

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 65 (2003)
Heft: 6-7

Artikel: Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates
Autor: Anken, Thomas / Irla, Edward / Heusser, Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1086324>

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: 05.02.2026

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

RAPPORTS

FAT

Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 Tänikon TG, Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90

Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates

Thomas Anken, Edward Irla, Jakob Heusser et Helmut Ammann, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Walter Richner, Ulrich Walther, Peter Weisskopf et Jakob Nievergelt, Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL), Zürich-Reckenholz, CH-8092 Zürich

Peter Stamp, Ecole polytechnique fédérale, CH-8046 Zürich

Otto Schmid et Paul Mäder, Institut de recherche de l'agriculture biologique (IRAB), CH-5070 Frick

Quelle influence le labour et le semis direct ont-ils sur la dynamique de l'azote dans le sol, sur la lixiviation des nitrates et sur le développement des plantes? Pour répondre à cette

question dans des conditions proches de la pratique, la FAT a mis en place un essai en plein champ pendant plusieurs années. Les différences sont plus faibles que prévu.

Problématique

Les réseaux d'eau potable de près de 350 communes suisses présentent des teneurs en nitrates trop élevées (OFAG 2002). Outre la modification des assoulements, l'augmentation de la part de végétalisation et la réduction de la fumure azotée, la suppression du travail du sol (semis direct) permet-elle aussi de réduire la lixiviation des nitrates? Le présent essai avait pour but d'étudier la dynamique de l'azote dans le sol et la lixiviation des nitrates dans la nappe phréatique dans le cas du labour et du semis direct, dans les conditions propres à la Suisse. Des analyses N_{min} et des analyses de l'eau du sol effectuées à l'aide de bougies poreuses ont montré la dynamique de l'azote minéralisé dans le sol. Des lysimètres (fig. 1) ont permis de recueillir la totalité de l'eau de percolation. Sur la base de la quantité d'eau de percolation et de sa concentration en azote nitrique, les chercheurs ont pu déterminer la quantité d'azote nitrique lessivée.



Fig. 1: Un excavateur a placé des cylindres en acier chromé d'un diamètre de 113 cm (surface de 1 m²) à 1,5 m de profondeur dans le sol. Ces dispositifs de mesure, appelés lysimètres, servaient à recueillir l'eau de percolation et à l'envoyer dans un collecteur de manière à déterminer la lixiviation des nitrates.

Le rapport FAT complet est disponible à la FAT, tél. 052 368 31 31.

>Rapport FAT N° 598/2003 Abrégé

Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates

Installation d'essai, assolement et caractéristiques du site

Les lysimètres sont placés sur des parcelles d'essai de 10×12 m de la FAT Tänikon. Le sol est un sol brun lessivé, profond (limon). Le pourcentage de pierres



Fig. 2: Les trois procédés de mise en place étaient les suivants: labour (LA, en haut), préparation superficielle du sol (PS, au milieu) et semis direct (SD, en bas). Dans le cas du SD, le sol n'a pas été travaillé pendant toute la période d'essai, tandis qu'avec la PS et le LA, le sol a été travaillé avant chaque culture principale.

de la parcelle représente environ 10% volumétrique (0–90 cm de profondeur). Le tableau 1 définit les différents paramètres pédologiques. Le «labour» (LA) et le «semis direct» (SD) étaient les deux systèmes de mise en place étudiés avec les lysimètres. Avec le procédé intitulé «préparation superficielle du sol» (PS), les relevés se sont limités aux paramètres agronomiques courants sans mesure de la lixiviation des nitrates. Avec le procédé SD, aucun travail du sol n'a été pratiqué pendant toute la durée de la période

