

Dynamique et lessivage de l'azote nitrique sous couvert de trèfle souterrain

M.A. Rakotonandrasana, P. Masson

L'utilisation d'une légumineuse, le trèfle souterrain, comme plante de couverture soulève des questions : ne risque-t-on pas de polluer la nappe ? ; quel est le rythme de libération d'azote nitrique sous ce couvert a priori fixateur d'azote ? L'étude de la dynamique de l'azote nitrique sous ce couvert apporte des éléments de réponse...

RESUME

Un couvert de trèfle souterrain (*Trifolium subterraneum* L.) a été semé sur une station de drainage pendant 3 ans. La croissance précoce du trèfle souterrain permet de réduire le volume de drainage des eaux et le lessivage de nitrate, notamment en périodes automnale et printanière. Les quantités d'azote nitrique lessivées de septembre à juin sont faibles (18,4 kg/ha et 17,4 kg/ha) les deux premières années et insignifiantes la troisième année en raison de la sécheresse. Les concentrations moyennes en nitrate des eaux de drainage restent élevées (de 36,4 mg/l à 62,7 mg/l). La teneur en azote nitrique du sol est maximale en été à la suite de la minéralisation des résidus racinaires et aériens du trèfle souterrain. L'azote nitrique du sol se localise dans les couches superficielles du sol entre 0-20 cm de profondeur.

MOTS CLES

Azote, Languedoc-Roussillon, légumineuse, lessivage, nitrate, trèfle souterrain, *Trifolium subterraneum*, variations saisonnières, zone méditerranéenne.

KEY-WORDS

Languedoc-Roussillon, leaching, legumes, Mediterranean area, nitrate, nitrogen, seasonal variations, subterranean clover, *Trifolium subterraneum*.

AUTEURS

Laboratoire d'Ingénierie Agronomique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT), Avenue de l'Agrobiopole, B.P. 107, Auzeville-Tolosane, F-31326 Castanet-Tolosan.

1. Introduction

Le trèfle souterrain (*Trifolium subterraneum* L.) est une légumineuse annuelle méditerranéenne se renouvelant naturellement par ressemis. Ce trèfle présente un cycle de développement hivernal avec germination en octobre, floraison en avril, fructification et dessèchement en juin. Sa capacité d'enterrer ses fructifications ou glomérules en fin de cycle permet une régénération du peuplement à l'automne suivant. L'été, le sol est couvert d'un mulch sec.

* Les utilisations du trèfle souterrain

Si l'utilisation de cette espèce sur de très grandes surfaces est essentiellement pastorale, notamment en Australie (Puckridge et French, 1983), des utilisations liées à la couverture du sol ont été développées plus récemment en Europe. En effet, son port prostré, son faible développement, la pérennité du couvert, sont des caractéristiques intéressantes pour couvrir le sol. Le trèfle souterrain fait partie des 39 espèces autorisées sur la jachère européenne depuis 1992. Il est également utilisé pour couvrir les sols de vignobles, notamment dans les coteaux méridionaux sensibles à l'érosion, en France (Bertoni et Masson, 1996) et en Italie (Piemontese *et al.*, 1995). Le cycle végétatif principalement hivernal du trèfle souterrain permet de minimiser les risques de concurrence hydrique sur la vigne.

* La question du devenir de l'azote fixé...

Quelle qu'en soit son utilisation, le trèfle souterrain pose notamment le problème du devenir de l'azote fixé par la légumineuse. En jachère ou interculture, il s'agit de maîtriser un éventuel excès d'azote sous ce couvert ; dans ces cas, dans des sols filtrants et dans des milieux dont les eaux souterraines sont déjà chargées en nitrate, il est à craindre qu'un supplément d'azote fixé n'aggrave le problème (Laurent *et al.*, 1995). Dans les vignobles, un enrichissement non maîtrisé de l'azote du sol par le trèfle souterrain pourrait entraîner, dans des situations fertiles, une vigueur excessive de la vigne et une baisse de la qualité du vin.

A l'opposé, dans les utilisations agroforestières et sylvopastorales, la fourniture d'azote est recherchée à certaines périodes, dans certains compartiments du sol, pour faciliter la croissance de la composante ligneuse et valoriser les interactions biologiques positives (Dupraz *et al.*, 1998).

Les données bibliographiques sur la question sont rares car le trèfle souterrain est utilisé essentiellement en Australie dans un contexte pédoclimatique différent et pour une utilisation en prairies pâturées. Ces travaux portent sur l'accumulation de l'azote total dans le sol sous prairie à trèfle souterrain. Plusieurs auteurs australiens trouvent des valeurs de l'ordre de 45 kg N/ha/an pour des prairies de durée moyenne de 5 à 15 ans ou de 65 kg d'azote minéral dans le sol pour 100 kg d'azote dans la partie aérienne (Donald et Williams, 1954 ; Russel, 1960 ; Watson, 1963).

Pour les légumineuses, les références européennes proviennent essentiellement des études réalisées sur le trèfle blanc et plus précisément sur les associations trèfle blanc - ray-grass anglais utilisées en France et en Grande-Bretagne. Si les résultats expérimentaux obtenus sous prairies à base de graminées et de trèfle blanc sans fertilisation azotée montrent souvent un faible lessivage, en général de 10 à 20 kg d'azote nitrique par hectare et par an (Ryden *et al.*, 1984 ; Smith *et al.*, 1990 ; Simon, 1993 ; Simon *et al.*, 1997), d'importants lessivages ont été observés sous trèfle blanc pur (Low, 1973 ; Vertès *et al.*, 1997). De fortes teneurs de nitrate lessivé ont été également observées sous luzerne (Robins et Carter, 1980).

L'objectif de ce travail est d'étudier la dynamique de l'azote nitrique sous un couvert permanent de trèfle souterrain installé dans une zone de monoculture intensive de maïs classée "vulnérable" dans le cadre de l'application de la "Directive Nitrates". L'étude a été réalisée pendant trois années, de 1995 à 1998, sur une parcelle drainée qui permettait de recueillir les écoulements d'eau. Des prélèvements d'échantillons de sol et une série de cannes tensiométriques ont complété ce dispositif. La parcelle de trèfle souterrain peut être éventuellement comparée, selon les années, à un sol nu ou à un ray-grass d'Italie semé sur la parcelle voisine.

