

Intérêt, pour le conseil, du diagnostic de nutrition azotée de prairies de graminées par analyse de plante

Michel M. Duru, Pablo Cruz, Claire Jouany, J.P. Theau

▶ **To cite this version:**

Michel M. Duru, Pablo Cruz, Claire Jouany, J.P. Theau. Intérêt, pour le conseil, du diagnostic de nutrition azotée de prairies de graminées par analyse de plante. Fourrages, 2000, 164, pp.381-395. hal-02698711

HAL Id: hal-02698711
https://hal.inrae.fr/hal-02698711

Submitted on 1 Jun 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.

Intérêt, pour le conseil, du diagnostic de nutrition azotée de prairies de graminées par analyse de plante

Duru M.[1,2], Cruz P.[1], Jouany C.[1], Theau J.P.[2]

Une méthode de diagnostic du niveau de nutrition en azote d'un couvert végétal à partir de l'analyse en azote de la plante a été mise au point il y a maintenant plus de 10 ans. Elle présente un grand intérêt pour de gérer la fertilisation des prairies et créer des référentiels régionaux. Divers exemples d'application sont présentés.

RESUME

Cette méthode peut être utilisée pour gérer la fertilisation azotée des prairies à base de graminées : pour le pilotage à court terme (exemples de parcelles conduites en pâturage tournant et du fractionnement des apports pour des prairies ensilées), et pour le diagnostic d'un ensemble de parcelles ayant une même fonction, en vue d'adapter la fertilisation de l'année suivante. Elle permet aussi la création de référentiels régionaux, d'une part en tirant mieux parti des essais agronomiques (5 exemples très différents), d'autre part en valorisant mieux les informations issues d'enquêtes culturales. Dans une dernière partie, sont précisées les limites de la méthode (application à des prairies avec une contribution importante de trèfle blanc) et les simplifications qu'il est possible d'envisager.

MOTS CLES

Azote, diagnostic, fertilisation azotée, méthode, nutrition azotée, nutrition de la plante, phosphore, prairie, référence technique.

KEY-WORDS

Diagnosis, grassland, method, nitrogen, nitrogen fertilization, nitrogen nutrition, phosphorus, plant nutrition, technical references.

AUTEURS

1 : INRA Agronomie, Chemin de Borde Rouge, BP27, F-31326 Castanet Tolosan ; e-mail : mduru@toulouse.inra.fr

2 : INRA SAD, Chemin de Borde Rouge, BP27, F-31326 Castanet Tolosan.

Le souhait d'infléchir les systèmes de production vers une plus grande durabilité nécessite de réduire les coûts de production et de préserver l'environnement. La fertilisation azotée constitue à cet égard un des domaines d'intervention où des marges sont possibles.

Les ingénieurs de références, de même que les conseillers d'élevage qui ont comme fonction d'établir, de valider et de vulgariser des recommandations de fertilisation butent sur l'insuffisance de méthodes faciles à mettre en œuvre. Ces recommandations sont le plus souvent basées sur des essais implantés dans des petites régions. Elles s'appuient aussi sur des observations réalisées en élevage. La valorisation de ces différentes données reste cependant souvent limitée en regard du travail accompli car il est souvent difficile d'établir un lien précis entre les conclusions issues de ces différentes sources d'information. Les essais de fertilisation aboutissent à des courbes de réponse pour lesquelles il est difficile de bien préciser le domaine de validité : les résultats obtenus sont-ils généralisables à d'autres parcelles et situations culturales, à d'autres années ou modes d'exploitation, à d'autres sources de fertilisants (fumiers par exemple) ?. De même, les observations en exploitations sont difficilement comparables entre elles.

Une méthode de prévision fondée sur la connaissance des objectifs de production et sur l'évaluation des différentes sources d'azote permet de calculer une quantité d'azote à apporter (Farruggia *et al.*, 2000, même ouvrage). Les référentiels régionaux doivent être mobilisés pour estimer les différents termes du bilan prévisionnel. Comme précédemment, il importe de pouvoir s'assurer du domaine de validité des termes du bilan, qu'il s'agisse des besoins en azote et des différentes sources. A cet égard, rappelons que, pour les prairies pérennes, contrairement aux grandes cultures annuelles, le plus souvent l'objectif n'est pas de produire au niveau du potentiel, tout particulièrement pour la prairie pâturée et pour la production de foin. Les autres particularités des systèmes prairiaux ont été rappelées précédemment (Farruggia *et al.*, même ouvrage). En conséquence, qu'il s'agisse des démarches classiques de recommandations fondées sur l'expérimentation et l'expertise, ou bien de démarches plus prédictives, la portée des résultats sera démultipliée si on dispose d'outils de diagnostic rigoureux. Le diagnostic de nutrition en azote à partir de la teneur en azote du couvert constitue à cet égard une méthode fiable. Après en avoir rappelé le principe et les bases de calcul, nous montrerons qu'il peut être utilisé par un ingénieur généraliste ou un conseiller spécialisé en matière de fertilisation dans le cadre de son activité avec les conseillers de " proximité " pour compléter leurs référentiels, tout autant que par un conseiller de proximité avec son réseau d'éleveurs dans sa fonction de suivi.

