

Diagnostic du statut de nutrition phosphatée et potassique des prairies naturelles en présence de légumineuses

C. Jouany¹, P. Cruz¹, J.P. Theau¹,
P. Petibon¹, J. Foucras², M. Duru¹

Les indices de nutrition phosphatée et potassique sont fréquemment utilisés pour le diagnostic des états nutritionnels des prairies plurispécifiques, mais la présence de trèfle blanc se traduit par une sous-estimation de l'indice de nutrition phosphatée du couvert. Le diagnostic de nutrition potassique est-il lui aussi affecté par la présence de légumineuses ?

RÉSUMÉ

Des travaux antérieurs ont montré que la sous-estimation de l'indice de nutrition phosphatée du couvert est d'autant plus importante que la contribution du trèfle blanc est élevée. Les résultats obtenus sur plusieurs dispositifs et en présence d'autres espèces légumineuses confirment que le diagnostic de nutrition potassique est affecté, de la même façon que le diagnostic phosphaté, par la présence de légumineuses si elles dépassent 20%. Ce biais peut être évité si les concentrations minérales sont mesurées sur la fraction non légumineuse, obtenue par tri. Lorsqu'il n'est pas possible de trier, une correction des indices est possible en tenant compte du pourcentage de légumineuses (toutes espèces confondues) estimé visuellement.

MOTS CLÉS

Diagnostic, légumineuse, méthode d'estimation, nutrition de la plante, nutrition phosphatée, nutrition potassique, phosphore, potassium, prairie permanente, prairie temporaire, trèfle blanc.

KEY-WORDS

Diagnosis, estimation method, legume, ley, permanent pasture, phosphorus, phosphorus nutrition, plant nutrition, potassium, potassium nutrition, white clover.

AUTEURS

1 : INRA, UMR ARCHE, Chemin de Borde-rouge, F-31320 Auzeville-Tolosane ;
cjouany@toulouse.inra.fr

2 : Chambre d'Agriculture, Carrefour de l'Agriculture, F-12026 Rodez cedex 9

Introduction

L'utilisation des indices de nutrition pour le diagnostic du statut nutritionnel des prairies est actuellement une méthode largement répandue (THÉLIER-HUCHÉ *et al.*, 1999 ; FARRUGGIA *et al.*, 2000). Cette méthode qui relie les teneurs en éléments minéraux N, P et K à l'accumulation de la biomasse aérienne a été dans un premier temps développée et mise au point pour l'azote sur des prairies artificielles 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 contenant moins de 20% de légumineuses a été proposée par DURU et THÉLIER-HUCHÉ (1997).

Les indices de nutrition Pi et Ki sont à l'heure actuelle très largement utilisés par les professionnels du conseil agricole et couramment appliqués aux couverts herbacés permanents ou naturels à composition plurispécifique (DURU et DUCROCQ, 1997). Dans les situations où la contribution de la composante légumineuse devient importante, JOUANY *et al.* (2005) montrent que le niveau de nutrition azotée est surestimé lorsque l'indice Ni est calculé à partir de la teneur en azote du mélange, les légumineuses présentant des teneurs en azote plus élevées que les autres espèces associées (graminées et autres dicotylédones) du fait de leur moindre dépendance vis-à-vis de la fourniture en azote du sol.

Par ailleurs, en s'appuyant sur des données recueillies en 1999 et 2000 sur un dispositif expérimental de plein champ implanté sur une prairie naturelle du Ségala aveyronnais et une collection d'espèces prairiales, JOUANY *et al.* (2004) montrent que **la présence de trèfle blanc dans le mélange peut à l'inverse conduire à une sous-estimation du statut nutritionnel phosphaté du couvert** lorsque cet indice est calculé à partir de la teneur en azote et en phosphore du mélange ; ce biais est d'autant plus important que la proportion de trèfle blanc dans le mélange est élevée.

Les auteurs concluent qu'il y a des limites à utiliser les outils de diagnostic basés sur des concentrations relatives lorsque le fourrage contient une proportion importante de trèfle blanc ; ils suggèrent de baser le diagnostic sur l'indice Pi calculé à partir des concentrations en azote et en phosphore de la biomasse sans trèfle obtenue par tri, afin d'éviter un apport excessif de phosphore lorsque les indices sont utilisés pour raisonner la fertilisation.