Tab. 1: Propriétés du sol sur le site d'essai

Paramètres pédologiques	Profondeur 0–20 cm	Profondeur 30–50 cm
Argile %	22	25
Silt %	35	34
Sable %	43	41
C. org. %	1,6	–
pH	6,6	6,8

d'essai. Dans le cas du procédé LA, le sol a été labouré une fois par an à l'aide d'une charrue bisoc et hersé à l'aide d'une herse rotative à axes verticaux. Avec le procédé PS, le déchaumage a été effectué avec une herse à bêches roulantes et le semis avec une combinaison d'outils entraînés à la prise de force pour le blé d'automne, tandis que le maïs était semé sur bandes fraîchées (fig. 2). Les parcelles de ces procédés principaux ont été subdivisées en deux procédés annexes «fumure d'azote minéral» (MIN), «lisier» (LI, fig. 3) et avec un procédé «sans fumure d'azote minéral» (ON) (Split-Plot-Design avec trois répétitions). L'engrangement azoté utilisé était du nitrate d'ammoniac contenant 27,5% de N. Quant au lisier, il s'agissait de lisier de bovins complet. Le blé d'automne a été se-

mé sur un interligne de 12,5 cm pour le LA, le PS et de 19 cm pour le SD. Quel que soit le procédé, la profondeur de semis était de 2–3 cm. Pour le semis de maïs, l'interligne était de 75 cm (densité de semis 10 grains/m², profondeur de mise en terre 5 cm). L'assolement était le suivant: maïs-ensilage – blé d'automne – maïs-ensilage – blé d'automne. Les principales données relatives à la mise en place des cultures sont répertoriées au tableau 2. Quatre à cinq récoltes intermédiaires ont permis d'étudier le développement de la biomasse et l'absorption d'azote par les plantes. La teneur d'azote minéral dans le sol, qualifiée de N_{min} (NH₄- et NO₃-N), a été déterminée à l'aide d'analyses de sol (0–90 cm de profondeur, cinq prélèvements par parcelle).

Mesure de la lixiviation des nitrates

Pour recueillir l'eau d'infiltration, on a utilisé des lysimètres de forme cylindrique, monolithiques (remplis de sol non perturbé) en acier chromé qui présentaient une surface d'un mètre carré et une profondeur de 1,5 m. Depuis les lysimètres, l'eau était ensuite amenée jusqu'à un collecteur (fig. 4). Le travail du sol et le semis ont été effectués avec des machines traditionnelles après avoir retiré les anneaux supérieurs des lysimètres.

1999: première croissance lacunaire avec le semis direct

Au printemps 1999, dans le procédé du semis direct (SD), le maïs-ensilage s'est très mal développé par rapport au procédé avec labour (LA). Cette première croissance lacunaire est sans doute liée aux très fortes précipitations des mois de mai (244 mm) et juin 1999 (189 mm). Elles

Tab. 2: Indications relatives aux cultures plantées ainsi qu'aux travaux de mise en place et de fumure

	1999	2000	2000	2001
Labour ¹	03.05.99	11.10.99	–	04.04.01
Préparation du lit de semences ² , semis	05.05.99	12.10.99	14.08.00	02.05.01
Culture Variété	Maïs-ensilage LG 22.65	Blé d'automne Titlis	Moutarde jaune Silenda	Maïs-ensilage LG 22.65
Densité de semis	10 grains/m ²	420 grains/m ²	20 kg/ha	10 grains/m ²
Fumure azotée en kg N/ha	150	120	–	160

¹ Pour le LA: charrue bisoc, 25 cm de profondeur

² Pour le LA et la PS: herse rotative c.-à-d. semis sur bandes fraîchées (maïs)



Fig. 3: Le distributeur d'engrais pneumatique répartissait les engrains minéraux dans les parcelles d'essai et l'épandeur à tuyaux souples, le lisier.