2. Matériel et méthodes

* Présentation générale du site

Le travail a été effectué sur la Station expérimentale de drainage du domaine de l'ENSAT, située sur la commune de Poucharramet (Haute-Garonne), à une trentaine kilomètres au sud-ouest de Toulouse (43°24'N,

1°11'E, 204 m d'altitude). La station se trouve sur une terrasse alluviale recouverte de sols lessivés hydromorphes appelés localement "boulbènes". Ce sont des sols limoneux constitués de 45% de limons, 29% d'argiles et 26% de sables entre 0-2 m de profondeur, suivis d'un horizon graveleux. Les caractéristiques de l'horizon cultivé Ap (0-35 cm) sont les suivantes (Guirese, 1989) : pH_{eau} : 7 ; taux de matière organique : $11\%/\infty$; rapport C/N : 9 ; capacité d'échange des cations : 5,6 méq/100 g.

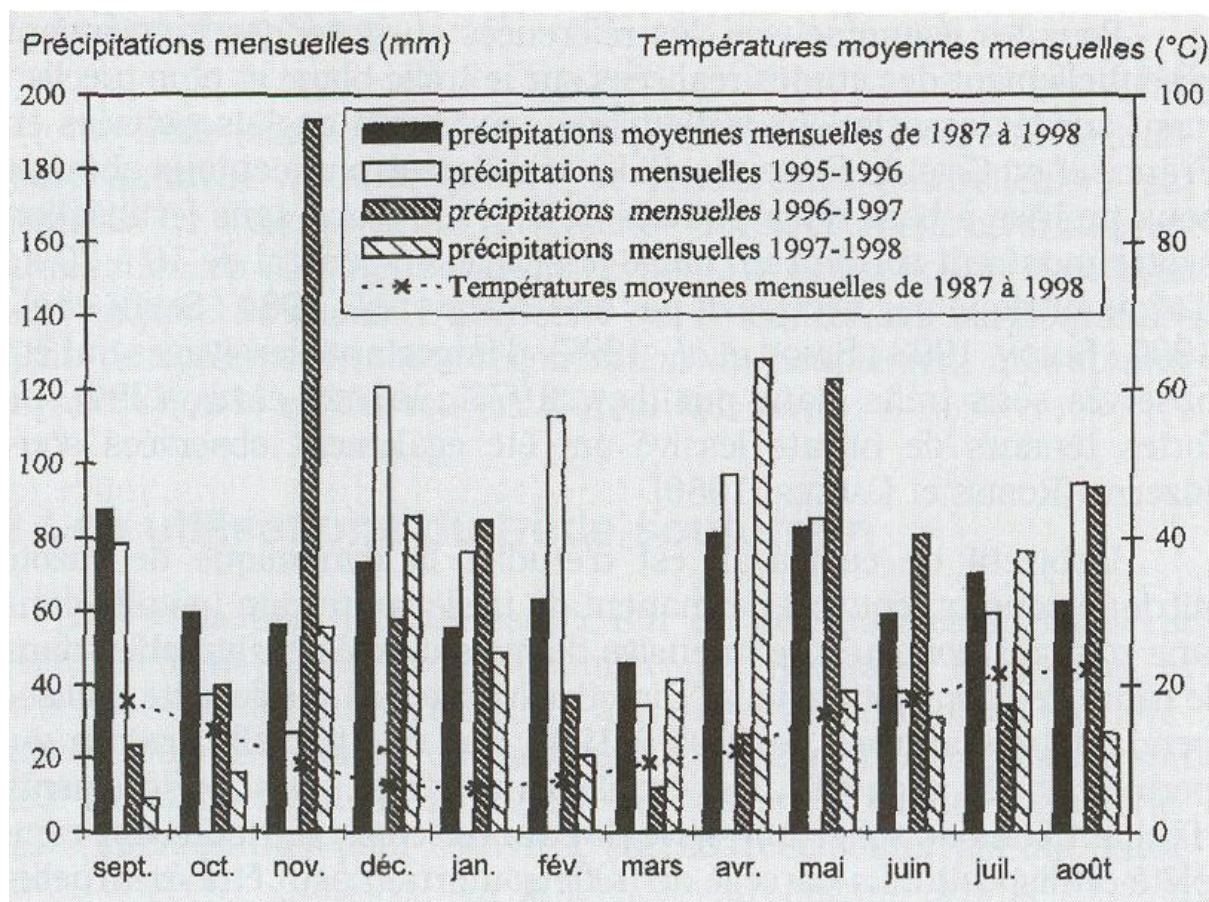
La parcelle 1 a été mise en jachère fixe depuis l'hiver 1994-1995. Elle a été semée en septembre 1994 avec du trèfle souterrain (variétés Clare et Mt Barker) à raison de 35 kg/ha avec une fertilisation de 85 unités de P_2O_5 et de K_2O . Le couvert est broyé 2 à 3 fois par an, les résidus étant laissés au sol.

Une station météorologique appartenant au réseau de Météo-France, installée sur le site même (Poucharramet, indicatif 31435001), permet de connaître les paramètres journaliers locaux. Le climat est qualifié de continental aquitain, caractérisé par des hivers doux et humides et par des étés chauds et secs. La pluviosité moyenne (1987-1998) du site, calculée de septembre à août, s'élève à 798 mm. D'importantes variations interannuelles existent : au cours des 3 années d'étude, cette pluviosité a varié de 861 mm en 1995-1996 à 576 mm en 1997-1998 qui est l'année la plus sèche de la décennie.

Les précipitations sont inégalement réparties dans l'année, avec un déficit important l'été et un excédent l'hiver. Comme l'indique le diagramme ombrothermique du site (figure 1), les mois de février, mars et avril 1997 ont été particulièrement secs par rapport à la moyenne hivernale. Il en est de même pour l'automne et l'hiver 1997-1998.

Figure 1 : Diagramme ombrothermique de la station de Poucharramet.

Figure 1 : Rainfall and temperatures at the Station of Poucharramet.



