

**Zeitschrift:** Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 162 (1982)

**Artikel:** Influence du drainage et du type de culture sur l'exportation des éléments nutritifs majeur (N,P et K) dans une tourbe eutrophe

**Autor:** Dubois, Jean-Pascal / Dubois, Daniel / Jelmini, Giorgio

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-90865>

#### **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:** 06.02.2026

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

# Influence du drainage et du type de culture sur l'exportation des éléments nutritifs majeurs (*N, P et K*) dans une tourbe eutrophe

Jean-Pascal Dubois, Daniel Dubois, Giorgio Jelmini

## Résumé

L'influence du drainage et du type de culture sur l'exportation des éléments nutritifs majeurs (*N, P, K*) dans une tourbe eutrophe, ont été étudiées en vase de végétation.

Les résultats montrent que la prairie offre une meilleure protection que la culture maraîchère contre la lixiviation et, par conséquent, contre l'eutrophisation des eaux de surface et souterraines. L'effet protecteur est dû surtout au système racinaire du ray-grass qui, par sa densité et sa ramification, absorbe davantage d'éléments et recycle la plus grande partie de l'eau qui percolé dans la tourbe.

Sous prairie, la tourbe peut être drainée jusqu'à une profondeur de 1,4 m sans que l'azote nitrique formé soit entraîné par l'eau. De surcroît, les quantités de nitrates ainsi disponibles, rendent superflu une fumure azotée (la première année de culture, en tout cas). Le phosphore, apporté sous forme d'engrais, n'est pratiquement pas lixivié, même en culture maraîchère. En revanche, la perte en potassium, négligeable sous prairie, est importante en culture maraîchère si l'apport en engrais dépasse la capacité d'absorption immédiate de la plante.

## Zusammenfassung

Im folgenden Beitrag wird auf den Einfluss der Dränierung und der Kulturarten auf den Nährstoffhaushalt von Stickstoff, Phosphor und Kalium eingegangen. Die Untersuchung erfolgte mit eutrophem Torf in grossen Töpfen.

Die Untersuchungen ergaben, dass Wiesen einen erheblich besseren Schutz gegen Auswaschung bieten als etwa der Gemüseanbau und damit auch besser vor der Eutrophierung von Fliess- und Grundwasser schützen. Dieser Schutzeffekt ist vor allem durch den Wurzeleffekt von Raygras zu erklären; auf Grund der hohen Dichte der Wurzelhaare können grosse

Mengen von Nährstoffen und der grösste Teil des perkolierenden Wassers aufgenommen werden. Eine Wiese lässt sich auf Torfboden bis zu einer Tiefe von 1,4 m dränieren, ohne dass die gebildeten Nitrate durch das perkolierende Wasser ausgewaschen werden. Wegen dem für die Pflanzen reichlich verfügbaren Stickstoff ist, zumindest im ersten Jahr, keinesfalls eine Stickstoffdüngung erforderlich. Eingebrachter Phosphordünger wird praktisch nicht ausgewaschen, auch nicht bei Gemüsekulturen. Die Kaliumauswaschung ist im Boden von Wiesen vernachlässigbar; demgegenüber kann sich eine bedeutende Auswaschung beim Gemüseanbau ergeben, falls mit der Düngung die Absorptionskapazität der Pflanzen überschritten wird.

## Introduction

L'assainissement des bas-marais et leur mise en culture rend de plus en plus difficile la conservation des sols tourbeux.

- Le drainage provoque une compaction des structures fibreuses par disparition de l'eau interstitielle. Ce tassement est d'autant plus accentué que les drains sont profondément enfouis (Frei et al. 1972, Mundel 1976, Jaton 1977).
- L'abaissement du niveau de la nappe favorise l'aération de la masse tourbeuse et crée un milieu propice à l'oxydation biologique et chimique. La minéralisation produit une libération d'éléments solubles ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et de gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_x\text{O}_y$ ). L'aération modifie également le degré d'oxydation de certains éléments; le fer, en particulier, passe de l'état ferreux ( $\text{Fe}^{II}$ ) soluble à l'état ferrique ( $\text{Fe}^{III}$ ) insoluble. Cette oxydation est à l'origine du colmatage des drains (Kuntze 1978).
- Les sols sans couverture végétale sont soumis à l'érosion éolienne.