D'autres espèces légumineuses étant fréquemment rencontrées dans les prairies naturelles ou semées, **la question se pose de savoir dans quelle mesure les écarts observés en présence de trèfle blanc le sont également en présence d'autres espèces légumineuses.**

Par ailleurs, dans les sols en général et sous prairie permanente en particulier, le phosphore et le potassium ont des dynamiques très contrastées, le phosphore présentant une très faible mobilité à

la différence du potassium qui est extrêmement mobile (WHITEHEAD, 2000). De plus, le phosphore absorbé provient à la fois des réserves minérales du sol et du recyclage du phosphore organique, alors que le potassium provient exclusivement de la fraction minérale (MURPHY *et al.*, 2003). Dans ce contexte, **il est important de vérifier dans quelle mesure les biais qui sont observés pour les indices Pi se retrouvent pour les indices Ki.**

En conséquence l'objectif de cet article est :

- d'évaluer dans quelle mesure la sous-estimation de Pi mise en évidence en présence de trèfle blanc s'observe aussi pour Ki,
- de vérifier si un comportement identique se rencontre pour d'autres espèces légumineuses,
- de proposer une méthode de correction des indices lorsque le couvert contient une quantité de légumineuses supérieure à 20%, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un tri du fourrage.

A cette fin nous avons mobilisé deux dispositifs expérimentaux pour lesquels les traitements ont différencié les espèces légumineuses présentes dans les communautés étudiées.

1. Matériels et méthodes

■ Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux utilisés sont les suivants :

- Le dispositif de fertilisation de longue durée implanté sur prairie naturelle depuis 1998 à Gramond (Aveyron) sur lequel les régimes de fertilisation azotée (N0 et N160) et phosphatée (P0 et P50) ont fortement différencié les teneurs en trèfle blanc qui varient entre 4% et 43% selon les traitements (JOUANY *et al.*, 2004). Les données utilisées dans cette étude ont été recueillies sur l'ensemble des parcelles du dispositif, tous traitements confondus. Par ailleurs, on fait l'hypothèse que le niveau des disponibilités en phosphore est non limitant au vu des Pi et du niveau de phosphore biodisponible initial apprécié par l'analyse Olsen (OLSEN *et al.*, 1954). Sur l'ensemble des parcelles du dispositif, on réalise chaque année en fin d'hiver un apport annuel de 400 kg de K/ha, qui permet d'assurer des conditions d'alimentation potassique non limitantes sur l'ensemble des cycles.

- Un réseau de 20 parcelles d'éleveurs de la vallée d'Ercé (Ariège) sur lesquelles une campagne de mesure d'indices a été réalisée au printemps 2001. Certaines parcelles sont exploitées en fauche (une à deux coupes par an) et en pâturage (au printemps et en automne) ; les autres sont exclusivement pâturées. L'ensemble des parcelles reçoit régulièrement des engrais de ferme. Cependant, les niveaux de fertilité des parcelles sont variables en fonction des doses d'apports : ils sont élevés sur les parcelles exploitées en fauche, faibles sur les parcelles pâturées. Sur chaque parcelle, les indices ont été mesurés sur 3 placettes ; les données présentées correspondent

aux moyennes des 3 répétitions. Selon les parcelles, la contribution moyenne des légumineuses varie entre 1% et 34% dans les mélanges ; les espèces suivantes sont représentées : *Lotus corniculatus*, *Medicago sativa*, *Trifolium pratensis*, *T. repens*, *Vicia cracca* et *V. sativa*.

■ Méthodes d'analyses

Après chaque récolte, les fourrages sont triés et séparés en 2 fractions dont on détermine les biomasses : **la fraction légumineuse et la fraction non légumineuse. Les teneurs** en azote, phosphore et potassium des deux fractions ($P\%_{\text{non lég}}$, $P\%_{\text{lég}}$, $K\%_{\text{non lég}}$ et $K\%_{\text{lég}}$) sont mesurées après séchage en étuve à 80°C et broyage (0,5 mm) par les méthodes conventionnelles ; celles des mélanges ($P\%_{\text{mélange}}$ et $K\%_{\text{mélange}}$) sont calculées à partir des concentrations des fractions pondérées de leur contribution au mélange.