* Dispositif et mesures

La Station expérimentale de drainage est constituée de quatre parcelles d'environ 1 ha. Notre expérience s'est déroulée sur la parcelle 1 (10 950 m²), drainée à 1,15 m de profondeur. Ces drains, espacés de 10 m, sont connectés à un collecteur spécifique qui aboutit dans une chambre de mesure équipée de débitmètres et de préleveurs automatiques d'eaux.

La première année de drainage étudiée (1995-1996) porte sur un couvert de trèfle souterrain semé en septembre 1994. Les eaux de drainage sont prélevées à l'aide d'un préleveur automatique EPIC 1001 programmable. Chaque année, de septembre à juin, les prélèvements ont été effectués 4 fois par jour, toutes les 6 heures (3 h, 9 h, 15 h et 21 h), de manière à obtenir un échantillon d'eau moyen journalier.

Des prélèvements de sol ont été réalisés par carottage (profondeurs de 0- 20, 20-40 et 40-60 cm) avec 5 répétitions, en interdrain. Chaque échantillon est constitué de deux prélèvements. Les échantillons de sol ont été conservés dans des sacs étanches et en glacière. Les observations ont été faites tous les mois, de septembre à juin, pour la campagne 1996-1997 et 2 fois par mois, de septembre à octobre, pour la campagne 1997-1998. L'azote minéral du sol frais est extrait avec une solution diluée de KCl (N/2) après une agitation mécanique de 30 mn. La solution KCl-sol (50 g de sol frais pour 100 ml de KCl) est ensuite décantée pendant 12 heures et conservée au frais avant d'être filtrée.

Cinq batteries de cannes tensiométriques implantées en interdrain à 20, 40 et 60 cm de profondeur ont permis de suivre chaque semaine l'état hydrique du sol.

De septembre à juin, au début de chaque mois, les repousses de biomasse contenues dans une surface de 1 m² dans trois endroits fixes et représentatifs de la parcelle sont récoltées à l'aide d'une tondeuse électrique. Le poids de biomasse correspond ainsi à la production mensuelle.

Parallèlement, un suivi de l'évolution de la biomasse aérienne est effectué le même jour, en récoltant la biomasse se trouvant à l'intérieur de 3 surfaces de 1 m², situées en des points différents de la parcelle. Chaque échantillon de biomasse récolté est ensuite trié en trois fractions : trèfle souterrain, graminées et adventices, avant d'être pesé et séché dans une étuve ventilée à la température de 80°C pour la détermination du poids sec. Les échantillons sont par la suite broyés en poudre et conservés pour les analyses.

* Analyses

L'extraction de l'azote total chez les végétaux est réalisée par une minéralisation par voie humide avec de l'acide sulfurique concentré à la température de 380°C en présence d'eau oxygénée à 60% comme catalyseur. Le dosage de l'azote total (sous forme NH₄) se fait par colorimétrie à flux continu.

Sur les échantillons d'eau et les extraits KCl de sol frais, le dosage de nitrate est effectué avec une chaîne colorimétrique automatisée selon la méthode Technicon 32-69W (Kamphake *et al.*, 1967). Les teneurs en nitrate sont exprimé en kg d'azote nitrique par ha de terre sèche pour le sol et en mg par litre pour les eaux de drainage.

3. Résultats

* Drainage

Les variations des débits drainés et des concentrations des eaux en nitrate sous le trèfle souterrain au cours des saisons 1995-1996, 1996-1997 et 1997-1998 sont présentées sur la figure 2. Les précipitations, le drainage, le lessivage de l'azote nitrique ainsi que la concentration moyenne en nitrate des eaux sont récapitulés dans le tableau 1.

Le lessivage d'azote journalier (en mg N-NO₃/j) est calculé en multipliant le débit journalier (mm/j) par la concentration journalière des eaux drainées (mg N- NO₃/mm). La somme des débits journaliers sur la saison de drainage correspond à la lame drainante (mm). De même, la somme des lessivages d'azote nitrique journaliers correspond au lessivage d'azote de la saison (kg N- NO₃).

Tableau 1 : Précipitations, lames d'eau drainées, teneurs moyennes en nitrate des eaux drainées et lessivage de l'azote nitrique sous trèfle souterrain de septembre à juin.

Table 1 : Rainfall, drained water sheets, average nitrate concentrations in drainage water, and nitrate leaching under a cover of Subterranean Clover from September to June.

	Précipitation (mm)	Drainage (mm)	Teneurs des eaux en NO ₃ (mg/l)	Lessivage (kg N-NO ₃ /ha)
1995-1996	707	130	60,5	17,8
1996-1997	674	151	47,3	16,1
1997-1998	473	4	33,7	0,3

