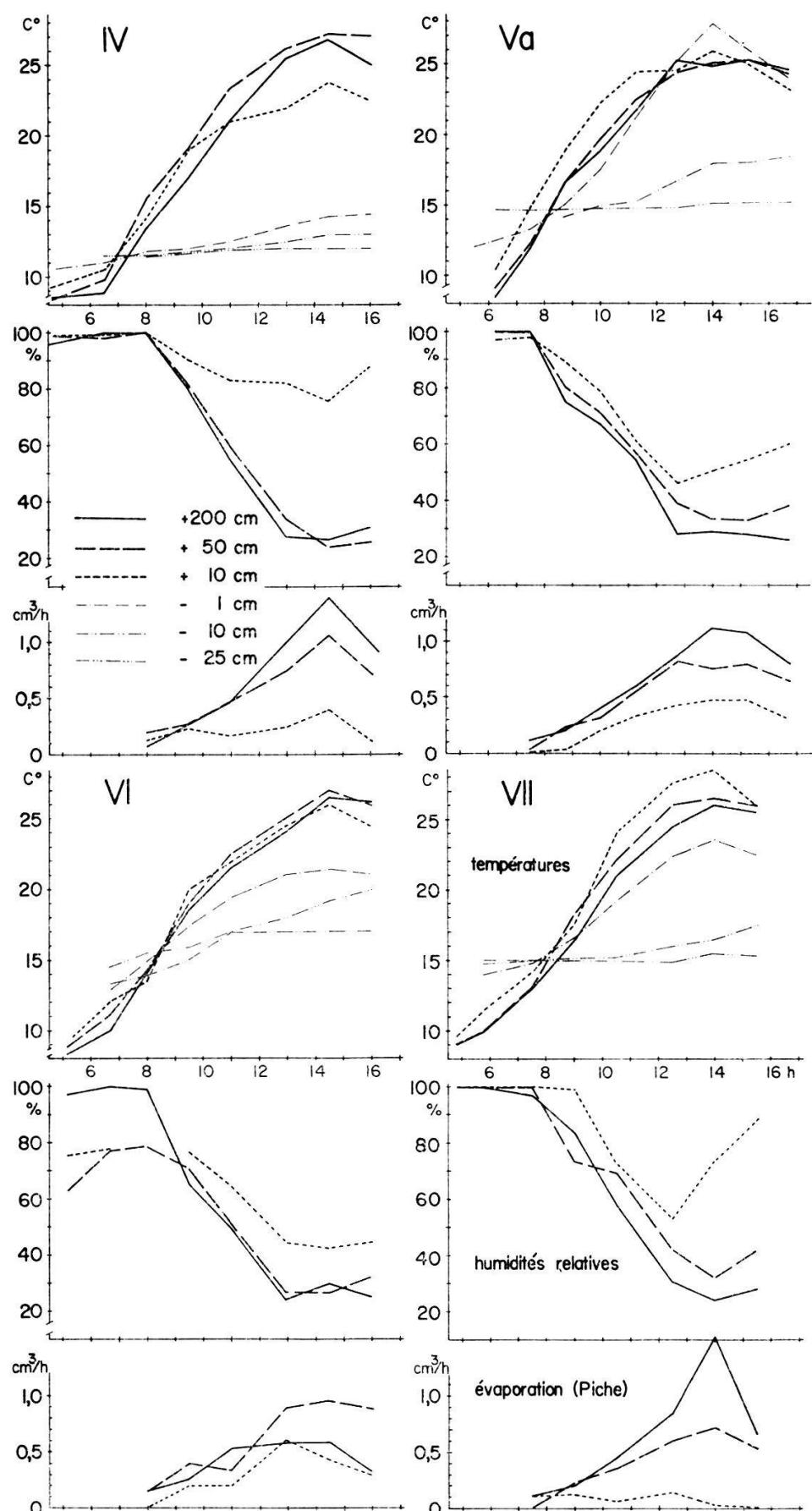


Fig. 9 Marche journalière des températures de l'air et du sol et de l'évaporation (Piche) le 4 juin 1964 dans quelques stations correspondant au *Caricetum davalliana*e (IV), *Schoenetum* typique (Va), *Caricetum canescenti-fuscae* (VI) et *Caricetum elatae* (VII).

A une profondeur de 25 cm, aucun des sols étudiés ne subit des changements journaliers de température plus grands que 1,5 °C, à l'exception de celui correspondant au *Caricetum fuscae* lequel, à ce moment, accuse encore à cette profondeur ces variations. Dans l'horizon superficiel par contre, les variations sont bien accentuées dans la plupart des communautés et elles varient entre 7 et 11° d'amplitude et atteignent un maximum de 16° dans le *Schoenetum*. Ceci est dû à la couverture végétale défective qui conditionne une forte insolation pendant la journée et une radiation nocturne intense. Le *Caricetum fuscae* montre une variation limitée à 4° dans cet horizon sous l'influence modératrice de l'eau qui le trempe.

Le sol du *Caricetum davallianae* est le plus froid des sols observés. Sa température est au moins 3° plus basse que celle des autres. La température plus élevée dans l'horizon superficiel est atteinte dans le sol du *Schoenetum*. Cette observation coïncide avec les résultats publiés par EICKE-JENNE (1960). La couche d'air en contact avec le sol montre en général une plus haute température que les couches en dessus, et ceci spécialement pendant les premières heures du jour à la suite de l'influence de la température du sol. Cette différence se maintient même après midi dans les stations correspondant au *Molinietum* et au *Caricetum elatae*. C'est cette dernière qui a montré la plus haute température dans cette couche d'air. A 25 cm de la surface, les températures sont presque similaires dans toutes les stations. A cette même hauteur, les humidités relatives sont seulement inférieures à 30% dans les *Caricetum davallianae* et dans le *Caricetum fuscae*, les deux associations qui ont justement dans cette couche leurs températures maxima du jour (27,2 resp. 27°). Dans la couche d'air voisine du sol, les humidités relatives descendent en dessous de 45% dans le *Schoenetum*, le *Caricetum fuscae* et le *Molinietum* humide, tandis qu'elles restent en dessus de 75 dans le *Caricetum davallianae* et dans le *Mesobrometum*. En étroite corrélation avec la hauteur et la densité de la population végétale, à mesure que celles-ci augmentent, diminue la rénovation de l'air saturé de vapeur d'eau.

En ce qui concerne l'évaporation dans la couche de 10 cm, on a observé que la plus réduite se produit dans le *Caricetum elatae* (toujours inférieure à 0,15 cm<sup>3</sup>/h) et la plus intense dans le *Molinietum* humide (supérieure à 0,5 cm<sup>3</sup>/h pendant 4 heures de la journée). A 25 cm, seulement l'évaporation du *Molinietum* humide et du *Caricetum davallianae* dépasse 1 cm<sup>3</sup>/h. Sauf dans le *Caricetum elatae* et le *Mesobrometum*, qui n'atteignent que 0,7 cm<sup>3</sup>/h comme limite supérieure, toutes les autres communautés accusent des évaporations plus intenses, et ceci durant un laps de temps de 3 à 5 heures.

### III. Facteur eau

#### 1. Niveau de la nappe phréatique, ses variations saisonnières

Pendant la période d'investigation, il y a eu un hiver et un été exceptionnellement secs. Ce fait a permis d'observer l'influence de la sécheresse sur le niveau de l'eau souterraine dans les sols des associations examinées dont la plupart

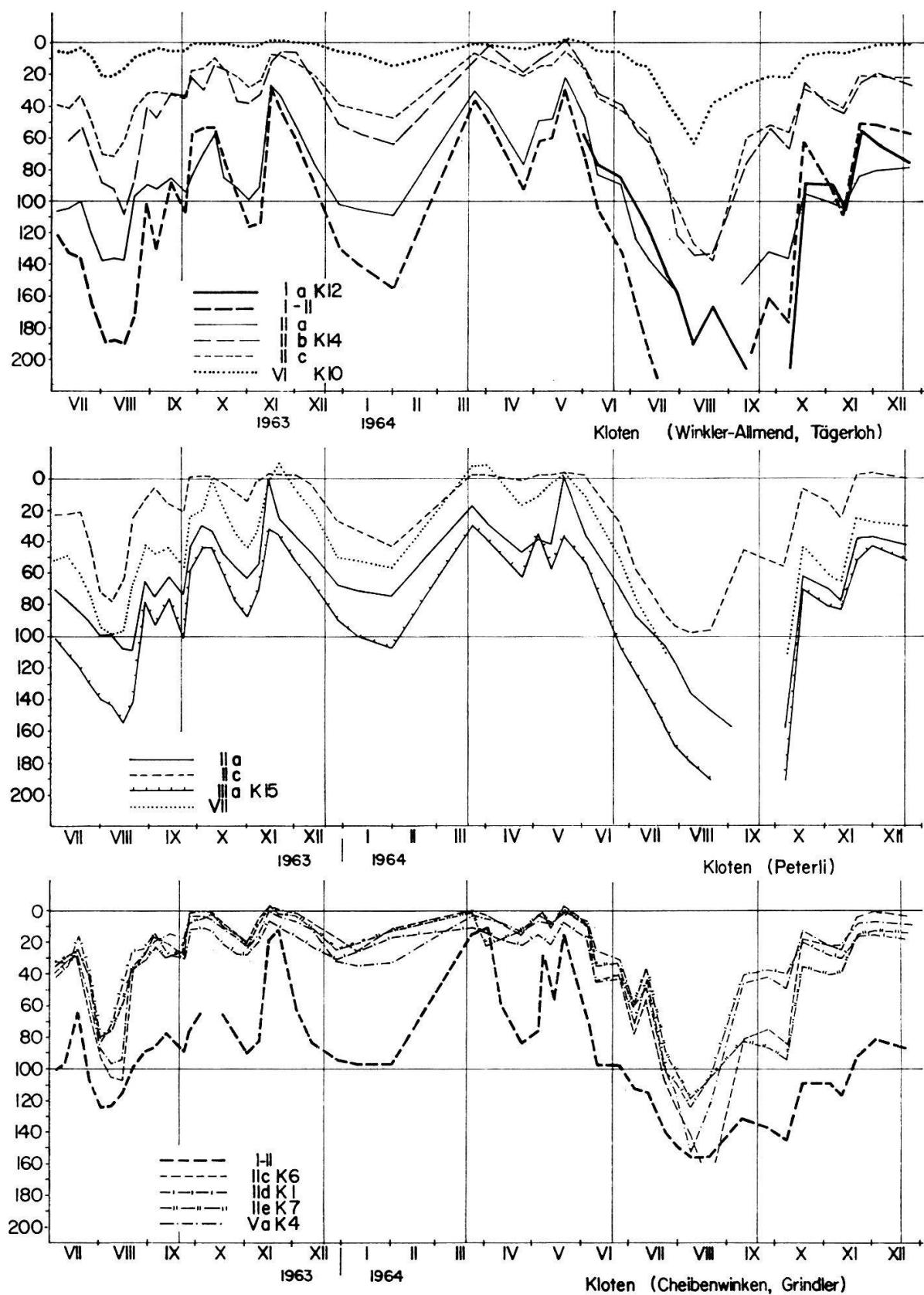


Fig. 10 Variations de la nappe phréatique pendant la période d'investigations dans les sols des associations examinées dans la région de Kloten (voir tabl. 3).

occupent des habitats où la provision d'eau est d'abondante à excessive. Les valeurs les plus basses obtenues pendant la période de végétation qui furent enregistrées lors de l'été sec, permettent – quand on les compare à celles de la période précédente, normale celle-ci quant à la quantité des précipitations – de déduire les limites de tolérance de chacune de ces associations.

Il est nécessaire de tenir compte du fait que deux régions, Diebis et Boppelsen, sont situées sur des pentes, sur lesquelles des courants d'eau et des sources permanentes ou demi-permanentes atténuent l'influence de l'absence des précipitations sur le niveau de l'eau phréatique. La comparaison du régime d'eau des associations homologues des régions de la Reuss et de Kloten est rendue compliquée par des différences dans les précipitations, ceci spécialement pendant les deux périodes estivales. L'été 1963 fut sensiblement plus pluvieux dans la plaine de la Reuss que dans la région de Kloten.

Les deux associations appartenant au *Magnocaricion* furent inondées pendant des périodes prolongées au printemps et en automne (fig. 10a et b). Ainsi, le *Caricetum elatae* (VII) et le *Caricetum fuscae* (VI) restèrent couverts d'eau pendant quatre semaines. Ce dernier, sujet à des fluctuations moins accentuées, a eu pendant deux tiers du temps d'observation le niveau phréatique à moins de 10 cm de profondeur. Celui-ci est descendu pendant l'été de 1963 jusqu'à 20 cm, et jusqu'à 60 cm en été 1964. Au cours de cette dernière période, il est tombé en dessous de cette profondeur, mais seulement une semaine durant. Le *Caricetum elatae*, par contre, a subi des variations plus fortes. En hiver comme en été, l'abaissement du niveau s'est prolongé pendant de longues périodes. La profondeur de 1 m s'est maintenue pendant approximativement deux mois et demi (cf. ELLENBERG, 1963, 399).

Comme représentants de l'alliance du *Caricion davallianae*, on a étudié des stations correspondant à *Schoenetum* (V) et à *Caricetum davallianae* (IV). Dans le sol superficiel du *Schoenetum ferruginei* (Va) de Kloten aussi bien que dans celui du *Schoenetum nigricantis* des pentes (Vb) de Boppelsen, l'eau a séjourné presque constamment sans affleurer. Dans ce dernier, le niveau n'a pas marqué de variations prononcées durant toute l'année, ce que la présence des sources susmentionnées peut expliquer. En été, il est tombé en dessous de 20 cm (40 cm au plus) pendant un mois et demi seulement. Chez le *Schoenetum* de Kloten, les variations du niveau phréatique furent plus marquées et plus fréquentes. Les niveaux les plus bas furent 95 jusqu'à 150 cm durant les deux étés d'observation, et les périodes pendant lesquelles il restait en dessous de 50 cm furent, respectivement, de un et de deux mois.

La sous-unité sèche du *Molinietum* (IIa, avec des représentants à Kloten et sur la Reuss) se distingue des sous-unités intermédiaires et humides par des périodes prolongées, plus longues que trois mois, durant lesquelles le niveau de l'eau reste en dessous de 1 m. Exceptionnellement, l'eau peut affleurer. Généralement elle reste à 25 à 30 cm de la surface, ou même à 60 cm dans les deux stations observées sur la Reuss. Quand le niveau approche 50 cm, ce n'est que pour cinq semaines au plus. Les minima d'été ne sont jamais inférieurs à 1,50 m.

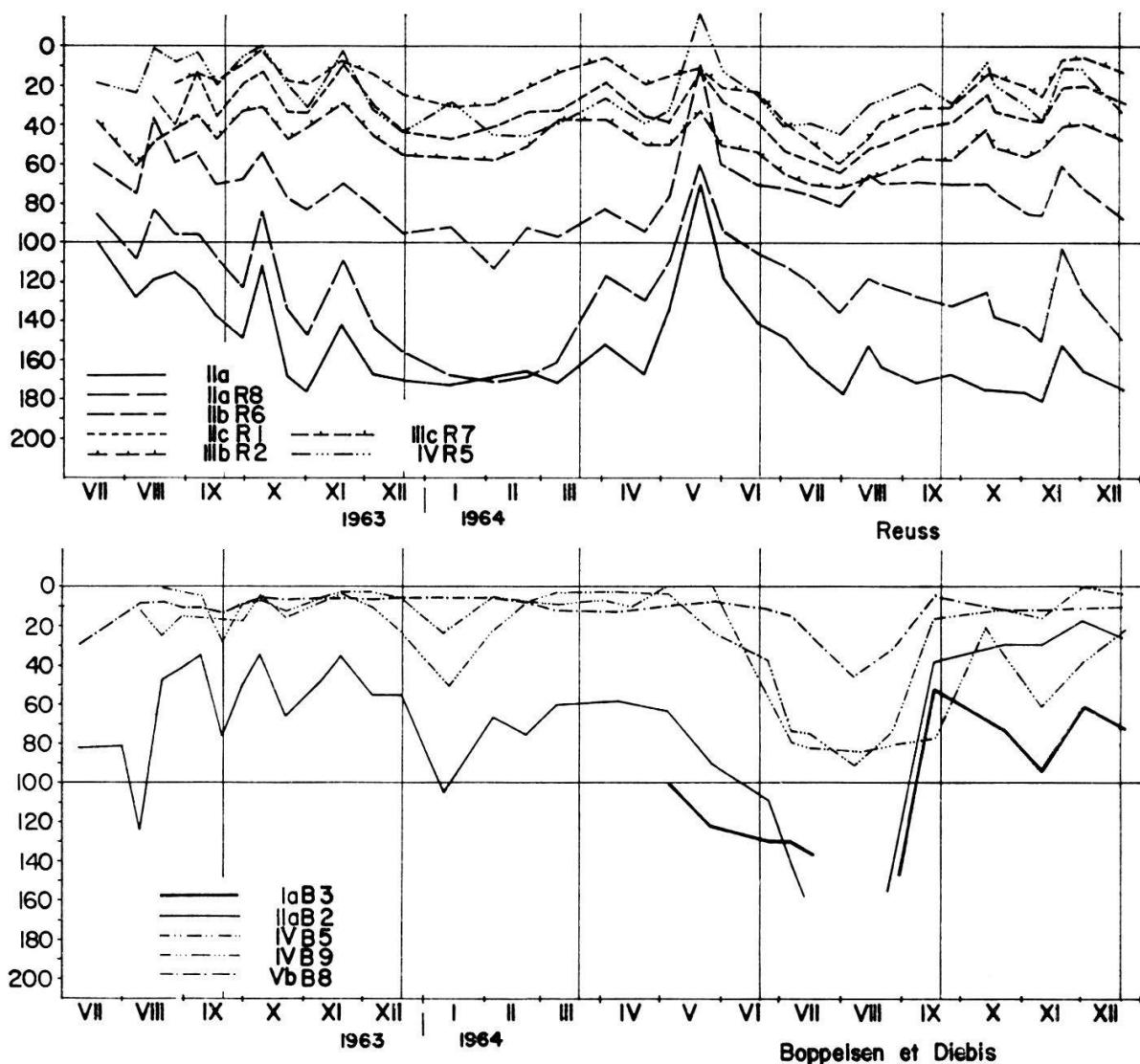


Fig. 11 Variations de la nappe phréatique pendant la période d'investigations dans les sols des associations examinées dans la plaine de la Reuss et dans les régions de Boppelsen et Diebis (voir tabl. 3).