La compaction des structures fibreuses et la minéralisation sont des problèmes discutés en

détail par Eggelsmann (1978). La minéralisation de la tourbe en relation avec le cycle de l'azote a été abordée par plusieurs auteurs (Scheffer 1976, Beck 1979, Levanon et al. 1979, Kuntze 1980, Waydbrink 1980).

Selon ces chercheurs, l'état d'oxydation de la tourbe, l'humidité, la température et le pH sont les paramètres qui jouent le rôle principal dans le processus de minéralisation.

Afin de limiter au maximum les pertes importantes de tourbe dans les basmarais drainés et cultivés, les solutions suivantes ont été proposées:

- culture sur couverture sableuse de la tourbe (Frei et al. 1972, Hagemann 1978, Kuntze et al. 1981);
- mélange de sable et de tourbe par labour profond à condition qu'une couche de sable à granulométrie adéquate soit disponible à une profondeur de 1 à 2 mètres sous la tourbe (Kuntze et Wetter 1980);
- mise en culture d'une prairie avec drainage modéré.

Nos recherches ont trait à cette dernière solution. Elles ont pour but d'évaluer l'effet protecteur d'une prairie et d'un drainage modéré sur la perte en éléments de la tourbe.

Nous avons abordé ce problème par le biais d'une étude globale de la migration des éléments dans des colonnes de tourbe eutrophe, soumise à deux types de culture (fourragère et maraîchère) et trois conditions de drainage (fig. 1b). Nous présentons ici les résultats de deux essais distincts relatifs à:

- l'influence de la profondeur de drainage sur l'exportation des éléments par l'eau et la plante dans une tourbe cultivée en prairie;
- l'influence comparative de la prairie et de la culture maraîchère suivie du sol nu sur l'exportation des éléments par l'eau et la plante dans une tourbe drainée à une profondeur de 90 cm.

La discussion est limitée aux éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore, potassium).

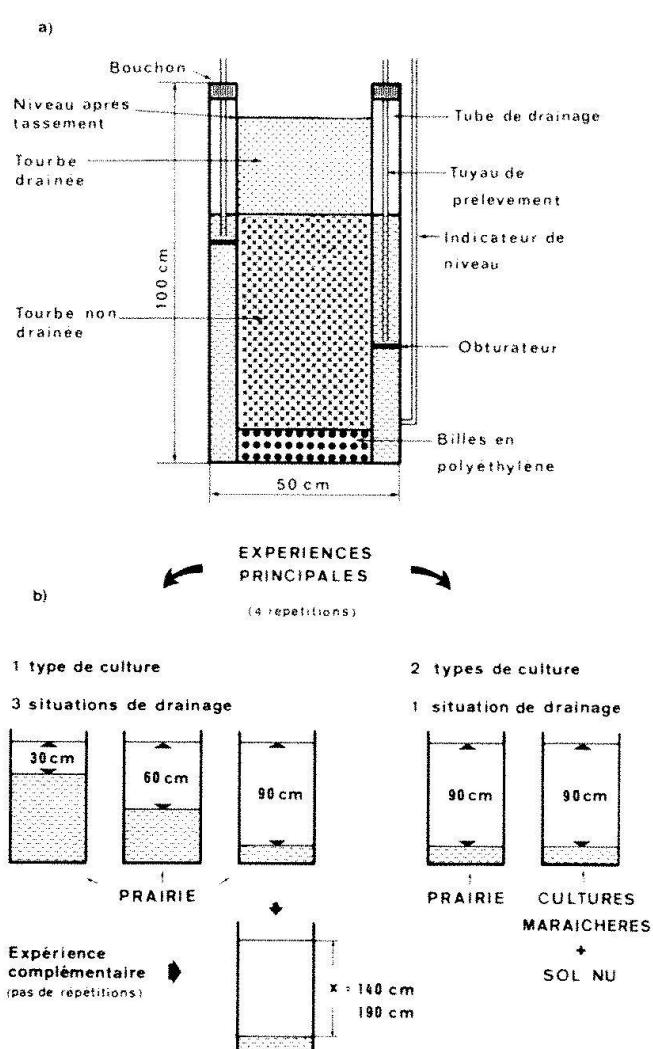
## Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental présenté en fig. 1a, est décrit en détail par Dubois et al. (1982). Nous nous contenterons d'en donner ici les caractéristiques principales.