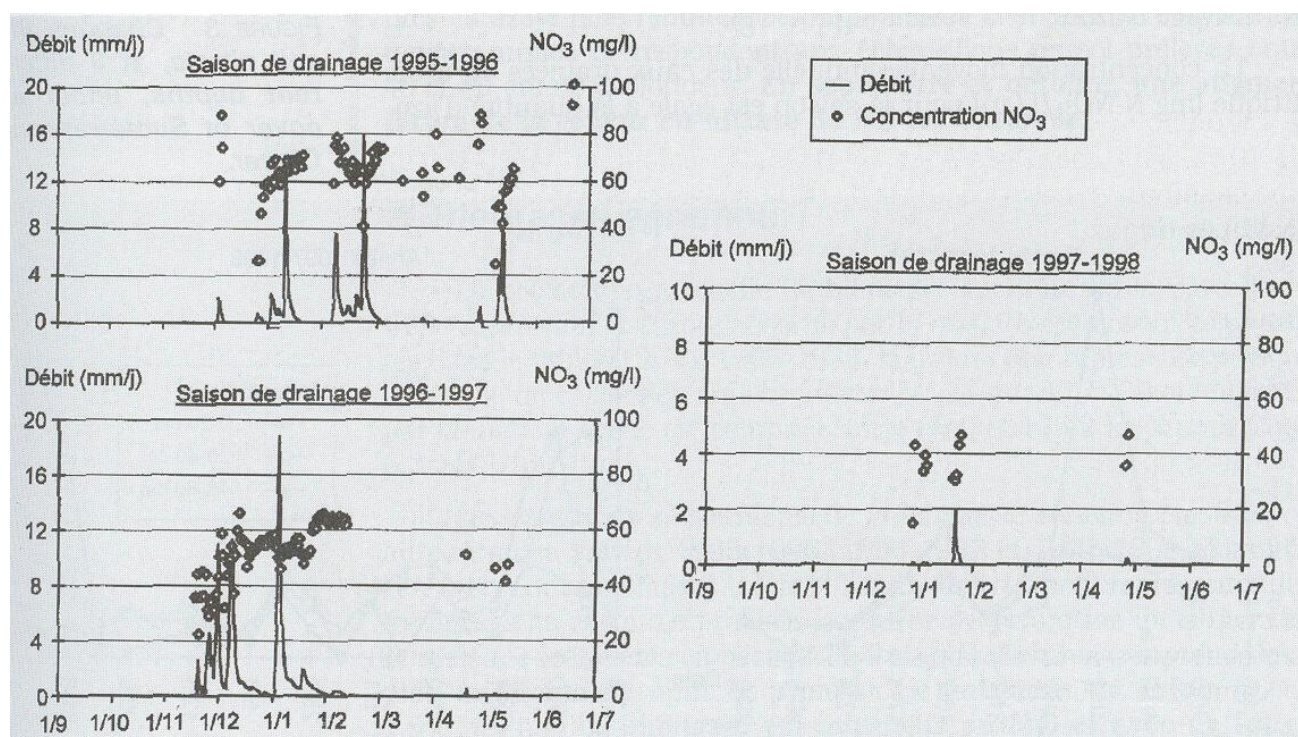
La concentration moyenne annuelle des eaux drainées en azote nitrique (mg N- NO₃/l/an) pour la saison est égale à la quantité d'azote lessivée (mg N- NO₃/an) divisée par la lame d'eau drainante (l). Cette concentration en mg N- NO₃/l/an est multipliée par 4,42 pour la convertir en mg NO₃/l.

Le drainage varie beaucoup d'une année à l'autre. La saison de drainage a eu lieu de décembre 1995 à mai 1996 la première année, de novembre 1996 à février 1997 la deuxième année, et a été très brève et faible la troisième année avec un seul épisode de drainage distinct en janvier 1998.

Quelles que soient les différences, le drainage sous trèfle souterrain est faible, plus particulièrement en début de saison (figure 2), ainsi que les quantités d'azote lessivées (inférieures à 20 kg N- NO₃/ha/an). Les concentrations moyennes annuelles des eaux en nitrate restent cependant élevées (supérieures à 50 mg/l).

Figure 2 : Evolutions des débits drainés et des concentrations en nitrate des eaux sous un couvert de trèfle souterrain au cours des 3 années.

Figure 2 : Changes in drainage rates and in nitrate concentrations in the water under a cover of Subterranean Clover during the 3 years.

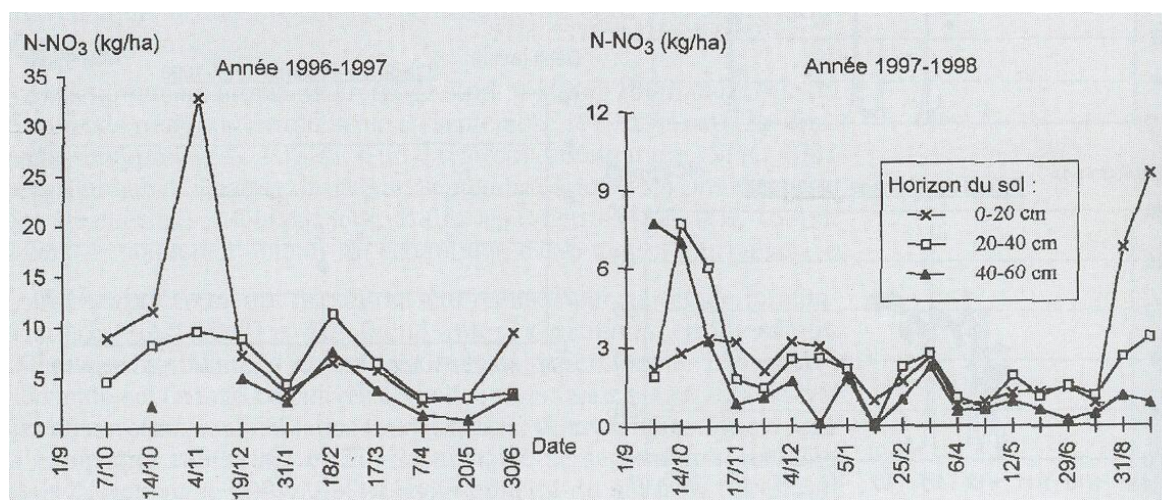


* Evolution de l'azote nitrique du sol

Les évolutions de l'azote nitrique présent dans le sol au cours des années d'observations sont représentées sur la figure 3. Les premières mesures de l'azote nitrique du sol réalisées en automne 1996 sur la parcelle de trèfle souterrain montrent des valeurs élevées (plus de 30 kg N- NO₃/ha) qui diminuent rapidement en hiver et au printemps. Ce même profil de la réserve en azote du sol est également constaté au cours de l'année suivante (1997) avec toutefois des quantités en azote plus réduites, comprises entre 0 et 8 kg N- NO₃/ha. Les teneurs nulles correspondent aux échantillons de sol prélevés entre 40 et 60 cm de profondeur. En septembre et octobre, une augmentation de la teneur en nitrate du sol est observée.

Figure 3 : Evolution de l'azote nitrique du sol, à 3 profondeurs, sous un couvert de trèfle souterrain.

Figure 3 : Changes in soil nitrate, at 3 different depths, under a cover of Subterranean Clover.



* Biomasse aérienne

La production annuelle de biomasse aérienne de la parcelle de trèfle souterrain et l'azote absorbé par la matière sèche sont représentés dans le tableau 2. En 1995-1996, la productivité représente presque le double de celles des années suivantes. La quantité d'azote absorbé par la matière sèche est comprise entre 68,0 et 185,2 kg N pour 2,9 à 6,3 t MS/ha.

