

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

Kapitel: E: Expériences et résultats

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>

E. Expériences et résultats

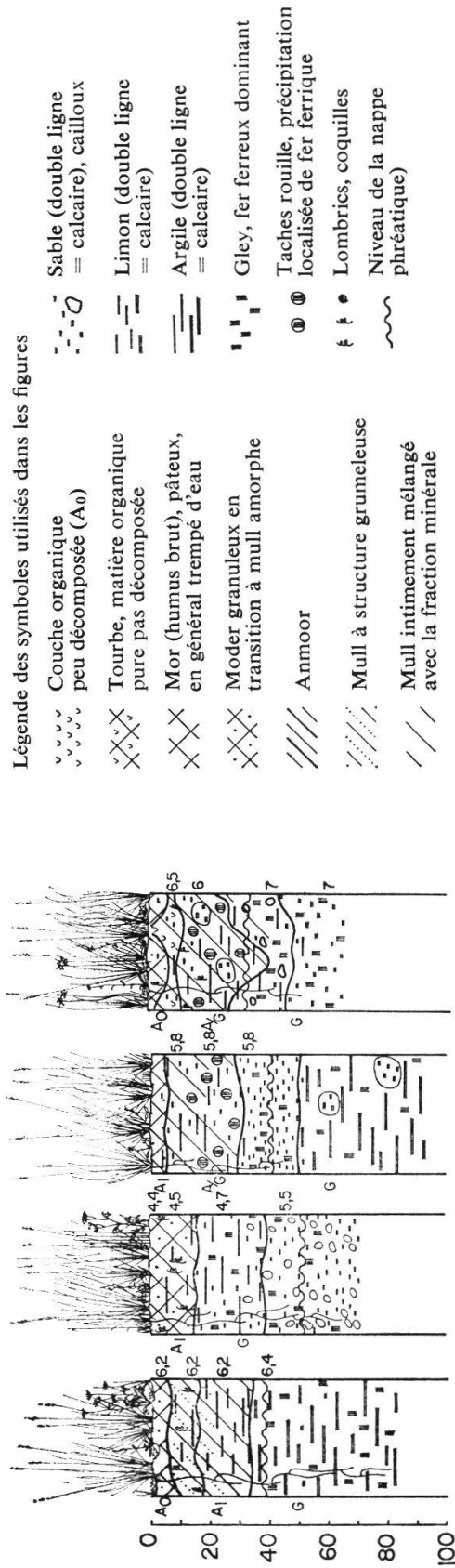
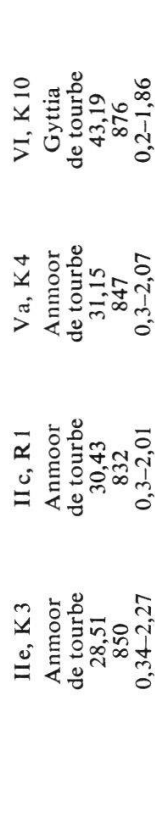
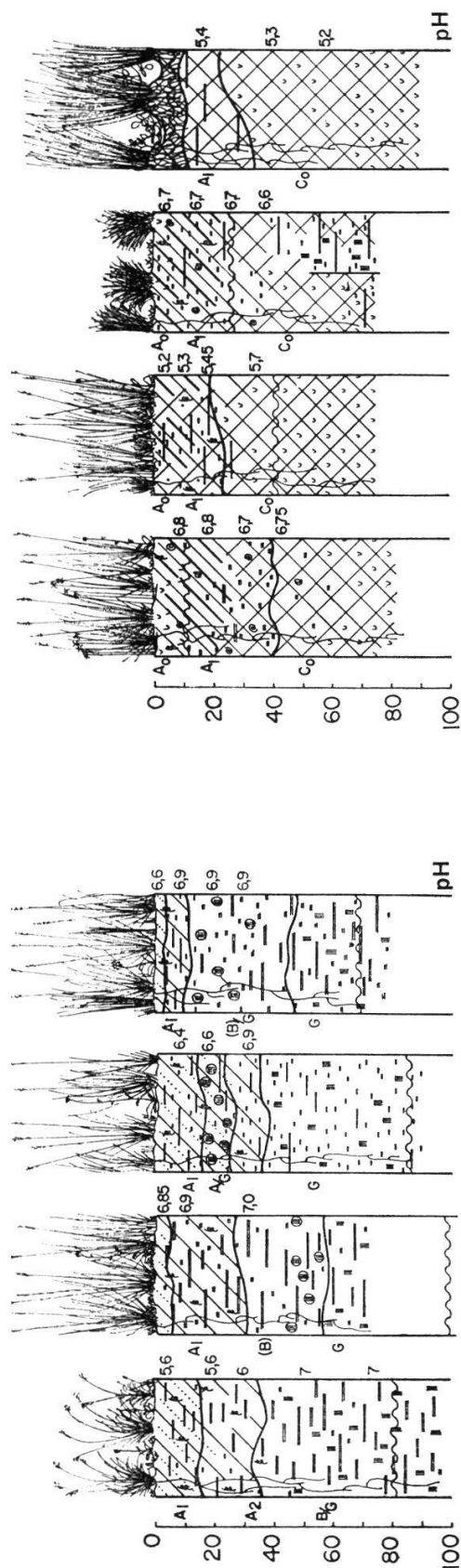
I. Facteurs édaphiques

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* (IIa). Les densités apparentes, qui varient de 1,01 (g/cm³) 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 A₁ (0–15 cm) se distingue d'A₂ 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 A₂ (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 A₁ 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



Légende des symboles utilisés dans les figures

- Couche organique
peu décomposée (A₀)
- Tourbe, matière organique
pure pas décomposée
- Mor (humus brut), pâteux,
en général trempé d'eau
- Moder granuleux en
transition à mull amorphe
- Anmoor
- Mull à structure grumeleuse
- Mull intimement mélangé
avec la fraction minérale
- Sable (double ligne
= calcaire), cailloux
- Limon (double ligne
= calcaire)
- Argile (double ligne
= calcaire)
- Gley, fer ferreux dominant
- Taches rouille, précipitation
localisée de fer ferrique
- Lombrics, coquilles
- Niveau de la nappe
phréatique

a → Mat. organique en % b → Vol. poreux, cm³/l c → Densités apparente et réelle
Nomenclature des sols d'après KUBIENA (1952), désignation des horizons et des types d'humus selon KUBIENA (1952) et DUCHAUFOR (1965)

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 gleyifié. Sa teneur en CaCO_3 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 ClH 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_3 , 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 ferriques 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_3 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, R2) 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 textuellement 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 (K6) est un gley à moder, avec un horizon organique d'à peu près 30 cm d'épaisseur, reposant sur un autre, sableux-limoneux, 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* (K7) 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* (K3, R1 et K4) 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 R1, 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 R1 seulement; dans les deux autres, elle est proche de la neutralité. La station K3 montre des traces calcaires sur tout le profil.

Le *Caricetum (canescenti-) fuscae* (VI, K10) 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 lacs 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 molinaies 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 (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).

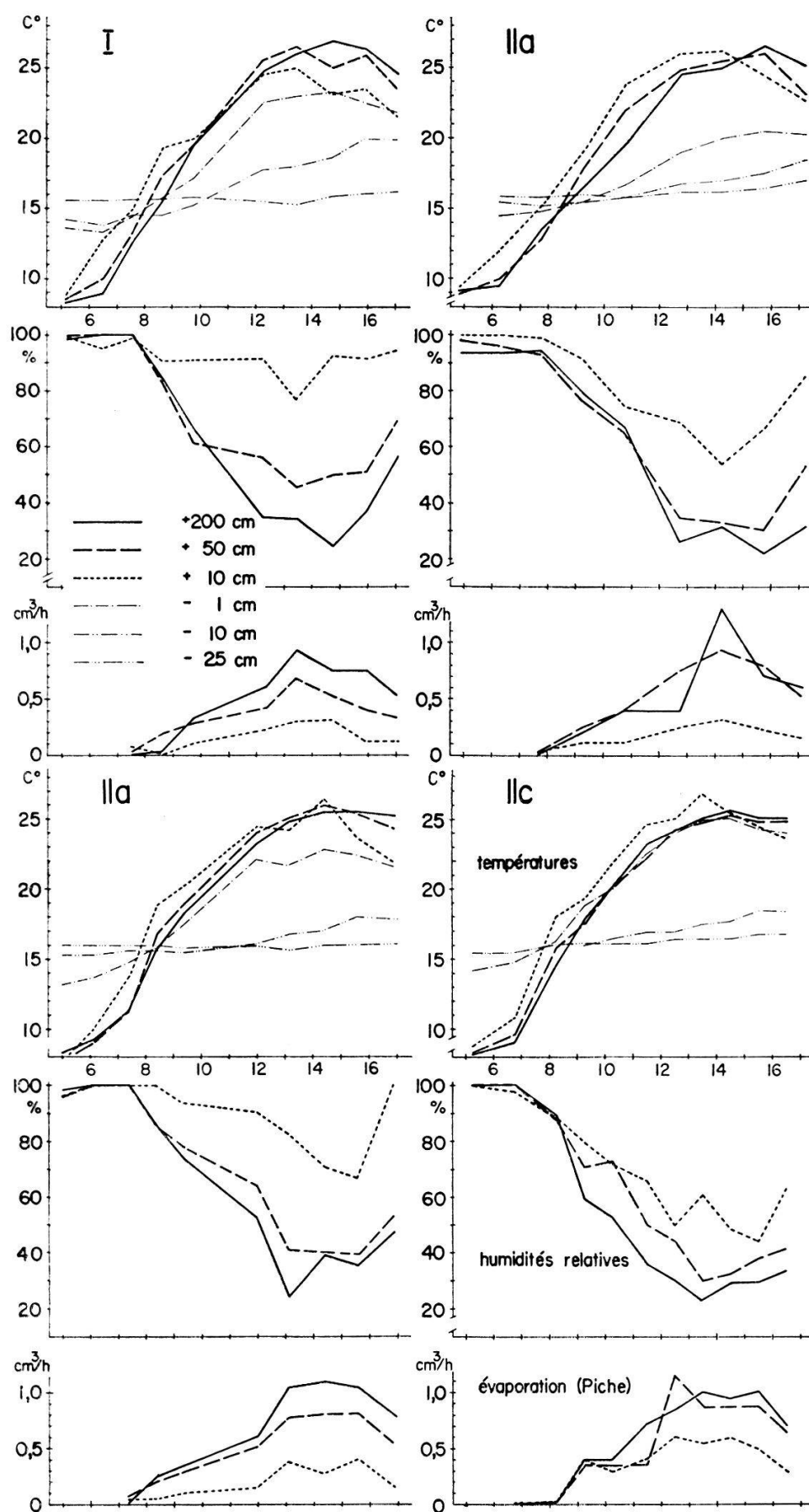


Fig.8 Marche journalière des températures de l'air et du sol et de l'évaporation (Piche) le 4 juin 1964 dans quelques stations correspondant au *Mesobrometum* (I), au *Molinietum* sec (IIa) et au *Molinietum* humide (IIc).