Le premier essai est composé de 12 tubes simulant une prairie soumise à trois conditions de

drainage (nappe à 30, 60 et 90 cm de la surface) et de trois tubes supplémentaires destinés à compléter l'étude de la dynamique de l'azote nitrique pour des épaisseurs de tourbe drainée plus élevées (jusqu'à 190 cm). Le deuxième essai comprend huit tubes simulant deux types de cultures (prairie et culture maraîchère suivie du sol nu) soumises à une même situation de drainage (nappe à 90 cm). L'ensemble des dispositifs a été installé dans la halle de végétation de la Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Changins.

Les tourbes utilisées proviennent des marais de Porsel (FR) et de la haute Plaine de l'Orbe (Orny VD). Ce sont des tourbes sapristes, minéralisées, pauvres en fibres et saturées en calcium. Leur pH varie entre 5.9 et 6.3 et leur rapport C/N est de l'ordre de 15 (2,1–2,9 % d'azote total). En raison de la pauvreté de la tourbe en éléments extractibles à l'eau, une fu-



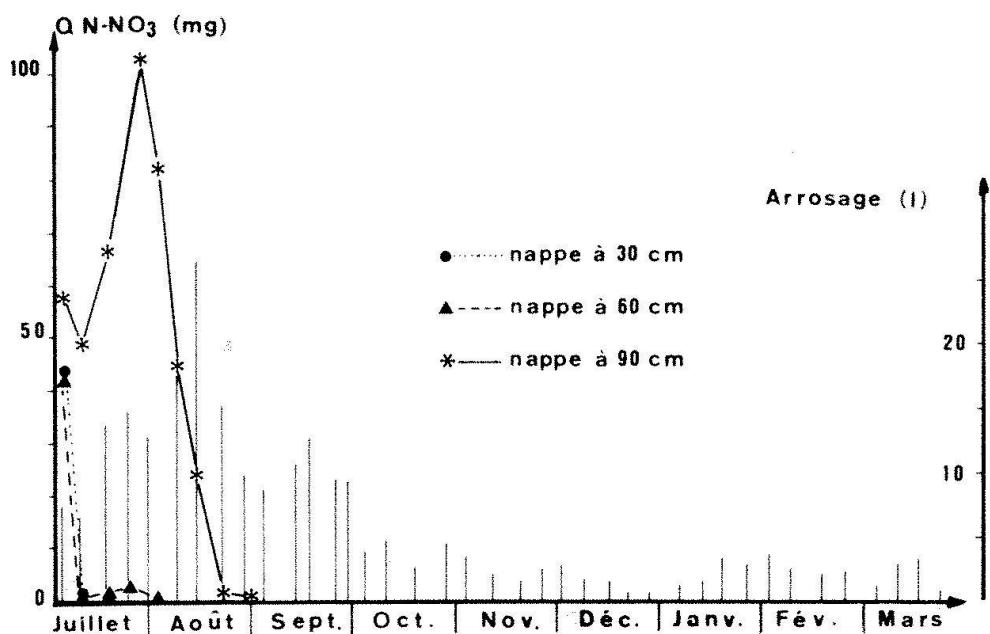


Figure 2. Evolution des exportations d'azote nitrique par l'eau de drainage sous prairie (Expérience principale).

mure complémentaire, adaptée à chaque cas, a été incorporée à la couche supérieure du sol.

La couverture végétale se compose d'un mélange trèfle - ray-grass pour la prairie et d'une combinaison épinard - salade pour la culture maraîchère. L'eau d'arrosage (déminéralisée) est ajoutée de façon à permettre le maintien des niveaux de nappes; pour un essai donné, une même quantité est ajoutée à chaque tube. Les eaux de drainage sont recueillies et analysées chaque semaine. Les méthodes d'analyse du sol, de la plante et de l'eau sont décrites en détail par Jelmini et al. (1981).

