HAL open science

L'utilisation de l'indice de nutrition azotée en prairies naturelles avec présence de légumineuses

Pablo Cruz, Claire Jouany, Jean Pierre J. P. Theau, Patrick Petibon, Eric Lecloux, Michel M. Duru

To cite this version:

Pablo Cruz, Claire Jouany, Jean Pierre J. P. Theau, Patrick Petibon, Eric Lecloux, et al.. L'utilisation de l'indice de nutrition azotée en prairies naturelles avec présence de légumineuses. Fourrages, 2006, 187, pp.369-376. hal-02664357

HAL Id: hal-02664357

https://hal.inrae.fr/hal-02664357v1

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Fourrages (2006) 187, 369-376

L'utilisation de l'indice de nutrition azotée en prairies naturelles avec présence de légumineuses

P. Cruz, C. Jouany, J.-P. Theau, P. Petibon, E. Lecloux, M. Duru

L'utilisation des indices de nutrition pour le diagnostic du niveau d'azote disponible dans le sol des prairies est répandue mais elle se heurte à des surestimations constatées lorsque la proportion de légumineuses est relativement importante. Cet article met en évidence cette surestimation et en analyse les conséquences.

RÉSUMÉ

Dans des prairies où la contribution des légumineuses est importante, le diagnostic réalisé par les indices de nutrition azotée surestime la disponibilité en azote dans le sol, car il intègre l'azote d'origine atmosphérique fixé par les légumineuses et présent dans leur biomasse. Deux dispositifs expérimentaux situés dans des milieux différents ont été utilisés pour mettre en évidence cette surestimation, corrélée linéairement à la proportion de légumineuses dans la biomasse de la prairie. Une correction des indices est donc proposée (0,7 point par % de légumineuse dans la biomasse totale). Elle permet de faire l'économie d'un double dosage d'azote suite au tri de la biomasse en deux fractions, mais nécessite une estimation de la proportion de légumineuses.

MOTS CLÉS

Diagnostic, ferilisation azotée, fixation symbiotique, légumineuse, méthode d'estimation, nutrition azotée, nutrition de la plante, prairie permanente

KEY-WORDS

Estimation method, diagnosis, legume, nitrogen fertilization, nitrogen nutrition, permanent pasture, plant nutrition, symbiotic fixation

AUTEURS

INRA , UMR 1248 Arche, Equipe ORPHEE, BP 27, F-31326 Castanet-Tolosan ; cruz@toulouse.inra.fr

Introduction

L'utilisation des indices de nutrition pour le diagnostic du statut nutritionnel des prairies et, par conséquent de la disponibilité des éléments minéraux du sol, est actuellement une méthode largement répandue (Farruggia *et al.*, 2000). Elle est largement utilisée par les professionnels du conseil agricole et couramment appliquée aux couverts herbacés permanents ou naturels à composition plurispécifique (Duru *et al.*, 1997 ; Rauzy, 2006, cet ouvrage).

■ Présentation de la méthode basée sur les indices de nutrition azotée

Cette méthode a été dans un premier temps développée et mise au point pour l'azote sur des prairies temporaires semées et monospécifiques (Lemaire et Salette, 1984). Par la suite, le diagnostic de la nutrition azotée a été élargi à un large spectre de cultures dans un ouvrage de synthèse consacré aux bases biologiques de la méthode et à ses applications (Lemaire et Gastal, 1997). L'extension de la méthode au diagnostic de la nutrition en phosphore et potassium des prairies a été proposée par Duru et Thélier-Huché (1997). Enfin, les indices de nutrition ont été également utilisés dans l'analyse des relations de compétition pour la ressource azote dans le cas de mélanges binaires de graminées et légumineuses herbacées pérennes (Cruz et Lemaire, 1986 ; Cruz et Sinoquet, 1994 ; Soussana et Arregui, 1997) ou annuelles (Dauphin, 1995 ; Marín *et al.*, 1995) ainsi que dans des systèmes sylvopastoraux (Cruz *et al.*, 1999).