Le *Junco-Molinietum* sec (IIIa, K 15) a les mêmes variations dans son régime phréatique.

Dans le sol de la sous-unité humide du *Molinietum* (IIc) ainsi que dans celui du *Molinietum juncetosum* (IIe), l'eau affleure généralement chaque printemps et chaque automne. Pendant six mois de l'année, le niveau se maintient en dessus de 10 cm de profondeur. En été, il reste en dessous de 50 cm pendant un ou trois mois, suivant qu'il s'agit d'une saison normale ou sèche. La situation est la même dans les sols du *Caricetum davalliana* (IV). Dans la région de la Reuss, le *Molinietum* humide a un niveau phréatique plus constant que les précédents. Il ne monte jamais plus haut que jusqu'à 30 cm de la surface; en été, il reste aussi pendant un à trois mois en dessous de 50 cm. Le sol du *Junco-Molinietum* humide (IIIb) est sujet aux mêmes mouvements de l'eau phréatique, mais ceci 10 à 20 cm plus près de la surface.

Chez le *Caricetum davallianae* (V) de Kloten, les changements de niveau phréatique sont plus brusques que chez ceux de Boppelsen. Pourtant, il présente, comme ceux-ci, deux périodes d'inondation annuelle.

L'eau phréatique dans le sol du *Molinietum* intermédiaire (II b) garde un niveau constant en dessus de 1 m de profondeur. En été, il descend plus bas pendant un à un mois et demi. En automne et au printemps, il peut arriver que le niveau d'eau monte jusqu'à la surface ou environ 10 cm de celle-ci, mais seulement pendant moins d'une semaine.

Les courbes de l'eau phréatique dans le sol du *Mesobrometum* (I) n'ont pu être établies que partiellement. Malgré cela, les fractions des courbes correspondant l'une à un *Mesobrometum* de Kloten, l'autre à celui de Boppelsen, suggèrent les observations suivantes: A aucune période de l'année, le niveau ne s'est haussé plus que jusqu'à 30 cm de la surface. Dans les stations de Boppelsen et de Diebis, les horizons sis à moins de 50 cm de profondeur, ne sont jamais atteints par l'eau phréatique. Pendant des périodes toujours plus longues que 3 mois et demi, l'eau se trouve en dessous de 1 m. Ceci est un trait caractéristique, commun aux associations de transition *Molinietum-Mesobrometum*. Dans les sols de ces dernières par contre, le niveau phréatique se maintient quelquefois pendant un à trois mois par année en dessus de 50 cm, ce qui n'arrive qu'exceptionnellement dans le vrai *Mesobrometum*.

## 2. Humidité par rapport à la tension de l'eau dans le sol

Les communautés en question occupent des types de sol très différents. C'est pourquoi la considération du facteur eau ne pouvait être limitée à l'analyse des variations du niveau de la nappe phréatique et à la comparaison des valeurs de pourcentage d'eau par rapport au poids sec. On sait par exemple qu'un sol minéral avec 40% d'eau peut offrir une résistance plus faible à l'absorption de l'eau par les racines des plantes qu'un autre, organique, où il y a deux fois plus d'eau par rapport au poids (cf. les courbes correspondant aux stations K 12 et K 10 dans le graphique N° 12). Ces sols organiques sont capables de retenir et d'accumuler une quantité d'eau deux ou trois fois plus grande que les premiers. Mais en même temps, ils peuvent se comporter envers la plante comme physiologiquement secs, malgré leur haute teneur en eau. L'humidité d'un sol exprimée en pourcentage de poids n'indique pas si l'eau peut, à ce moment, être absorbée par la plante ou si elle échappe aux forces d'absorption des racines.

L'étude de la grandeur de la force de rétention de l'eau par le sol permet d'envisager le problème d'une façon plus réaliste, donc écologiquement plus valable. Sa détermination dans les sols de plusieurs communautés a permis de tracer les courbes du graphique N° 12. On y voit que celles-ci sont parfaitement distinctes l'une de l'autre, mais qu'il y a une certaine ressemblance chez celles qui correspondent aux sols du même type. Les quatre sols qui ont comme substratum un matériel tourbeux, se distinguent par une capacité de rétention d'eau considérablement supérieure: les contenus d'eau en pourcentage de poids oscillent entre environ 30 à 70 au point de flétrissement permanent (15 atm.),

jusqu'à 170 à 300 à saturation. Les sols minéraux, par contre, ne retiennent dans les mêmes états, qu'approximativement 20 resp. 50%. Les groupes qui incluent les gleys à mull et gleys à moder s'intercalent entre ces deux extrêmes.

Mais l'idée que ces courbes donnent du bilan d'eau peut être élargie si on considère en même temps les densités des sols représentés. On sait que l'indication du contenu d'eau en pourcentage de poids indique d'autant moins les conditions d'humidité dans un sol que sa densité apparente ( $\rho_a$ ) s'éloigne de l'unité.

Il faut tenir compte du fait que les racines pénètrent et occupent les cavités du sol. La considération de l'eau disponible du sol en fonction des volumes facilite donc la compréhension des rapports entre la plante et l'humidité du sol. Le graphique N° 13 représente la relation qu'il y a entre la force de rétention de l'eau et la quantité de celle-ci rapportée au volume de sol. Le contenu d'eau est exprimé en pourcentage de volume. Les courbes valent pour des sols représentatifs pour les 3 groupes cités avec des densités apparentes ( $\rho_a$ ) d'environ 1, 0,7 et 0,3. Elles mettent en évidence le même ordre des groupes en ce qui a trait à leur capacité de rétention d'eau, c'est-à-dire à leur pouvoir d'emmager-siner. En outre, elles montrent que les différences en quantité d'eau contenue, dans les marges de l'état voisin à saturation et le point de flétrissement, ne sont pas très grandes quand on les considère par rapport au volume de sol. Malgré cela, les trois types de sol diffèrent nettement dans leurs volumes des pores moyens. Ceux-ci déterminent la quantité d'eau utilisable par les plantes quand

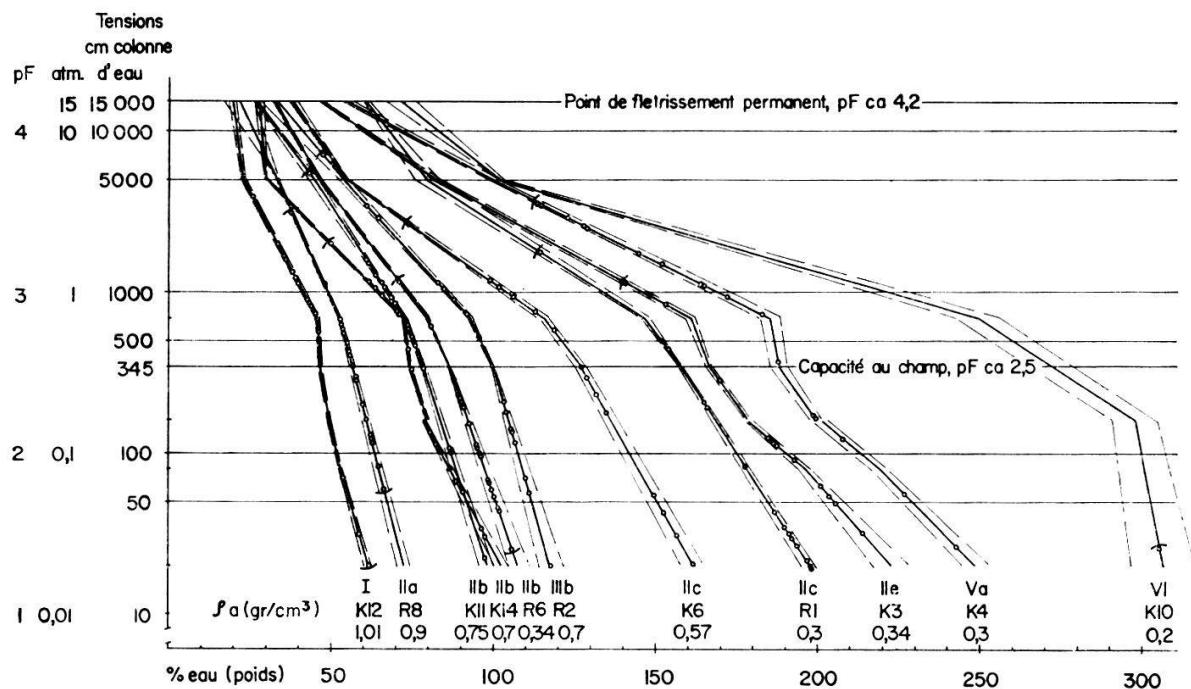


Fig. 12 Courbes représentant les tensions de rétention de l'eau dans l'horizon superficiel (5-15 cm) des sols appartenant à quelques stations en étude. Les lignes pointillées qui les limitent représentent l'erreur standard. Les points indiquent le pourcentage d'humidité qu'on a mesuré dans les échantillons pris au champ pendant deux saisons de végétation (1963 et 1964); les traits en indiquent les valeurs extrêmes. Les désignations des courbes correspondent à celles des associations (voir tabl. 3).

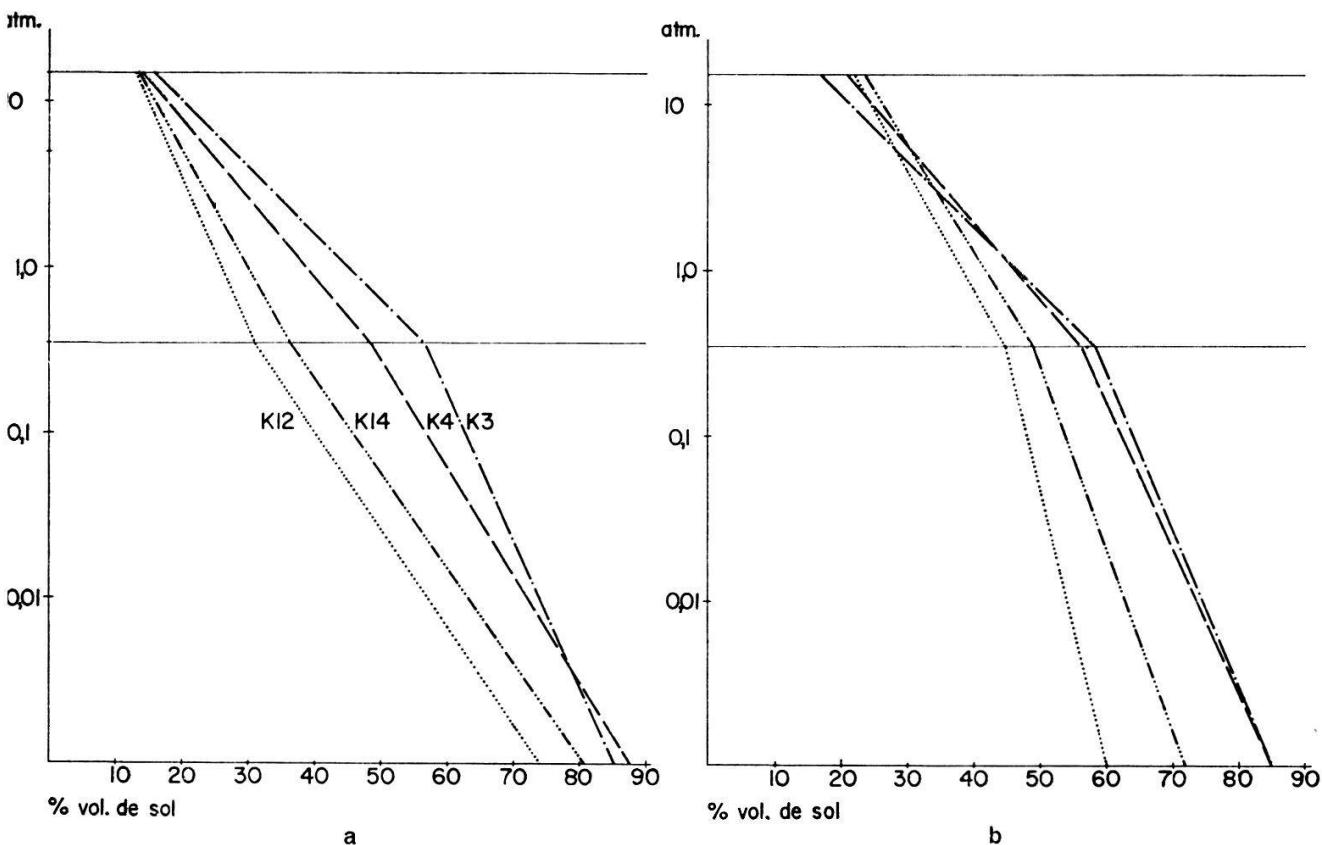


Fig.13 Relation entre l'humidité du sol et la tension de rétention des sols appartenant aux stations K3, K4, K12 et K14.

- a) Structure du sol intacte
- b) Structure modifiée par tamisage

le drainage est normal. Mais cette différence chez les sols en question ne se manifeste que rarement parce qu'ils sont pendant la plus grande partie de l'année sous l'influence de l'eau phréatique. Pour cette raison, les communautés qui les occupent ont à leur disposition des quantités plus grandes d'eau utilisable (légèrement liée aux particules de sol) que dans des sols avec la nappe profonde.

Dans les courbes dressées au graphique N° 12, on a marqué les limites entre lesquelles oscillent les valeurs de pourcentage d'humidité déterminées pendant les deux périodes de prélèvement d'échantillons. Les valeurs estivales extrêmes, qui coïncident avec l'abaissement le plus fort de la nappe phréatique, avec les valeurs d'insolation et de températures les plus hautes et avec l'intensité transpiratoire la plus élevée du tapis végétal, sont spécialement démonstratives si on les met en regard des forces de rétention de l'eau dans le sol. Il est évident qu'il n'y a que la courbe du *Mesobrometum* qui montre sa limite supérieure dépassant le point de flétrissement permanent dans la couche du sol étudié (5 à 15 cm). Ce n'est que le sol du *Mesobrometum* qui peut arriver à des conditions critiques en ce qui concerne la disponibilité d'eau pour les plantes, dans son horizon superficiel. En général, les sols des autres associations qui font l'objet de cette étude n'accusent jamais des valeurs de rétention plus élevées que 3,8 atm. (exceptionnellement 7).

Il faut tenir compte du fait que l'été 1964, qui est inclus dans la période d'investigation, fut exceptionnellement sec. Cela ne donne que plus de validité à la généralisation suivante: à l'exception du *Mesobrometum*, les associations étudiées ne subissent à aucune époque de l'année des conditions critiques en ce qui concerne l'approvisionnement en eau.

Les graphiques qu'on vient d'interpréter ont été dressées d'après les résultats obtenus chez des échantillons de sol à structure modifiée (voir chapitre D VIII 1). Pour pouvoir mieux juger de leur validité, on a dressé les graphiques supplémentaires N°s 13 et 14. Le graphique N° 13 b représente la relation qu'il y a

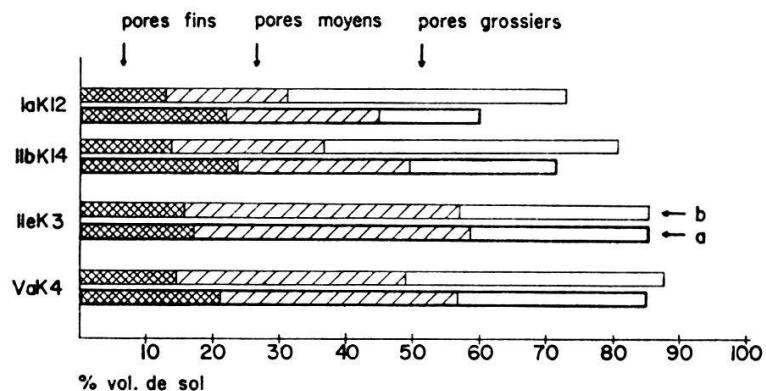


Fig. 14 Volumes totaux des pores et répartition entre pores fins, moyens et grossiers pour les mêmes sols que dans fig. 13.

entre la force de rétention d'eau et le volume que cette eau occupe par litre de sol à structure intacte (cf. spécialement le graphique 13a). Le graphique 14 montre quels sont les volumes totaux des pores et leur répartition entre pores grossiers, moyens et fins, ceci pour des sols à structure intacte ou modifiée. Les deux graphiques permettent d'évaluer, par comparaison, à quel degré la destruction de la structure d'un sol, par tamisage, change sa porosité et sa capacité de rétention d'eau.