### Influence du drainage

#### Comportement de l'azote nitrique

Au début, la quantité d'azote nitrique entraînée par l'eau de drainage varie dans le même sens que les volumes d'eau d'arrosage. Cette évolution est bien visible dans le cas de la nappe à 90 cm, perceptible à 60 cm et invisible à 30 cm (fig. 2). Progressivement, d'une situation de drainage à l'autre, les nitrates disparaissent jusqu'à la fin de l'expérience. En augmentant l'épaisseur de tourbe drainée, le même phénomène se reproduit jusqu'à 140 cm (fig. 3). Au-delà, la charge nitrique de l'eau de drainage passe par un minimum puis se maintient, jusqu'à la fin de l'expérience (6 mois), à un niveau varia-

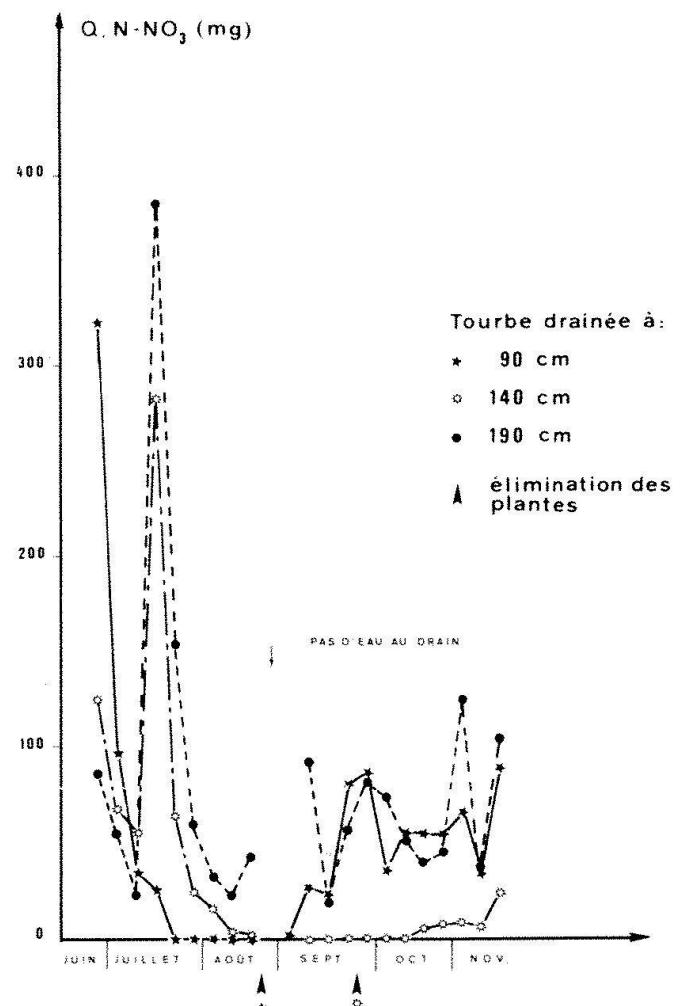


Figure 3. Evolution des exportations d'azote nitrique par l'eau de drainage sous prairie (Expérience complémentaire).

ble selon la saison et l'état physiologique des plantes.

Nos conditions expérimentales ne permettent pas d'expliquer en détail le mécanisme de cette disparition des nitrates. En revanche, notre travail apporte la preuve que la couverture végétale choisie (surtout le ray-grass) est étroitement impliquée dans le processus. Nous avons observé que la disparition de l'azote nitrique dans l'eau coïncide avec une extension latérale du réseau racinaire qui, selon Kutschera (1960), se produit lorsque les racines principales sont en contact avec une zone très humide (ici la nappe). Ensuite, la forte teneur en azote total de la première récolte, soit environ le double de celle de la même plante sur sol minéral, indique que les nitrates formés dans la tourbe sont absorbés massivement par le réseau racinaire des plantes qui occuperait à ce moment-là tout le volume de la tourbe drainée. Dans le cas du drainage à 190 cm, les racines ne doivent pas coloniser toute la masse de tourbe drainée de sorte que la production de nitrates dépasse la consommation par les plantes. Le surplus est donc lixivié.

### Comportement du phosphore et du potassium

Le comportement du phosphore n'est pas discuté pour deux raisons: d'une part, nous avons constaté, dans le travail préliminaire (Jelmini et al. 1981), que les concentrations d'ortho-phosphate dans l'eau de drainage étaient trop faibles ( $< 0,05 \text{ mg/l}$ ) et d'autre part, des difficultés analytiques ont rendu inutilisables une partie des résultats du phosphore total. Signalons, simplement, que les quantités lixivierées ne dépassaient pas 1 mg P par semaine dès le mois d'août. La corrélation existant entre le phosphore total et le carbone organique indique que le phosphore lixivié provient de la matière organique hydrosoluble.