étaient en effet largement supérieures à la moyenne annuelle de 114 mm pour mai et de 139 mm pour juin. Dans le cas du semis direct (SD), où le terrain, contrairement au sol ameubli avec la charrue (LA), présente un volume de pores grossiers nettement plus faible, ces grosses quantités d'eau ont sans doute empêché un approvisionnement correct des racines en oxygène. Cette hypothèse n'a toutefois pas pu être directement confirmée par des mesures. Outre les fortes précipitations, les conditions physiques dans le sillon de semis influencent également les modalités de développement pendant la phase de première croissance. Celles-ci se caractérisent par l'apport en oxygène, en eau et en éléments nutritifs des jeunes racines et par la résistance du sol à la pénétration. La phase de première croissance des plants de maïs, extrêmement mauvaise en 1999, montre que des améliorations peuvent encore être apportées en ce qui concerne la «préparation du lit de semences» dans le sillon. L'idéal serait d'avoir des systèmes de socs qui ne lissent pas le sillon même dans les terrains humides, qui émettent le sol, referment le sillon sans compacter la terre et fonctionnent sans risque de bourrage.

Rendements équilibrés 2000–2002

Dans les années 1999 (maïs) et 2000 (blé d'automne), le LA est le procédé qui a obtenu les rendements les plus élevés, ce résultat étant statistiquement significatif (fig. 5). Avec les cultures suivantes de maïs (2001) et de blé d'automne (2002), les procédés de mise en place ne se distinguent que de quelques pourcents, les

différences n'étant pas statistiquement significatives. Par contre, quelle que soit l'année considérée, les différences de rendement d'un procédé de fumure à l'autre étaient toujours significatives. La fumure d'azote minéral (MIN) obtenait toujours les rendements les plus élevés; le procédé ON, toujours les plus petits. Le LI se situait entre les deux. Les rendements supplémentaires obtenus par kg d'azote

épandu (azote ammoniacal pour le lisier) ont montré que la fumure minérale était plus apte à convertir l'azote appliqué en rendements (données non représentées). On peut supposer que malgré l'épandage du lisier par tuyaux souples, les pertes d'ammoniac sous forme gazeuse ont fait que l'azote ammoniacal contenu dans le lisier a été moins bien exploité, ce qui a entraîné des rendements inférieurs.

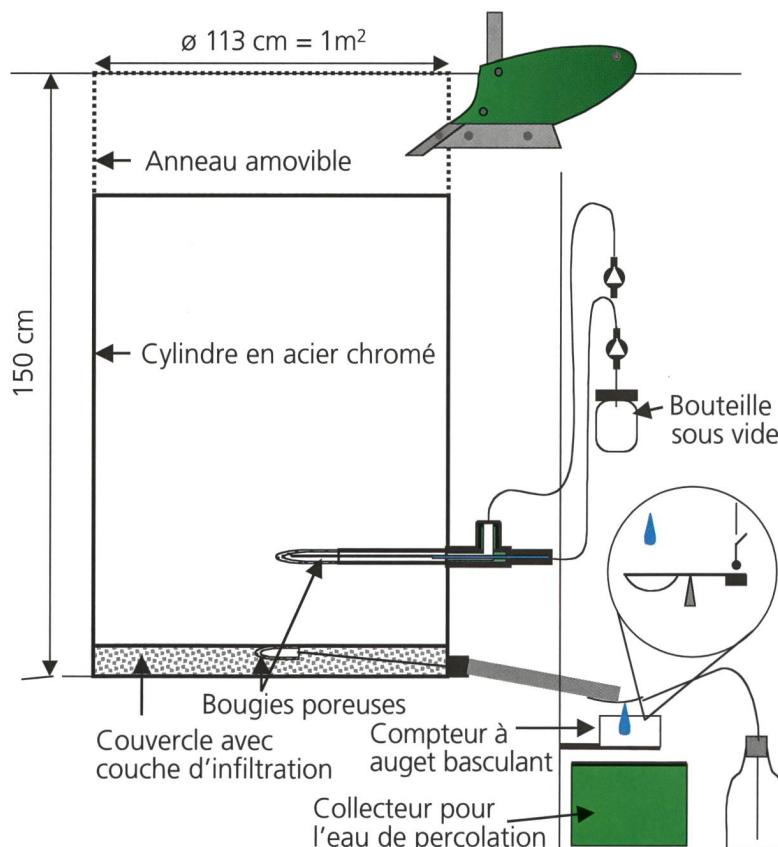


Fig. 4: Un couvercle ferme les lysimètres à la base. L'écoulement conduit à un collecteur où l'eau d'infiltration passe par un compteur à augets basculants, avant d'être recueillie dans des bacs en PVC. Des bougies poreuses en céramique permettent d'aspirer l'eau du sol à 125 cm de profondeur.