Cette méthode, qui relie les teneurs en éléments nutritifs du couvert à l'accumulation de la biomasse aérienne, peut être considérée comme **l'expression de l'offre en azote du sol**, notamment lorsque les engrais minéraux sont peu utilisés comme c'est le cas en prairies naturelles. **L'indice de nutrition azotée** (INN) d'un couvert est calculé comme le ratio entre la concentration en azote de la prairie et la concentration qu'aurait permis, pour le même niveau de biomasse, une croissance potentielle, c'est-à-dire une nutrition azotée de référence non limitante pour la croissance :

$$INN = \%Nmesurée / \%Npotentielle \times 100 \qquad (1)$$

Le %Npotentielle de référence est égal à :

$$\%Npotentielle = 4{,}8\% \ (MS)^{-0{,}32} \qquad (2)$$

où 4,8% est la concentration optimale en azote pour une biomasse accumulée de 1 tonne par hectare, MS est la quantité de matière sèche (en t/ha) et - 0,32, le coefficient de dilution de l'azote dans la biomasse accumulée au cours de la croissance. Cette courbe de référence est la résultante des flux d'azote prélevé du sol et du CO_2 assimilé par le couvert en conditions de croissance potentielle. Le coefficient - 0,32 traduit la relation surface/volume qui correspond aux deux dimensions dans lesquelles l'azote et le carbone sont stockés dans un couvert végétal (Hardwick, 1987) : la surface foliaire et la biomasse totale respectivement. Ce coefficient peut être considéré similaire pour les différents types métaboliques C_3 ou C_4 (graminées tropicales). En revanche, la teneur potentielle est inférieure dans les C_4, environ 3,6% (Cruz et Lemaire, 1996 ; Plenet et Cruz, 1997), ce qui reflète leur plus grande efficience d'utilisation de l'azote.

Problématique de l'étude

Un certain nombre de résultats obtenus au niveau des exploitations agricoles ont montré que **les indices de nutrition azotée** ainsi calculés **ne sont pas opérationnels quand il s'agit de diagnostiquer des prairies riches en légumineuses**. Ces mauvais résultats sont obtenus quand les variables (%N et matière sèche produite) sont déterminées sur la biomasse totale de la prairie incluant les légumineuses. Or, les légumineuses ont des teneurs en azote plus élevées que les autres espèces car elles sont pour une grande partie indépendantes de l'azote du sol grâce à la fixation symbiotique ; cet azote des légumineuses ne devrait donc pas être pris en compte quand l'objectif est celui de faire une évaluation de l'offre du sol. A ce stade il est nécessaire de bien différentier **deux types de diagnostic** :

- celui de **la disponibilité en azote du sol** où l'azote d'origine atmosphérique doit être exclu car il conduira systématiquement à une surestimation de l'offre du milieu rendant difficile toute gestion de la fertilité. Le biais extrême d'un tel diagnostic serait celui de considérer comme bien pourvu en azote un sol pauvre où les légumineuses, grâce à leur indépendance de l'azote du sol, représentent une grosse partie ou même la totalité de la biomasse récoltée. Ce type de diagnostic sert à classer les milieux naturels selon leur fertilité en azote mesurée au moment de la pousse de l'herbe comme c'est le cas dans des réseaux multisites (par ex. le projet européen VISTA, http://vista.vitamib.com/). De plus, la surestimation des concentrations en azote de la prairie entraîne une autre conséquence : la sous-estimation des indices de nutrition en phosphore (Jouany *et al.*, 2004, 2005) car il dépend, de par son calcul, de la teneur en azote de la végétation (Duru et Thélier, 1997).

- celui du **niveau de nutrition azotée de la prairie et de sa valeur azotée** (MAT) qui doit par contre associer les espèces fixatrices et non fixatrices avec leur production et leur teneur en azote respectives.

La non prise en compte des légumineuses dans le calcul des indices de nutrition pose une question supplémentaire qui est celle de savoir si la concentration en azote de la fraction non légumineuses doit être rapportée à la biomasse totale de la prairie (Soussana et Arregui, 1997), ou à sa propre biomasse (Cruz et Sinoquet, 1994). Si l'on considère que le coefficient - 0,32 de l'équation (2) est la résultante des flux d'azote et de carbone dans le couvert, il est inexact de rapporter la concentration en azote de la fraction non légumineuse à la biomasse totale, car ceci est en contradiction avec cette relation de flux de N et C. Dans une synthèse sur l'application de la méthode aux seules cultures mixtes binaires de graminées et légumineuses, Cruz et Soussana (1997) montrent que l'utilisation de la biomasse totale du mélange conduit à la surestimation de l'indice de nutrition N de la graminée. Ils concluent que, dans ce cas, la variable explicative de la teneur en azote devrait être la somme d'énergie photosynthétiquement active (PAR) absorbée au cours de la repousse par la fraction analysée. Bien entendu, la mesure de cette variable

dans des conditions non expérimentales n'est pas envisageable. Cependant, si l'on affirme qu'il existe une relation linéaire entre la somme de la biomasse accumulée par une espèce et la somme de PAR qu'elle a absorbée (Gosse *et al.*, 1986), on peut en déduire que la teneur en azote de la fraction non légumineuse doit être rapportée à sa propre biomasse.