La charge en potassium de l'eau de drainage à 60 et 90 cm est insignifiante et disparaît très rapidement. À 30 cm, l'évolution irrégulière du potassium tend à montrer que la lixiviation provient de l'engrais fourni à la plante. Cette hypothèse est confirmée par la faible quantité de potassium extractible à l'eau dans la tourbe de départ. Cet élément est donc rapidement immobilisé dans les 30 premiers centimètres de sol, zone principale de l'extention racinaire.

### Exportation de l'azote et du potassium (fig. 4)

Au cours de la période d'essai, l'azote et le potassium ont été fortement recyclés par la végétation (2-8 % de la réserve totale de la tourbe), mais très faiblement lixivierés ( $< 0,1\%$ ). La quantité d'azote absorbée par les plantes est d'autant plus élevée que le drainage est profond. La fraction entraînée par l'eau de drainage (3 % de la perte totale) se présente sous forme nitrique et organique; la forme ammoniacale est négligeable et son faible taux d'exportation montre bien qu'elle est rapidement nitrifiée, absorbée par les plantes et les microorganismes ou fixée sur le complexe absorbant. L'exportation d'azote organique diminue avec la profondeur du drainage alors que l'inverse se produit pour l'azote nitrique. Comparée à la réserve azotée de la tourbe, la perte par drainage reste très faible.

L'exportation de potassium par l'eau de drainage est insignifiante; les quantités absorbées par les plantes sont pratiquement les mêmes dans les 3 situations de drainage et représentent 75 % du potassium fourni sous forme d'engrais. Ceci s'explique par la pauvreté en K assimilable de la tourbe utilisée. Ainsi, sous prairie la perte en potassium n'est pas liée à la profondeur du drainage mais plutôt à la quantité d'engrais ajoutée.

### Influence de la couverture végétale

Le régime des exportations par les plantes et par l'eau de drainage est différent dans les deux

		É l é m e n t s		N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-tot	K
Quantités en début d'expérience		Tourbe (mg)	Fumure (mg)			643848	126457
EXPERIMENTATION	SITUATION 1	Plantes (mg)	(%)			10434	3717
		Eau de drainage (mg)	(%)	206	3	1,6	6,9
	SITUATION 2	Plantes (mg)	(%)			11897	10388
		Eau de drainage (mg)	(%)	183	10	349	15
	SITUATION 3	Plantes (mg)	(%)			13034	10646
		Eau de drainage (mg)	(%)	456	1	534	6

Figure 4. Exportation de l'azote et du potassium sous prairie en fonction de la profondeur du drainage.

types de culture (fig. 5). Sous prairie, les exportations par les plantes sont un peu plus élevées mais la lixiviation ne représente qu'une petite partie de la perte en éléments par la tourbe (1 à 2%). En revanche, sous culture maraîchère, les plantes absorbent moins d'éléments mais l'appauvrissement de la tourbe par lixiviation est beaucoup plus important: environ 15% pour le phosphore et le potassium, 43% pour l'azote. Dans ce dernier cas, il faut noter que la proportion d'azote organique lixivierée est du même ordre de grandeur que celles des deux autres éléments. La différence est due aux nitrates dont la lixiviation est 1000 fois plus élevée que sous prairie.

Les exportations par l'eau sous ces deux couvertures végétales différentes varient aussi selon la saison. La majeure partie de la lixiviation se produit en automne sous prairie mais en été sous culture maraîchère. De même, bien que la salade absorbe 4 à 6 fois moins d'éléments que l'épinard, la lixiviation durant sa période de culture est 3 à 5 fois plus importante.