Les variations saisonnières de la biomasse aérienne par fraction au cours des années 1995-1996, 1996-1997 et 1997-1998 ainsi que l'évolution de la biomasse totale et l'azote absorbé sont représentés sur les figures 4a et 4b. Le profil de la courbe de l'évolution de la biomasse aérienne totale est comparable en trois ans. Celui-ci comprend deux pics de biomasse dont le premier en automne est faible (0,6 à 1,5 t MS/ha). La biomasse est minimale en février avec de fortes variations interannuelles allant de 1,3 à 0,4 t MS/ha. La proportion de trèfle souterrain dans le couvert reste relativement élevée par rapport aux graminées et autres plantes, sauf au début de la saison 1996-1997. Un traitement antigraminée effectué en mars 1997 a permis de restaurer une proportion de trèfle souterrain correcte nécessaire à sa pérennité.

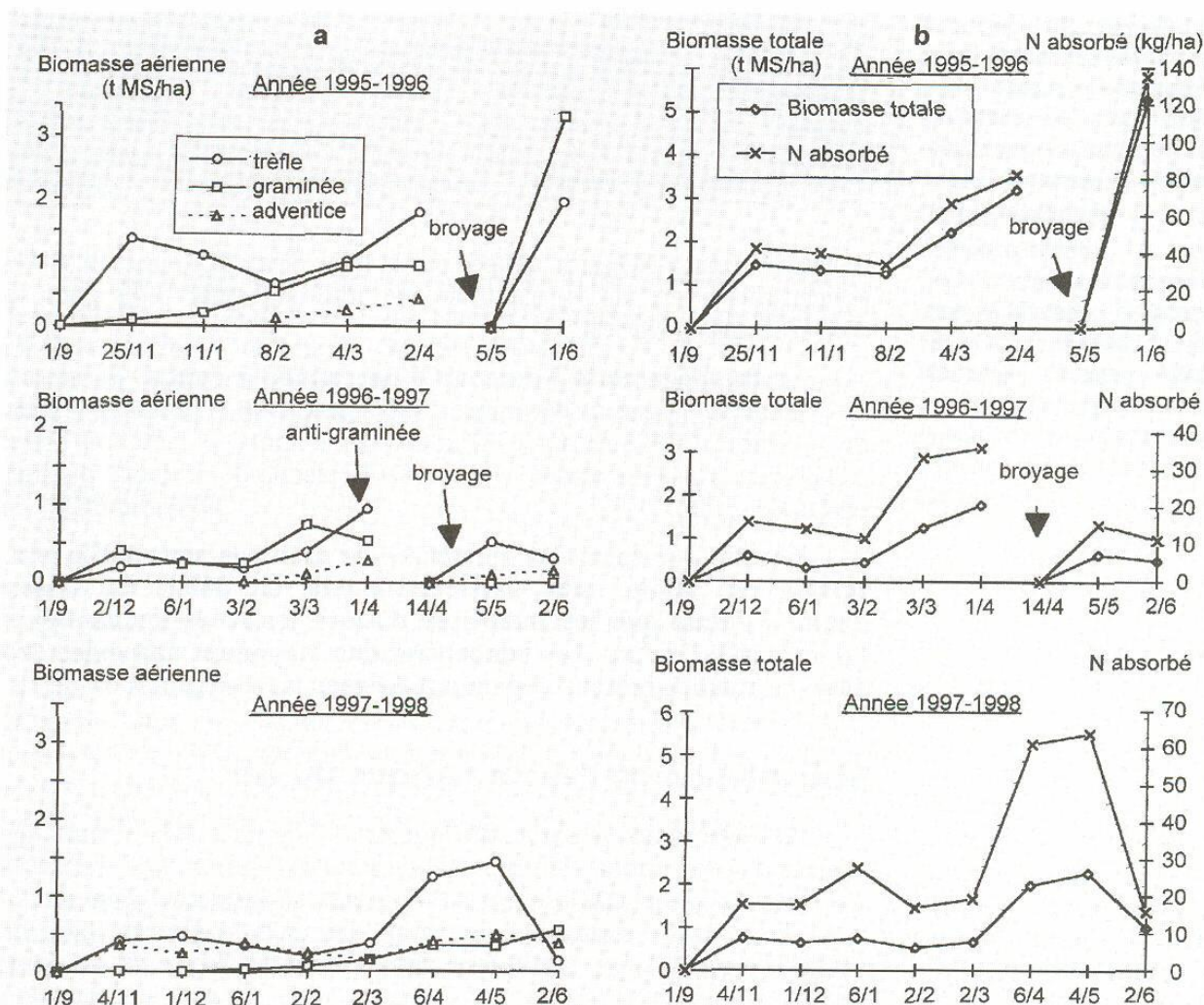
Tableau 2 : Production annuelle de biomasse aérienne et azote présent dans la matière sèche d'un couvert de trèfle souterrain.

Table 2 : Yearly production of above-ground biomass and amount of nitrogen present in the dry matter of a Subterranean Clover cover crop.

	Production annuelle (t/ha)	Azote absorbé (kg N/ha)
1995-1996	6,3	185,2
1996-1997	3,6	102,9
1997-1998	2,9	68,0

Figure 4 : Sous couvert de trèfle souterrain, variations saisonnières a) de la biomasse aérienne par classe de végétation, b) de la biomasse totale et de l'azote absorbé.

Figure 4 : Seasonal variations, under a cover of Subterranean Clover, a) of the above-ground biomass per vegetation class, b) of the total biomass and the absorbed nitrogen.



4. Discussion

La comparaison du drainage et du lessivage de l'azote reste délicate, lorsque les caractéristiques climatiques sont très variables d'une année à l'autre (Colin et Palinson, 1985) et que l'influence des grandes variations climatiques sur le drainage de la parcelle est mal connue (Tardy et Probst, 1992). Des données de mesures de drainage hivernal et de lessivage de l'azote nitrique sont disponibles sur la parcelle expérimentale pour les 10 années précédant l'implantation du trèfle souterrain (1984-1994), quand celle-ci était cultivée en maïs tous les étés avec sol nu en hiver.