L'objectif de ce travail est de quantifier le biais introduit dans l'estimation de l'offre en azote du milieu au travers des indices de nutrition quand elle est faite sur des prairies ayant des proportions de légumineuses variables. La possibilité d'introduire un facteur de correction de ce biais est présentée pour les situations où la séparation des biomasses des deux fractions n'est pas envisageable ou n'a pas été réalisée.

1. Matériels et méthodes

Les dispositifs expérimentaux

Deux dispositifs sont utilisés dans cette étude. Le premier a été mis en place en 1998 sur **une prairie naturelle située à Gramond**, dans l'Aveyron, et consiste en 6 traitements combinant des apports de P et de N selon un dispositif en blocs aléatoires avec 4 répétitions. Dans ce dispositif, quatre récoltes de fourrage sont réalisées chaque année (Jouany *et al.*, 2004). Le second dispositif a été mis en place en 1999. Il est constitué d'**un réseau de 20 parcelles de prairies naturelles situées dans la vallée d'Ercé** en Ariège (Pyrénées centrales). Il s'agit de parcelles fauchées une à deux fois par an, éventuellement pâturées par des bovins au printemps et toujours pâturées à l'automne. Trois placettes par parcelle, représentant la diversité des faciès de végétation, ont été échantillonnées et analysées séparément. La fertilité des parcelles de ce dernier dispositif couvre une large gamme de niveaux d'offre en azote déterminés par la fertilité naturelle du sol et par les apports de fumier qui sont réguliers mais d'un tonnage par hectare et par an différent selon qu'il s'agit d'une parcelle principalement exploitée en fauche (apports élevés) ou en pâturage (apports faibles ou nuls).

Le protocole de détermination des indices azotés

Les prélèvements de toute la biomasse présente au dessus du sol ont été réalisés avant le stade épiaison des populations de graminées sur un cadre de 0,15 m x 0,75 m à l'aide d'une tondeuse manuelle (Wolf SN). A Ercé, un seul prélèvement par placette au cours de la pousse de printemps de l'année 2001 a été effectué. A Gramond, les prélèvements (un par bloc) ont été réalisés sur les pousses de printemps et d'été au cours des années 1999 et 2000. Après homogénéisation, un sous-échantillon d'environ 10% de poids vert de l'échantillon original a été séparé en trois fractions : matériel sénescent (non pris en compte), légumineuses et non légumineuses. Ces deux dernières fractions ont été séchées à 70°C jusqu'à poids constant (environ 48 h dans une étuve à ventilation forcée), pesées, broyées en particules de 1 mm et dosées en azote et phosphore (Analyser C:H:N et colorimétrie après minéralisation acide et humide respectivement).

Les données traitées concernent chaque placette du dispositif d'Ercé (n= 60) et la moyenne de quatre blocs par traitement à Gramond (n= 24, soit 6 traitements x 2 années x 2 repousses). Les échantillons ne présentant pas de fraction légumineuse ont été exclus de l'analyse. Les données de biomasse et de teneur en azote par composante nous ont permis de **déterminer les indices de nutrition calculés sur la biomasse totale** (INNtot) **et sur la seule fraction non légumineuse** (INNnl) :

INNtot = (%Nbiomasse totale / %Npotentielle) x 100

INNnl = (%Nbiomasse hors légumineuses / %Npotentielle) x 100

2. Résultats et discussion

Les INN de la biomasse totale surestiment bien la nutrition de la prairie

La comparaison des indices de nutrition calculés en considérant la teneur en azote (%N) de la prairie ou de la composante non légumineuse montre clairement des valeurs plus élevées pour les premiers (figure 1). En termes relatifs, cette surestimation n'est pas la même pour toutes les valeurs d'indices. Ainsi, pour une valeur INNnl de 50, la surestimation calculée sur les résultats d'Ercé et Gramond est de l'ordre de 24%, tandis que pour un indice de 90, elle se réduit à 8 et 3% respectivement. Cette **moindre surestimation pour des valeurs d'INNnl élevées** peut être la conséquence de :