Ces teneurs sont utilisées pour calculer **les indices de nutrition Pi et Ki** pour les fractions non légumineuse ($Pi_{\text{non lég}}$ et $Ki_{\text{non lég}}$) et les mélanges ($Pi_{\text{mélange}}$ et $Ki_{\text{mélange}}$) à partir des teneurs critiques données par les relations suivantes (DURU et DUCROCG, 1997) :

$$P\%_{\text{crit}} = 0,15 + 0,065 N\%_{\text{obs}} \quad (1)$$

$$K\%_{\text{crit}} = 1,6 + 0,525 N\%_{\text{obs}} \quad (2)$$

Dans le cas de la fraction non légumineuse, $N\%_{\text{obs}} = N\%_{\text{non lég}}$; dans le cas des mélanges $N\%_{\text{obs}} = N\%_{\text{mélange}}$

Les indices de nutrition mesurent l'écart au comportement normal donné par la droite critique ; ils correspondent au rapport (exprimé en %) de la teneur mesurée sur la teneur critique donnée par les relations (1) et (2).

Dans le cas de la fraction non légumineuse $P\%_{\text{obs}} = P\%_{\text{non lég}}$ et $K\%_{\text{obs}} = K\%_{\text{non lég}}$. Pour Pi et Ki on a les relations suivantes :

$$Pi_{\text{non lég}} = 100 \times P\%_{\text{non lég}} / (0,15 + 0,065 N\%_{\text{non lég}}) \quad (3)$$

$$Ki_{\text{non lég}} = 100 \times K\%_{\text{non lég}} / (1,6 + 0,525 N\%_{\text{non lég}}) \quad (4)$$

Dans le cas des mélanges $P\%_{\text{obs}} = P\%_{\text{mélange}}$ et $K\%_{\text{obs}} = K\%_{\text{mélange}}$. Pour Pi et Ki on a donc les relations suivantes :

$$Pi_{\text{mélange}} = 100 \times P\%_{\text{mélange}} / (0,15 + 0,065 N\%_{\text{mélange}}) \quad (5)$$

$$Ki_{\text{mélange}} = 100 \times K\%_{\text{mélange}} / (1,6 + 0,525 N\%_{\text{mélange}}) \quad (6)$$

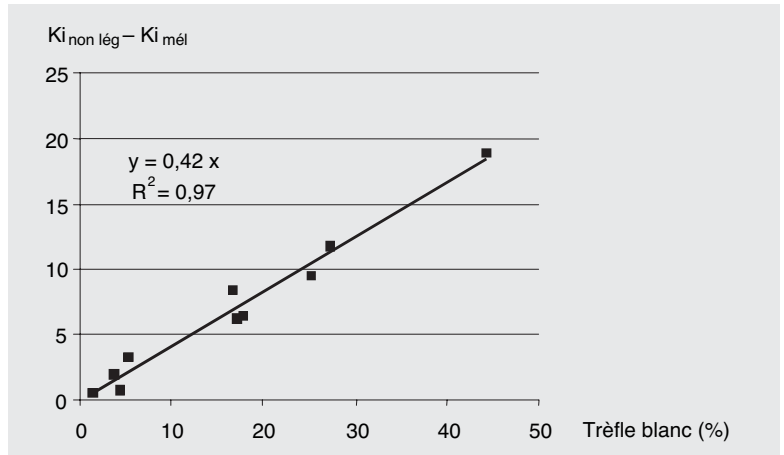
2. Résultats

■ Indices de nutrition potassique en présence de trèfle blanc

Sur le dispositif de Gramond, les Ki calculés pour les fractions non légumineuses sont tous supérieurs à 100, indiquant un niveau d'alimentation en potassium du couvert satisfaisant, le potassium n'étant pas limitant au cours de la croissance de l'herbe (données non présentées).

FIGURE 1 : Différence entre l'indice de nutrition K calculé pour la fraction non légumineuse ($Ki_{\text{non lég}}$) et celui calculé pour le mélange ($Ki_{\text{mél}}$) en relation avec la teneur en trèfle blanc sur le dispositif de Gramond.

FIGURE 1 : Difference between the K nutrition index calculated on the non-legume fraction ($Ki_{\text{non lég}}$) and that calculated on the mixed sward ($Ki_{\text{mél}}$), in relation with the white clover content in the Gramond lay-out.