Principe du diagnostic de nutrition azotée par analyse de plante

La méthode de diagnostic est basée sur la connaissance de la teneur critique en azote des parties aériennes. Cette teneur en azote critique (N%), la teneur minimale en azote qui permet la croissance maximale (Lemaire et Salette, 1984 ; Lemaire et Gastal, 1997), dépend de la quantité de biomasse accumulée : $N\% = a\,(MS)^{-b}$, où MS est la biomasse en t de Matière Sèche par ha. Les valeurs des coefficients a et b sont communes aux différentes graminées fourragères (a = 4,8 ; b = 0,32, pour MS > 1 t/ha ; N% = 4,8 dans le cas contraire, figure 1a). En outre, ces coefficients ne dépendent pas du lieu ni de l'année (Duru *et al.*, 1997). Cette équation permet de calculer un indice de nutrition qui est le ratio entre la teneur observée et la teneur critique pour la même quantité de biomasse, MS : $iN = 100\ N\% / (4{,}8\ .\ MS^{-0{,}32})$.

Cet indice est corrélé linéairement à la vitesse de croissance dans la gamme 40 - 100 (Gastal *et al.*, 1992 ; Bélanger *et al.*, 1992 ; Duru *et al.*, 1995). L'indice est une estimation directe de la production permise par l'azote en regard du potentiel de croissance permis par les caractéristiques du climat (rayonnement, eau, température). En l'absence de déficience en azote, la quantité d'azote contenue dans la biomasse aérienne est donc : $Np = 48\ MS^{0{,}64}$. Du fait de la " dilution " de l'azote au fur et à mesure que la masse d'herbe croît, la quantité d'azote nécessaire pour fabriquer 1 t de matière sèche décroît quand la biomasse augmente (figure 1b).

Conduite de la fertilisation dans les élevages

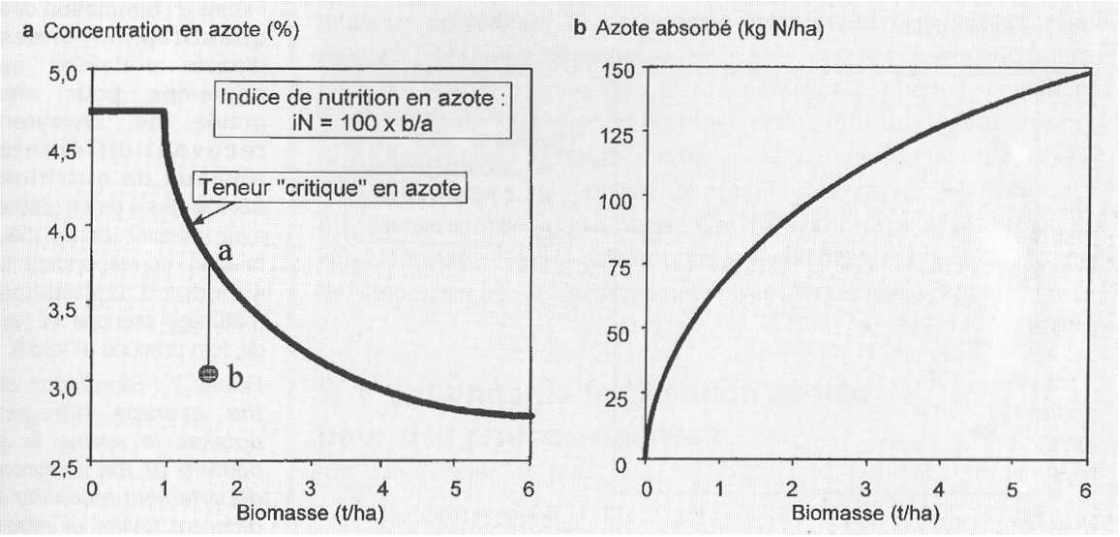
1. Estimation des besoins en azote selon les modes d'exploitation et le niveau de nutrition visé

Estimer les besoins en azote est une étape nécessaire à l'établissement du bilan prévisionnel. Cette estimation n'est pas immédiate du fait que les besoins dépendent du mode d'exploitation : ils sont plus élevés

pour des rythmes rapides en comparaison à des rythmes lents ; d'autre part, l'objectif n'est pas d'être au potentiel. Selon l'usage de la prairie, il peut être visé 60 ou 80% du potentiel.

Figure 1 : Principe du diagnostic de nutrition azotée par analyse de plante : a) courbe d'azote critique et calcul de l'indice azote, b) quantité d'azote prélevé correspondant à la teneur critique.

Figure 1 : Principle of the diagnosis of nitrogen nutrition by plant analysis : a) critical nitrogen curve and calculation of the nitrogen index, b) amount of nitrogen uptake corresponding to the critical content.