- une réduction de l'écart de nutrition azotée entre espèces fixatrices et non fixatrices. En effet, les espèces qui dépendent de l'azote du sol ne peuvent atteindre le niveau de nutrition azotée d'une légumineuse en bon fonctionnement que dans des milieux où la disponibilité de ce nutriment est importante ;

- une réduction de la contribution des légumineuses à la biomasse de la prairie. La moindre proportion d'espèces fixatrices dans des milieux riches en azote est un effet bien documenté (Halvorson et Bauer, 1984). Dans ces conditions, l'avantage de la fixation atmosphérique disparaît, notamment car elle est plus coûteuse en énergie que l'assimilation racinaire (Salsac *et al.*, 1984), et les légumineuses deviennent moins compétitives.

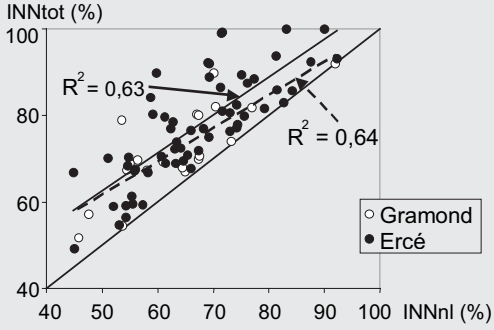

Figure 1 : **Relation entre les indices de nutrition azotée calculés sur la biomasse totale** (INNtot) **et sur la biomasse hors légumineuses** (INNnl).

Figure 1 : ***Relationship between the nitrogen nutrition indices calculated on the total biomass*** *(INNtot)* ***and the same calculated on the biomass excluding the legumes*** *(INNnl).*

La présence de légumineuses ne modifie pas la nutrition des graminées

Néanmoins, la figure 2 montre qu'en prairie naturelle la contribution des légumineuses à la biomasse de la prairie n'est pas modifiée de manière importante par le niveau de fertilité du sol caractérisé par la valeur des INNnl. Une large plage de valeurs d'indices (globalement entre 45 et 95%) est observée, aussi bien pour des proportions de légumineuses inférieures à 10% que pour celles supérieures à 30%. Au vu de ces résultats, on peut conclure à une certaine indépendance entre la part de la légumineuse dans la prairie et la fertilité du milieu dans les conditions de cette étude.

La diversité spécifique des prairies naturelles intègre aussi celle des légumineuses, lesquelles sont représentées dans les différents milieux par des espèces variées (par exemple le trèfle violet et le lotier en milieux riches et pauvres respectivement). Par ailleurs, et puisque la fertilité du milieu a été caractérisée par le niveau de nutrition des espèces non légumineuses, ce résultat nous montre que, dans les milieux pauvres, la présence de légumineuses ne modifie pas substantiellement la nutrition azotée de la fraction "non fixatrice" de la prairie (figure 2). La présence de légumineuses permettrait d'améliorer la valeur en MAT de la prairie et sa nutrition azotée "globale" grâce à ces teneurs en azote plus élevées que celles des autres espèces, mais ne semble pas modifier la nutrition azotée des non légumineuses.

Proposition d'un facteur de correction pour INN

La figure 3 illustre, pour les données des deux dispositifs expérimentaux, la surestimation de l'évaluation de la disponibilité en azote du sol au travers de la différence existant entre les valeurs d'INNtot et d'INNnl. L'écart entre ces deux variables est très largement expliqué par la proportion de la biomasse des légumineuses (r=0,97, P < 0,001). Cette relation permet d'envisager une correction des valeurs des indices azotés déterminés sur la biomasse totale si l'on dispose d'une quantification de l'abondance des légumineuses dans l'échantillon analysé. Ainsi, suivant cette relation (figure 3), **l'indice de nutrition azotée serait surestimé d'environ 0,7 pour chaque point de légumineuse** exprimé en pourcentage de la biomasse totale prélevée. En conséquence, pour des proportions de légumineuses de 10 et 30%, les indices seront surestimés de 7 et 21 points respectivement. A titre d'exemple, cela signifie qu'une correction faite sur un INNtot estimé à 85 conduira à une valeur de l'indice d'azote de