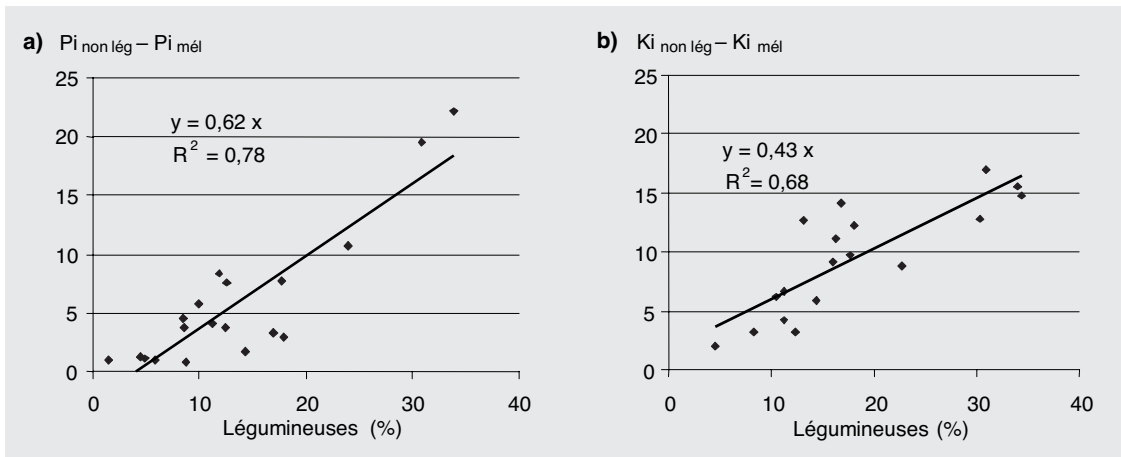


Lorsqu'on compare les indices calculés pour les deux fractions, on observe que celui calculé sur la fraction exempte de trèfle est toujours supérieur à celui obtenu pour le mélange. Par ailleurs, **la différence entre l'indice calculé sur la fraction non légumineuse et celui calculé sur le mélange augmente avec la teneur en trèfle blanc et ce quel que soit le niveau d'azote apporté (N0 ou N1 ; figure 1)**. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus pour le phosphore sur le même dispositif par JOUANY *et al.* (2004) et confirment que le niveau de nutrition potassique est sous-estimé en présence de trèfle blanc, lorsque l'analyse minérale est faite sur le mélange.

■ Indices de nutrition phosphatée et potassique sur un réseau de parcelles

Sur l'ensemble des parcelles de la vallée d'Ercé analysées dans cette étude, **les indices Ki et Pi calculés pour les fractions non légumineuses sont toujours supérieurs à 80**, indiquant un niveau d'alimentation en phosphore et potassium du couvert satisfaisant ; le phosphore et le potassium étaient donc peu ou pas limitants pour la croissance de l'herbe (données non présentées).

Lorsqu'on compare les indices calculés pour les deux fractions, on observe que l'indice Pi (figure 2a) aussi bien que l'indice Ki (figure 2b) calculés sur la fraction exempte de légumineuse sont toujours supérieurs à ceux obtenus pour le mélange ; **pour Pi aussi bien que pour Ki, on observe que la différence entre l'indice calculé sur la fraction non légumineuse et celui calculé sur le mélange augmente avec la teneur en légumineuse**. Ces résultats confirment pour d'autres légumineuses que le trèfle blanc que, lorsque l'analyse minérale est faite sur le mélange, les indices de nutrition Pi et Ki sous-estiment le niveau de nutrition P et K des espèces non légumineuses de la prairie. Par ailleurs, il faut noter que la pente de la droite obtenue sur la figure 2b pour le dispositif d'Ercé est identique à celle obtenue sur le dispositif de Gramond en présence de trèfle blanc (figure 1).



Ce biais introduit dans le calcul des Pi et Ki a pour origine **la teneur en azote mesurée sur les légumineuses qui est plus élevée que celle observée pour les autres espèces associées** pour un niveau de disponibilité en N donné (JOUANY *et al.*, 2004). Les légumineuses dépendant principalement de la fixation symbiotique pour leur nutrition N, elles se développent en conditions d'alimentation azotée non limitantes, alors que la fraction non légumineuse dépend principalement des fournitures du sol et des engrais. Les résultats obtenus en présence de trèfle blanc ont montré que cette différence était d'autant plus marquée que la contribution des folioles au mélange est importante, ces organes étant particulièrement riches en tissus métaboliques. Bien que ces résultats aient été obtenus en conditions d'alimentation P non limitantes, **le trèfle n'arrive pas à ajuster ses teneurs en P aux teneurs en N élevées. Deux hypothèses sont avancées** pour expliquer ce comportement : soit le trèfle subit des conditions d'alimentation P limitantes, puisque ses capacités de prélèvement du P sont plus faibles que celles des espèces associées, soit la croissance du trèfle se fait bien en conditions d'alimentation P non limitantes et, dans ces conditions, le trèfle a une courbe critique différente de celle des graminées. La courbe critique pour P en culture pure n'étant pas disponible, nous ne pouvons pas choisir entre ces deux hypothèses.