Comparée à la réserve totale de la tourbe, les exportations sont faibles pour l'azote et le phosphore (1 à 2%), plus élevées pour le potassium (environ 10%). Les résultats de la fig. 5 montrent également qu'une partie des éléments exportés provient de la minéralisation de la tourbe. Dans le cas de l'azote, nous ne tenons pas compte de la quantité qui pourrait être fixée sous forme symbiotique ou non. Toutefois, avec la réserve dont dispose la tourbe (2 à 3%) et les bonnes conditions de minéralisation qui existent dans notre dispositif expérimental, il est hors de doute que l'apport d'azote par fixation doit être négligeable sinon nul (les racines du trèfle ne contenaient, d'ailleurs, que quelques rares nodules, non colorés). La différence d'absorption des éléments par les plantes est liée au type de culture. La combinaison trèfle et ray-grass dispose d'un nombre plus élevé de plantes par unité de surface cultivée (8 trèfles + 8 ray-grass contre 5 épinards et 3 salades). De plus, elle prélève ses éléments plus longtemps et plus régulièrement (pas de sol nu

P E R I O D E		3 juin-8 juillet		9 juillet-5 août		6 août - 2 sept.		3 sept. - 9 déc.		3 juin - 9 déc.						
C U L T U R E		EPINARD	PRAIRIE	SOL NU ETE	PRAIRIE	SALADE	PRAIRIE	SOL NU AUTOMNE	PRAIRIE	CULTURE MARAÎCHÈRE	PRAIRIE					
POTASSIUM (mg)	Exportation-plantes	12235	6727	-	4794	2037	4900	-	4159	14272	20580					
	Lixiviation	222	15	764	10	1064	33	830	229	2880	287					
	Fumure	4947	12232	-	-	4314	-	-	-	9261	12232					
	Fourni par la tourbe	7510	-	764	-	-	4247	-	4388	8274	8635					
	Fourni à la tourbe	-	5490	-	686	1213	-	383	-	383	-					
PHOSPHORE (mg)	Exportation-plantes	706	585	-	423	178	517	-	536	884	2061					
	Lixiviation	13	3	29	2	62	2	67	17	171	24					
	Fumure	1045	1071	-	-	787	-	-	-	1832	1071					
	Fourni par la tourbe	-	-	-	-	-	461	-	553	-	1014					
	Fourni à la tourbe	326	483	297	58	844	-	777	-	777	-					
AZOTE (mg)	Exportation-plantes	5749	4435	-	2434	1157	2627	-	3515	6906	13011					
	N org.	58	11	188	12	399	18	406	103	1051	144					
	Lixiviation	NH <sub>4</sub>	1	14	23	726	-	18	16	2072	1	104	100	5081	1	148
		N <sub>0</sub> 3	468	3	515	-	1297	-	1650	-	3930	-	3			
	Fumure	NH <sub>4</sub>	1206	2350	-	-	800	2309	-	-	2006	4659	-			
		N <sub>0</sub> 3	1144	-	-	-	1509	-	-	-	2653	-				
	Fourni par la tourbe	3926	4449	726	2446	604	2645	-	2072	3619	7328	13159				
Fourni à la tourbe		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

Figure 5. Exportation comparée de l'azote, du phosphore et du potassium sous prairie et sous culture maraîchère.

durant la période de végétation). Son réseau racinaire est aussi plus dense et plus ramifié que celui des légumes, ce qui lui permet d'absorber davantage d'éléments mais surtout davantage d'eau, de sorte que la lixiviation est freinée à sa base. La fig. 6 illustre bien ce phénomène. On constate que les quantités de phosphore et de potassium, lixivierées au cours des mêmes périodes dans les deux types de culture, varient de la même façon que la proportion de l'eau d'arrosage non retenue par le système tourbe-plante. L'effet de la couverture herbagère serait ainsi essentiellement dû à la rétention d'eau. En revanche, nos conditions expérimentales ne nous permettent pas de mettre en évidence un éventuel impact de la plante, par l'action de ses racines, sur la minéralisation.

## Conclusions

L'abaissement du niveau de la nappe dans une tourbe eutrophe cultivée en prairie favorise l'exportation des éléments nutritifs (N, P, K). Cependant, la part exportée par l'eau seule diminue grâce à l'effet régulateur de la couverture végétale. L'exemple de l'azote nitrique illustre parfaitement cet effet: dès que la prairie est suffisamment développée, les nitrates ne sont plus lixivierés et cette protection se poursuit jusqu'à 1,4 m de profondeur de drainage. Le rôle actif des plantes est démontré puisque la suppression de la couverture végétale entraîne une reprise de la lixiviation. D'autres résultats (Dubois et al. 1982) montrent également que les nitrates formés dans la tourbe sont en quantités suffisantes pour assurer un excellent rendement à la culture fourragère; une fumure azotée est donc superflue, du moins pendant la première année. Le mélange de trèfle et de ray-grass offre une meilleure protection contre la lixiviation des éléments nutritifs (N, P, K) que la culture maraîchère. Il permet de disposer d'un nombre plus élevé de plantes par unité de surface qui, de surcroît, prélevent régulièrement les éléments au cours de la saison. La prairie possède également un réseau racinaire plus ramifié et plus dense lui permettant d'absorber davantage d'éléments et surtout d'eau; elle contribue ainsi plus efficacement à freiner l'appauvrissement des couches profondes par lixiviation.