Malgré les réserves concernant la forte variabilité climatique, le drainage observé pendant les trois années d'étude (tableau 1) semble relativement modéré : il est en moyenne de 95 mm d'eau et 11,4 kg d'azote nitrique à l'hectare alors qu'il était en moyenne de 182 mm et 45 kg d'azote avant l'implantation du trèfle souterrain (Guiesse *et al.*, 1998). La parcelle voisine a subi les traitements suivants : sol nu en 1996-1997, et ray-grass d'Italie dérobé les deux autres années. Les drainages sous ray-grass d'Italie s'établissent à 211 mm et 41 mm et les lessivages d'azote nitrique correspondants à 33,7 kg N- NO₃/ha et 5,7 kg N- NO₃/ha en 1995-1996 et 1997-1998. Sous sol nu, le drainage atteint 278 mm avec un lessivage de 31,9 kg N- NO₃/ha (Moreno, 1995).

Il semble donc que le couvert de trèfle souterrain ait sensiblement réduit le drainage et le lessivage d'azote. Selon Chapot (1994), l'implantation d'une culture intermédiaire induit un supplément d'évapotranspiration qui va réduire la lame drainante. La réduction du drainage sous couvert de trèfle souterrain par rapport au sol nu a été de 26 mm/t MS pour une biomasse moyenne de 3,6 t MS. L'intérêt du trèfle souterrain serait sa capacité à consommer l'eau pendant la saison de drainage grâce à son cycle de développement en partie hivernal avec deux pics de production en automne et en début de printemps (Masson *et al.*, 1993). Nous proposons d'analyser ces résultats en fonction des principales phases du cycle de l'espèce.

* Période d'automne

La pluviométrie de ces 3 mois (septembre, octobre, novembre) est en général élevée (moyenne de 1987 à 1998 sur le site : 204 mm) et entraîne classiquement des risques de lessivage. Les températures encore douces à cette saison permettent une forte minéralisation de l'azote organique du sol et les teneurs en azote nitrique du sol sont assez élevées sous le couvert de trèfle souterrain, de 14 à 42 kg N- NO₃/ha en 1996 et plus faibles en 1997 (de 12 à 17 kg N- NO₃/ha).

Quand les pluies sont précoces comme en automne 1995, la régénération du trèfle souterrain est bonne et la production de biomasse importante (1,4 t MS/ha) représentant 93% du couvert. La consommation en eau par le trèfle étant importante, le drainage est nul ainsi que la perte d'azote. Le retard des pluies comme en automne 1996 ralentit l'installation du trèfle souterrain ; la production de biomasse peut se révéler insuffisante pour supprimer totalement le drainage et le lessivage qui restent cependant faibles (24 mm et 1,7 kg N- NO₃/ha). En cas d'automne sec (1997), la régénération du trèfle souterrain est faible et la biomasse réduite ; la parcelle ne draine pas. Le lessivage de nitrate, faible, est vraisemblablement réduit par une certaine consommation d'azote nitrique du couvert de trèfle souterrain en début d'installation.

* Période d'hiver

C'est également une saison de pluviométrie importante (moyenne saisonnière du site : 192 mm). La fraîcheur des mois de décembre et janvier ralentit le développement du trèfle souterrain sans toutefois arrêter totalement sa croissance. La biomasse est minimale en février avec cependant de grandes fluctuations selon les années allant de 1,3 t/ha à 0,5 t/ha pour la matière sèche et de 34,2 kg N à 11,6 kg N pour la quantité d'azote accumulé dans les parties aériennes.

Malgré le lessivage, la quantité d'azote nitrique du sol reste encore importante (16 kg N- NO₃ en décembre 1996). Dans ces conditions, le drainage hivernal est notable : 105 mm en 1995-1996 et 126 mm en 1996-1997 avec des pertes de l'ordre de 16 kg N- NO₃ ; mais il demeure plus faible sous trèfle souterrain que sous ray-grass dérobé ou sol nu (respectivement 177 mm avec 28,3 kg N- NO₃ et 158 mm avec 18,7 kg N- NO₃ pour les mêmes années).

L'étude de la qualité des eaux écoulées sous trèfle souterrain montre que la teneur en nitrate varie peu (de 59,3 à 43,9 mg/l) au cours des deux premiers hivers sauf en 1997-1998 où elle est faible (28,0 mg/l). Le lessivage dépend alors plus de la quantité d'eau drainée (Machet *et al.*, 1995).

* Période de printemps

La pluviométrie moyenne annuelle s'élève à 210 mm sur le site. Deux années de déficit ont fortement pénalisé la croissance printanière du trèfle souterrain.

En revanche, la pluviométrie du printemps 1996, proche de la normale (216 mm), a permis une bonne productivité du couvert avec un pic de biomasse égal à 1,8 t MS/ha de trèfle souterrain sur une biomasse totale de 3,2 t MS/ha composée également de graminées et d'adventices. La quantité d'azote accumulée par la matière sèche s'élève à 82,2 kg N/ha.

Cette forte croissance a entraîné une consommation en eau élevée et, malgré les importantes précipitations, un dessèchement du profil du sol est observé avec un potentiel hydrique du sol variant de - 50 mbars au début du mois de mars à - 400 mbars en mai à 20 cm de profondeur. Le drainage est modéré (25 mm). Les concentrations en nitrate des eaux sont élevées : 64,6 mg/l mais la quantité d'azote lessivée est peu importante (2,9 kg N- NO₃/ha).

Malgré la minéralisation de la matière organique du sol à cette époque, le lessivage de l'azote est faible en raison des besoins hydriques élevés du couvert qui réduisent la fuite d'eau.

* Période d'été

Le mois de juin est caractérisé par la fin du développement du trèfle souterrain et l'arrêt de la saison de drainage. Un accroissement net de la quantité d'azote nitrique du sol est observé au niveau de la couche superficielle (0-20 cm) qui passe de 3,2 kg N- NO₃/ha en mai 1996 à 9,0 kg N- NO₃/ha au 30 juin 1997. Cette hausse ne se rencontre pas dans les horizons plus profonds. En 1998, la teneur en azote du sol s'élève de 1,2 kg N- NO₃/ha en mai, à 6,8 kg N- NO₃/ha en août et à 10 kg N- NO₃/ha en octobre 1998.

L'été est une période de minéralisation des résidus aériens et racinaires du peuplement de trèfle souterrain, les racines sénescentes libérant rapidement l'azote contenu dans leurs nodosités (Simpson, 1965). L'azote racinaire peut représenter 15 à 30% de l'azote des parties aériennes selon nos mesures effectuées de décembre 1997 à avril 1998.