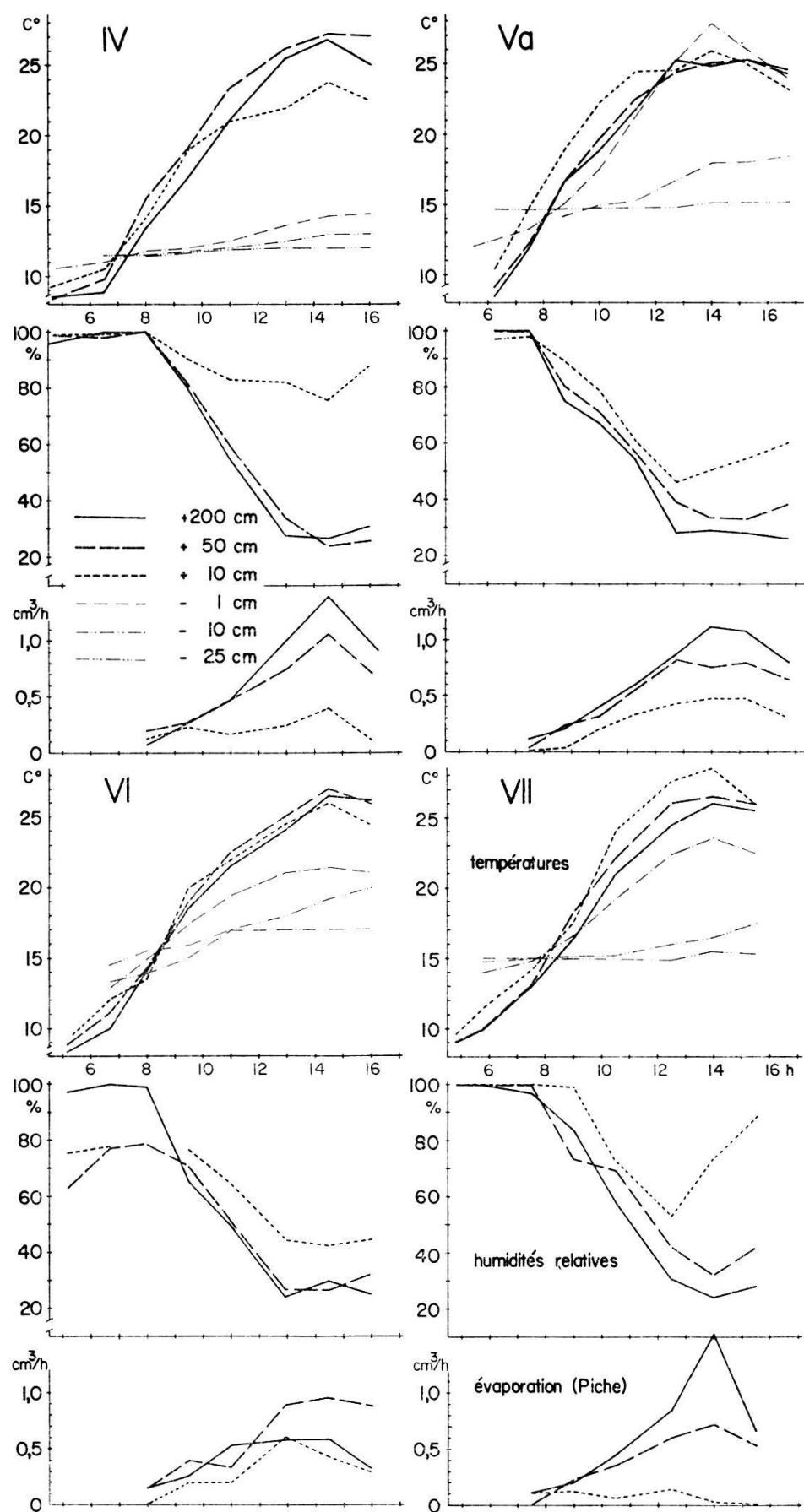


Fig.9 Marche journalière des températures de l'air et du sol et de l'évaporation (Piche) le 4 juin 1964 dans quelques stations correspondant au *Caricetum davallianae* (IV), *Schoenetum* typique (Va), *Caricetum canescenti-fuscae* (VI) et *Caricetum elatae* (VII).

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 déficiente 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 cm³/h) et la plus intense dans le *Molinietum* humide (supérieure à 0,5 cm³/h pendant 4 heures de la journée). A 25 cm, seulement l'évaporation du *Molinietum* humide et du *Caricetum davallianae* dépasse 1 cm³/h. Sauf dans le *Caricetum elatae* et le *Mesobrometum*, qui n'atteignent que 0,7 cm³/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

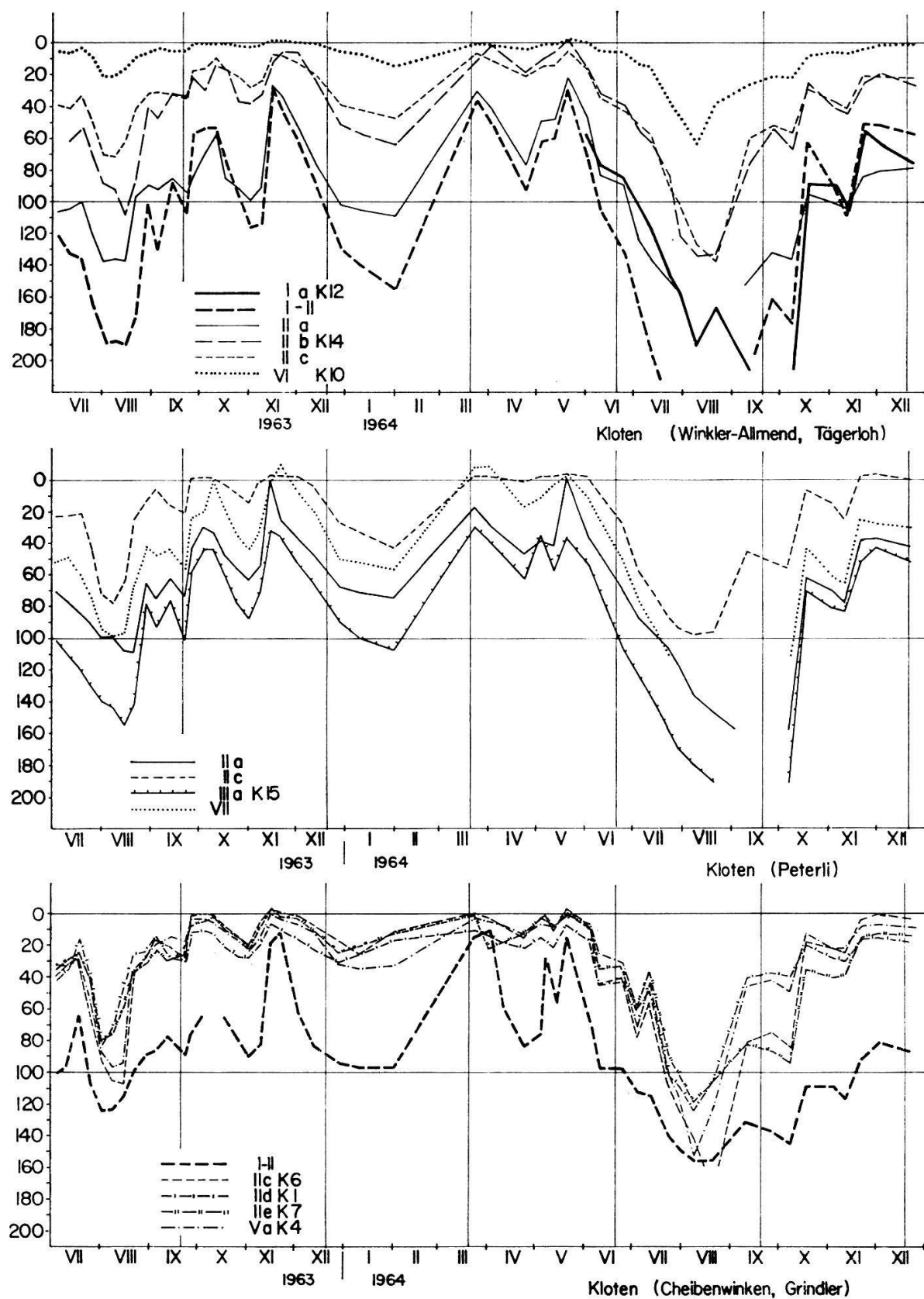


Fig.10 Variations de la nappe phréatique pendant la période d'investigations dans les sols des associations examinées dans la région de Kloten (voir tabl.3).