>Rapport FAT N° 598/2003 Abrégé

Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates

Tab. 3: Coûts directement attribuables par procédé

Fixes = coûts fixes (amortissement, intérêts, taxes, assurance) Var = coûts variables (carburant, réparations), propriété = propres machines, location = combinaison d'outils loués, régie = travaux confiés à une entreprise.

Procédé	Charrue, 4 socs	Combinaison d'outils, 3 m	Tracteur 4 roues motrices, 70 kW (95 CV)
LA propriété	Charrue et combinaison d'outils en propriété fixes et var.	fixes et var.	var.
LA propriété +T	Charrue et combinaison d'outils en propriété, Tracteur de 70 KW au lieu de 50 KW fixes et var.	fixes et var.	var.+ différence coûts fixes tracteur
CO propriété	Combinaison d'outils en propriété	–	fixes et var.
CO location	Combinaison d'outils en location	–	location var.
CO régie	Combinaison d'outils en régie	–	tarif régie –
SD régie	Semis direct en régie	–	tarif régie –

Faibles teneurs d'azote dans le sol et l'eau d'infiltration

La concentration en azote nitrique dans l'eau du sol (fig. 6) affiche une évolution similaire pour le LA et le SD. Tout comme les relevés N_{min} , les concentrations n'ont

jamais atteint des valeurs très élevées. A l'instar des valeurs enregistrées pour l'eau du sol, les concentrations de l'eau de percolation en azote nitrique après la récolte de maïs-ensilage en automne 1999 et pendant l'hiver suivant étaient nettement plus élevées pour le SD que pour le LA (fig. 7). Pendant les deux années suivantes, les deux procédés de mise en place ne se sont pas véritablement

distingués l'un de l'autre. Les plus fortes concentrations de l'ordre de 15 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ ont été relevées après le maïs en 1999 et après la fumure du maïs en 2001.

Lixiviation des nitrates – aucune tendance nette

La figure 8 indique la lixiviation des nitrates déterminée à l'aide des lysimètres. Après la première année de culture en maïs, le blé d'automne qui a suivi avec SD a enregistré une lixiviation des nitrates de 70 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$. Pour le LA, le chiffre était de 40 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$. Sous la culture de maïs suivante (2001), les lysimètres ont recueilli environ 30 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ pour le LA comme pour le SD. Les quantités de nitrates lessivées étaient donc relativement faibles. Dans le présent essai, il semble que l'apport d'azote due à la minéralisation naturelle et à la fumure ait été relativement synchronisé par rapport à l'absorption d'azote par les plantes. Comme l'azote minéral était bien exploité par les plantes, peu d'azote nitrique pouvait être lessivé pendant la période de repos végétatif. Seul l'automne 1999 fait exception. A cette époque, les parcelles de SD ont en effet minéralisé plus d'azote que le blé d'automne ne pouvait absorber, ce qui s'est traduit par une augmentation de la lixiviation.

La lixiviation des nitrates enregistrée au printemps 2001, provenait très vraisemblablement de l'azote qui avait été minéralisé ou apporté sous forme d'engrais au printemps. Les valeurs N_{min} et les analyses d'eau du sol ont en effet montré qu'à la fin de l'hiver, il n'y avait pratiquement