Le volume total des pores de sols organiques n'est pas essentiellement modifié. Mais celui des macropores est augmenté au détriment de celui des micropores. Par contre, le volume total des sols minéraux augmente sensiblement. Le volume des pores fins est réduit, cependant que celui des pores grossiers est porté au double ou même au triple. La diminution du volume des pores moyens est seulement remarquable dans ces derniers, tandis que dans les sols organiques il ne change presque pas. Comme c'est ce volume qui détermine la quantité d'eau disponible d'un sol, on peut dire que, potentiellement, de deux échantillons d'un même sol, l'un à structure intacte et l'autre disturbée (par tamisage), le premier a plus d'eau disponible que le deuxième avec la même valeur de pF (quand celui-ci correspond à environ 2,5 atm.).

Les sols étudiés, étant presque toujours sous l'influence de l'eau provenant de la nappe phréatique, se présentent en général avec des teneurs en eau qui correspondent à des tensions inférieures à 4 atm., raison pour laquelle les différences constatées ne jouent pas un rôle décisif dans le cas des échantillons examinés. Les conditions d'humidité des échantillons à structure modifiée ne sont pas très différentes de celles correspondant aux mêmes sols intacts, à struc-

ture non modifiée. Par contre, l'aération plus grande qu'ont les premiers par rapports aux deuxièmes, spécialement dans le cas des sols minéraux, pourrait être la cause d'une activité biologique plus forte. Mais les accumulations d'azote minéral ont été tellement réduites chez ces sols qu'on ne peut pas penser que cette influence ait été importante.

## IV. Facteur azote

### 1. Généralités

L'étude du facteur azote a été concentrée sur l'analyse de ses formes immédiatement utilisables: nitrique et ammoniacale. Etant donné la mobilité de l'azote minéral dans les sols et les changements que sa teneur subit en fonction de la saison et des conditions climatiques, on a adopté un procédé de travail qui permet non seulement de se faire une idée des quantités d'azote disponible pour la plante à un certain moment, mais aussi de se représenter l'intensité de l'activité biologique de l'humus d'un sol et la potentialité de ce dernier quant à ses réserves azotées. Enfin, en mesurant à intervalles réguliers le pouvoir de minéralisation d'un sol, dans des conditions naturelles et artificielles, on a tâché de se renseigner, le mieux possible, sur le dynamisme d'ensemble de l'azote. De cette façon, on a suivi l'évolution de l'activité d'un sol en fonction du temps.

Pour l'interprétation du résultat des analyses quant à la teneur en azote nitrique et ammoniacal, il est nécessaire de tenir compte des points suivants:

- a) Chaque sol a été l'objet d'une investigation périodique (toutes les trois semaines) pendant les saisons de la plus grande activité végétative.
- b) L'échantillon correspondant à chaque prise d'essais a été soumis à trois analyses: l'une effectuée immédiatement après la récolte, les deux autres six semaines plus tard, après une incubation dans de différentes conditions, c'est-à-dire dans le terrain et dans le laboratoire.

Tandis qu'une part d'échantillons fut laissée dans une chambre humide au laboratoire, à température et humidité constantes, sans apport d'eau, l'autre fut enterrée à 5 cm de profondeur, à l'endroit même du prélèvement, où elle a été exposée aux changements de température propres à la station.

Pour cela, on s'est servi d'un gobelet en plastic, perforé à son fond et muni d'un couvercle qui ne ferme pas hermétiquement. Bien que ce gobelet isole son contenu des racines, il provoque cependant de légères modifications chez certains facteurs d'ambiance. Les conditions d'humidité sont particulièrement influencées. Pendant les périodes de sécheresse, par exemple, il ralentit le dessèchement, mais empêche par contre que l'effet des précipitations légères se fasse sentir à l'intérieur. Ce n'est que dans les cas où l'eau phréatique atteint l'horizon où il est placé qu'il subit la même inondation que la terre qui l'entoure.

Quelles informations fournissent les résultats de ces analyses? Ceux des échantillons frais donnent une idée de la teneur en azote ammoniacal et nitrique du sol dans des conditions naturelles, c'est-à-dire de l'azote minéral restant à cette place et à ce moment, soit du bilan entre gains et pertes de cet élément. C'est l'effet additionné de la présence et de l'activité de micro-organismes (produisant l'ammonification, la nitrification et la dénitrification), en étroite relation

avec le contenu en matière organique du sol, son aération, la température, l'humidité plus ou moins accentuée, le lessivage occasionné par l'eau pluviale ou par les fluctuations de la nappe, et enfin l'absorption d'azote par les racines de la végétation.

Les résultats de la deuxième analyse, celle de l'échantillon gardé au laboratoire, nous renseigne sur la capacité potentielle du sol de produire les ions de  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$  et de les accumuler dans des conditions de température constantes et favorables à l'activité microbienne, avec une humidité qui lui permette de maintenir sans grandes variations sa teneur en eau initiale. Les sels solubles d'azote ne subissent pas de pertes dues au lessivage ou aux prélèvements nutritionnels des plantes; ils s'accumulent plutôt dans la solution du sol.

Les résultats du troisième essai, obtenus par l'analyse des échantillons restés dans le terrain, donnent une idée de la quantité d'azote nitrique ou ammoniacal qui peut s'accumuler quand l'absorption radiculaire n'existe pas. Ils indiquent la direction de l'effet qui résulte de l'activité des micro-organismes. Ils montrent si l'ammonification et la nitrification l'ont emporté en cette période sur les processus de réduction ou d'utilisation d'azote par la microflore. Ils nous permettent aussi de porter un jugement sur l'ensemble des conditions écologiques saisonnières typiques pour cette station et son influence sur le cycle d'azote.

## 2. Résultats des analyses périodiques d'accumulation d'azote minéral (ammoniacal et nitrique)

### a) Forme donnée à leur représentation

Les valeurs qui résultent des analyses périodiques ont été représentées sous la forme de courbes annuelles. Afin de faciliter la compréhension des graphiques généraux (fig. 16–20), on donne un graphique préliminaire (fig. 15) qui représente les valeurs originaux. Dans ces graphiques, les résultats correspondant à six semaines ont été reliés, soit par une ligne fine, soit par une grosse, aux résultats initiaux. Dans le cas où les résultats valent pour les échantillons au terrain, la ligne est grosse, quand ils valent pour ceux au laboratoire, elle est fine. Chaque valeur a été portée à la date de l'analyse. On peut p.ex. constater qu'après six semaines, quelques échantillons ont perdu entièrement leur teneur en azote ammoniacal, que chez d'autres, celle-ci a seulement diminuée, cependant que la teneur en nitrate est restée constante ou a augmenté. Il y a eu spécialement augmentation chez les échantillons en laboratoire (chambre humide). Les courbes des graphiques généraux (N°s 15b et 16 à 20) représentent seulement les valeurs absolues de ces variations par rapport à la quantité initiale correspondante, valeurs portées à la date de leur prélèvement dans le terrain, avec un signe positif ou négatif suivant s'il s'agit d'une accumulation ou d'une perte. Il faut tenir compte du fait que la valeur 0 signifie une absence de  $\text{NO}_3$  ou  $\text{NH}_4$  seulement dans le cas où ils manquaient déjà dès le début à l'échantillon; dans tous les autres cas, elle indique que pendant les six semaines les quantités n'ont pas subi des changements.

### b) Commentaire sur les courbes annuelles

Des résultats des analyses effectuées pendant deux saisons de végétation sur 34 stations correspondant à 14 unités phytosociologiques, on peut déduire les conclusions générales suivantes:

Le *Mesobrometum* (I), les différents types de *Molinietum* (II) et de *Junco-Molinietum* (III), et le *Caricetum davallianae* (IV) étudiés possèdent des sols très pauvres en azote minéral. Même la productivité potentielle de ceux-ci est extrêmement faible si non nulle.

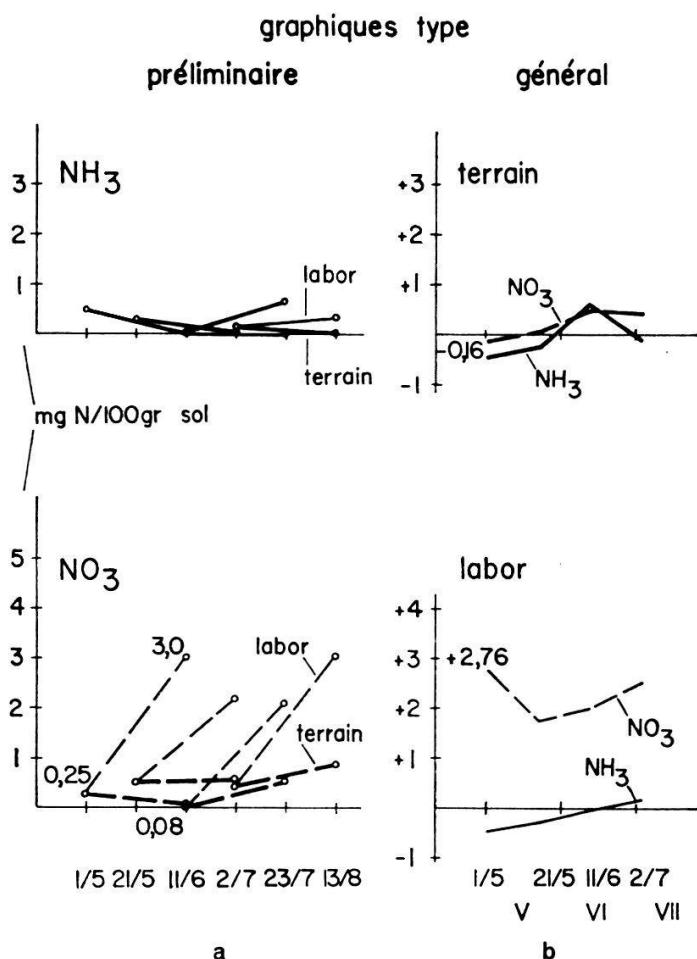


Fig.15 Explication des graphiques 16–20 (description détaillée dans le texte, p.40).

On observe une variation saisonnière dans les teneurs en azote ammoniacal des échantillons frais. Des quantités qui peuvent occasionnellement dépasser 2 mg N/100 g sol sont présentes durant les mois d'avril et de mai, mais elles diminuent pendant les mois de juin et de juillet jusqu'à tomber à zéro pendant ce dernier mois et les mois suivants. Les quantités moyennes pendant les trois mois du printemps ne dépassent pas 1 mg/100 g sol ou n'atteignent même pas 0,5 mg. L'azote nitrique n'est pour ainsi dire jamais présent, sauf dans quelques sols où sa teneur reste constante pendant la saison de végétation et ne dépasse pas 0,5 mg/100 g sol. Chez les échantillons maintenus pendant six semaines dans

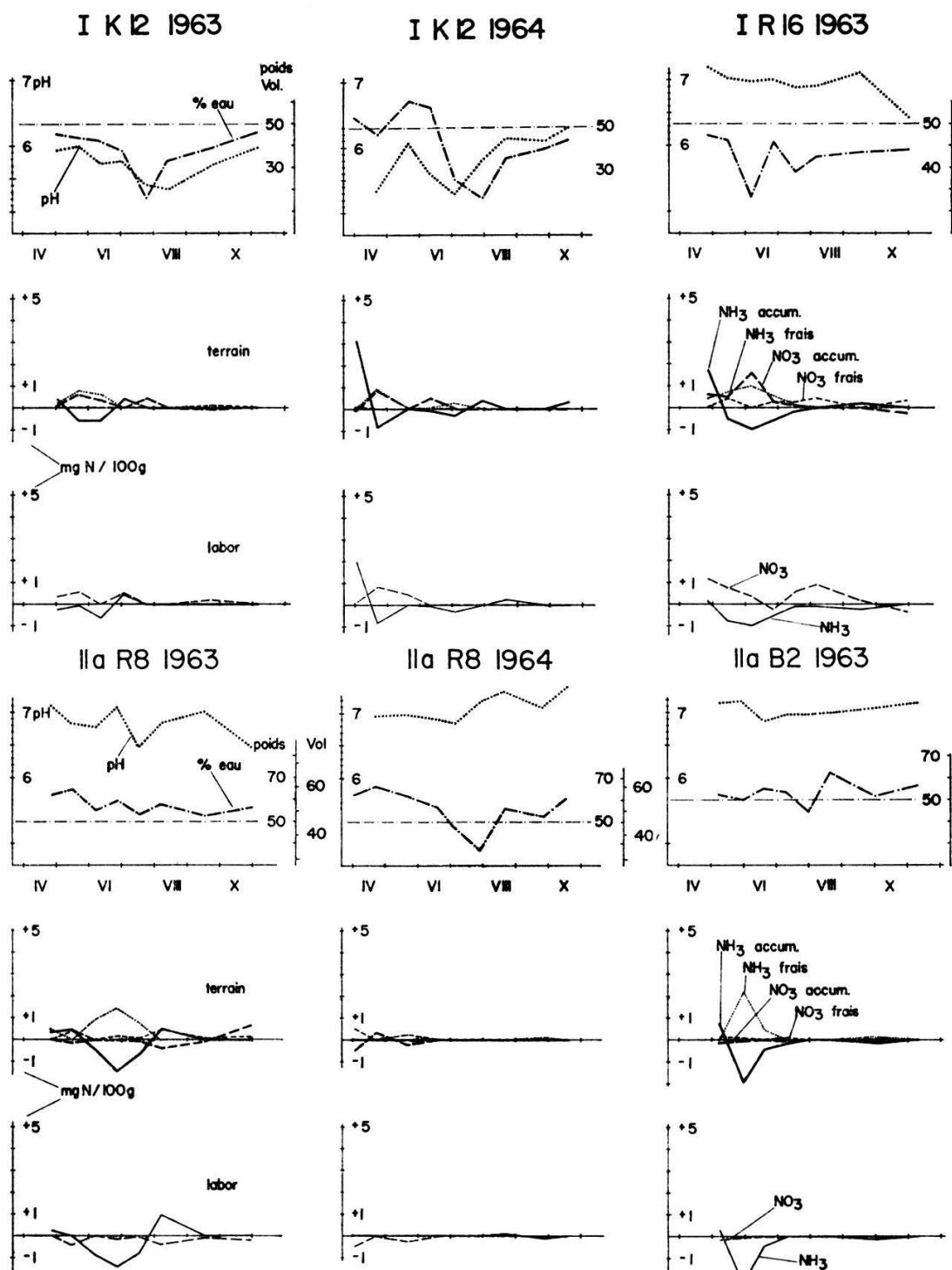


Fig. 16 Marche annuelle des facteurs recherchés du sol pour les stations du *Mesobrometum* (I) et *Molinietum sec* (IIa). Ont été omis les stations I B 3 1963, I K 13 1963 et I D 10 1963 (dont les résultats sont très semblables à ceux de la station I R 16 1963), IIa B 4 1963 (semblable à IIa R 8 1963) et IIa R 9 1963 (semblable à I R 16 1963).

Légende fig. 16-20:

- |  |  |
|--|--|
| — · — Pourcentage d'eau                          | — · — Accumulation d'azote nitrique au terrain       |
| ········ pH                                      | — — — Accumulation d'azote ammoniacal au terrain     |
| — — — Contenu d'azote nitrique du sol frais      | — — — Accumulation d'azote nitrique au laboratoire   |
| ········ Contenu d'azote ammoniacal du sol frais | — — — Accumulation d'azote ammoniacal au laboratoire |

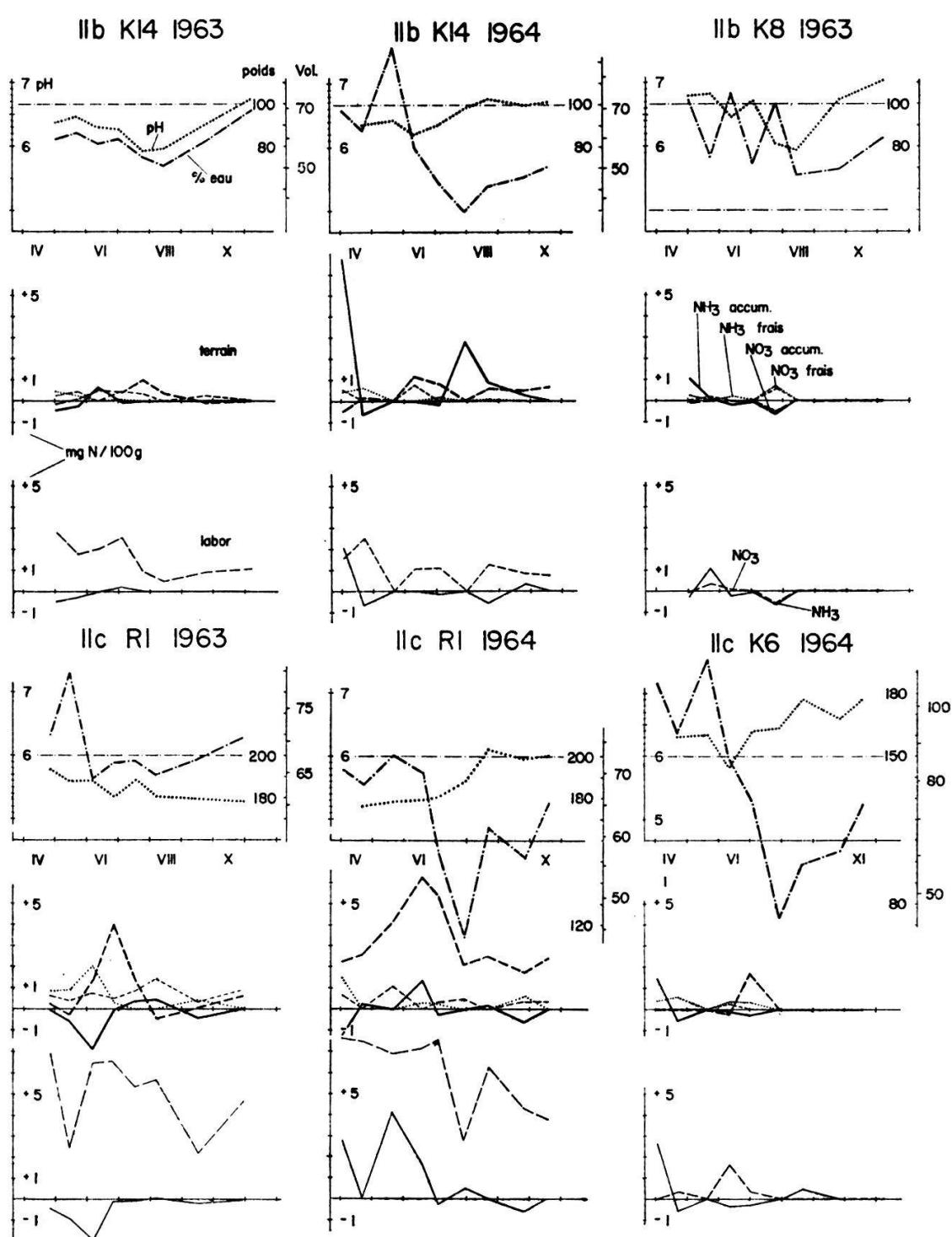


Fig. 17 Comme fig. 16, *Molinietum* intermédiaire (IIb) et humide (IIc). Omis: IIb K11 1963 et 1964 (très semblable à IIb K14 1963 et 1964), IIb K5 1963 (très semblable à IIb K8 1963), IIb R6 1963 et 1964 (très semblable à IIa R8 1963 et 1964) et IIc K6 1963 (très semblable à IIc K6 1964).