En résumé, bien que les résultats de nos essais en vase de végétation ne puissent être extrapolés sans précaution, ils démontrent que la mise en prairie d'une tourbe eutrophe drainée offre une meilleure protection que la culture maraîchère contre la perte en éléments par l'eau de drainage et, par conséquent, contre l'eutrophisation des eaux de surface ou souterraines.

## Bibliographie

- Beck, Th. 1979: Verlauf und Steuerung der Nitrifikation in Bodenmodelleversuchen. *Landwirtschaft Forschung*, Vol. 33, Nr. 1, 85-94.  
 Dubois, D., Jelmini, G., Dubois, J.-P. 1982: Influence du drainage sur la migration des éléments dans une tourbe eutrophe cultivée en prairie. *Laboratoire de Pédologie PED9, EPFL, Lausanne*.  
 Eggelmann, R. 1978: Oxidativer Torfverzehr in Niedermooren in Abhängigkeit vom Klima und mögliche Schutzmaßnahmen. *Telma*, Vol. 7, 75-81.

Figure 6. Lixiviation comparée du phosphore et du potassium dans les deux types de cultures.

- Frei, E., Peyer, K., Jäggi, F. 1972: Verbesserungsmöglichkeiten der Moorböden des Berner Seelandes. Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft, Vol. 20, 197–210.
- Hagemann, P.-C. 1978: Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren zur nachhaltigen Entwicklung von Sanddeck- und Sandmischkulturen. Diss. Göttingen.
- Jaton, J.-F. 1977: Etude de quelques propriétés des sols tourbeux et leur influence sur le drainage. Institut du Génie Rural, EPFL, IGR no 133.
- Jelmini, G., Dubois, J.-P., Dubois, D. 1981: Etude préliminaire de l'influence du drainage sur la migration des éléments dans une tourbe eutrophe. Laboratoire de Pédologie PED7, EPFL, Lausanne.
- Kuntze, H. 1978: Verockerung. Diagnose und Therapie. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Kuntze, H. 1980: Belastung und Schutz von Gewässern durch die Landbewirtschaftung. Die Bodenkultur, Vol. 31, 12–25.
- Kuntze, H., Vetter, H. 1980: Bewirtschaftung und Düngung von Sandmischkulturen. Landwirtschaftsblatt Weser – Ems, Nr. 9–27.
- Kuntze, H., Niemann, H., Röschmann, G., Schwertfeger, G. 1981: Bodenkunde. 2. Aufl., Verlag Ulmer, Stuttgart.
- Kutschera, L. 1960: Wurzelatlas Mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG Verlag – GmbH, Frankfurt am Main.
- Levanon, D., Denis, Y., Okon, Y., Dovrat, A. 1979: Alfalfa Roots and Nitrogen Transformations in peat. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 11, 343–347.
- Mundel, G. 1976: Untersuchung zur Torfmineralisation in Niedermooren. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, Vol. 20, 669–679.
- Schefer, B. 1976: Zur Frage der Stickstoffumsetzung in Niedermoorböden. Landwirtschaft Forschung, Vol. 33, 20–28.
- Waydbrink, W. V.d. 1980: Die Effektivität der Stickstoffdüngung auf dem Niedermoorgrasland. Feldwirtschaft, Vol. 5, 22–223.

#### Adresses des auteurs:

Jean-Pascal Dubois  
Laboratoire de pédologie, EPFL  
CH-1024 Ecublens

Daniel Dubois  
Laboratoire de pédologie, EPFL  
CH-1024 Ecublens

Giorgio Jelmini  
Sous-station fédérale de  
recherches agronomiques  
CH-6593 Cadenazzo TI