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.

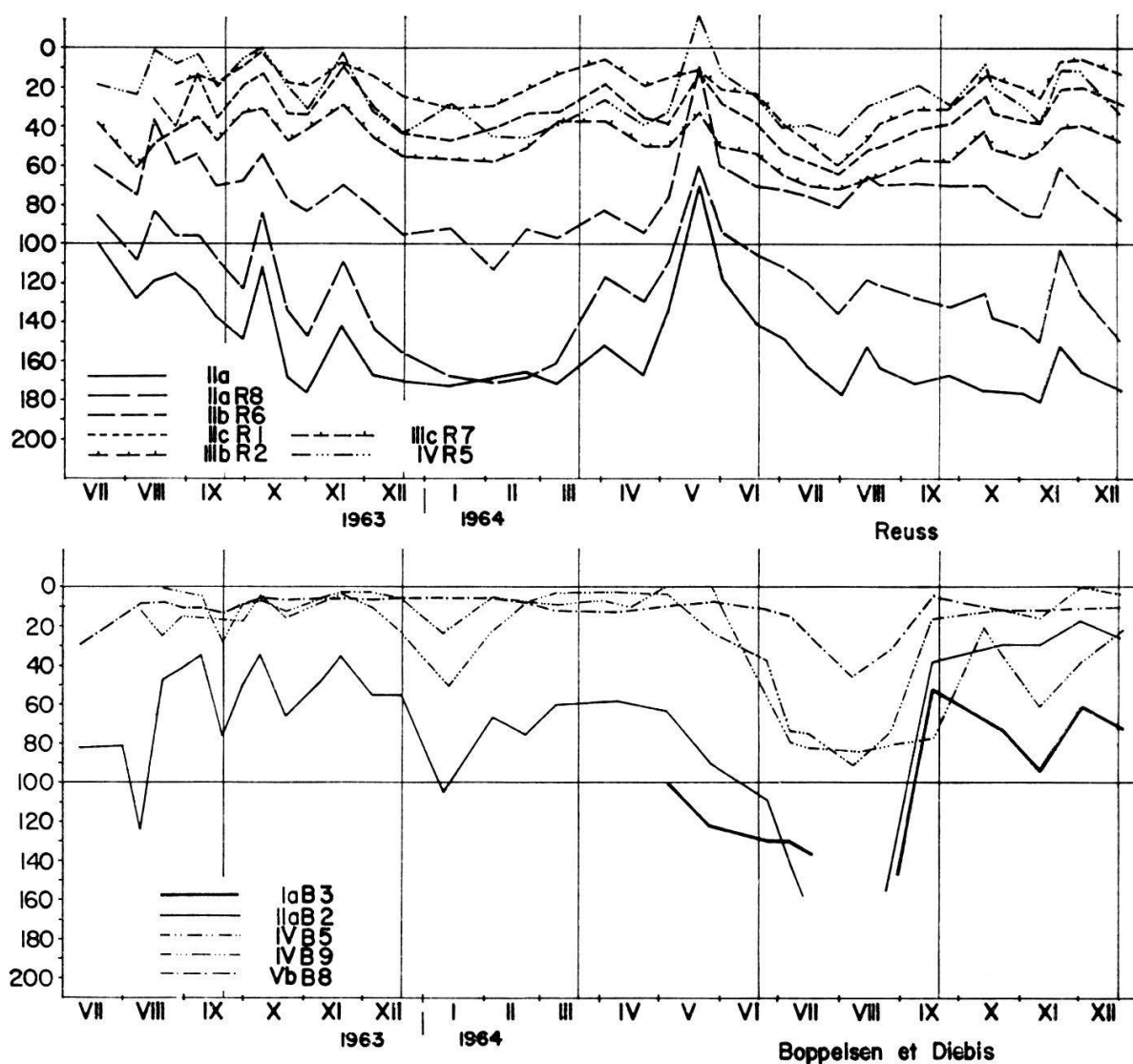


Fig.11 Variations de la nappe phréatique pendant la période d'investigations dans les sols des associations examinées dans la plaine de la Reuss et dans les régions de Boppelsen et Diebis (voir tabl.3).

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* (Ile), 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 davallianae* (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 (IIb) 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 (ρ_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 (ρ_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'emmagasiner. 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

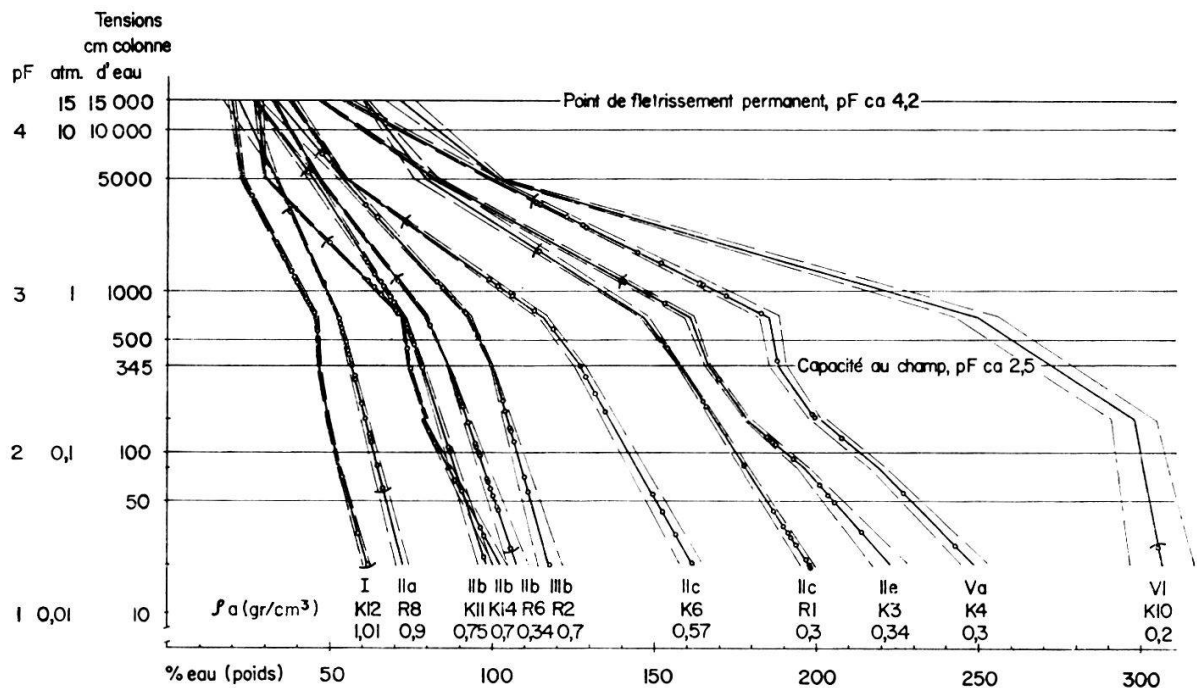


Fig.12 Courbes représentant les tensions de rétention de l'eau dans l'horizon superficiel (5-15 cm) des sols appartenant à quelques stations en étude. Les lignes pointillées qui les limitent représentent l'erreur standard. Les points indiquent le pourcentage d'humidité qu'on a mesuré dans les échantillons 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).

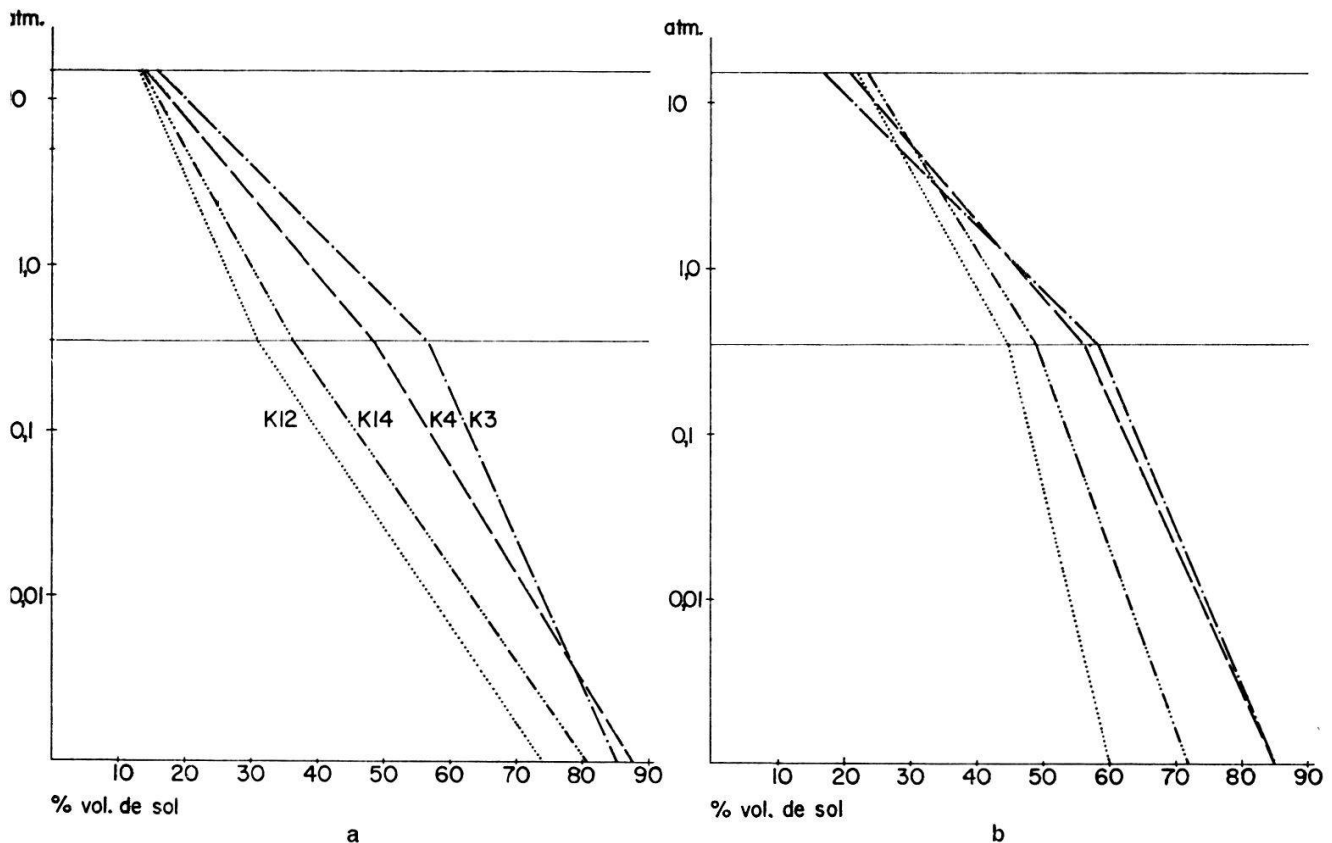


Fig.13 Relation entre l'humidité du sol et la tension de rétention des sols appartenant aux stations K3, K4, K12 et K14.