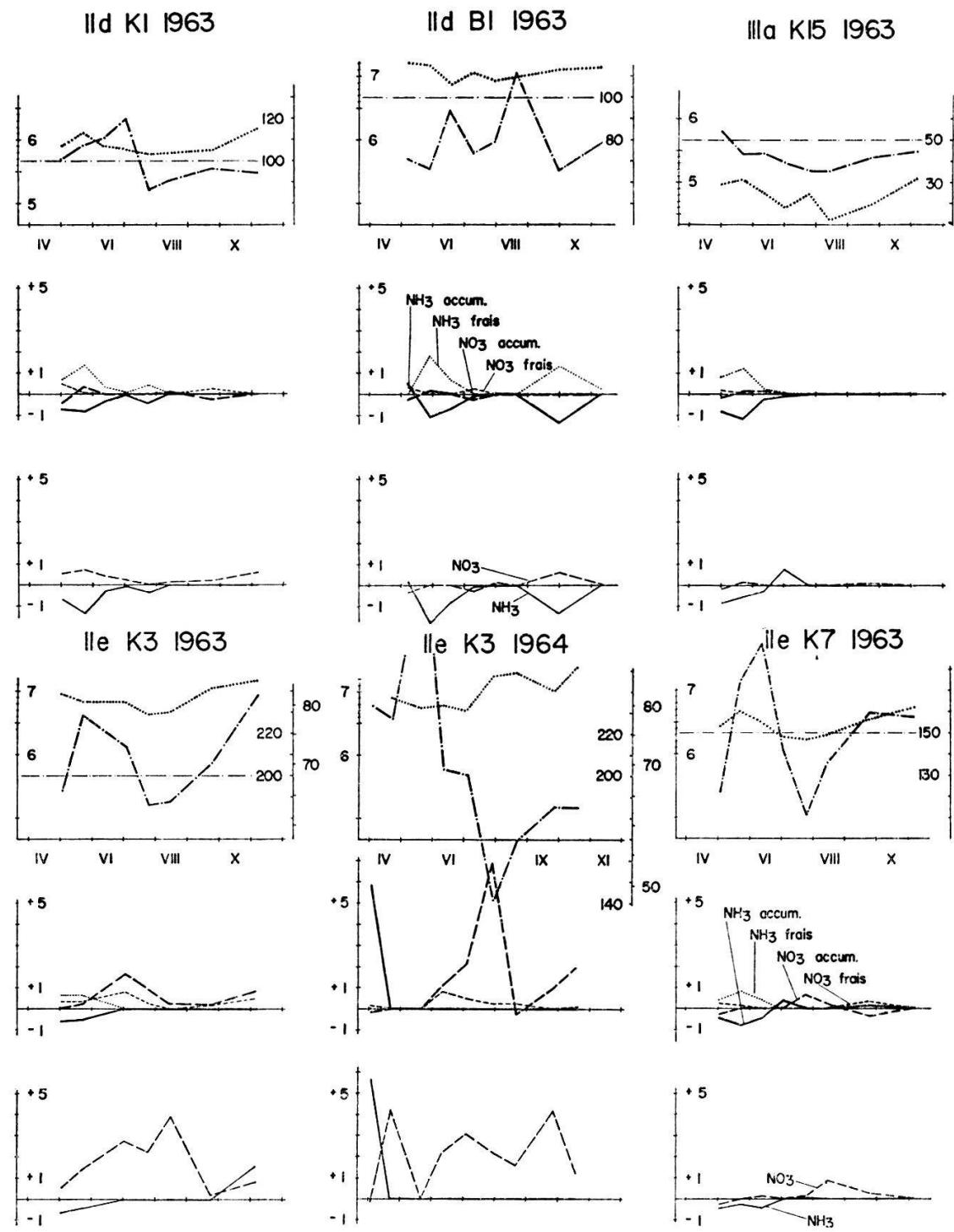


Fig. 18 Comme fig. 16, *Molinietum schoenetosum* (II d), *M. juncetosum* (II e) et *Junco-Molinietum sec* (III a). Omis: II d K2 1963 ( $\approx$  II e K7 1963).

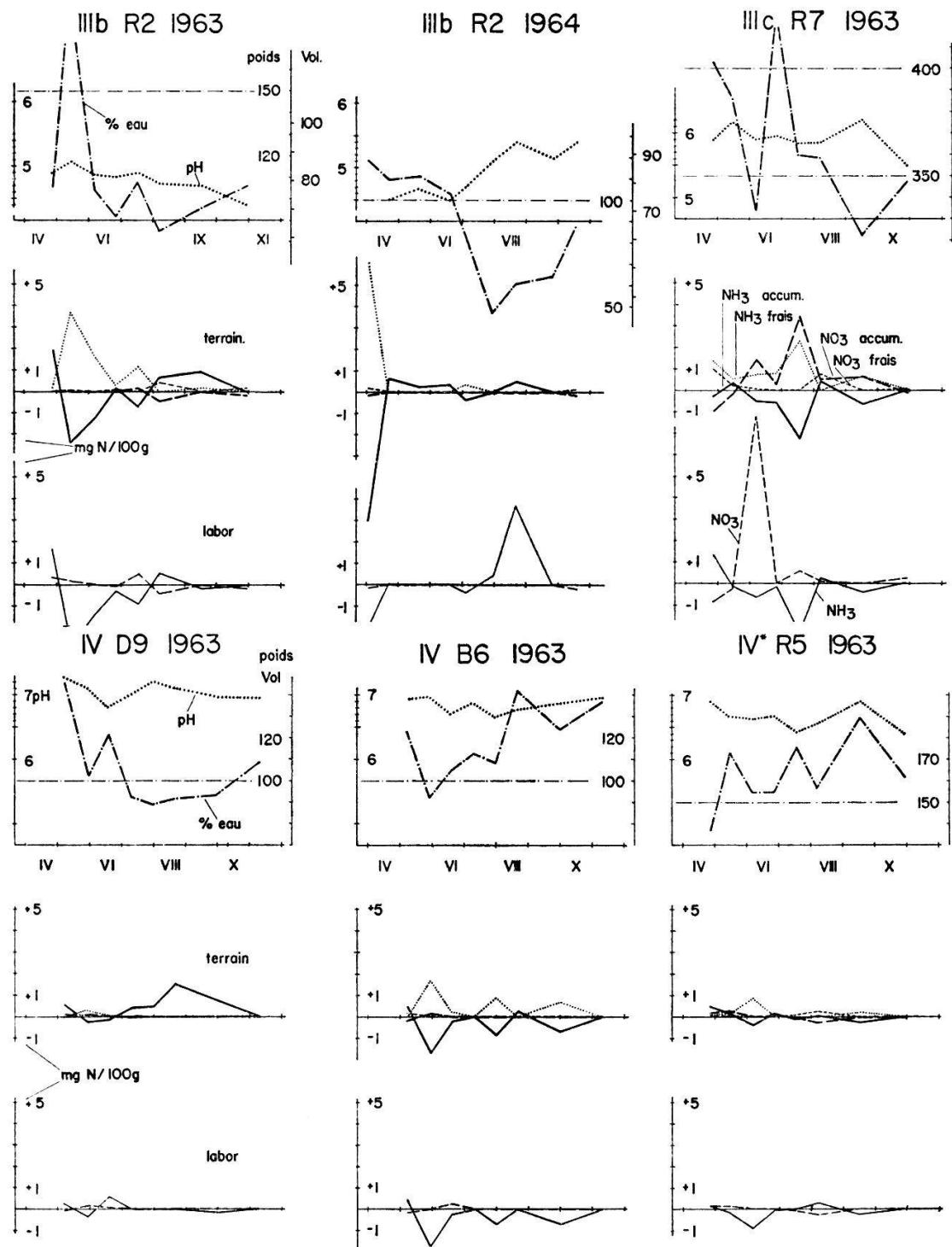


Fig. 19 Comme fig. 16, *Junco-Molinietum* humide (IIIb) et très humide (IIIc) et *Caricetum davallianae* (IV). Omis: IV B5 1963 ( $\approx$  IV B6 1963).

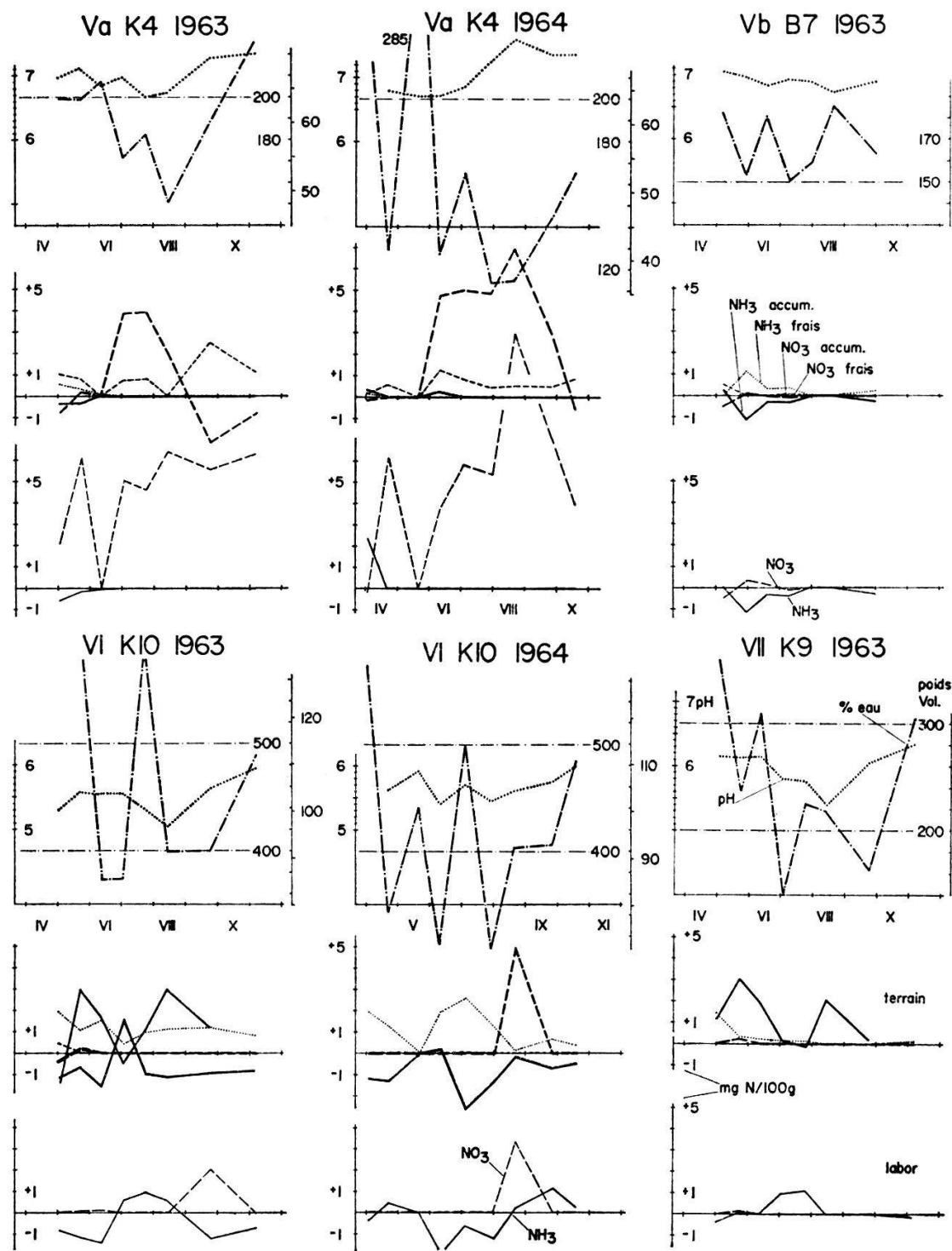


Fig. 20 Comme fig. 16, *Schoenetum* typique (Va) et de pente (Vb), *Caricetum canescens-fuscae* (VI) et *Caricetum elatae* (VII). Omis: Vb B8 1963 ( $\approx$  Vb B7 1963) et VII B11 1963 ( $\approx$  VII K9 1963).

les conditions du terrain, l'ammoniaque disparaît quasi totalement dans la plupart des cas. Dans le cas seulement où il manque au départ, il peut se produire exceptionnellement une accumulation (K 12, R 16, D 10).

Le bilan d'azote nitrique présente par contre des variations chez les diverses unités sociologiques. On constate de légères accumulations de l'ordre de 1 mg/100 g sol, au plus (exceptionnellement de 1,5 mg) dans les échantillons du *Mesobrometum*, tandis que chez les autres types mentionnés, la teneur à la fin de la période d'incubation est réduite à des traces ou même à zéro.

Les stations R 9 et K 14 font exception; ils présentent des augmentations constantes (avec des moyennes de 0,5 et des maxima de 1 mg), comme aussi les 3 stations humides installées sur les sols tourbeux. Ceci mérite d'être considéré à part. Les raisons de cette activité exceptionnelle dans les deux premières stations sont probablement les suivantes: Celui de R 9 est, parmi les sols examinés, un des plus calcaires (son pH va de 7 à la surface jusqu'à 8 à une profondeur de 1,50 m). Son contenu en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (19,8%) n'est égalé que par celui du sol de K 2, encore que celui-ci, qui accuse la même activité au laboratoire, reste inférieur pour ce qui est de l'essai sur le terrain. En ce qui concerne la station K 14, le fait que son sol n'est pas intact comme chez les autres molinaies, pourrait expliquer l'exception. La région où il se trouve a servi comme champ d'exercice pour l'artillerie il y a quelques décennies, ce qui est trahi par la présence de fragments d'obus et par des trous qui subsistent. Ces irrégularités du terrain font obstacle au fauchage mécanique, avec cette conséquence que les coupes annuelles ne se font pas régulièrement (p.ex. pendant l'automne 1963, la prairie ne fut pas fauchée). La présence de jeunes arbustes dispersés dans la prairie (comme p.ex. des *Frangula*, *Viburnum*, *Ligustrum* et *Evonymus*) témoigne de la négligence mise au fauchage. L'omission de la récolte de la litière entraîne un enrichissement en matière organique sous la forme d'une couche formée par des restes de feuilles et de chaumes secs, peu décomposés, qui forme progressivement un horizon de débris végétaux ( $A_{00}$ ), peu commun dans les sols étudiés.

Le *Molinietum* humide et le *Junco-Molinietum* sur tourbe ont un bilan d'azote bien différent de celui des autres. Ils sont biologiquement plus actifs. Cette observation confirme celle d'AMBROZ et BALÁTOVÁ-TULÁČKOVÁ (1962) concernant la plus forte activité des sols noirs des tourbières basses (Niedermoer), peuplées par un *Molinietum* intermédiaire (à *Carex panicea*), comparée avec celle des anmoors à gley, gley minéral et véga brune. Le sol du *Junco-Molinietum* de la Reuss (IIIc, R 7) accumule bien plus de nitrates solubles que celui des molinaies humides dont il vient d'être question, et ceci durant toute la période de végétation (moyenne de 0,8 mg N/100 g sol et maximum de 2,2 en mi-juillet). La diminution d'ammoniaque est constante et intense comme chez les molinaies humides, sauf au printemps, aussi bien pour les échantillons restés sur le terrain que pour ceux mis en chambre humide. Dans les échantillons frais, le  $\text{NO}_3$  est à son minimum ou absent. Il va s'accumuler dans les échantillons de six semaines. Les pertes de nitrates dans les échantillons du terrain se produisent au début du printemps et au milieu et à la fin de l'automne. Pendant

l'été, les accumulations se haussent jusqu'à 3,5 mg/100 g sol. La production des échantillons en chambre humide est moins régulière, mais peut atteindre un maximum de 8 mg de N/100 g sol. A l'exception de deux cas sur dix-sept, le sol du *Molinietum juncetosum* (IIe, K 3) ne contient pas d'ammoniaque, mais il a par contre une teneur constante, quoique toujours peu importante, en azote nitrique. Celle-ci a augmenté considérablement pendant les six semaines d'incubation jusqu'à une valeur moyenne de 1,5 mg et un maximum de 4 mg au laboratoire, et jusqu'à 7 mg au terrain, ce qui est un maximum tout à fait exceptionnel. Le sol du *Molinietum* humide (IIC, R 1) accuse une teneur initiale en NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub> qui peut exceptionnellement dépasser 1 mg N/100 g sol et une accumulation moyenne de 5 mg en chambre humide. Dans le terrain, l'accumulation atteint des maxima de 3,7 à 6,3 mg au mois de juin.