Même si la minéralisation du mulch laissé par la biomasse aérienne se fait tardivement et faiblement en l'absence d'enfouissement, elle serait favorisée sous climat aquitain en raison d'une certaine humidité du sol maintenue par les pluies d'été. L'alternance dessiccation - réhumectation augmente la minéralisation de l'azote (Harpstead et Brace, 1958 ; Birch, 1959).

Cette augmentation de la teneur en azote du sol a été également observée dans les plaines côtières à pluviométrie élevée (960 mm) de l'ouest de l'Australie par Barrow (1968) et Sanford *et al.* (1995), ainsi que par (Simpson, 1962) en Australie orientale. Ces auteurs ont noté qu'en fin d'été le niveau d'azote minéral du sol est maximum sous pâture de trèfle souterrain. Une prairie à plantes annuelles a donc un comportement proche d'un sol nu en été. La végétation, morte à cette saison, ne prélève rien mais la matière sèche est susceptible de se minéraliser en présence de conditions climatiques favorables. Dans ce contexte, l'azote est susceptible d'être mobilisé par une culture irriguée, une plante associée ou une culture installée à l'automne.

Conclusion

L'étude du drainage sous un couvert de trèfle souterrain a montré que les quantités d'azote nitrique lessivées sont modérées, de 15 à 20 kg N- NO₃/ha/an soit du même ordre que pour les couverts prairiaux de graminées. Bien que le trèfle souterrain soit une légumineuse, nous n'avons pas observé de risque supplémentaire de lessivage d'azote nitrique comme cela a pu être observé sous trèfle blanc ou sous luzerne. La relative faiblesse de la production du trèfle souterrain et une certaine proportion d'adventices dans le couvert peuvent expliquer cette différence.

La réduction du lessivage d'azote nitrique est essentiellement due à l'évapotranspiration du couvert qui réduit la lame d'eau drainante alors que les concentrations en nitrate restent élevées.

Au démarrage de la saison de drainage hivernal, un couvert de trèfle souterrain a l'avantage de réduire sensiblement les fuites d'eau et les pertes en nitrate vers la nappe phréatique en raison de sa précocité de développement.

En période fraîche, la transpiration du trèfle souterrain est insuffisante pour absorber l'excès d'eau hivernale d'où un drainage plus important provoquant des pertes d'azote nitrique de l'ordre de 16 kg/ha. Toutefois, les pertes par drainage et lessivage sous végétation restent inférieures à celles sous sol nu et sous ray-grass d'Italie dérobé.

Au printemps, le comportement hydraulique d'une parcelle sous couvert de trèfle souterrain est comparable à celui d'une autre plante de couverture. Les pertes d'azote nitrique sont faibles.

En trois ans, les quantités d'azote perdues par lessivage sont faibles. Il serait intéressant de localiser des jachères fixes à base de trèfle souterrain sur les zones à risques de lessivage pour répondre à l'exigence d'une pratique culturale non polluante et permettre de préserver à la fois la structure du sol et la qualité de l'eau.

La teneur en azote nitrique du sol évolue en fonction des saisons. Minimale en hiver, elle est maximale en été à la suite de la minéralisation des résidus racinaires et aériens de la légumineuse. Cet azote racinaire et celui provenant de l'organisation rhizosphérique sont essentiellement localisés dans les couches superficielles du sol. Ce comportement est différent de celui d'un couvert de trèfle blanc sous lequel la disponibilité en azote se

fait essentiellement au printemps à la suite de la minéralisation des stolons sénescents en hiver (Evans *et al.*, 1990 ; Collins, 1991).

Pour la gestion du couvert, il faudrait trouver un compromis entre une gestion "fourragère", maximisant la proportion de trèfle souterrain par des broyages fréquents et favorisant la croissance précoce du couvert, et une gestion plus lâche qui bénéficierait aux adventices. Ces dernières sont certes des consommatrices d'azote mais elles pourraient entraîner une disparition rapide du trèfle souterrain. Du point de vue de la couverture du sol, l'association du trèfle souterrain avec une graminée pourrait se révéler intéressante.

En terme de bilan d'azote, il semble que la quantité d'azote fixée par voie symbiotique soit incontestablement supérieure aux lessivages et ait enrichi le sol. En admettant en effet que l'accumulation d'azote soit de 65 kg d'azote minéral pour 100 kg d'azote dans la partie aérienne du trèfle souterrain (Watson, 1963) et compte tenu de notre production, la fourniture d'azote au sol serait de 200 kg/ha, soit nettement supérieure aux quantités lessivées (34,2 kg N- NO₃).

La valorisation de cet azote par une autre culture après le retournement de la jachère serait une alternative intéressante. Cette mobilisation doit se faire rapidement par une culture à consommation élevée telle que le maïs pour éviter toute perte par lessivage consécutive à la forte minéralisation provoquée par le travail du sol. En l'absence de retournement, en cas d'association du trèfle souterrain avec une culture ligneuse (vigne, arbre), la mise à disposition de l'azote serait vraisemblablement progressive au fur et à mesure de la minéralisation.

Accepté pour publication, le 5 octobre 1999.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Barrow N.J. (1968) : "The accumulation of soil organic matter under pasture and its effect on soil properties", *Aust. J. of Exp. Agric. and An. Husbandry*, vol. 9, August 1969.

Birch H.F. (1959) : "Further observations on humus decomposition and nitrification", *Plant and soil*, 11, 262-286.

Bertoni G., Masson P. (1996) : "Essai d'enherbement d'un vignoble méridional à base de trèfle souterrain : synthèse de six années d'expérimentation", *XI Kolloquium Begrünung im Weinbau - Internationaler Arbeitskreis Begrünung im Weinbau*, Kaltern- Sud Tyrol, Italie, 28-31 août 1996.

Chapot J.Y. (1994) : "Effect of cover crop, between wheat and maize on nitrate leaching and drainage. Lysimeter study on two soil texture types", *Proc. 3rd Congr. of Eur. Soc. of Agron.*, Abano-Padova, Italy, 2p.