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 dressés 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^{os} 13 et 14. Le graphique N^o 13b représente la relation qu'il y a

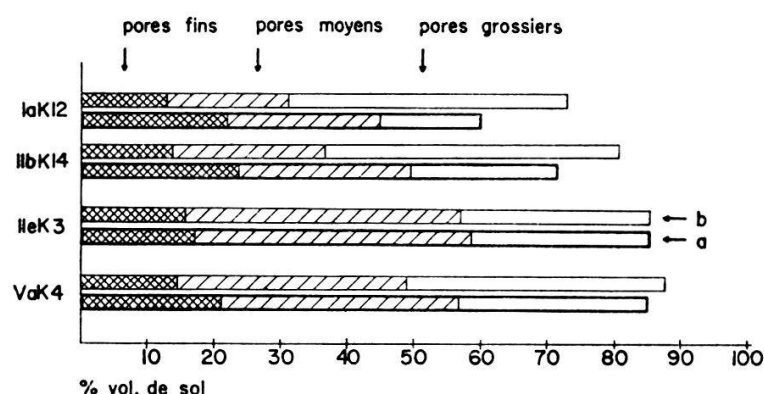


Fig. 14 Volumes totaux des pores et répartition entre pores fins, moyens et grossiers pour les mêmes sols que dans fig. 13.

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 perturbée (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 NH_4 et 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^{os} 15 b 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 NO_3 ou 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.

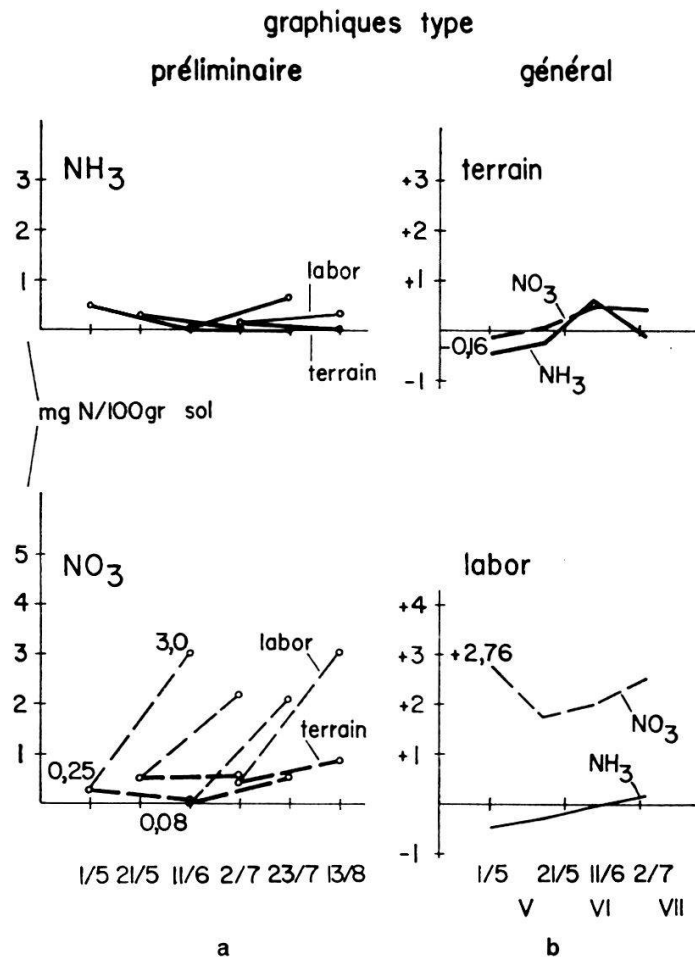


Fig.15 Explication des graphiques 16-20 (description détaillée dans le texte, p.40).

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

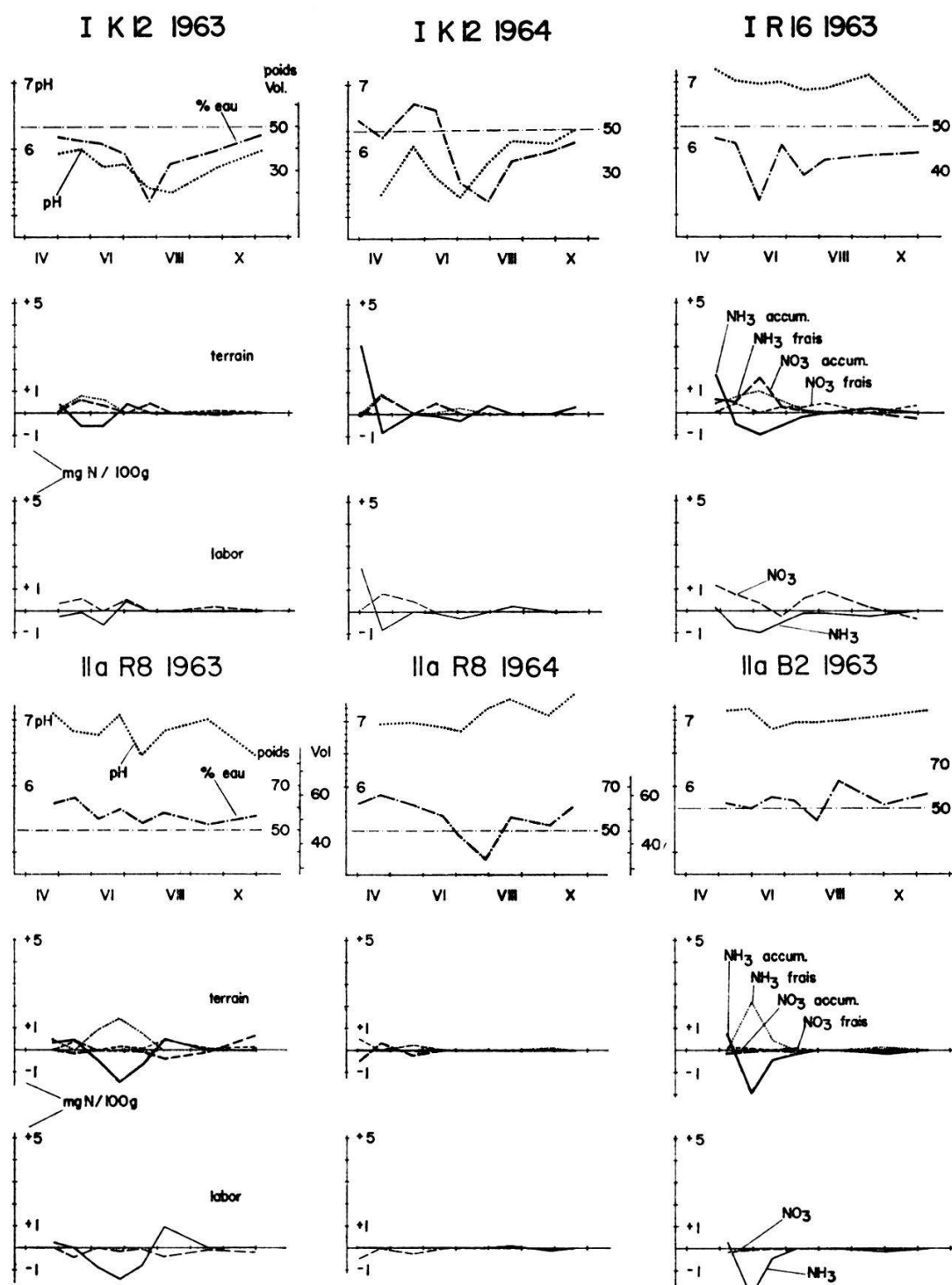


Fig. 16 Marche annuelle des facteurs recherchés du sol pour les stations du *Mesobrometum* (I) et *Molinietum* sec (II a). Ont été omis les stations I B 3 1963, I K 13 1963 et I D 10 1963 (dont les résultats sont très semblables à ceux de la station I R 16 1963), II a B 4 1963 (semblable à II a R 8 1963)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

Légende fig. 16-20:

— · — · — Pourcentage d'eau
 pH
 - - - - - Contenu d'azote nitrique du sol frais
 Contenu d'azote ammoniacal du sol frais

- - - - - Accumulation d'azote nitrique au terrain
 ———— Accumulation d'azote ammoniacal au terrain
 - - - - - Accumulation d'azote nitrique au laboratoire
 ———— Accumulation d'azote ammoniacal au laboratoire