Les sols appartenant au *Caricetum elatae* (VII), au *Caricetum fuscae* (VI) et au *Schoenetum* typique (Va) ont, dans leur bilan d'azote, des particularités qui permettent de les différencier facilement. Les deux premiers ne contiennent qu'exceptionnellement une petite quantité de NO<sub>3</sub> dans les échantillons frais, et une accumulation pendant la période de six semaines est rare. Tandis que le premier n'a d'ammoniaque que dans les échantillons printaniers, le deuxième est assez riche pendant toute la période d'analyse (1 mg N comme moyenne). Tous deux ont accumulé le NH<sub>4</sub> jusqu'à réaliser des valeurs plus grandes que 1 mg, dans les échantillons gardés dans le terrain (à l'emplacement de récolte, généralement inondé), tandis qu'un échantillon homologue, également enterré, mais dans une station non inondée, a toujours subi des pertes. Dans les échantillons tenus en chambre humide, on constate généralement une diminution de la quantité de NH<sub>4</sub>, mais une accumulation peut se produire quand l'échantillon frais n'en contenait pas. Le sol du *Schoenetum ferruginei* n'a que de faibles quantités d'azote ammoniacal au mois d'avril; dans les échantillons incubés, à une exception près, il y a eu accumulation. Par contre, la teneur en azote nitrique qui est constante l'année durant, quoique modeste (en moyenne 0,5 mg N/100 g sol, au maximum 2,3), augmente beaucoup, aussi bien en chambre humide que dans le terrain. Dans le premier cas, la moyenne atteint 5 mg, le maximum 12 mg; dans le deuxième, les maxima ne se haussent qu'à 4-7 mg en plein été.

### c) Rythme saisonnier dans les accumulations d'azote minéral

La majorité des sols étudiés, biologiquement peu actifs, ne révèlent pas de rythme saisonnier spécial. Cependant, on a observé, en ce qui concerne le contenu initial d'azote ammoniacal :

- que les quantités les plus fortes, si petites soient-elles, sont présentes au printemps,
- qu'elles décroissent à mesure que l'été avance,
- qu'on ne trouve qu'exceptionnellement de petites teneurs à la fin de l'été et en automne.

Parmi les accumulations de NH<sub>4</sub> enregistrées, les seules produites simultanément, dans la plupart des sols étudiés, étaient celles des mois d'avril et de mai.

Les variations dans la teneur en azote nitrique observées chez les échantillons provenant de sols organiques, relativement actifs du point de vue de l'azote, montrent par contre un rythme saisonnier accentué. Conformément aux indications des graphiques établis pour les stations R1, K4, K3 et K14, on peut avancer ce qui suit:

1. En ce qui concerne les échantillons conservés sur le terrain (fig. 21 et 22):

- a) Les maxima se produisent aux mois de juin, juillet ou – exceptionnellement – en août, dans une remarquable corrélation avec les plus hautes températures de la saison.

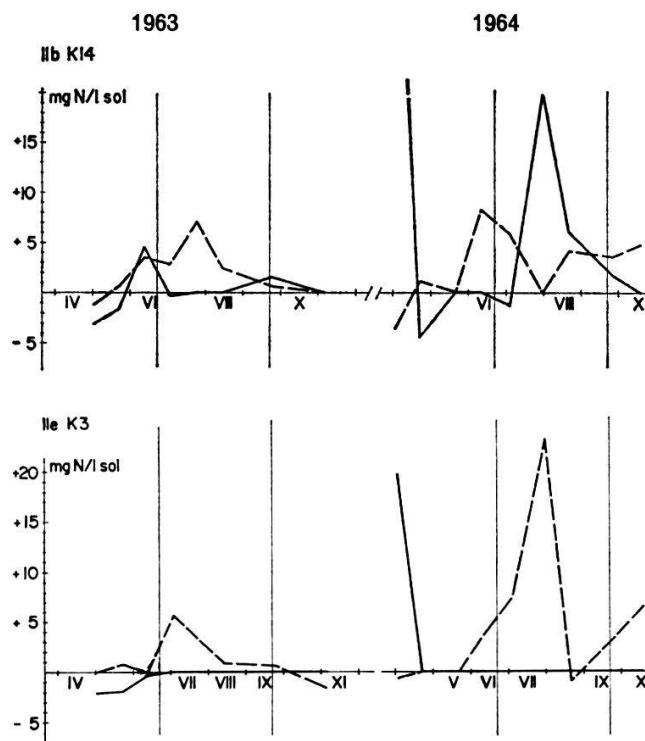


Fig. 21 Rythme saisonnier dans les accumulations d'azote minéral ( $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$ ) 1963 et 1964 chez les échantillons provenant de sols organiques: *Molinietum* intermédiaire (IIb) et *juncetosum* (IIe).

- b) Les mois d'avril et mai amènent généralement une perte d'azote nitrique (excepté R1, 1964).
  - c) Les accumulations furent supérieures durant la saison de végétation de 1964. Ceci est dû probablement aux températures plus élevées et à une sécheresse exceptionnelle (cf. aux graph. 2–4), cause d'une meilleure aération dans ces sols généralement fort mouillés.
2. En ce qui concerne les échantillons gardés au laboratoire (voir graph. 17–20):
- a) Les valeurs d'accumulation sont plus élevées que celles enregistrées sur le terrain, ceci presque indépendamment de l'époque de l'année. La constance des températures favorables au procès de minéralisation en est la cause.

- b) Dans les molinaies humides (IIc, R 1) et intermédiaires (II b, K 14), la courbe qui représente l'accumulation descend à mesure que la saison de végétation avance. Les points culminants sont atteints dans les mois d'avril, mai et juin, indiquant un maximum printanier de l'activité des bactéries.
- c) Dans le *Molinietum juncetosum* (IIa, K 3) et dans le *Schoenetum ferruginei* (V, K 4), les maxima sont enregistrés en septembre et en août. Cela est dû probablement aux meilleures conditions d'aération. Il est à remarquer que, dans ces sols, l'horizon superficiel reste inondé pendant tout le printemps.

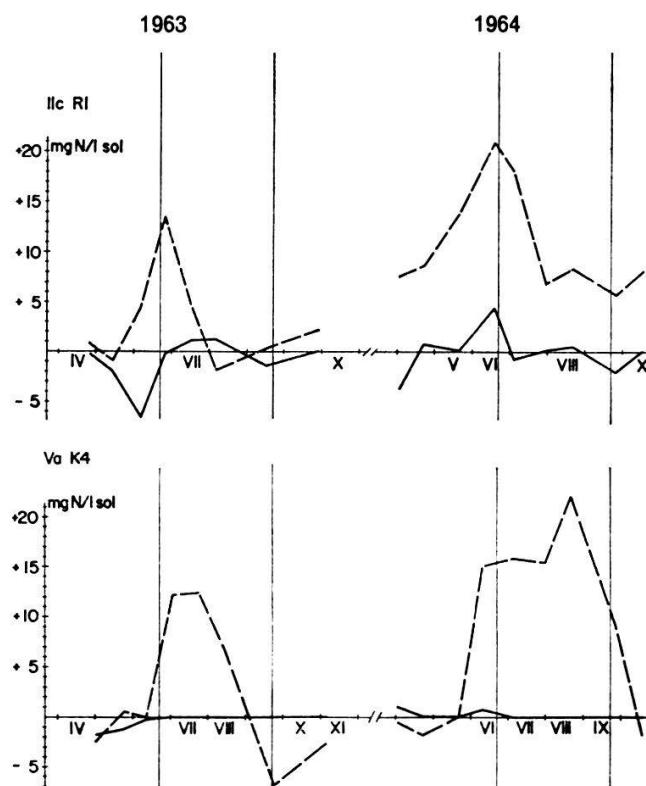


Fig. 22 Comme fig. 21, *Molinietum* humide (IIc) et *Schoenetum* typique (Va).

- d) Une augmentation de la teneur en eau durant le printemps fait diminuer ou empêche l'accumulation (à la station R 1 valeurs plus élevées que 230%, à K 14 110%). Par contre, en été, c'est la diminution excessive de l'humidité qui provoque ce même effet (à R 1 inférieures à 130%, à K14 à 60%, voir graph. № 17).
- e) Des chutes de pluie intenses pendant les jours de prise d'échantillons ou au cours des jours précédents, n'entraînent pas seulement le lessivage de l'azote minéral, mettant ainsi l'échantillon initial à la valeur 0, mais elles semblent être aussi responsables de la diminution des quantités accumulées pendant le temps d'incubation.

De ce qu'on vient de dire, on peut tirer la conclusion qu'il y a un certain parallélisme dans le comportement de ces sols et celui des sols de forêts décrits par ELLENBERG (1964) quant à la corrélation des accumulations d'azote minéral

au terrain avec les températures pendant la période d'incubation. Par contre, la relation des accumulations avec le degré d'humidité n'est pas constante comme dans les exemples donnés par cet auteur. Pour les sols actifs, la corrélation est inverse dans la plupart des cas (p.ex. ceux qui correspondent aux stations K 4, K 3, R 7, B 4, R 16). Dans le *Molinietum* humide (IIc, R 1) seulement, la corrélation est directe quand l'humidité ne dépasse pas la limite de 210% de contenu d'eau par rapport au poids (70% de volume). Les différences constatées entre les sols par nous examinés et ceux des forêts dont il vient d'être question ne doivent pas étonner. ELLENBERG dit que ces forêts ne présentaient à aucun moment une teneur en eau excessive ou une aération insuffisante, mais – tout au contraire – qu'ils étaient généralement assez secs. La majorité des sols qui font l'objet de cette étude par contre, ont présenté durant les deux saisons d'observation des conditions d'humidité exactement opposées à celles dont on vient de parler: saturation en eau ou fort trempage et, en conséquence, aération limitée, ou des quantités retenues avec des forces toujours inférieures à 4 atm. (Ex. 7). Donc, l'humidité n'a fait que rarement défaut, et ceci seulement dans les communautés mésophiles ou faiblement hygrophiles, pendant l'été exceptionnel de 1964. Cela explique le fait que les diminutions du pourcentage d'humidité, en permettant une meilleure aération, ont provoqué une plus grande accumulation de NO<sub>3</sub>.

### 3. Relation entre l'humidité du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique

Pour établir cette relation, on a fait l'essai suivant:

- On a pris par station 16 échantillons de sol à la même profondeur (5 à 12 cm) et on les a bien mélangées.
- Après avoir rendu l'échantillon entier bien homogène, on l'a étendu sur une nappe en plastic, en couche fine, pour le faire sécher.
- Pendant environ 48 heures, on a prélevé de temps à temps une série d'échantillons. Après avoir soustrait de chacun une part suffisante pour déterminer l'humidité, le reste fut versé dans un flacon à grande ouverture, puis transporté dans la chambre humide, c'est-à-dire traité comme pour tous les essais d'accumulation d'azote minéral. On a, en même temps, pesé tous ces flacons avec leur contenu.
- Parmi ces 16 à 18 échantillons, on en a choisi quelques-uns présentant des pourcentages de teneur en eau d'intervalle plus ou moins égal. Pour arriver à des degrés d'humidité plus élevé, quelques nouveaux échantillons ont été artificiellement imbibés d'eau.
- Tous les échantillons ont été conservés en chambre humide pendant six semaines, recouverts d'ouate maintenue humide. En outre, on a pesé le flacon de semaine en semaine et ajouté de l'eau pour rétablir le poids initial. Cet apport d'eau a été effectué à l'aide d'un vaporisateur, superficiellement, afin de maintenir l'humidité du début dans la couche du haut. De cette manière, on a maintenu, le plus possible, entre les mêmes valeurs le gradient d'humidité entre la surface et les couches sous-jacentes.
- L'analyse finale a été effectuée sur un échantillon provenant des couches profondes du sol contenu dans le flacon, chez qui les oscillations d'humidité étaient évidemment réduites au minimum.

Pour l'interprétation des résultats obtenus, il faut bien tenir compte du fait que pendant la période du dessèchement qui a précédé l'essai proprement dit,

les conditions d'aération et de température furent favorables à la nitrification, raison pour laquelle on a enregistré des accumulations de  $\text{NO}_3$  pendant ce laps de temps. Ces quantités ont été soustraites de celles accumulées pendant l'essai proprement dit. Le graphique N° 23 ne présente que la quantité nette de  $\text{NO}_3$  accumulée pendant six semaines. Les deux sols organiques correspondants aux stations K 3 et K 4 fournissent des courbes similaires. Les accumulations de  $\text{NO}_3$  deviennent plus grandes à mesure que le pourcentage d'eau augmente. Les points culminants de chaque courbe coïncident avec des conditions d'humidité voisines de 220% d'eau (par rapport au poids sec). Des quantités d'eau de l'ordre

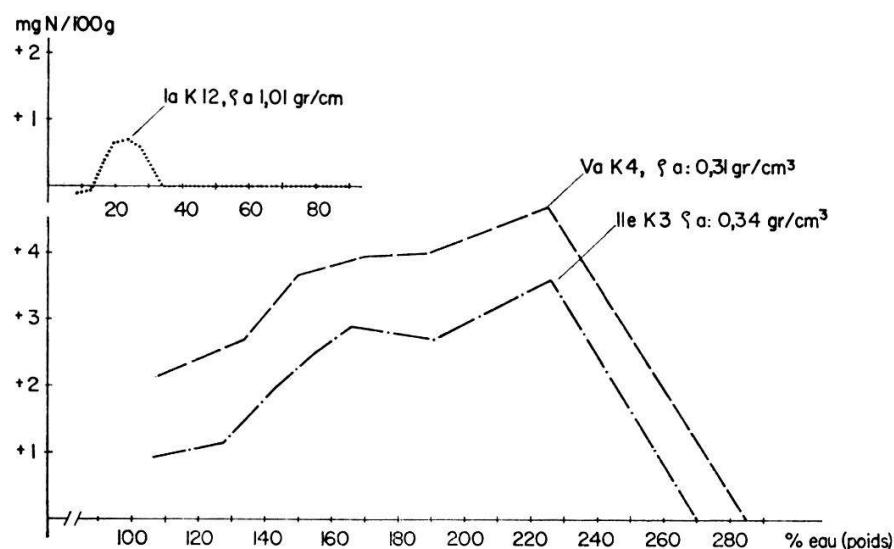


Fig.23 Relation entre l'humidité du sol et la capacité d'accumulation de  $\text{NO}_3$  chez deux sols organiques (K 3 et K 4) et un sol minéral (K 12).

de 270%, qui entraînent une sursaturation et une mauvaise aération, s'opposent à l'accumulation. Celle-ci est aussi entravée par des quantités d'eau inférieures à 100%. La courbe qui correspond à un sol minéral (K 12) ressemble aux deux autres, mais elle a une amplitude moindre, avec des valeurs d'accumulation qui n'atteignent pas 1 mg/100 g sol.

#### 4. Relation entre le contenu d'air des pores du sol et sa capacité d'accumulation d'azote nitrique

Toutes les valeurs d'accumulation de  $\text{NO}_3$  obtenues chez des échantillons soumis à l'incubation en chambre humide, pendant les deux périodes d'investigation, sont représentées dans les graphiques N°s 24 et 25. D'après le pourcentage d'eau (par rapport au poids) que chaque échantillon accusait et sa densité apparente, on a calculé la proportion du volume de pores occupé par l'eau. Cette valeur, mise en rapport avec le volume total des pores, a permis de connaître à quel point celui-ci était occupé d'air à ce moment. Il faut considérer le fait que, si les conditions de température et d'humidité relative en chambre humide ont toujours été invariables durant les six semaines d'incubation, il y a

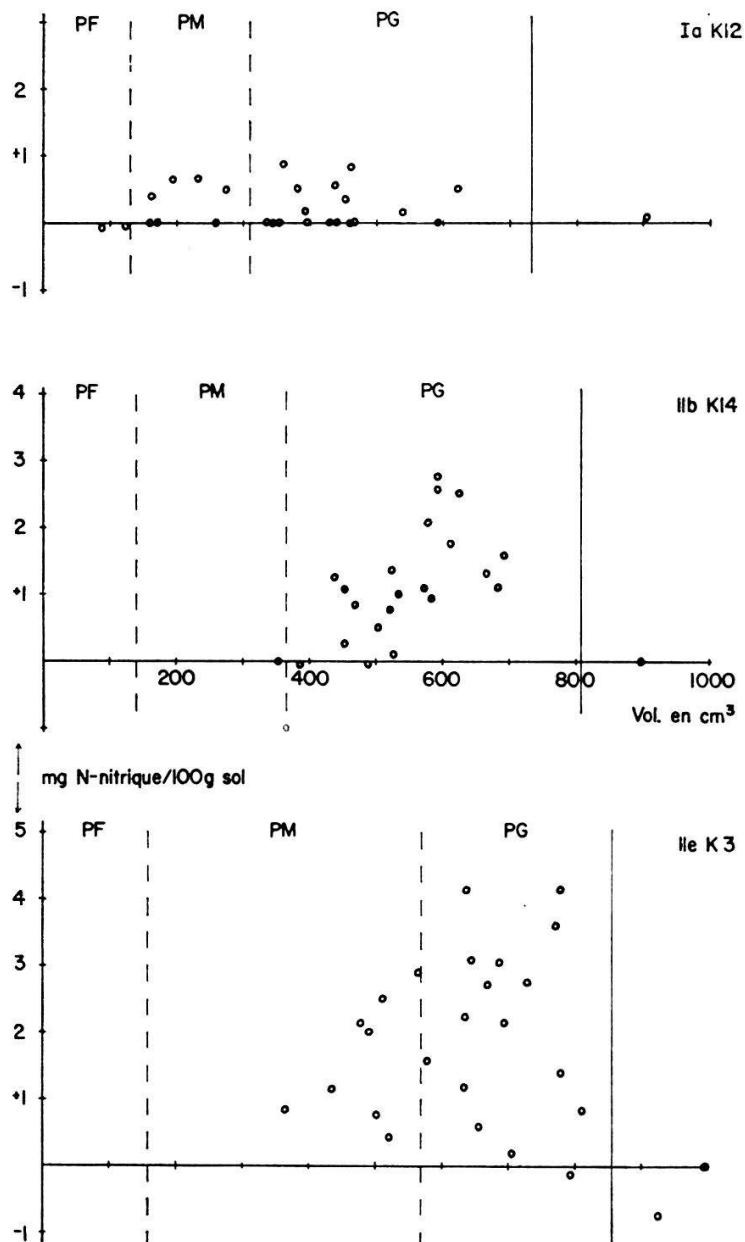


Fig.24 Relation entre le contenu en air du volume poreux du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique. Les points indiquent les accumulations ou les pertes subies dans les échantillons maintenus au laboratoire (chambre humide) par rapport à la proportion de son volume poreux occupé par l'air. K 12 est un *Mesobrometum*, K 14 un *Molinietum* intermédiaire et K 3 un *Molinietum juncetosum*.