Colin E., Palinson A. (1985) : "Impact du drainage sur la qualité des eaux du ruisseau de l'Elvon (Moselle). Premiers résultats", *CEMAGREF, BI*, n° 325,35-40.

Collins M. (1991) : "Nitrogen effects on yield and forage quality of perennial ryegrass and tall fescue", *Agron. J.*, 83, 588-595.

Donald C.M., Williams, C.H. (1954) : "Fertility and productivity of a podzolic soil influenced by subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) and super phosphate", *Aust. J. Agric. Res.*, 5, 664-87.

Dupraz C., Simorte V., Dauzat M., Bertoni G., Bernadac A., Masson P. (1998) : "Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a mediterranean climate", *Agroforestry Systems*, 43 (1/3), 71-80.

Evans D.R., Williams T.A., Mason S.A. (1990) : "Contribution of white clover varieties to total sward production under typical farm management", *Grass and Forage Sci.*, 45, 129-134.

Guiesse M. (1989) : *Drainage en sol de boubènes. Relation entre les caractéristiques morphologiques et les propriétés hydrodynamiques des sols*, thèse INPT, 177 p.

Guiesse M., Gavalda D., Seibane L. (1998) : *Suivi de l'épandage de boues granulées séchées sur une monoculture de maïs, site expérimental de Poucharramet*, Rapport juillet 1998 pour la C.G.E.

Hartstead M.I., Brace B.L. (1958) : "Storage of soil samples and its effect upon the subsequent accumulation on nitrate nitrogen during controlled incubation", *Soil Sci. Soc. of America Proc.*, 22, 236.

Kamphake L.J., Hannah S.A., Cohen J.M. (1967) : "Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction", *Water res.*, Pergamon Press, vol.1, 205-216.

Laurent F., Machet J.M., Pellot P., Trochart R. (1995) : "Cultures intermédiaires pièges à nitrates : comparaison des espèces", *Perspectives agricoles, dossier Azote et Interculture*, 206, 38-39.

Low A.J. (1973) : "Nitrogen and ammonium nitrogen concentration in water draining through soil monoliths in lysimeters cropped with grass or clover or uncropped", *J. Sci. food and agric.*, 24, 1485-1495.

Machet J.M., Recous S. (1995) : "La gestion de l'interculture: une nécessité pour limiter le lessivage des nitrates", *Perspectives Agricoles*, dossier *Azote et Interculture*, 206, 4-8.

Masson P., Rochon J.J., Goby J.P., Anthelme B. (1993) : "Intérêt des légumineuses annuelles à ressemis pour le pâturage hivernal en région méditerranéenne", *Fourrages*, 135, 335-341.

Moreno Arraras A.A. (1995) : *Essai de valorisation agricole de boue de station d'épuration urbaine*, mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome, ENSA-INPT.

Piemontese Stefano, Pazzi G., Argenti G., Pardini A., Talamucci P. (1995) : "Alcuni dati sull'impiego di leguminose annuali autoriseminanti nella protezione dei territori declivi a elevata intensità viticola", *Riv. di Agron.*, 29. 3, 273-280.

Puckridge D.W., Fench R.J. (1989) : "The annual legume pasture in cereal-ley farming systems of southern Australia", *Agric. Ecosystem and Environ.*, 9, 229-267.

Robbins C.W., Carter D.L. (1980) : "Nitrate nitrogen leached below the root zone during and following alfalfa", *J. of Environ. Quality*, 9, 447-450.

Russel J.S. (1960) : "Soil fertility changes in the long term experimental plots at Kybybolite, South Australia. 3. Changes in cation exchangeable cations", *Austr. J. Agric. Res.*, 12, 273.

Ryden J.C., Ball P.R., Garwood E.A. (1984) : "Nitrate leaching from grassland", *Nature*, vol. 311, n°5981, 50-53.

Simon J.C. (1993) : "Conduite des associations: maîtrise du taux de trèfle blanc et des risques de pollution nitrique", *Fourrages*, 135, 481-497.

Simon J.C., Vertès F., Decau M.L., Le Corre L. (1997) : "Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies", *Fourrages*, 151, 249-262.

Simpson J.R. (1962) : "Mineral nitrogen fluctuations in soil under improved pasture in Southern new South Wales", *Aust. J. Agric. Res.*, 13, 1059-72.

Simpson J.R. (1965) : "The transference of nitrogen from pasture legumes to an associated grass under several systems of management in pot culture", *Aust. J. Agric. Res.*, 16, 916-26.

Smith R.V., Jordan C., Steen R.W.J., Taggart P.J., Laidlaw A.S., Stewart D.A. (1990) : "Nitrogen input/output budgets for grazed grassland site in Northern Ireland", *Proc. 1st ESA Congr.*, Paris (5-7 déc.), S5, 21 p.

Tardy Y., Probst J.L. (1992) : "Sécheresses, crises climatiques et oscillations téléconnectées du climat depuis cent ans", *Synthèse- Sécheresse*, 3, 25-36.

Vertès F., Simon J.C., Decau M.L., Le Corre L. (1997) : "Les flux d'azote au pâturage. II- Etude des flux et de leurs effets sur le lessivage", *Fourrages*, 151, 263-280.

Watson E.R. (1963) : "The influences of Subterranean clover pastures on soil fertility", *Aust. J. Agric. Res.*, 14, 796-807.

SUMMARY

Dynamics and leaching of nitrate under a cover of Subterranean Clover

The use of a legume such as Subterranean Clover (*Trifolium subterraneum* L.) as a cover crop raises several questions : is there no risk of polluting the groundwater ? what is the rate of nitrate release under this cover, supposed to be a nitrogen fixer ? Some clues have been given by a 3-year study of the dynamics of nitrate under a cover of Subterranean Clover.

The early growth of Subterranean Clover limited the volume of drainage water and the leaching of nitrate, especially in autumn and spring. The amounts of nitrate leached from September to June were small (18.4 kg/ha and 17.4 kg/ha) in the first two years, and insignificant in the third year, owing to drought. Mean nitrate concentrations in the drainage water remained large (36.4 to 62.7 mg/l). Soil nitrate concentration was largest in summer, due to mineralization of the residues from the roots and above-ground parts of the clover. The soil nitrate was found in the uppermost layers, at a depth of 0 to 20 cm.