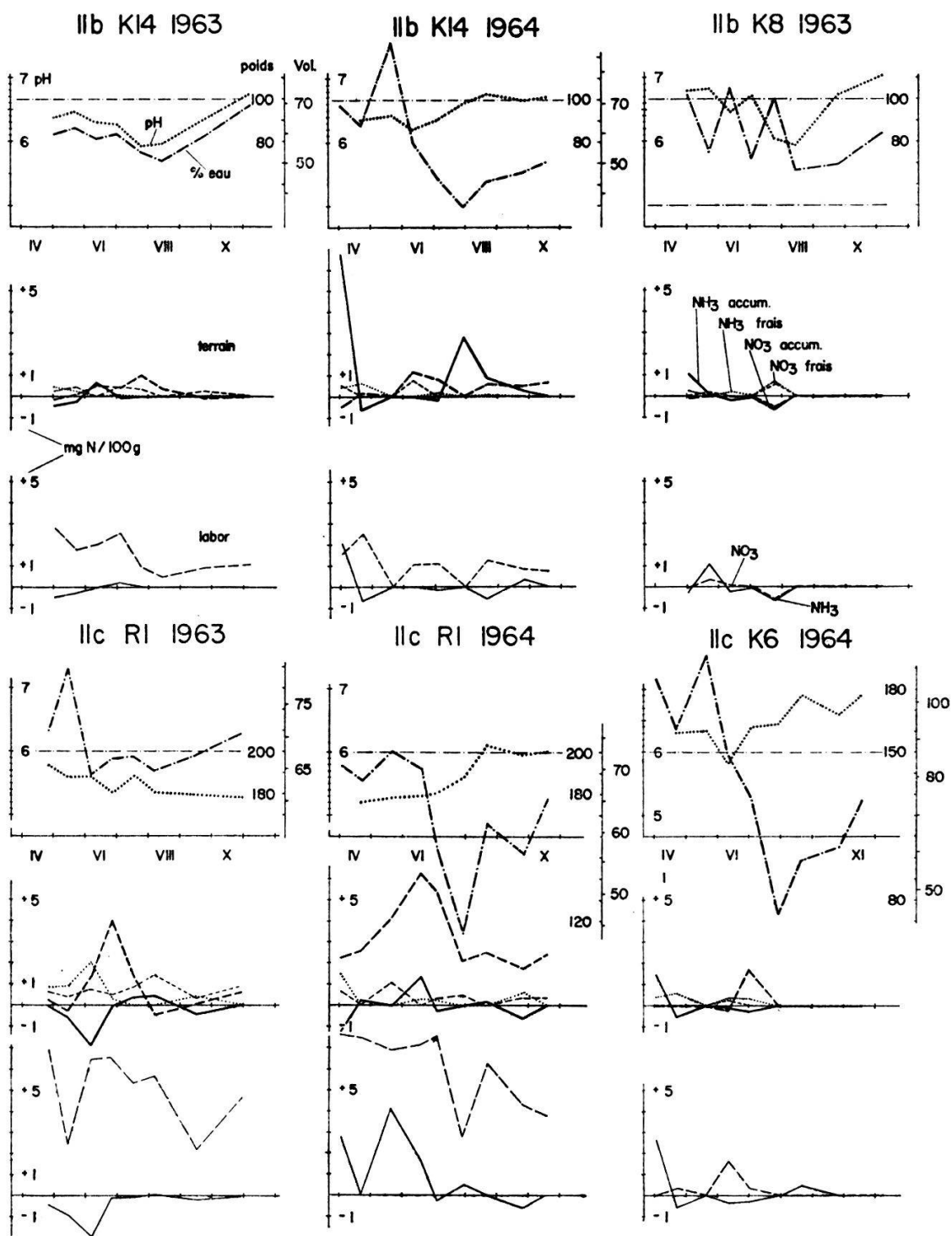


Fig. 17 Comme fig. 16, *Molinieta* intermédiaire (IIb) et humide (IIc). Omis: IIb K11 1963 et 1964 (très semblable à IIb K14 1963 et 1964), IIb K5 1963 (très semblable à IIb K8 1963), IIb R6 1963 et 1964 (très semblable à IIa R8 1963 et 1964) et IIc K6 1963 (très semblable à IIc K6 1964).

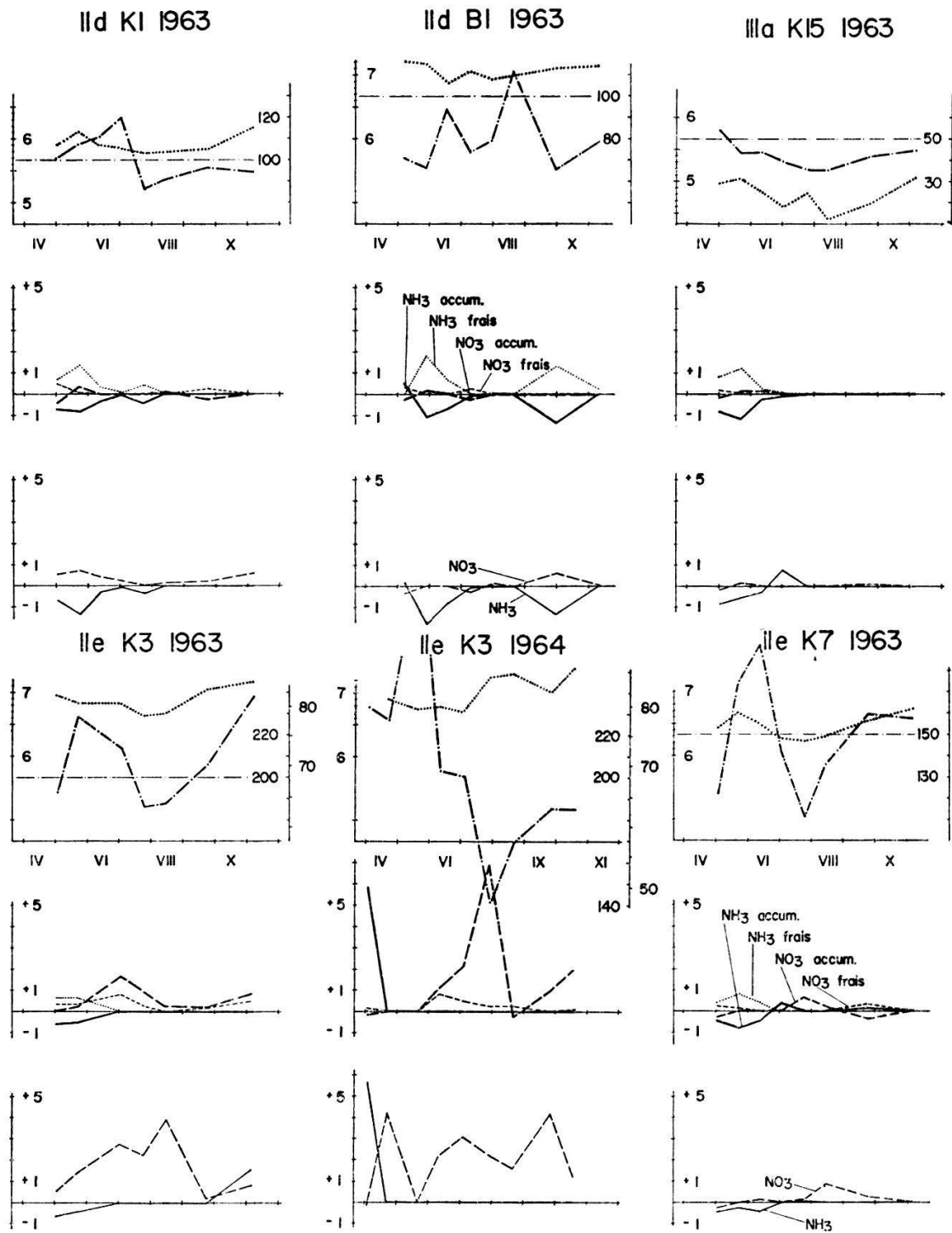


Fig.18 Comme fig.16, *Molinietum schoenetosum* (II d), *M. juncetosum* (II e) et *Junco-Molinietum* sec (III a). Omis: II d K2 1963 (\approx II e K7 1963).