PF: pores fins; PM: pores moyens; PG: pores grossiers

eu des différences non seulement dans la teneur en eau dans chaque échantillon, mais aussi dans la saison dans laquelle ils ont été pris. On a vu (chap. EIV, 2c) que l'influence de l'époque de l'année se manifeste même dans l'activité des échantillons en chambre humide. Les échantillons pris au mois de septembre ou d'octobre sont moins actifs que d'autres, pris p.ex. au printemps ou en été, même si le pourcentage d'eau est égal et, par conséquence, l'aération est la même. Malgré ce qui vient d'être dit, on peut observer, en consultant les gra-

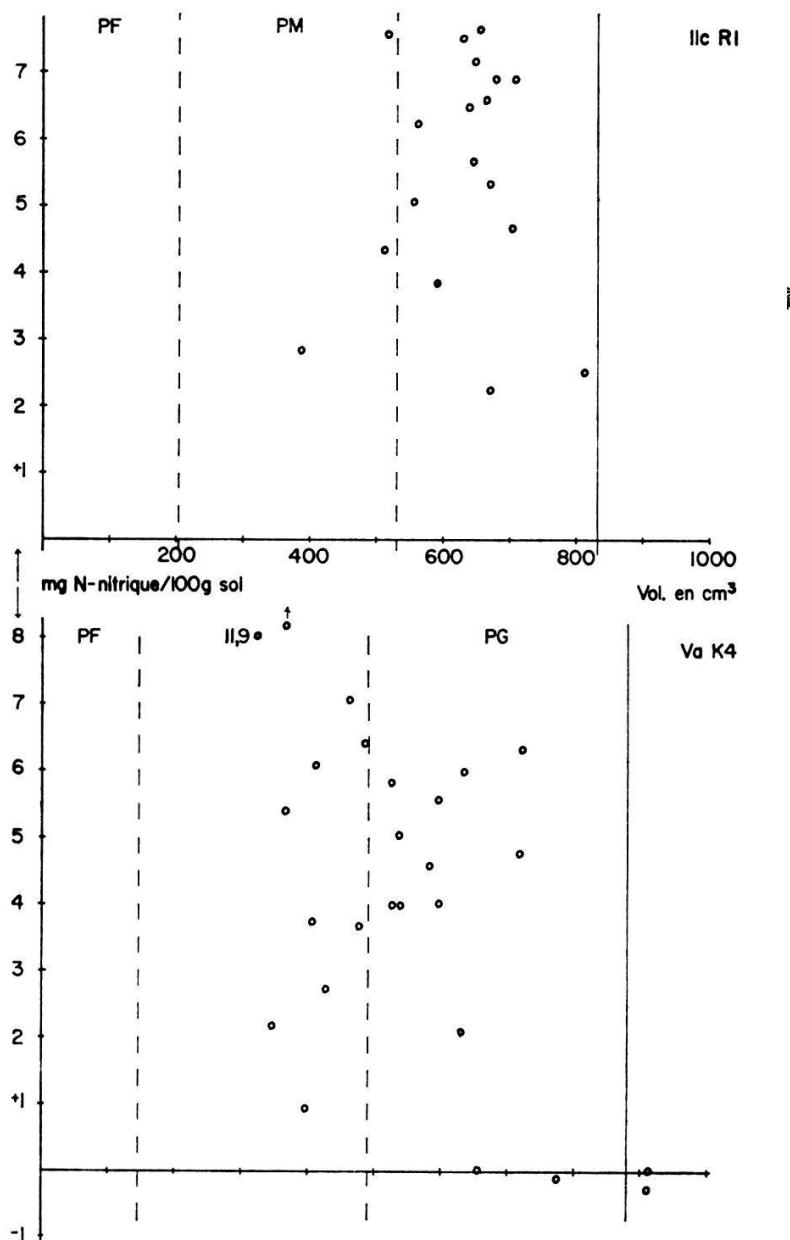


Fig. 25 Relation entre le contenu en air du volume poreux du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique. Les points indiquent les accumulations ou les pertes subies dans les échantillons maintenus au laboratoire (chambre humide) par rapport à la proportion de son volume poreux occupé par l'air. R 1 est un *Molinietum* humide et K 4 un *Schoenetum* typique. PF: pores fins; PM: pores moyens; PG: pores grossiers

phiques établis pour quelques sols relativement actifs, qu'il y a une concentration de hautes valeurs dans une certaine zone des graphiques, tandis que les points qui marquent une activité faible ou nulle, ou même une perte de nitrate, tiennent une position marginale. Le graphique qui correspond à la station K 14 montre clairement que les possibilités que ce sol offre pour l'accumulation de nitrates sont à leur optimum quand le volume de ses pores grossiers est occupé en parties égales par l'eau et par l'air. Les conditions ne sont plus aussi favorables quand la quantité d'eau augmente, et elles sont prohibitives quand l'eau

occupe la totalité du volume des pores. A ce moment-là, l'aération est presque nulle. La constatation que les accumulations de  $\text{NO}_3$  diminuent jusqu'à arriver à zéro chez les échantillons dont l'eau n'est retenue qu'avec des forces inférieures à 1 atm., est assez surprenante.

Les sols des stations K 3 et R 1 montrent aussi comment les conditions les plus favorables pour l'accumulation du  $\text{NO}_3$  sont approximativement les mêmes que celles indiquées pour le sol précédent. A mesure que la teneur en eau diminue, l'accumulation baisse aussi. Quelques valeurs voisines au point de saturation indiquent une accumulation mineure ou même une perte de  $\text{NO}_3$ . Les valeurs les plus hautes de la station K 4 coïncident avec des contenus en eau qui laissent  $\frac{1}{3}$  du volume de pores moyens occupé par l'air. Le sol de la station K 12 sert comme exemple d'un sol à faible capacité de nitrification. Bien que les conditions d'humidité et d'aération soient souvent à leur optimum, les accumulations d'azote enregistrées sont toujours très modestes.

### 5. Relation entre la profondeur de l'horizon et sa capacité d'accumulation d'azote minéral

A deux reprises (fin de l'automne et début de l'été), la méthode destinée à mesurer l'accumulation d'azote minérale a été appliquée à des échantillons provenant de divers horizons du même profil dul sol. Lors de la première, les recherches ont porté sur quatre stations, lors de la seconde, sur onze stations. En tablant sur les résultats obtenus, on arrive aux conclusions suivantes (fig. 26-28):

Le sol du *Mesobrometum* sec (I) jusqu'à une profondeur de 75 cm est très pauvre en azote minéral. A une profondeur de 25 cm, dans le cas du prélèvement estival, on a enregistré un contenu en  $\text{NH}_4$  de 1,18 mg N/100 g sol; après six semaines, il n'y avait plus traces. Une légère nitrification s'était produite chez l'échantillon de surface, comportement déjà observé dans les analyses périodiques, pour toutes les stations du *Mesobrometum*. Dans le *Molinietum* sec (II a, R 8), sur un mull-gley moins organique et plus riche en matériel fin que le précédent, on n'a enregistré aucune quantité de sels solubles d'azote.

Le *Molinietum* intermédiaire sur mull-gley (K 11) n'a qu'à 20 cm de profondeur une quantité de  $\text{NH}_4$  de 2,3 mg N/100 g sol. Elle disparaît après l'incubation, en même temps que se produit une légère accumulation de  $\text{NO}_3$ , pas plus forte que 0,3 mg N/100 g sol, en dessus du niveau de la nappe phréatique.

Le *Molinietum* intermédiaire (II b, R 6) sur mull-gley produit une très petite accumulation d'azote ammoniacal à des profondeurs de 10 à 30 cm. Le *Molinietum* intermédiaire (II b, K 14) présente des quantités initiales d'azote nitrique allant jusqu'à 0,7 mg N/100 g sol dans les horizons de moins de 25 cm de profondeur, et aussi une capacité d'accumulation oscillant entre 2 et 1,5 mg N/100 g sol. En dessous de 35 cm, il n'y a qu'une très petite quantité de  $\text{NH}_4$  qui disparaît au cours de l'incubation.

Les sols minéraux appartenant au *Molinietum* humide et au *Junco-Molinietum* se distinguent quant à l'accumulation d'azote minéral des sols tourbeux

qui supportent aussi un *Molinietum* humide ou un *Molinietum juncetosum*. Celui du *Junco-Molinietum* (R2) est spécialement pauvre, bien qu'il arrive à produire de petites accumulations de NH<sub>4</sub>. Celui du *Molinietum* humide (R6) augmente considérablement les faibles quantités initiales de NO<sub>3</sub>. Cette activité est due probablement à sa plus forte teneur en matière organique et à sa meilleure aération. Mais aucun des deux n'arrive à égaler la capacité d'accumulation des sols tourbeux des stations R 1 et K 3. Le premier qui supporte un *Molinietum* humide

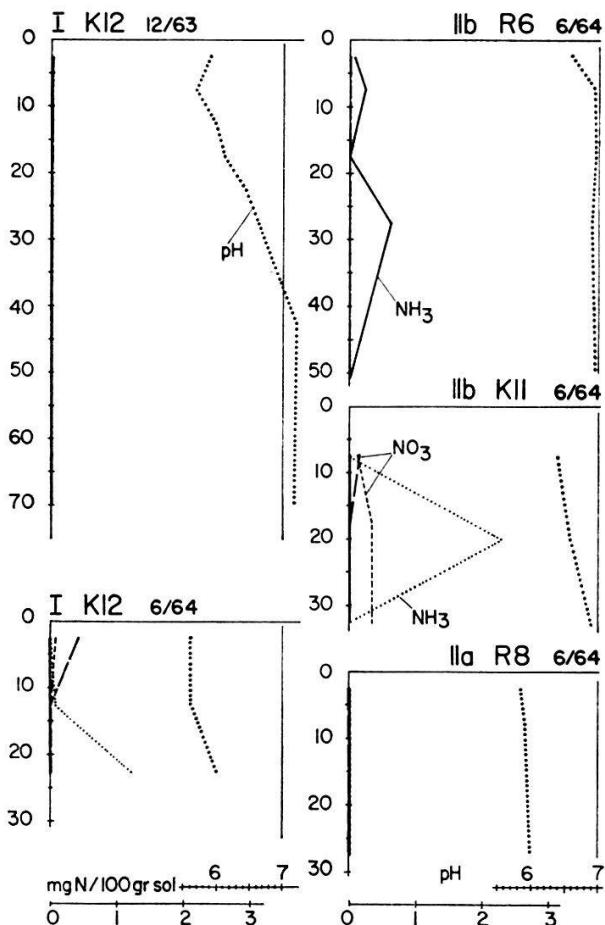


Fig.26 Relation entre la profondeur de l'horizon, son pH et sa capacité d'accumulation d'azote minéral (NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub>) chez quelques profils du sol: *Mesobrometum* (I), *Molinietum* sec (IIa) et intermédiaire (IIb).

atteint des valeurs de 10,79 mg N/100 g sol dans l'horizon superficiel, qui vont diminuant graduellement jusqu'à 3,4 mg dans la profondeur de 35 cm. Aux mêmes profondeurs, le deuxième accuse des valeurs de 3 resp. 6 mg. Chez celui-ci, les valeurs sont les mêmes aux deux époques de l'année dont nous avons parlé. Les quantités initiales de NO<sub>3</sub> sont à leur maximum vers 15 cm de profondeur, puis diminuent rapidement soit vers la surface soit vers le bas, brusquement dans le cas du sol de R 1, graduellement dans celui du sol de K 3. Dans les deux cas, les horizons superficiels contiennent du NH<sub>4</sub> dans une relation indirecte avec le contenu en NO<sub>3</sub>. Le sol de R 1 accumule même de l'azote ammoniacal.

Le sol du *Schoenetum ferruginei* (K 4) a une activité semblable à celle des autres sols tourbeux. Aux deux époques de l'année où il a été étudié, il accuse de faibles quantités initiales de  $\text{NO}_3$  dans les horizons sis en dessus de 25 cm. L'accumulation atteint 5 à 6 mg dans ceux-ci, mais jamais plus que 1 mg à une plus grande profondeur. De l'azote ammoniacal n'a été constaté que dans les échantillons estivaux à la profondeur de 25 cm, en coïncidence avec une absence totale de  $\text{NO}_3$ . Des accumulations ne se sont produites en surface que dans les échantil-

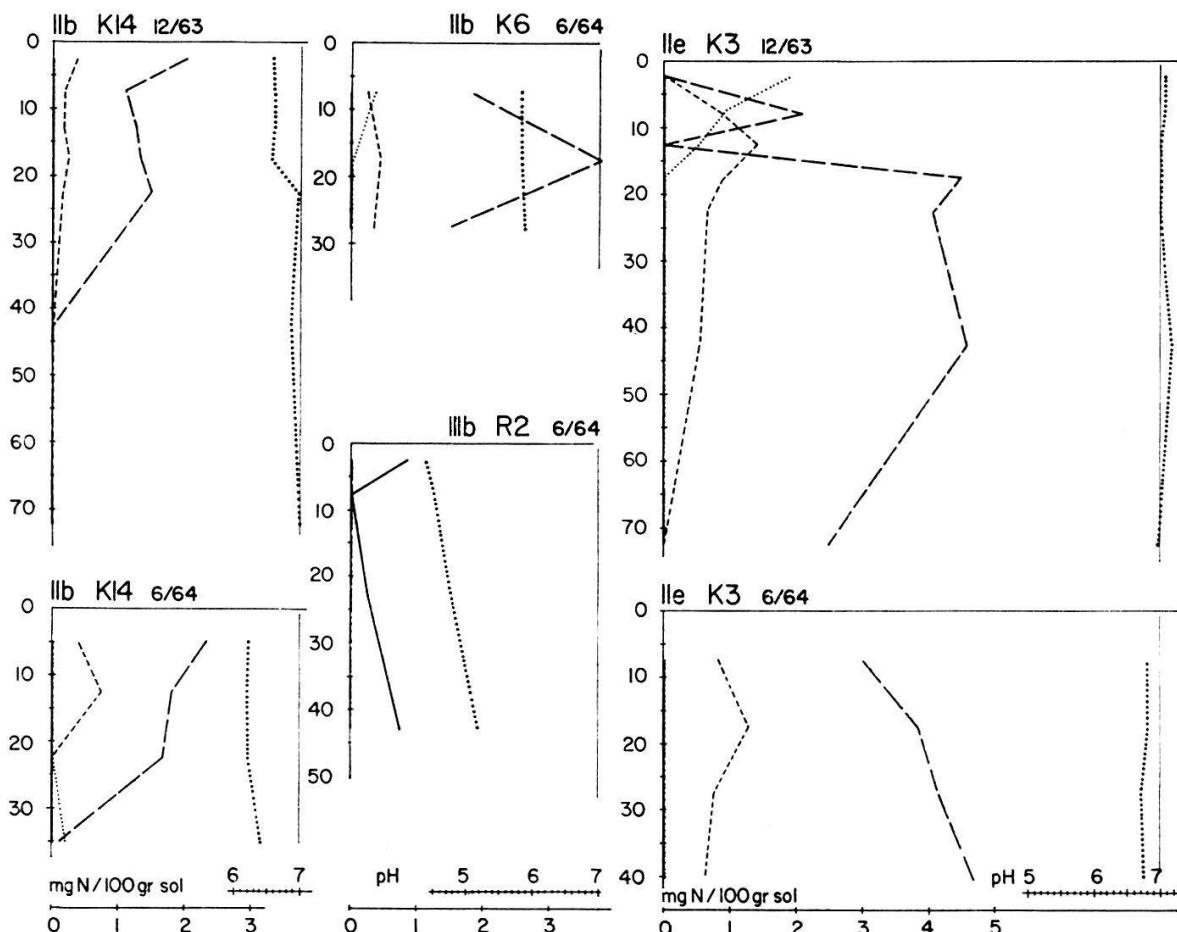


Fig.27 Comme fig.26, *Molinietum* intermédiaire (IIb) et *juncetosum* (IIe) et *Junco-Molinietum* humide (IIIb).

lons automnaux, et spécialement dans les couches où l'accumulation de  $\text{NH}_3$  est faible.