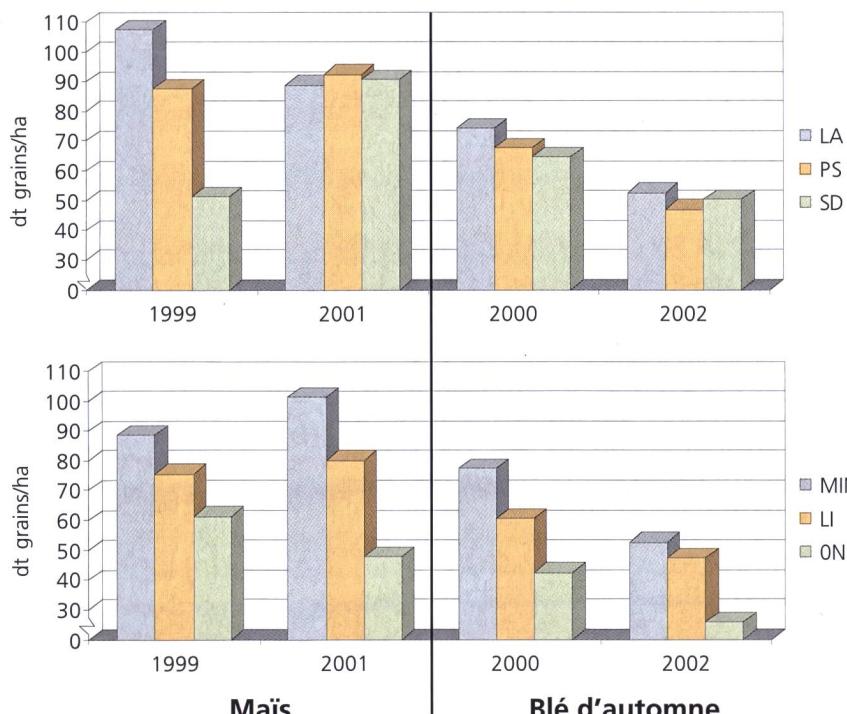


Fig. 5: Rendements en grains (dt/ha) du maïs et du blé d'automne de 1999 à 2002. La moyenne des rendements des différents procédés de travail du sol, labour (LA), préparation superficielle du sol (PS) et semis direct (SD) a été établie avec la fumure minérale et les apports de lisier. La moyenne des différents procédés de fertilisation, fumure minérale (MIN), lisier (LI), et sans azote (ON) a été établie pour tous les procédés de travail du sol.