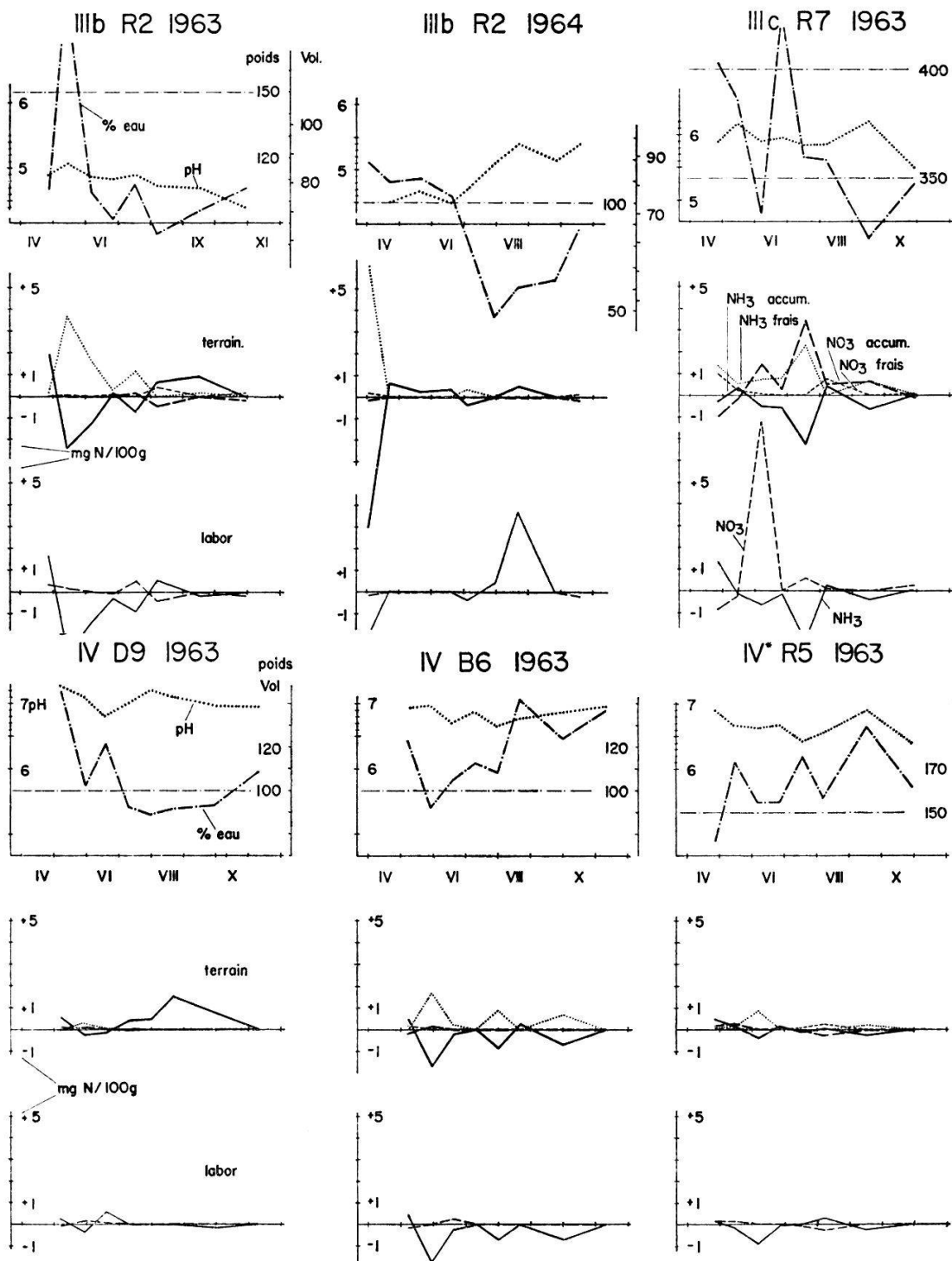


Fig.19 Comme fig.16, *Junco-Molinietum* humide (IIIb) et très humide (IIIc) et *Caricetum davallianae* (IV). Omis: IV B5 1963 (\approx IV B6 1963).

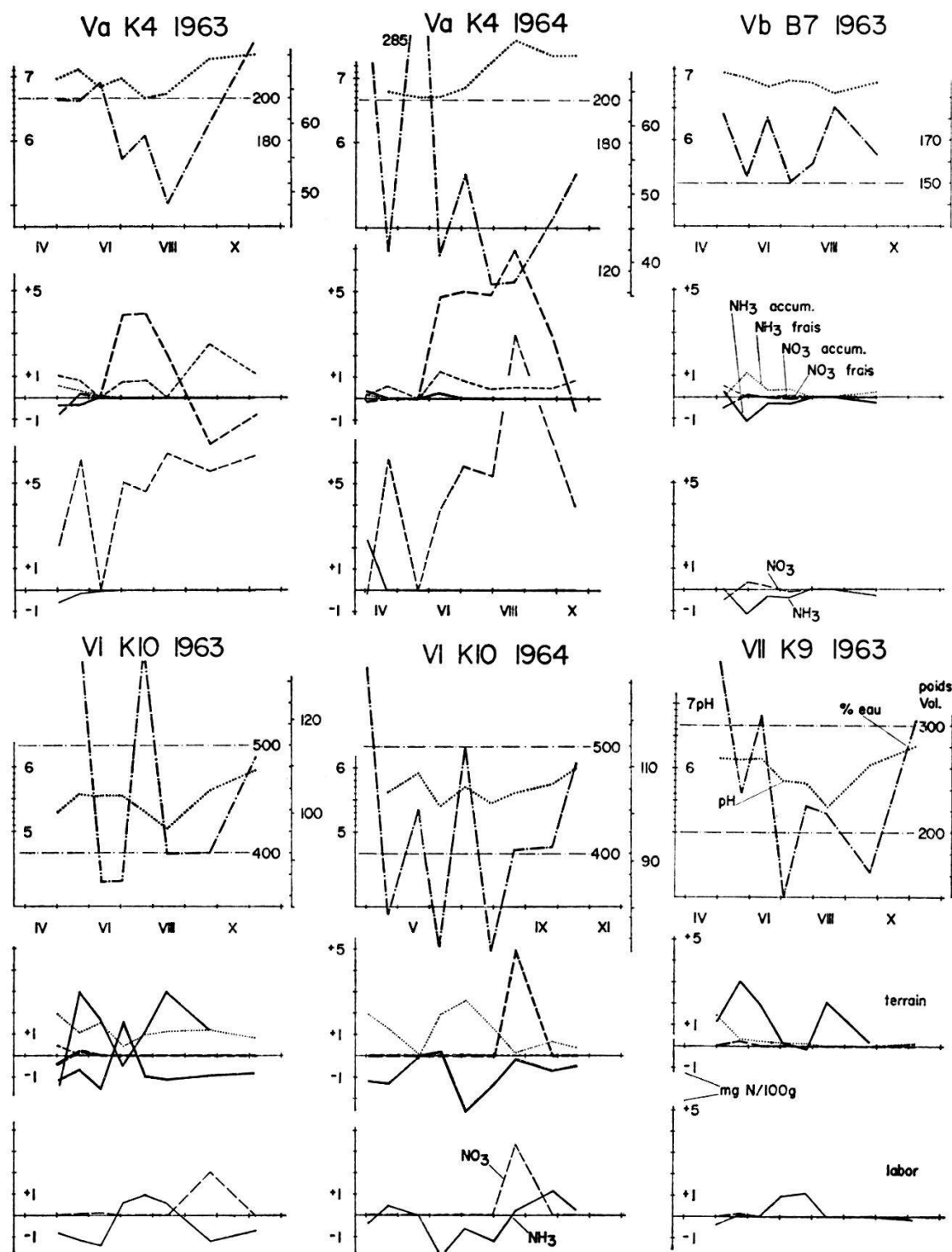


Fig. 20 Comme fig. 16, *Schoenetum* typique (Va) et de pente (Vb), *Caricetum canescenti-fuscae* (VI) et *Caricetum elatae* (VII). Omis: Vb B8 1963 (\approx Vb B7 1963) et VII B11 1963 (\approx VII K9 1963).

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 CO_3Ca (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 (Niedermoor), peuplées par un *Molinietum* intermédiaire (à *Carex panicea*), comparée avec celle des anmoors à gley, gley minéral et vega 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 NO_3 est à son minimum ou absent. Il va s'accumulant 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_4 et NO_3 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_3 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_4 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_4 , 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:

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

Parmi les accumulations de NH_4 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.

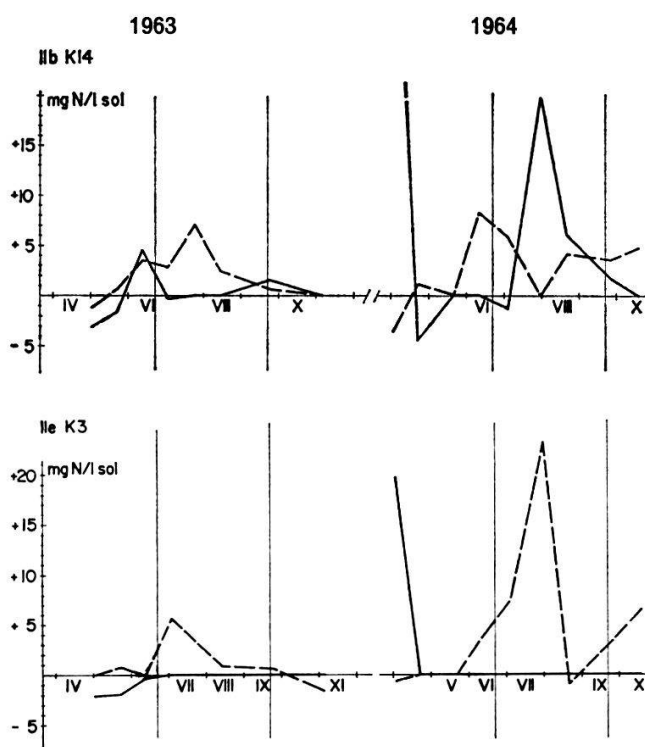


Fig. 21 Rythme saisonnier dans les accumulations d'azote minéral (NH_4 et NO_3) 1963 et 1964 chez les échantillons provenant de sols organiques: *Molinietum* intermédiaire (IIb) et *juncetosum* (IIe).

- 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.

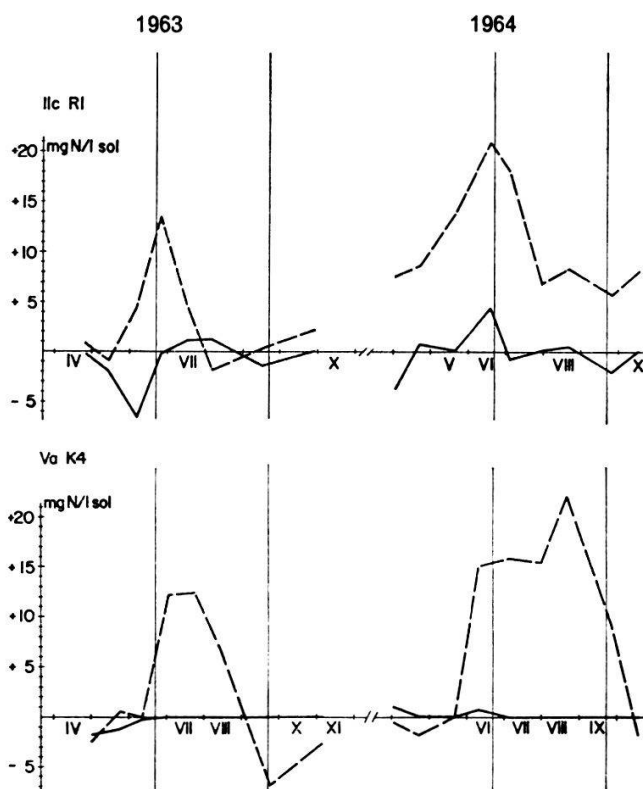


Fig.22 Comme fig.21, *Molinietum* humide (IIc) et *Schoenetum* typique (Va).