Le sol du *Caricetum elatae* (K 10) a des quantités de  $\text{NH}_4$  variant entre 2 et 5,5 mg N/100 g sol de 15 cm à 80 cm de profondeur. Celles-ci ont sensiblement diminué en six semaines, en même temps que se produisait une petite accumulation de  $\text{NO}_3$  dans les horizons plus profonds.

Les échantillons du prélèvement d'été provenaient tous, à l'exception de K 10, des horizons situés en dessus du niveau de la nappe phréatique. Ceux prélevés en automne, par contre, appartenaient – sauf les superficiels – à des horizons sis en dessous de ce niveau. On a pu observer dans ceux-ci une étroite corrélation

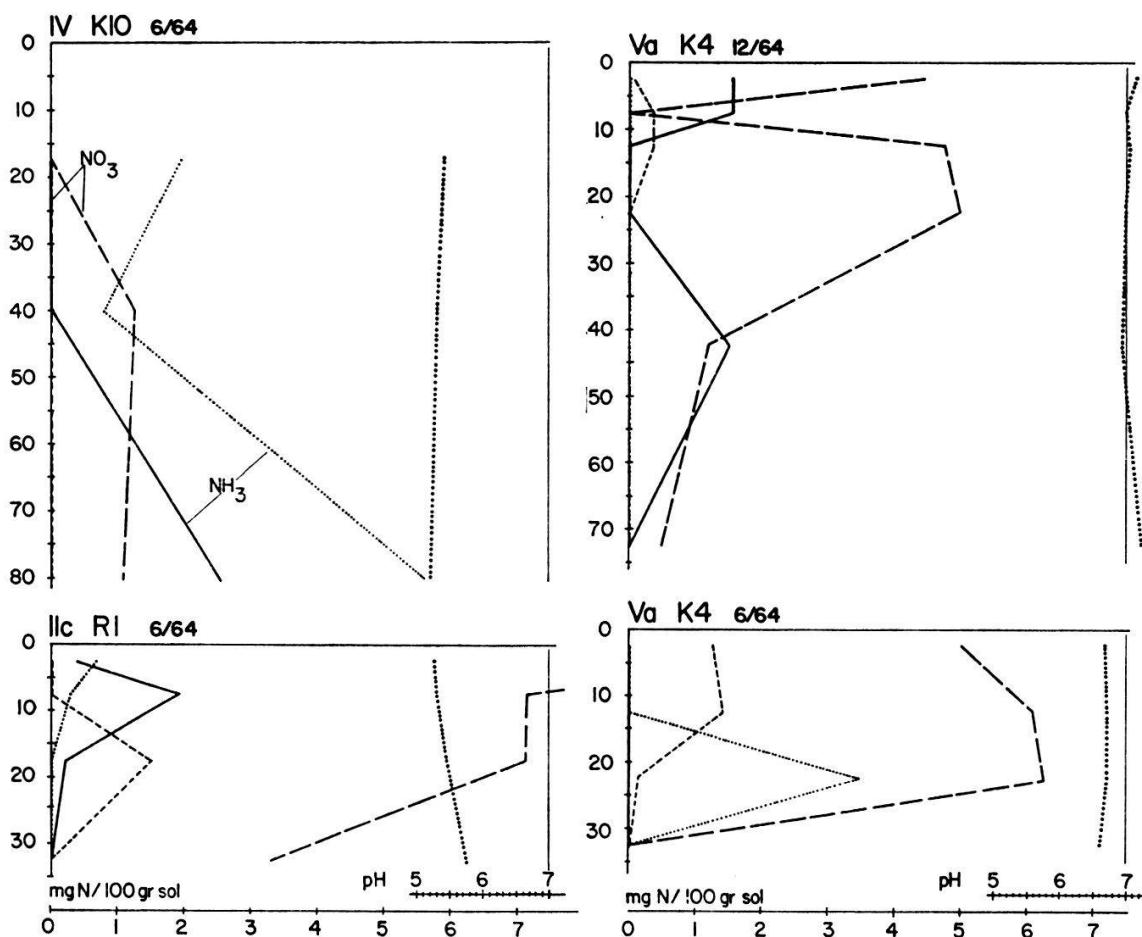


Fig.28 Comme fig.26, *Molinietum humide* (IIc), *Caricetum davallianae* (IV) et *Schoenetum typique* (Va).

entre le niveau de la nappe phréatique et la capacité d'accumulation d'azote nitrique des horizons adjacents. Dans les sols des stations K 3, K 4 et K 14, ce niveau se trouvait près de la surface au moment du prélèvement des échantillons. Il descendait après avoir atteint la surface du fait des abondantes chutes de pluie en mi-novembre. Dans les échantillons extraits d'une couche sise juste en dessous de ce niveau, l'accumulation apparaît affaiblie (voire même arrêtée) par rapport à celle atteinte dans les autres horizons. Etant donné la régularité de ce phénomène, on signale ce fait, même si on ne peut pas l'expliquer.

## F. Discussion et conclusions

### I. Facteur eau

Tandis que dans les chapitres précédents le facteur écologique était au premier plan des considérations, on résumera et discutera maintenant les résultats concernant les communautés végétales particulières. En ce qui concerne l'approvisionnement en azote (et aussi le pH et les conditions climatiques), presque

toutes les prairies à litière constituent un groupe uniforme. Leurs sols sont en général constamment très pauvres en azote, c'est pourquoi la subsistance des associations n'est garantie qu'avec une économie très stricte de ce constituant nutritif indispensable. Par contre, ces communautés se distinguent nettement dans leur balance d'eau l'une de l'autre aussi bien en ce qui concerne leurs variations du niveau de la nappe phréatique que le dessèchement estival des couches supérieures de ses sols.

Le *Mesobrometum* occupe des stations étudiées celles qui sont relativement les plus sèches. La couche superficielle de ces sols (jusqu'à 30 cm de profondeur) n'est jamais atteinte par la nappe phréatique. Le niveau phréatique s'abaisse pendant l'été en dessous de 2 m et il reste en dessous de 1 m pour une durée de 3 mois et demi au minimum. Le dessèchement des horizons superficiels pendant ces périodes est très fort. Les contenus en eau extrêmes, mesurés dans les deux mois de juillet (entre 5 et 15 cm de profondeur) étaient de 15,8 et de 16% par rapport au poids. Ces deux valeurs équivalent à des forces de rétention de l'eau plus grandes que celle correspondant au point de flétrissement permanent. Dans ce sol et cet horizon, 15 atm. de tension de rétention correspondent approximativement à un contenu en eau de 19,5%. Le *Mesobrometum* est la seule association où cette limite est dépassée temporairement, au moins dans l'horizon supérieur, c'est-à-dire la seule dans laquelle des espèces de plantes munies d'un système radiculaire peu profond doivent pouvoir supporter des périodes critiques quant à leur économie d'eau.

En ce qui concerne les forces de rétention de l'eau dans les horizons supérieurs des sols de toutes les autres associations étudiées, on n'observe pas de différences remarquables. Les pourcentages d'humidité enregistrés ne dépassaient jamais des valeurs correspondant à 3,8 atm. de tension de rétention. Deux sols faisaient exception, et ceci seulement à deux occasions (II b, K 11 et III b, R 2) en arrivant à 5,5 et 7,2 atm. Donc le point de flétrissement n'est jamais atteint, quoique parfois l'approvisionnement hydrique soit partiellement limité.

On ne constate pas cette même uniformité dans les variations du niveau de la nappe phréatique. La durée des laps de temps pendant lesquels un certain horizon du sol est au-dessus de la nappe phréatique ou inondée par elle sont différents et permettent de ranger les unités de végétation en groupes de différents comportements. (Toutes les indications suivantes se rapportent aux périodes végétatives 1963 et 1964.)

Dans les stations peuplées par les formes de transition entre le *Mesobrometum* et le *Molinietum* (I-II), les périodes durant lesquelles le niveau reste en dessous de 1 m sont égales à celles du *Mesobrometum*. Mais les montées sont plus prononcées, elles arrivent à 15 cm de la surface du sol.

Dans les sous-unités sèches du *Molinietum* (II a) et du *Junco-Molinietum* (III a), le niveau phréatique descend jusqu'à 1,30 et 2 m. Leurs montées d'automne et de printemps atteignent les 15 cm, et même la surface pendant de très courtes périodes (fig. 10b, courbe IIa). Il reste en dessous de 1 m pendant des périodes plus courtes que 3 mois et demi.

Dans le *Molinietum* intermédiaire (II b), les descentes maxima d'été oscillent entre 90 et 140 cm, et les montées atteignent la surface. La permanence du niveau en dessous de 1 m se prolonge pendant plus de 1 mois et demi.

Dans le *Molinietum* humide (II c), le *Molinietum juncetosum* (II e), le *Molinietum schoenetosum* (II d) et le *Schoenetum typicum* (Va), les variations sont assez semblables. L'horizon superficiel est chaque année submergé par la nappe phréatique. Les descentes maxima d'été oscillent entre 0,60 et 1,70 m; mais le niveau ne reste jamais en dessous de 1 m pendant des périodes plus longues que 1 mois et demi, et ceci dans l'année exceptionnellement sèche 1964.

Le *Junco-Molinietum* humide (III b) a les mêmes caractéristiques que le groupe antérieur, mais son horizon superficiel n'est pas atteint par la nappe.

Le *Caricetum davalliana* présente des valeurs moins extrêmes que les unités submentionnées. Aux stations de la Reuss, le niveau de la nappe ne descend jamais plus bas que 50 cm; tandis qu'à Boppelsen la limite est à 1 m. Dans cette dernière région spécialement, il se maintient pendant six mois en dessus de 10 cm. Il est intéressant de constater qu'à Kloten où les variations du niveau phréatique sont plus extrêmes (de plus grandes amplitudes) que dans les deux autres régions, le *Caricetum davalliana* n'est pas représenté.

Dans le *Junco-Molinietum* très humide (III c) aussi bien que dans le *Caricetum fuscae* (IV), le niveau de la nappe phréatique ne descend que pendant des périodes plus courtes que trois semaines plus bas que 50 cm. Les maxima arrivent à 60 cm. Dans le *Caricetum fuscae* cependant, on n'enregistre jamais des valeurs de rétention de l'eau plus grandes que 0,025 atm., ce qui indique un état constant voisin de la saturation même dans les couches superficielles. Dans le *Schoenetum* de pente, le niveau ne descend pas plus bas que 30 cm et il reste seulement pendant deux mois en dessous de 20 cm. Sa stabilité est due à l'influence des sources qui l'alimentent.

Le *Caricetum elatae* supporte de fortes inondations printanières et automnales et des abaissements considérables du niveau (1 m et davantage) en été. Il se maintient pendant deux à quatre mois en dessous de 50 cm. Dans cette association, l'état hydrique est sujet à des fluctuations plus grandes que dans chaque autre association étudiée.

Récapitativement, on peut constater que le *Molinietum* n'est pas caractérisé par une amplitude des variations d'humidité plus grande que les autres associations de prairies médioeuropéennes. Le *Caricetum elatae* et le *Mesobrometum* vivent dans des conditions beaucoup plus extrêmes, et quelques sous-associations du *Molinietum* se distinguent même par des fluctuations de la nappe phréatique très petites.

## II. Facteur azote

Les résultats obtenus des essais périodiques qui ont eu pour but de connaître la capacité d'accumulation d'azote minéral des sols en question, permettent de déduire les conclusions suivantes:

a) Le trait caractéristique de la plupart des stations de recherche est la faible accumulation d'azote minéral. Toutes les stations appartenant au *Mesobrometum*, au *Molinietum sec*, au *Caricetum davalliana* et au *Schoenetum nigricantis* correspondent au même schéma :

1. le sol frais ne contient que peu d'azote ammoniacal et encore moins d'azote nitrique,
2. pendant la période d'incubation, ces quantités faibles d'azote minéral se perdent totalement.

L'activité de ces sols, en ce qui concerne l'azote, est donc presque nulle. Seulement dans le *Mesobrometum* il se produit une faible accumulation d'azote nitrique.

b) Les sols organiques (avec un contenu en matière organique plus grand que 25%) se sont montrés remarquablement actifs dans la minéralisation de l'azote.

1. Les plus humides, avec le niveau de la nappe phréatique presque constamment proche de la surface – c'est-à-dire dépourvus d'oxygène – ont accumulé de l'azote ammoniacal, mais ont été toujours exempts d'azote nitrique. Ils correspondent au *Caricetum fuscae* (VI) et au *Caricetum elatae* (VIII).
2. Les moins humides, par contre, ont présenté une accumulation d'azote nitrique comparable à celle mentionnée par ELLENBERG (1964) pour des sols de forêt, et seulement de légères et sporadiques accumulations de NH<sub>4</sub>. Ces sols appartiennent aux stations peuplées par le *Molinietum juncetosum* (II e), le *Junco-Molinietum* humide (III b) et le *Schoenetum* typique (Va).

La richesse relative en azote minéral de ces sols ne semble pas être indispensable pour l'existence des communautés qui les peuplent. Le *Molinietum* humide (II c) et le *Molinietum juncetosum* (III b) par exemple, prospèrent également dans des stations avec des sols d'activité biologique très réduite. Le *Molinietum* intermédiaire (II b) occupe tantôt des stations pauvres, tantôt des stations moyennement actives. Il est évident que le *Molinietum* a une forte adaptabilité en ce qui concerne sa nutrition azotée. Même si généralement il se trouve sur des sols très pauvres en substances azotées solubles, sa présence n'est pas nécessairement restreinte à ceux-ci, puisqu'on le trouve aussi installé dans des stations avec des sols relativement riches (stations K 14, R 1 et K 3; fig. 17 et 18).

On ne peut pas affirmer que *Molinia* et ses espèces compagnes aient besoin d'un sol pauvre pour se développer normalement. L'accès aux habitats qui assureraient une plus riche nutrition est limitée par la concurrence. Le développement vigoureux de certaines espèces, quand elles peuvent profiter d'un sol riche, et par conséquent leur expansion rapide au début de la période de végétation, sont des avantages auxquels *Molinia* ne peut rien opposer, car sa venue est tardive après la saison froide. Elle peut dominer et se maintenir dans une station avec sol riche sous condition qu'un autre facteur écologique empêche l'installation d'espèces concurrentes, comme par exemple l'inondation prolongée par la nappe phréatique au début de la période végétative.

Par contre, la descente estivale de la nappe phréatique et le dessèchement consécutif de l'horizon superficiel ne sont pas des facteurs qui assurent à *Molinia*,

qui a un système radiculaire spécialement étendu, sa prépondérance dans une station déterminée. On a prouvé (fig. 12) que même dans les étés spécialement secs, les sols du *Molinietum* n'arrivent jamais à retenir l'eau avec des forces plus grandes que 7 atm. (et ceci seulement exceptionnellement dans une année très sèche).

GRABHERR (1942) a démontré que *Molinia*, en culture pure, se montre sensible à l'enrichissement nutritif de son substrat en augmentant sa croissance. Mais elle ne réagit pas de la même façon dans des conditions de libre compétition. L'apport d'engrais a cet effet qu'elle succombe à côté d'espèces plus agressives, capables d'utiliser plus rapidement les substances nutritives. La fertilisation provoque donc un profond changement dans la prairie à *Molinia*. Cela s'extériorise non seulement dans le terrain gagné par *Vicia cracca*, *Symphytum officinale*, *Tragopogon pratensis*, mais aussi dans l'apparition d'espèces nouvelles, comme p.ex. *Arrhenatherum*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium pratense*, *T. repens* et *Taraxacum officinale*, etc. La modification est complète lorsqu'à l'amendement vient s'ajouter un changement de la fréquence et de l'époque du fauchage. Plus tôt et plus fréquemment effectue-t-on la coupe, plus vite disparaissent *Molinia* et ses espèces compagnes.

Un autre phénomène de substitution se produit quand la coupe annuelle n'est pas effectuée. L'accumulation dans l'horizon superficiel de la matière végétale produite chaque saison entraîne un enrichissement graduel du sol. En conséquence, des espèces comme *Filipendula ulmaria*, *Cirsium oleraceum*, *Carex acutiformis*, *Eupatorium cannabinum*, etc., s'installent ou se développent avec plus de vigueur. La compétition devient toujours plus désavantageuse pour *Molinia* et les espèces du *Molinietum* et aboutit dans la formation d'un *Filipenduletum*. Plus tard, des arbustes et des arbres comme *Frangula*, différentes espèces de *Salix*, *Viburnum*, etc., qui ne souffrent plus du fauchage annuel, peuvent transformer la prairie en broussaille, stade précurseur de la forêt.

Il est bien probable que la capacité de *Molinia* et de plusieurs de ses compagnes (*Succisa*, *Potentilla*, *Selinum*, etc.) de prospérer sur des sols pauvres est due au fait que leurs organes souterrains servent de réservoirs des substances nutritives indispensables (comme les combinaisons de N ou de P) pendant la saison défavorable. Ainsi une nouvelle masse végétative est produite chaque année grâce aux mêmes substances essentielles, qui sont mobilisées tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre au printemps et en automne. Le temps auquel on effectue habituellement le fauchage de la prairie à *Molinia* est tel que le rythme interne des plantes n'est pas rompu. La masse de matière organique enlevée au *Molinietum*, quoique fort copieuse si l'on considère la pauvreté du sol, a une relation C/N très grande. Cela veut dire que, chaque année, on récolte seulement les hydrates de carbone produits par l'activité photosynthétique correspondant à la saison de végétation. Ce système de fauchage peut être appliqué infiniment sans que le rendement de la prairie à *Molinia* diminue.

Par contre, le fauchage de la prairie effectué en plein été entraîne une forte diminution du rendement de la prairie (si on n'amende pas en même temps).