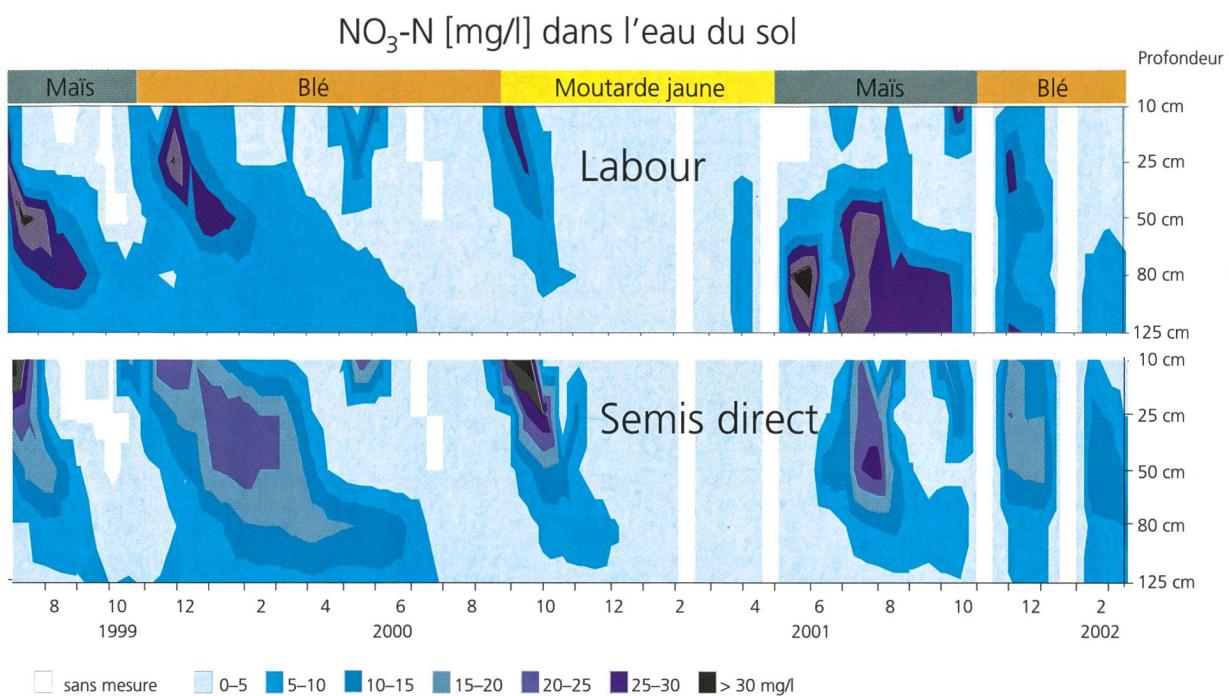


Fig. 6: Evolution temporelle de la concentration en azote nitrique (mg/l) dans le sol pour les procédés labour (LA) et semis direct (SD) avec fumure minérale de 1999 à 2002. Les « motifs de base » se ressemblent beaucoup.

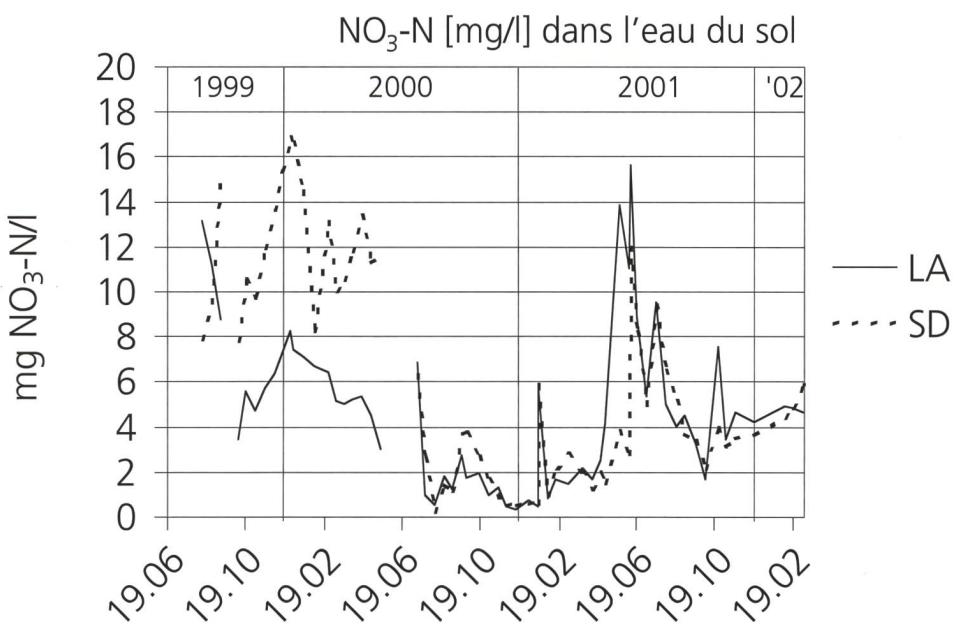


Fig. 7: Concentration en azote nitrique (mg/l) dans l'eau d'infiltration recueillie dans les lysimètres pour les procédés labour (LA) et semis direct (SD) de 1999 à 2002. Les deux procédés ne montrent pas de différences systématiques.

plus de nitrates dans l'ensemble du sol. Ce point confirme l'importance de fertiliser au bon moment et en quantités appropriées et adaptées aux besoins des plantes. Si le maïs est fertilisé trop tôt, les nitrates risquent d'être lessivés en cas de fortes précipitations.