3. Conséquences pour le diagnostic de nutrition phosphatée et potassique dans les prairies mixtes

Ces résultats ont des conséquences pour la mise en œuvre du diagnostic de nutrition minérale dans les prairies comprenant une part importante de légumineuses ; en effet, lorsque la contribution des légumineuses quelles qu'elles soient dépasse 20% dans les fourrages, les indices Pi et Ki calculés pour les mélanges sont systématiquement inférieurs à ceux obtenus sur la fraction triée. Par conséquent, **les niveaux de nutrition en phosphore et en potassium du couvert, évalués à partir des indices Pi et Ki , sont systématiquement sous-estimés**. En se basant sur les données

FIGURE 2 : Différence entre les indices de nutrition phosphatée (a) et potassique (b) calculés pour la fraction non légumineuse ($Pi_{\text{non lég}}$ et $Ki_{\text{non lég}}$) et ceux calculés pour le mélange ($Pi_{\text{mél}}$ et $Ki_{\text{mél}}$) en relation avec la teneur en légumineuses des parcelles d'éleveurs du réseau d'Ercé.

FIGURE 2 : Differences between the phosphate nutrition index (a) and the potash nutrition index (b) calculated on the non-legume fraction ($Pi_{\text{non lég}}$ and $Ki_{\text{non lég}}$) and the same calculated on the mixed sward ($Pi_{\text{mél}}$ and $Ki_{\text{mél}}$), in relation with the legume contents on the farmers' fields of the Ercé network.

obtenues dans cette étude, et pour les gammes de teneurs en légumineuses rencontrées sur des parcelles d'éleveurs, on peut considérer les relations simplifiées suivantes :

$$P_{i_{\text{non lég}}} = P_{i_{\text{mélange}}} + (0,5 \times \% \text{ légumineuses}) \quad (7)$$

$$K_{i_{\text{non lég}}} = K_{i_{\text{mélange}}} + (0,5 \times \% \text{ légumineuses}) \quad (8)$$

4. Proposition d'une méthode de correction

Lorsque des mesures d'indices sont réalisées sur des prairies riches en légumineuses dans le but d'établir un diagnostic pour prescrire la fertilisation phosphatée et potassique, le biais introduit par les légumineuses aura pour conséquence des recommandations d'apports d'engrais excessives par rapport aux besoins réels du couvert.

Deux solutions existent pour corriger les indices du biais introduit par les légumineuses. La première consiste, lorsque cela est possible, à **trier la biomasse récoltée de manière à éliminer la fraction légumineuse** ; dans ce cas, l'analyse minérale est réalisée sur la fraction exempte de légumineuses, les teneurs en azote, en phosphore et en potassium obtenues sont utilisées pour calculer les indices Pi et Ki.

Dans les situations où le tri n'est pas possible, les analyses sont faites sur le fourrage contenant les légumineuses en ayant pris soin au préalable d'**estimer visuellement la contribution de la fraction légumineuse dans le mélange**. Dans ce cas, **les indices sont** dans un premier temps calculés à partir des teneurs mesurées sur les mélanges puis **corrigés du biais introduit par les légumineuses en augmentant la valeur d'indice Pi (Ki) de 0,5 point par point de teneur en légumineuse**, comme il est suggéré à partir des relations 7 et 8.

Conclusions

L'ensemble des résultats présentés dans cette étude permet d'**étendre au potassium, ainsi qu'à d'autres légumineuses que le trèfle blanc**, les conclusions de l'étude de JOUANY *et al.* (2004) menée sur **le diagnostic de nutrition phosphatée** en présence de trèfle blanc.

Nous avons vérifié que la présence de trèfle blanc dans les fourrages analysés se traduit également par une sous-estimation de l'indice Ki. La différence entre les indices Ki calculés avec et sans trèfle blanc augmente avec le pourcentage de trèfle blanc dans le mélange.

Les indices Pi et Ki mesurés sur un réseau de parcelles d'éleveurs montrent des résultats identiques lorsque d'autres légumineuses sont présentes dans le mélange. Les indices mesurés sur la fraction sans légumineuse sont toujours supérieurs à ceux mesurés sur le mélange, l'écart entre les deux étant toujours proportionnel à la teneur en légumineuses.

Dans toutes les situations, ce biais peut être évité si les analyses sont faites sur la part du fourrage sans légumineuse. L'autre possibilité consiste à corriger les indices en ayant au préalable estimé visuellement la proportion de légumineuses dans le fourrage récolté.