Ceci s'explique par le fait qu'une coupe prématuée n'enlève pas seulement les hydrates de carbone, mais aussi les protéines et les éléments minéraux qui, à ce moment, sont distribuées dans les feuilles et les tiges et qui ne peuvent pas être remplacés facilement, vu la pauvreté du sol. CHWASTEK (1963) donne des résultats d'analyses effectuées sur *Molinia* pendant la période de végétation, qui confirment bien cette idée. Les quantités de N total et de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> présentes dans les rejetons atteignent leur maximum au début de la période de végétation et diminuent à mesure que celle-ci avance. Dans les racines, par contre, les quantités accusent un minimum dans les mois de juillet et d'août et des maxima automnaux et printaniers. Ceci indique qu'il y a réellement un transport vers les parties aériennes de la plante pendant la période de l'allongement des tiges et de l'épiage.

Dans le mémoire de CHWASTEK (1963), les quantités de N total et de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ont été considérées par rapport au poids sec, ce qui explique leur diminution constante au cours de l'été. Les quantités d'hydrates de carbone, spécialement de cellulose, augmentent pendant cette période et jusqu'au moment de l'épiage, à une allure accélérée. Pour cette raison, les quantités relatives de substances azotées et phosphorées diminuent constamment, même quand les quantités absolues augmentent. A partir du moment de l'épiage, période à laquelle la masse de matière sèche ne subit pas de changement considérable, cette diminution doit être interprétée autrement. La baisse des quantités du N total et du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les rejetons, coïncidant avec une hausse dans les racines, montre bien qu'une migration se produit vers le collet et les organes souterrains.

### III. Facteur réaction des sols

On a constaté, en ce qui concerne la réaction des sols, qu'elle est assez uniforme dans toutes les communautés observées, sauf chez le *Junco-Molinietum*, le *Caricetum fuscae* et le *Caricetum elatae*. Aussi bien le *Junco-Molinietum* humide (R2) que les sous-associations sèches (K15) ne présentent que des valeurs de pH inférieures à 5,5. L'acidité du sol est bien mise en évidence par la présence des espèces comme *Calluna vulgaris*, *Hieracium umbellatum*, *Agrostis canina*, *Viola canina*, etc.

### Résumé

Les prairies à litière sont des prairies non amendées qui fournissent la paille pour le bétail. Dans le plateau suisse, elles deviennent de plus en plus rares à cause de la facilité avec laquelle le paysan peut les transformer en prairies à foin. Dans ce but, il a recours à la fertilisation, au changement dans le régime de fauchage et au drainage artificiel quand il s'agit d'un endroit très humide.

Pendant deux saisons végétatives (1963 et 1964) on a étudié 34 stations représentatives de 14 sous-unités appartenant aux associations suivantes: *Mesobrometum*, *Molinietum*, *Junco-Molinietum*, *Caricetum davallianae*, *Schoenetum*, *Caricetum fuscae* et *Caricetum elatae*.

Le facteur eau a été étudiée en ce qui concerne les variations du niveau de la nappe phréatique et la tension de rétention de l'eau dans le sol.

Le facteur azote a été analysé d'après le pouvoir des sols à en produire et accumuler les diverses formes minérales ( $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$ ). On a déterminé périodiquement la quantité d'azote minéralisé après 6 semaines d'incubation sur le terrain et au laboratoire.

On a mesuré aussi périodiquement le pH des sols correspondant aux communautés en observation. Une étude pédologique plus intense fut effectuée sur un groupe de 11 de ces sols (matière organique, densité réelle et apparente, volume poreux, description du profil, etc.). De même, on a fait des observations microclimatiques. Sur la base des résultats obtenus on peut conclure que :

1<sup>o</sup> Le dynamisme d'ensemble de l'azote dans les sols des communautés en question est très faible.

2<sup>o</sup> Seulement dans les sols organiques l'activité biologique est relativement forte. Chez ceux-ci se produisent des accumulations, soit d'azote nitrique, soit d'azote ammoniacal.

3<sup>o</sup> Cette relative richesse en azote utilisable ne semble pas pouvoir être mise en relation avec une unité végétale déterminée.

4<sup>o</sup> Du point de vue provision d'eau, le sol du *Mesobrometum* est le seul qui, au moins dans son horizon superficiel (5 à 15 cm), présente en été des forces de rétention de l'eau supérieures à celles correspondant au point de flétrissement permanent (15 atm.).

5<sup>o</sup> Les sols des autres associations ne subissent qu'exceptionnellement des forces supérieures à 4 atm. (le maximum a été 7 atm.).

6<sup>o</sup> Les différentes unités de végétation peuvent bien se différencier d'après les variations du niveau de la nappe phréatique et les périodes pendant lesquelles leurs horizons restent au-dessus de celui-ci ou sont inondés à cause de ses montées.

7<sup>o</sup> La réaction pH, sujette à des variations saisonnières évidentes, est assez semblable dans la plupart des communautés étudiés. Seuls le *Junco-Molinietum*, le *Caricetum fuscae* et le *Caricetum elatae* diffèrent à cause de l'acidité prononcée de ces sols.

## Bibliographie

- AMBROZ, Z., u. BALÁTOVÁ-TULÁČKOVÁ, E., 1962: Der Humus- und Mikrobenanteil in Böden einiger Wiesengesellschaften im Opava-Flußtal in bezug auf Standort und Pflanzenbestand. Prirodovedny Casopis slezsky 23, 161–174.
- CHWASTEK, M., 1963: The influence of nutritional soil resources, especially phosphorus content, on the dominance of *Molinia coerulea* (L.) Moench in the meadow sward. The Poznan Soc. of Friends of Sci. Dept. of agric. and sylvic. Sci. 14, 277–356.
- CONWAY, E.J., 1947: Microdiffusion and volumetric error. 2nd ed. London 1947.
- DUCHAUFOUR, Ph., 1965: Précis de pédologie. Paris 1965, 481 p.
- 1960: Stations, types d'humus et groupements écologiques. Rev. forest. franç. 1960, N° 7, 484–494.
- DUTOIT, D., 1924: Les associations végétales des Sous-Alpes de Vevey (Suisse). Diss. Univ. Lausanne, Evian-les-Bains 1924, 85 p.
- EICKE-JENNE, J., 1960: Sukzessionsstudien in der Vegetation des Ammersees in Oberbayern. Bot.Jb. 79, 447–520.
- ELLENBERG, H., 1939: Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen- und Buchen-Mischwaldgesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt.florist.-soziol. Arb.gem.Niedersachsen 5, 3–135.
- 1952: Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung. Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie II. Stuttgart 1952, 143 p.
- 1956: Grundlagen der Vegetationsgliederung. 1.Teil: Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. In: Bd.IV, 1, der Einführung in die Phytologie von H. WALTER. Stuttgart 1956, 136 p.
- 1958: Bodenreaktion (einschliesslich Kalkfrage). Handb.Pflanzenphys. 4, 638–708.

- 1963: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In: Bd. IV, 2, der Einführung in die Phytogeographie von H.WALTER. Stuttgart 1963, 943 p.
  - 1964: Stickstoff als Standortsfaktor. Ber.dtsch.bot.Ges. 77, 82–92.
- ESKUCHE, U., 1955: Vergleichende Standortsuntersuchungen an Wiesen im Donauried bei Herbertingen. J.ber.Ver.vaterl.Naturk.Württemberg 109, 33–135.
- 1962: Herkunft, Bewegung und Verbleib des Wassers in den Böden verschiedener Pflanzengesellschaften des Erfttales. Arb.Bundesanst.Vegetationskartierung Stolzenau/Weser 1962, 72 p.
- FRANZ, H., 1960: Feldbodenkunde als Grundlage der Standortsbeurteilung und Bodenwirtschaft. Wien/München 1960, 583 p.
- FREI, E., 1953: Beurteilung der Körnung des Bodens nach dem Dreieckdiagramm. Landw.Jb.d. Schweiz, N.F. 2, 575–580.
- u. JUHASZ, P., 1963: Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz.landw.Forsch. II, 3, 249–307.
- FRÜH, E., 1930: Geographie der Schweiz. I., Zürich 1930, 610 p.
- FRÜH, J., u. SCHRÖTER, C., 1904: Die Moore der Schweiz, mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beitr.Geol.Schweiz, Geotechn.Ser. 3. Lieferung, 751 p.
- GRABHERR, W., 1942: Über die Nährstoffökologie und das Formbildungsvermögen der Gräsergattung *Molinia* (Schrank) in Abhängigkeit von Nährstoffgehalt und Reaktion des Bodens. Mitt.Forstwirtsch.u.Forstwiss. 1942, 172–196.
- GÖRS, S., 1961: Das Pfrunger Ried. Die Pflanzengesellschaften eines oberschwäbischen Moorgebietes. Veröff.württ.Landesst.Naturschutz u.Landschaftspflege 27/28, 5–45.
- ISSLER, E., 1932: Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhénane avoisinante. 3. Les prairies. Bull.Soc.Hist.nat.Colmar 23, 433–519.
- KAISSER, E., 1943: Das *Molinietum coeruleae* (die Pfeifengras- oder Besenriedwiese). Mitt.thüring.bot.Ver., N.F., H. 50, 106–118.
- KOCH, W., 1926: Die Vegetationseinheiten der Linthebene, unter Berücksichtigung der Verhältnisse in der Nordostschweiz. Jb.naturw.Ges. St.Gallen 61, 144 p.
- KORNECK, D., 1962: Die Pfeifengraswiesen und ihre wichtigsten Kontaktgesellschaften in der nördlichen Oberrheinebene und im Schweinfurter Trockengebiet. Beitr.naturk.Forsch.SW-Deutschland 21, 55–57.
- KOVÁCS, M., 1962: Die Moorwiesen Ungarns. Die Vegetation ungarischer Landschaften 3, 214 p.
- 1964: Zönologische und experimentell-ökologische Untersuchungen in der Umgebung von Parad. Acta bot.Acad.Sci.Hungar. 10, 175–211.
- KUBIENA, W., 1952: Claves sistemáticas de suelos. Consejo sup. de Invest. cient. Madrid 1952, 382 p.
- KUHN, L., 1960: Die Verlandungsgesellschaften des Federseerieds. Federseebuch, hrsg. v. W.ZIMMERMANN, 1–69.
- KULLMANN, A., 1957: Die Abhängigkeit der Bewurzelung von den Standortsbedingungen bei *Molinia coerulea*. Arch.Forstw. 1957.
- LEIBUNDGUT, H., u. DAFIS, S., 1963: Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse im Lehrwald Albisriederberg. Schweiz.Z.Forstwesen 1963, 43–59.
- LANGER, H., 1958: Die Vegetationsverhältnisse des Benninger Riedes und ihre Verknüpfung mit der Vegetationsgeschichte des Memminger Tales. Bot.Jb. 77, 355–422.
- LÖTSCHERT, W., 1964: Neuere Untersuchungen zur Frage jahreszeitlicher pH-Schwankungen. Angew.Bot. 38, 256–268.
- MARSCHALL, F., u. FREI, E., 1953: Pflanzensoziologisch-bodenkundliche Untersuchungen an schweizerischen Naturwiesen. Landw.Jb. Schweiz 67, 659–686.
- MEYER, F.H., 1957: Über Wasser- und Stickstoffhaushalt der Röhrichte und Wiesen im Elb-alluvium bei Hamburg. Mitt.Staatsinst.allg.Bot. Hamburg 11, 137–203.
- MÜCKENHAUSEN, E., 1959: Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland, dargestellt an 60 farbigen Bodenprofilen. 2.Aufl. Frankfurt a.M., 146 p.

- MÜLLER, A. v., 1956: Über die Bodenwasser-Bewegung unter einigen Grünland-Gesellschaften des mittleren Wesertales und seiner Randgebiete. *Angew.Pflanzensoziol.* (Stolzenau/Weser) 12, 85 p.
- OBERDORFER, E., 1957: Süddeutsche Pflanzengesellschaften. *Pflanzensoziol.* (Jena) 10, 564 p.
- PASSARGE, H., 1954: Örtliche Beobachtungen über jahreszeitliche Schwankungen des Grundwasserstandes. *Arch.Forstwesen* 3, 475–486.
- PHILIPPI, G., 1960: Zur Gliederung der Pfeifengraswiesen im südlichen und mittleren Oberrheingebiet. *Beitr.naturk.Forsch. Südwestdeutschland* 19, 138–187.
- PIPER, C. S., 1950: Soil and Plant analysis. New York 1950.
- RICHARD, F., 1953: Über die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. *Mitt.schweiz.Anst.forstl.Versuchsw.* 29, 17–37.
- u. BEDA, J., 1953: Methoden zur Bestimmung der Wasserbindung und der Porengrößen in natürlich gelagerten Waldböden. *Mitt.schweiz.Anst.forstl.Versuchsw.* 29, 293–313.
  - 1963: Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden. *Schweiz.Z.Forstwes.* 106, 193–215.
  - 1964: Der Bodenwasserhaushalt. Sorption und Desorption in schwer durchlässigen Böden. *Schweiz.Z.Vermess.,Kulturtechn.u.Photogrammetrie* 1964, 1–24.
- RICHARDS, L. A., 1947: Pressure-membrane apparatus. Construction and use. *Agric.Engineering* 28, No. 10.
- 1948: Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Sci.* 66, No. 2.
  - 1949: Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* 68, No. 1.
- RIKLI, M., 1907: Das Lägerngebiet. Phytogeographische Studie mit Ausblicken auf die Bewirtschaftungsgeschichte. *Ber.schweiz.bot.Ges.* 17, 5–83.
- ROCHOW, M. v., 1951: Die Pflanzengesellschaften des Kaiserstuhls. *Pflanzensoziol.* (Jena) 8, 140 p.
- RUSSELL, M. B., and RICHARDS, L. A., 1938: The determination of soil moisture energy relations by centrifugation. *Proceed.amer.Soil Sci.Soc.* 3, 65–69.
- SCHARRER, K., u. SEIBEL, W., 1956: Bestimmung von Nitrat in Boden und Pflanzenextrakten nach der 2,4-Xylenol-Methode. *Z.Tierernährg.Futtermittelkde* 11, 131–194.
- SCHERRER, M., 1923: Soziologische Studien am *Molinietum* des Limmattales. *Ber.Zürch.bot.Ges.* 15, 18–43.
- 1925: Vegetationsstudien im Limmattal. *Veröff.geobot.Inst.Rübel Zürich* 2, 115 p.
- STEBLER, F., 1897: Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz. IX. Die Streuwiesen der Schweiz. *Landw.Jb.Schweiz* 11, 1–84.
- u. SCHRÖTER, C., 1892: Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz. *Landw.Jb.Schweiz* 6, 95–212.
  - u. HANTKE, R., 1962: Geologie des Kantons Zürich. Zürich 1962, 172 p.
  - KNOPFLI, W., u. MERZ, W., 1962: Die Maschwander Allmend. *Vierteljschr.naturf.Ges.Zürich* 107, 305–318.
- SUTER, H., 1939: Geologie von Zürich einschliesslich seiner Exkursionsgebiete. Zürich 1939. Darin: Geologische Karte des Kantons Zürich 1:150000.
- TÜXEN, R., 1954: Pflanzengesellschaften und Grundwasser-Ganglinien. *Angew.Pflanzensoziol.* (Stolzenau/Weser) 8, 64–98.
- 1955: Das System der nordwestdeutschen Pflanzengesellschaften. *Mitt.florist.-soziol.Arb.-gem.*, N.F. 5, 155–176.
- URSPRUNG, A., u. BLUM, G., 1930: Zwei neue Saugkraft-Messmethoden. *Jb.wiss.Bot.* 72, 254–334.
- UTTINGER, H., 1949: Les précipitations en Suisse 1901–1940. *MZA* 1949, 27 p. (Annexe à la carte pluviométrique de la Suisse 1:50000.)
- WAGNER, H., 1949: Das *Molinietum coeruleae* (Pfeifengraswiese) im Wiener Becken. *Vegetatio* 2, 128–165.
- WALKLEY, A., and BLACK, I. A., 1934: An examination of the Degtjareff-method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *SoilSci.* 37, 29 p.

- WEBER, C., 1958: Etude phytosociologique des prairies du canton de Genève et de ses environs immédiats. Travaux Soc.bot.Genève № 4, 20–38.
- WEBSTER, J. R., 1962: The composition of wet-heath vegetation in relation to aeration of the ground-water and soil. 1. Field studies of ground-water and soil aeration in several communities. 2. Response of *Molinia coerulea* to controlled conditions of soil aeration and ground-water movement. J.Ecol. 50, 3.
- WECHMANN, A., 1964: Hydrologie. München/Wien 1964, 534 p.
- WEISE, G., 1960: Experimentelle Beiträge zur Frage der Ökotypenbildung von *Molinia coerulea* Moench. Biol.Zbl. 79, 427–454.
- WIEGNER, G., u. PALLMANN, H., 1938: Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. Berlin 1938, 389 p.
- ZARZYCKI, K., 1956: Meadow associations and the ground-water level. Bull.Acad.polon.Sci., Cl. II 4, 183–187.
- 1958a: Die wichtigsten Grünlandgesellschaften des oberen Weichseltales und die Grundwasser-Ganglinien. Acta Soc.Bot.Polon. 27, 383–428.
  - 1958b: Humid meadows in the environs of Czernichow near Cracow deserving protection. Ochrony Przyrody 25, 49–69.
- ZOBRIST, L., 1935: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchung des *Schoenetum nigranticis* im nordostschweizerischen Mittellande. Beitr.geobot.Landesaufn.Schweiz 18, 144 p.
- ZOLLER, H., 1954: Die Typen der *Bromus-erectus*-Wiesen des Schweizer Juras. Beitr.geobot. Landesaufn. 33, 309 p.
- ZÖTTL, H., 1958: Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation im Waldhumus durch den Brutversuch. Z.Pflanzenernähr.,Düngung,Bodenkde 81, 35–50.