Un faible taux d'utilisation annuel entraîne des coûts élevés

Outre les répercussions écologiques, on peut également se demander quel est le coût des machines et du tracteur pour les différents procédés de mise en place. Su-

vant l'assoulement, le site et les connaissances du chef d'exploitation, les procédés avec travail minimal du sol peuvent présenter des inconvénients par rapport aux procédés traditionnels. Ces inconvénients peuvent prendre la forme de rendements plus faibles ou de coûts plus importants pour la protection des plantes. Lorsqu'on compare les procédés, ce sont les machines qui entraînent les diffé-

>Rapport FAT N° 598/2003 Abrégé

Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates

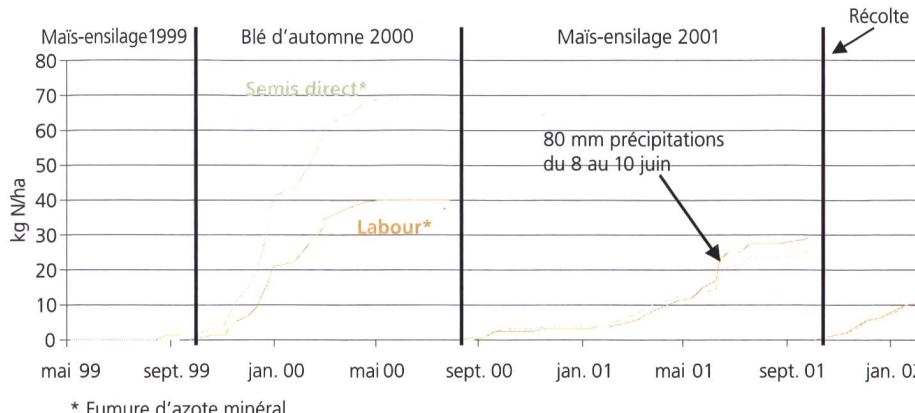


Fig. 8: Quantité d'azote nitrique (kg N/ha) lessivée et recueillie dans les lysimètres de terrain pour le labour et le semis direct dans les années 1999 à 2002. Sauf en l'an 2000, le labour et le semis direct ne diffèrent pas.

rences de coûts les plus importantes, tandis que les différences de rendements ou de coûts de la protection des plantes sont plus fluctuantes. C'est la raison pour laquelle les calculs suivants ne portent que sur les coûts de machines. La figure 9 et le tableau 3 indiquent les coûts directement attribuables à différents procédés de mise en place. Les tarifs employés correspondent à ceux des «Frais de machines 2003» (Rapport FAT 589). Suivant le taux d'utilisation annuel, on constate ce qui est le plus intéressant d'un point de vue économique: louer les machines, en être propriétaires ou encore faire faire les travaux en régie. Lorsque le taux d'utilisation augmente, il est alors possible de répartir les coûts fixes, invariables quel que soit l'emploi des machines, sur plusieurs unités de travail, ce qui permet d'obtenir des coûts plus faibles par hectare. Sans tenir compte du coût des bâtiments, le procédé «LA propriété» (cf. tableau 3) génère CHF 7190.– de coûts fixes par an. Avec un taux d'utilisation de 20 hectares par an, cette somme représente CHF 360.– par hectare. Les coûts variables, sans tenir compte de l'entretien, se montent à CHF 170.– par hectare, y compris un tracteur de 70 kW (95 CV). Les coûts directement attribuables par hectare s'élèvent donc à CHF 530.–. Mais, lorsque l'exploitation achète un tracteur plus puissant uniquement à cause du labour et du travail du sol («LA propriété + T»), les coûts fixes sont alors plus importants qu'avec le tracteur précédent. La différence alourdit d'autant le coût du procédé considéré. Sans tenir compte du coût des bâtiments, un tracteur de 70 kW (95 CV) représente environ CHF 10 600.– de coûts fixes par an. Par contre, un tracteur de 50 kW (68 CV) ne coûte plus qu'environ CHF 7300.– par an. La différence de CHF 3300.– tient es-