Lorsque la teneur en légumineuses dépasse 20%, il est important de corriger les indices de nutrition par l'une ou l'autre des solutions proposées de manière à raisonner la fertilisation en se basant sur la valeur correcte de l'indice de nutrition qui **permet ainsi d'éviter des apports excessifs de fertilisants.**

Accepté pour publication, le 13 juillet 2005.

Remerciements

Nous remercions Jean FOUCRAS (Chambre d'Agriculture de l'Aveyron) et la commission européenne qui a financé l'étude dans le cadre du projet VISTA (EVK2-CT-2002-00168).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DURU M., THÉLIER-HUCHÉ L. (1997) : "N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands", INRA éd., *Diagnostic procedures for crop N management and decision making*, 125-138.
- DURU M., DUCROCQ H. (1997) : "A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool for assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield for permanent pastures", *Nut. Cycl. Agro.*, 47, 59-69.
- 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.
- FARRUGGIA A., CASTILLON P., LE GALL A., CABARET M.M. (2000) : "Proposition d'une méthode de calcul permettant de raisonner la fertilisation azotée des prairies", *Fourrages*, 164, 355-372.
- JOUANY C., CRUZ P., PETIBON 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 J.P., DURU M. (2005) : "Diagnosing nitrogen, phosphorus and potassium status of natural grassland in the presence of legumes", *Proc. XXth Int. Grassl. Congr.*, Dublin (Ireland), July 2005, F.P. O'Mara, R.J. Wilkins, L. t'Mannetje, D.K. Lovett, P.A.M. Rogers, T.M. Boland eds, p. 860.
- LEMAIRE G., GASTAL F. (1997) : "N uptake and distribution in plant canopies", *Diagnostic procedures for crop N management, Les Colloques*, n° 82, éd. INRA, Paris, 3-43.
- 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.
- MURPHY D.V., STOCKDALE E.A., BROOKES P.C., GOULDING K.W.T. (2003) : "Impact of microorganisms on chemical transformations in soils", L.K. Abott, D.V. Murphy ed., *Soil Biological Fertility*, pp 37-59, Kluwer Academic Publishers.
- OLSEN S.R., COLE C.V., WATANABE F.S., DEAN L.A. (1954) : "*Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*", USDA Circ. 939. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- THÉLIER-HUCHÉ L., FARRUGGIA A., CASTILLON P. (1999) : *L'analyse d'herbe, un outil pour le pilotage de la fertilisation des prairies temporaires et permanentes*, plaquette COMIFER-ACTA, Institut de l'Élevage, -ITCF, 31p.
- WHITEHEAD D.C. (2000) : *Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationship*, Cabi Publishing, 369 p.

SUMMARY

Diagnosis of the phosphate and the potash status of natural grasslands containing legumes

The nutrient index method based on nutrient concentrations in plant tissues relative to the degree of growth is of general use for estimating the nutrient status of pastures ; it relies on critical curves which serve as diagnostic tools ; for N, the critical curve gives the optimum N concentration for different levels of biomass accumulation in the swards ; for P and K, optimum concentrations are linear functions of the sward N concentration. However limitations in the use of the P nutrient index (P_i) were reported when the herbage contained a large proportion of white clover. Our aim was to confirm whether similar behaviour existed with other legumes, and for the K nutrition indices (K_i) as well. This work relies on an experimental field where different N and P supplies lead to a large differentiation in white clover contents, and on a network of 20 pastures in a Pyrenean valley. Results showed that for P, as well as for K, the average nutrition indices calculated on the non-legume fraction were always higher than those obtained for the total sward. For a given sward, the difference between the indices calculated on the non-legume fraction and those calculated on the whole sward increased with the legume content of the sward ; the relationship was similar to that obtained for clover in previous work. P_i and K_i calculated from mixed sward concentrations resulted in an underestimation of the sward nutrition status. Our results showed that there were limitations to the use of diagnostic systems of nutrient status based on relative concentrations when the sward contained a large proportion of legume of whatever genus. We concluded that mineral contents measured on mixed swards could lead to a substantial underestimation of the NPK status of the sward. When nutrient indices are used for fertilizer recommendations, in order to avoid excessive P and K applications, we suggest to base the diagnosis on the non-legume fraction when biomass sorting is possible ; if not, we propose a correction coefficient of the nutrition index that varies according to the legume content as estimated de visu.