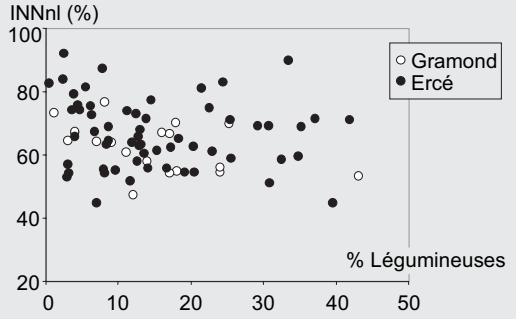

FIGURE 2 : **Variations de l'indice de nutrition azotée de la fraction non légumineuse de la prairie en fonction de la proportion de légumineuses** (en % de la biomasse totale).

*FIGURE 2 : **Variations in the index of nitrogen nutrition of the non-legume part of the pasture with the proportion of legumes** (% of total biomass).*

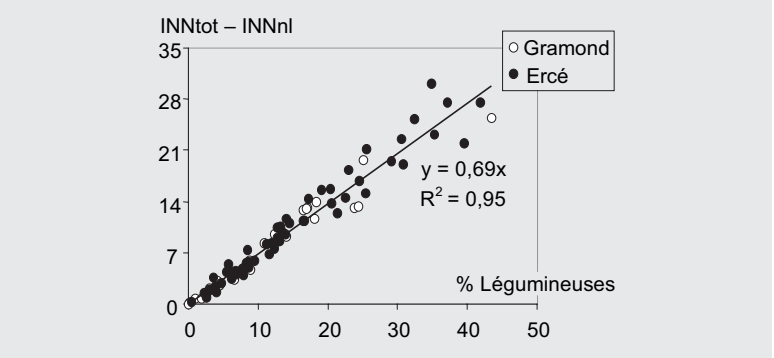

FIGURE 3 : **Ecart observé entre les indices de nutrition azotée calculés sur la biomasse totale** (INNtot) **et sur la biomasse hors légumineuses** (INNnl) **en fonction de la proportion de légumineuses dans la prairie** (en % de la biomasse totale).

FIGURE 3 : ***Deviations observed between the nitrogen nutrition indices calculated on the total biomass*** *(INNtot)* ***and the same calculated on the biomass excluding the legumes*** *(INNnl)* ***according to the proportion of legumes of the pasture*** *(% of total biomass).*

78 et 64, selon les proportions respectives de légumineuses. Ce n'est qu'à partir de ces valeurs corrigées qu'un classement des milieux par niveau de fertilité peut être établi.

Conclusions

Il a été montré que le diagnostic de la disponibilité en azote du sol d'une prairie doit se faire sur la biomasse d'espèces non fixatrices et sur l'azote qu'elle contient pour éviter la surestimation due à l'azote fixé par les légumineuses. Néanmoins, l'exclusion des légumineuses de l'analyse nous prive d'une information sur la valeur nutritive de la prairie : la quantité totale de matières azotées. Ces deux informations, disponibilité en N du sol et MAT de la biomasse de la prairie, peuvent être obtenues en triant les deux fractions et en dosant séparément leur teneur en azote. Une telle manipulation alourdit le protocole et double le coût d'analyses chimiques pour les échantillons contenant des légumineuses. Suivant la relation proposée (figure 3), une correction des indices calculés sur la biomasse totale peut être réalisée permettant de faire l'économie d'un double dosage. Dans ce cas, l'estimation visuelle de la proportion de légumineuses peut réduire le temps de tri mais peut s'avérer trop approximative.

Accepté pour publication, le 3 mars 2006.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CRUZ P., LEMAIRE G. (1986) : "Analyse des relations de compétition dans une association de luzerne (*Medicago sativa* L.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.). Effets sur la nutrition azotée des deux espèces", *Agronomie*, 6, 735-742.

CRUZ P., LEMAIRE G. (1996) : "Diagnosis of the nitrogen status of grass stands. Principles and uses of the dilution curves method", *Trop. Grassl.,* 30,166.

CRUZ P., SINOQUET H. (1994) : "Competition for light and nitrogen during a regrowth cycle in a tropical forrage mixture", *Field Crop Res.*, 36, 21-30.