sentiellement au coût plus élevé des intérêts et de l'amortissement, sachant que la différence de prix entre les deux tracteurs neufs est de CHF 31 000.–. Lorsque le taux d'utilisation annuel est faible, il est plus rentable de louer les machines ou de faire effectuer les travaux en régie que d'avoir ses propres machines. Avec une combinaison d'outils, les coûts de la mécanisation propre («CO propriété») et de la location de machines («CO location») sont les mêmes pour une surface de 54 ha. Les coûts de la mécanisation propre et des travaux en régie («CO régie») sont égaux pour une surface de 24 hectares. A ce niveau, le temps de travail n'a pas été pris en compte dans les calculs en termes monétaires. Chaque exploitation doit donc définir quelle est la stratégie de mécanisation la

mieux adaptée à son cas particulier. Le programme de coûts des machines «Tarfat» (à commander auprès de la LBL et du SRVA) est un outil précieux qui aide à choisir la stratégie optimale pour chaque exploitation.

Conclusions

- Sur le site étudié, l'essai réalisé avec les lysimètres n'a pas permis de mettre en évidence une influence manifeste des systèmes de travail du sol sur la lixiviation des nitrates.
- Si l'on jette un œil à la bibliographie, on constate que sur ce point, les travaux publiés au niveau international ne sont pas non plus arrivés à une conclusion claire et nette.
- Le climat, les propriétés du sol, l'assolement et la fumure sont les facteurs déterminants en ce qui concerne la lixiviation des nitrates.
- La grande efficacité des procédés appliquant un travail minimal du sol permet d'atteindre des taux d'utilisation annuels élevés lorsque les machines sont utilisées en commun, ce qui réduit considérablement le coût du travail du sol et du semis.
- Les procédés appliquant un travail minimal du sol et le semis direct stimulent les organismes vivant dans le sol, réduisent l'érosion, améliorent la traficabilité des parcelles et diminuent la consommation de carburant. Ils apportent donc une contribution précieuse à l'exploitation durable de nos terres assolées.

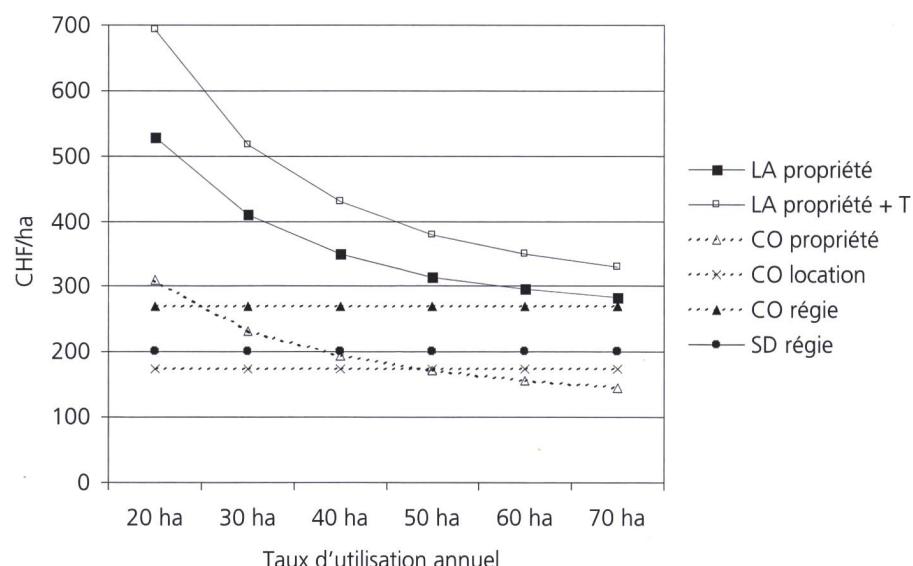


Fig. 9: Coût de différents procédés de travail du sol pour différents taux d'utilisation annuels. Lorsque le taux d'utilisation annuel est faible, la location et les travaux en régie sont plus avantageux que l'achat de ses propres machines (légende cf. tableau 4).