- 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 K 14 à 60%, voir graph. N° 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 (II c, 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_3 .

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 mélangés.
- 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 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 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 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

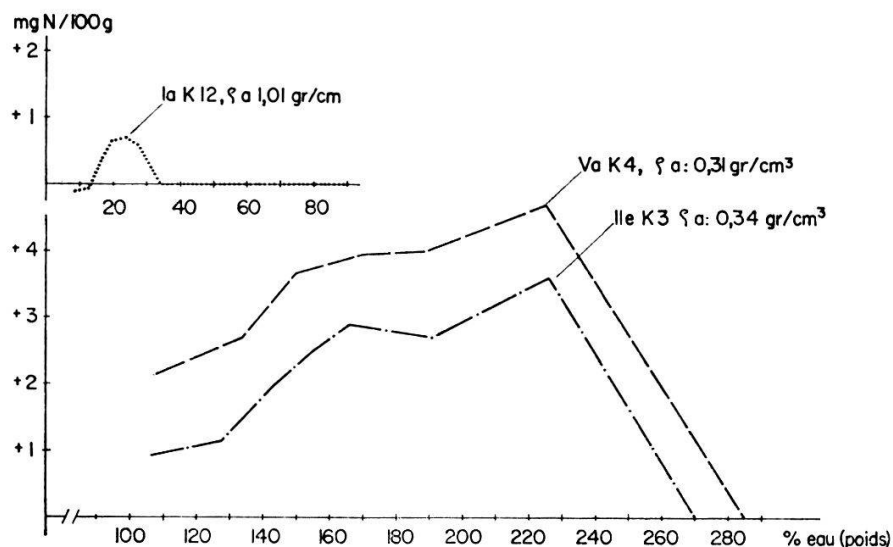


Fig. 23 Relation entre l'humidité du sol et la capacité d'accumulation de NO_3 chez deux sols organiques (K 3 et K 4) et un sol minéral (K 12).

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 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

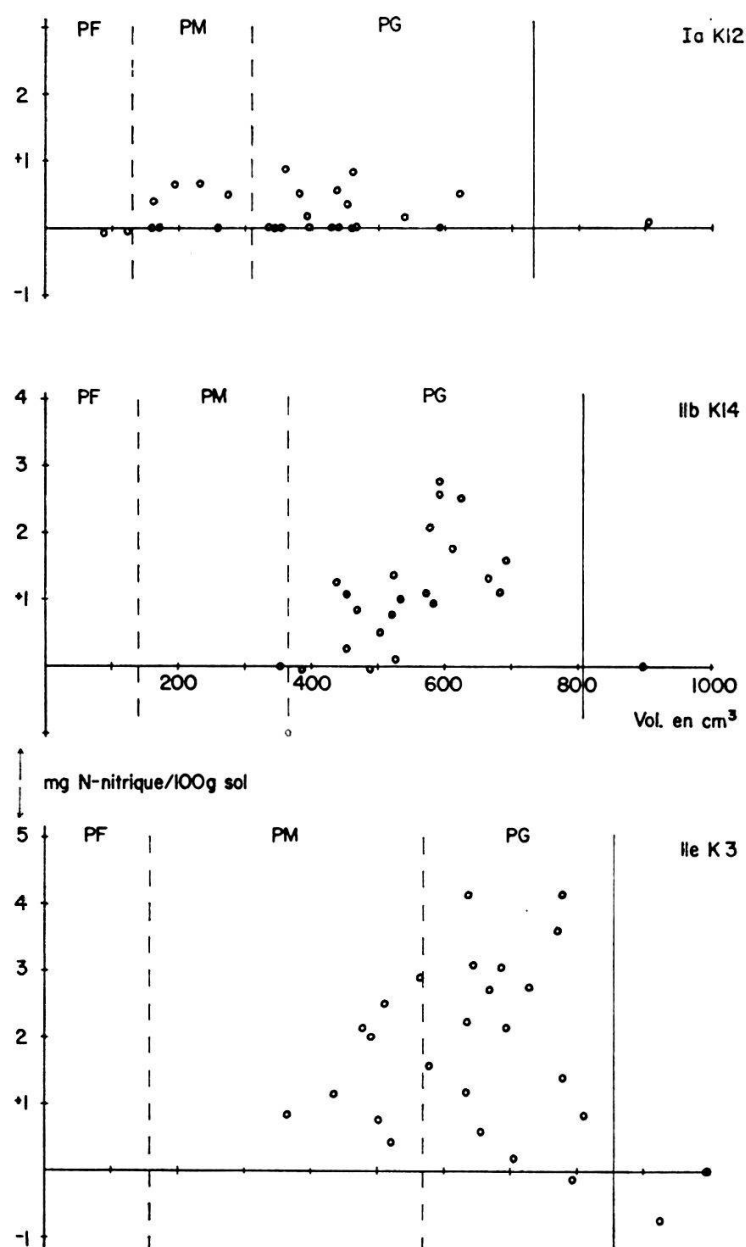


Fig.24 Relation entre le contenu en air du volume poreux du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique. Les points indiquent les accumulations ou les pertes subies dans les échantillons maintenus au laboratoire (chambre humide) par rapport à la proportion de son volume poreux occupé par l'air. 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. E IV, 2 c) 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-

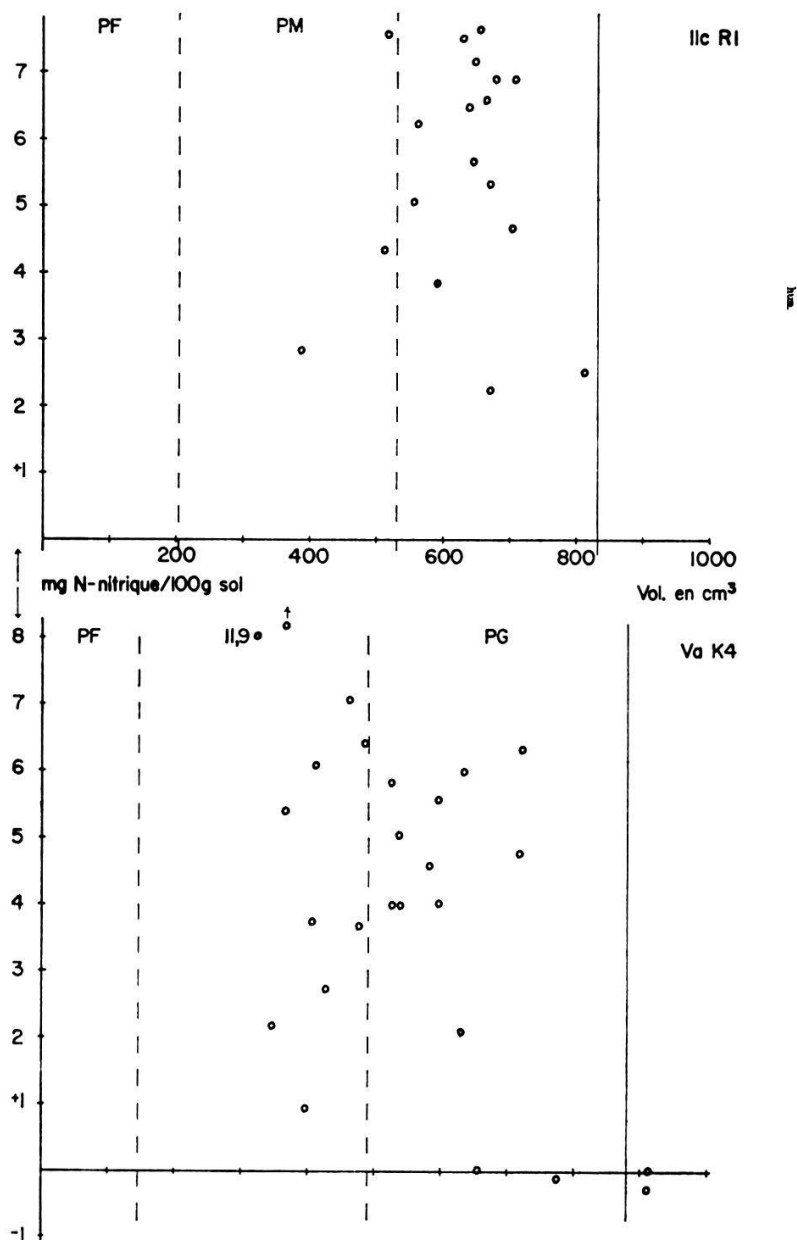


Fig.25 Relation entre le contenu en air du volume poreux du sol et la capacité d'accumulation d'azote nitrique. Les points indiquent les accumulations ou les pertes subies dans les échantillons maintenus au laboratoire (chambre humide) par rapport à la proportion de son volume poreux occupé par l'air. R1 est un *Molinietum* humide et K4 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 K14 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 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 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 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 du 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 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 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 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 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_4 . Celui du *Molinietum* humide (R6) augmente considérablement les faibles quantités initiales de NO_3 . 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 R1 et K3. Le premier qui supporte un *Molinietum* humide