CRUZ P., SOUSSANA J.F. (1997) : "Mixed crops", G. Lemaire éd., *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, Springer-Verlag, 130-144.

CRUZ P., SIERRA J., WILSON J.R., DULORMNE M., TOURNEBIZE R. (1999) : "Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems", *Annals of Arid Zone*, 38, 333-359.

DAUPHIN C. (1995) : "Relationships between beans and maize intercropped in a ferralitic soil in Haiti", Sinoquet H. et Cruz P. éds., *Ecophysiology of tropical intercropping*, INRA, Paris, 427-436.

DURU, M., THÉLIER-HUCHÉ L. (1997) : "N and P-K status of herbage : use for diagnosis of grasslands. Diagnostic procedures for crop N management", *Les Colloques*, n° 82, éd. INRA, Paris, 125-138.

Duru, M., Lemaire G., Cruz P. (1997) : "Grasslands", G. Lemaire éd., *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, Springer-Verlag, 59-72.

Farruggia, A., Thélier-Huché L., Violleau S., Lebrun J.M., Besnard A. (2000) : "L'analyse d'herbe : un outil pratique pour le pilotage de la fertilisation phosphatée et potassique des prairies permanentes et temporaires", *Fourrages*, 164, 447-459.

Gosse G., Varlet-Grancher C., Bonhomme R., Chartier M., Allirand J.M., Lemaire G. (1986) : "Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal", *Agronomie*, 6, 47-56.

Halvorson G.A., Bauer A. (1984) : "Yield and botanical composition of a grass-legume mixture on reclaimed land as affected by nitrogen and phosphorus fertiliser", *Agr. J.*, 76, 355-362.

Hardwick R.H. (1987) : "The nitrogen content of plants and the self-thinning rule of plant ecology : a test of the core-skin hypothesis", *Annals of Botany*, 60, 439-446.

Jouany C., Cruz P., Petitbon P., Duru M. (2004) : "Diagnosing phosphorous status of natural grasslands in the presence of white clover", *European J. of Agronomy*, 21, 273-285.

Jouany C., Cruz P., Theau JP., Petibon P., Foucras J., Duru M. (2005) : "Diagnostic du statut de nutrition phosphatée et potassique des prairies naturelles en présence de légumineuses", *Fourrages*, 185, 547-555.

Lemaire G., Salette J. (1984) : "Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I Etude de l'effet du milieu", *Agronomie*, 4, 423-440.

Lemaire G., Gastal F. (1997) : "N uptake and distribution in plant canopies", G. Lemaire éd., *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, Springer-Verlag, 3-43 .

Marín D., Cruz P., Sinoquet H. (1995) : "Competition for light and nitrogen in a canavalia-sorghum intercrop", Sinoquet H. et Cruz P. éds., *Ecophysiology of tropical intercropping*, INRA, Paris, pp 344-352.

Plenet D., Cruz P. (1997) : "Maize and Sorghum", G. Lemaire éd., *Diagnosis of the nitrogen status in crop*, Springer-Verlag, 93-106.

Salsac L., Drevon J.J., Zengbe M., Cleyet-Marel J.C., Obaton M. (1984) : "Energy requirements of symbiotic nitrogen fixation", *Physiol. Vég.*, 22 (4), 509-521.

Soussana, J.F., Arregui M.C. (1995) : "Impact de l'association sur le niveau de nutrition azotée et la croissance du ray-grass et du trèfle blanc", *Agronomie*, 15, 81-96.

SUMMARY

Utilization of the nitrogen nutrition index in natural pastures containing legumes

It has been shown that the diagnosis of the availability of nitrogen in natural pastures lacks accuracy whenever the proportion of legumes becomes important. Such a diagnosis, when based on the method of the nitrogen nutrition index, overestimates the availability of nitrogen in the environment when legumes are present, since the analysis takes into account the amount of nitrogen of atmospheric origin that is contained in their biomass. Two trials, situated in two different environments, show a linear relationship between the excess in the estimation and the proportion of legumes in the pasture. Thus, if legumes constitute approximately 10 and 30% of the pasture biomass, the nitrogen indices are overestimated by 7 and 21 points respectively. The linear relationship existing between the contribution of the legumes to the total biomass and the overestimation of the indices gives the possibility of correcting these where the proportion of legumes has been quantified. It makes it also possible to have but a single measurement of nitrogen instead of two after the sorting of the two constituents of the biomass.