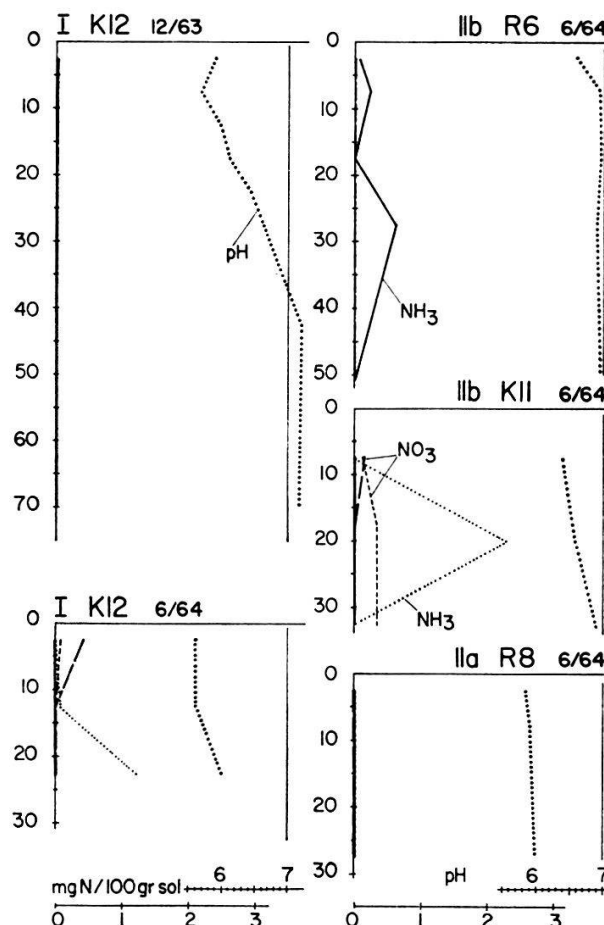


Fig.26 Relation entre la profondeur de l'horizon, son pH et sa capacité d'accumulation d'azote minéral (NH_4 et NO_3) chez quelques profils du sol: *Mesobrometum* (I), *Molinietum* sec (IIa) et intermédiaire (IIb).

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_3 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 R1, graduellement dans celui du sol de K3. Dans les deux cas, les horizons superficiels contiennent du NH_4 dans une relation indirecte avec le contenu en NO_3 . Le sol de R1 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 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 NO_3 . Des accumulations ne se sont produites en surface que dans les échantil-

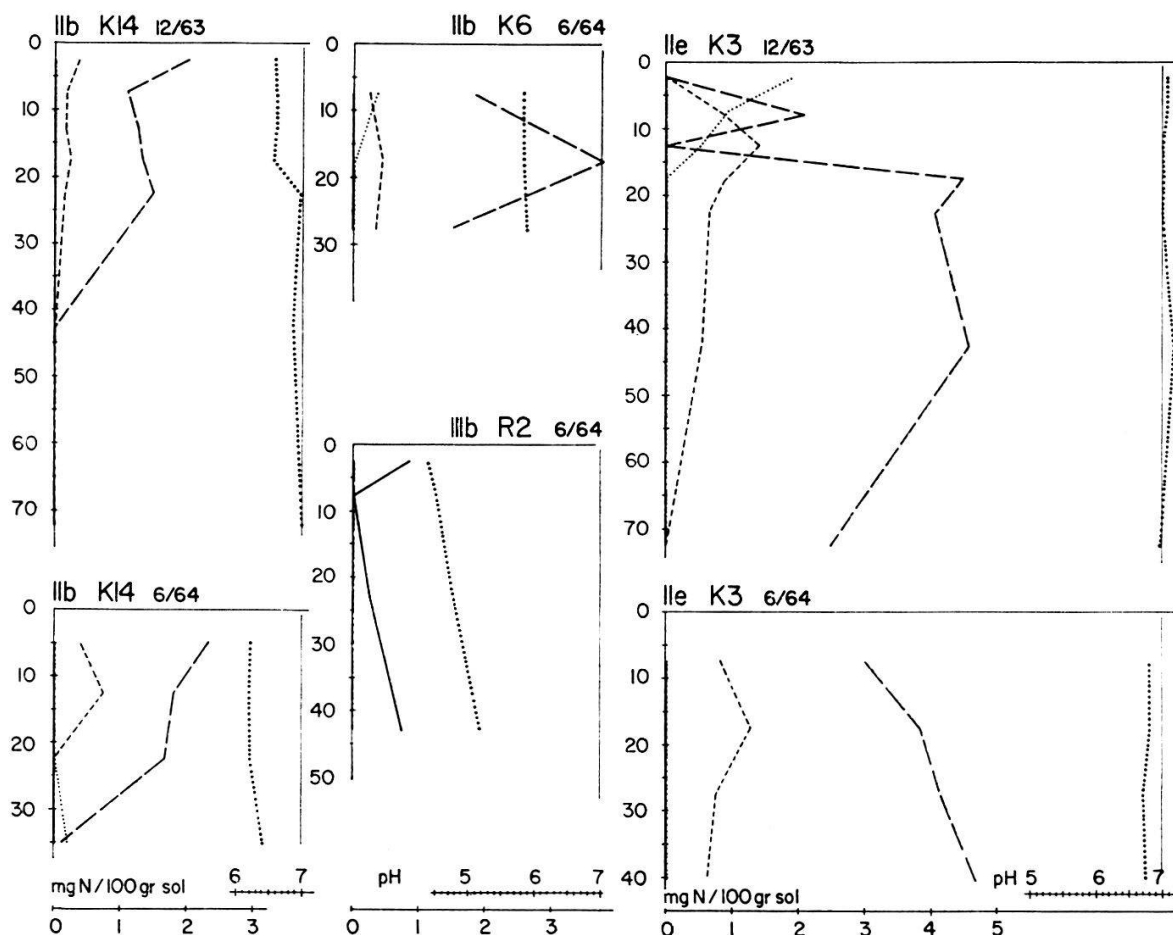


Fig. 27 Comme fig. 26, *Molinietum* intermédiaire (II b) et *juncetosum* (II e) et *Junco-Molinietum* humide (III b).

lons automnaux, et spécialement dans les couches où l'accumulation de NH_3 est faible.

Le sol du *Caricetum elatae* (K 10) a des quantités de 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 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

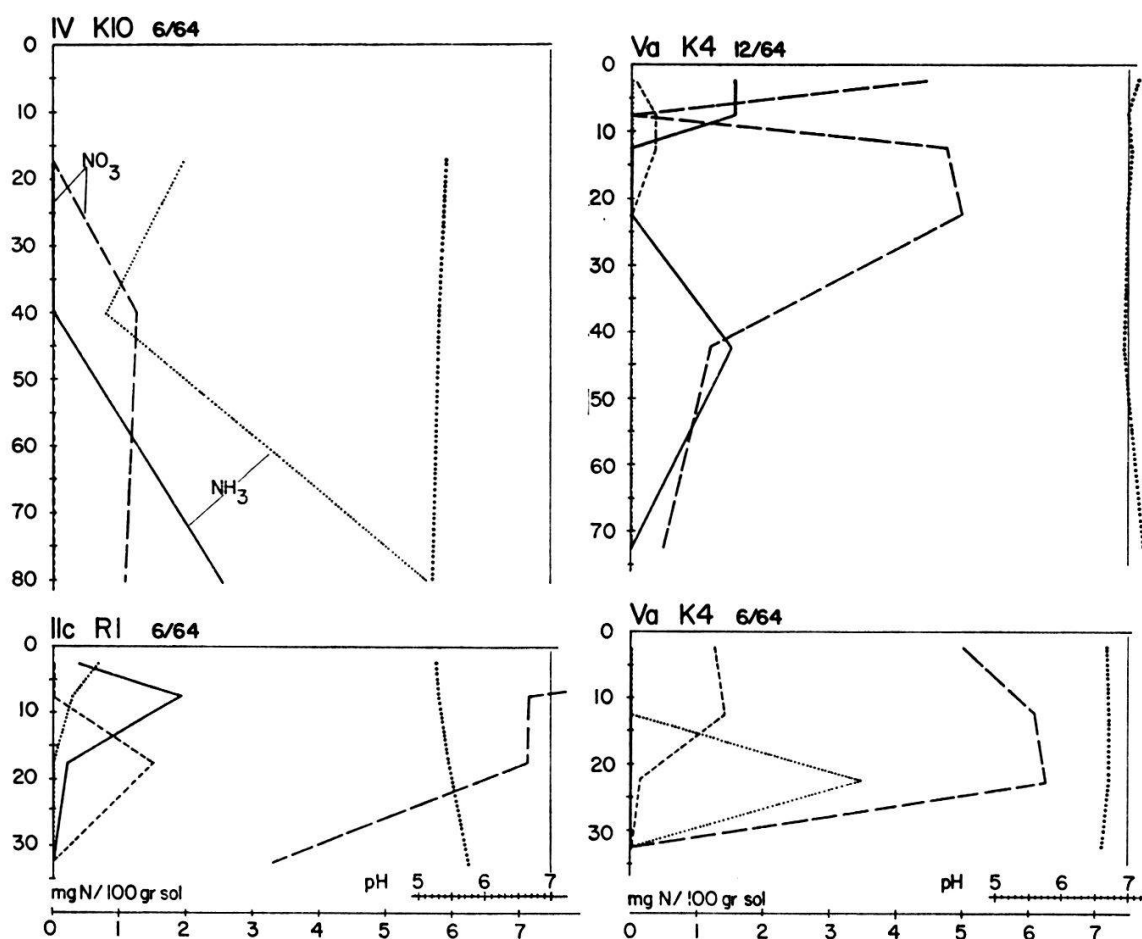


Fig.28 Comme fig.26, *Molinietum* humide (IIc), *Caricetum davallianae* (IV) et *Schoenetum* typique (Va).

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