A partir d'essais pluriannuels conduits en " azote non limitant ", il est possible d'estimer la biomasse potentielle à différentes dates. Des objectifs de niveau de nutrition azotée étant donnés, il est possible de calculer les quantités d'azote correspondantes en considérant qu'il y a une relation de proportionnalité entre la biomasse et l'indice azote. Si par exemple la biomasse potentielle obtenue au 30 avril est de 4 t et si l'objectif est d'être à 80% du potentiel, la quantité d'azote nécessaire (Nq) sera : $Nq = 48 \times (4 \times 0{,}8)^{0{,}64}$.

Une illustration est indiquée figure 2 pour une prairie située dans la vallée de l'Aveyron. Les quantités d'azote absorbées varient de 75 à plus de 200 kg/ha pour une pousse de printemps selon le niveau de nutrition et le mode d'exploitation visés.

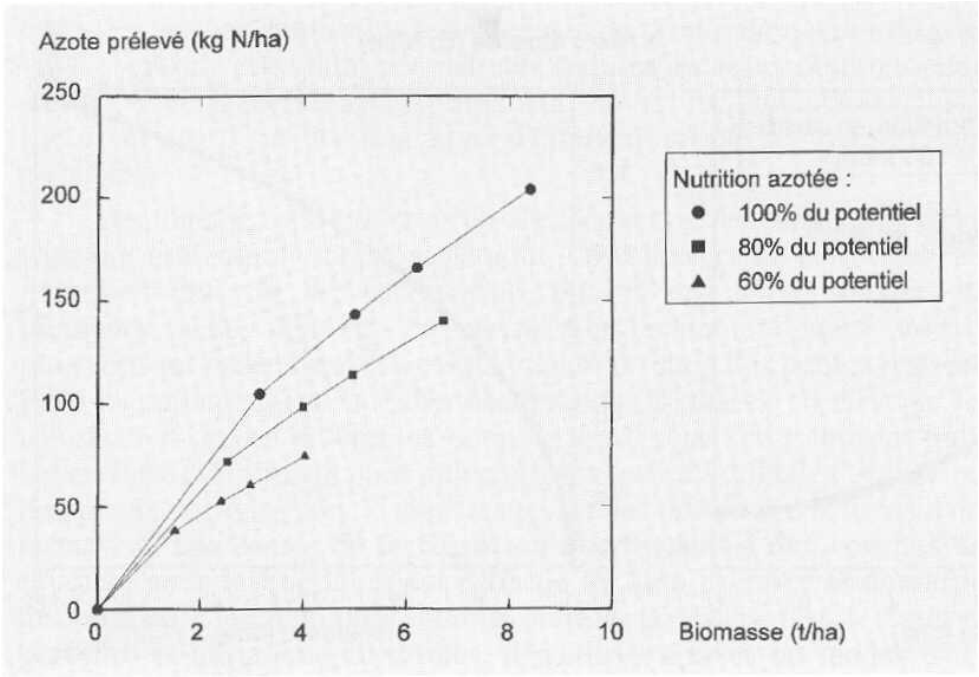
2. Diagnostic en vue du pilotage de la fertilisation azotée

* Ajuster la fertilisation en pâturage tournant

Pour des prairies utilisées en pâturage tournant, la fertilisation azotée est couramment appliquée à chacun des cycles de pâturage. Si la sole pâturée comprend un ensemble de prairies relativement homogène du point de vue de leur potentiel de production, il est alors possible de réaliser un diagnostic juste avant le pâturage, sur la prairie où le temps de repousse est le plus long. Ce diagnostic informe alors de l'état nutritionnel des autres parcelles à la période considérée. Si le niveau de trésorerie en pâturage est insuffisant, il peut être décidé d'augmenter la fertilisation dans le cas d'un niveau de nutrition azotée faible, ou bien au contraire de rajouter des parcelles si le niveau de nutrition est peu ou pas limitant. Une telle procédure nécessite un diagnostic rapide. C'est la raison pour laquelle des méthodes de diagnostic simplifiées (cf. dernière partie) doivent être envisagées.

Figure 2 : Simulation des quantités moyennes d'azote prélevées au printemps pour une prairie de l'Aveyron recevant différents niveaux de nutrition azotée ; les 4 dates (début avril, mi-avril, début mai, mi-mai) correspondent à 4 modes d'exploitation (pâturage précoce et tardif, foin précoce et tardif).

Figure 2 : Simulation of the average nitrogen uptakes in spring in a pasture of the Aveyron département receiving 4 different levels of nitrogen fertilization : the 4 dressing dates (beginning of April, mid April, beginning of May, mid May) correspond to 4 kinds of management (early and late grazing, early and late mowing for hay).



* Fractionner la fertilisation azotée pour des prairies ensilées

Des suivis détaillés de l'évolution du niveau de nutrition azotée au cours du temps montrent que, suite à un apport élevé (par exemple, 150 kg/ha en fin d'hiver), il est susceptible d'y avoir d'abord une teneur en azote du couvert supérieure à la teneur critique, puis une diminution rapide, de sorte que le niveau de nutrition devient limitant après plusieurs semaines de repousses. Une solution peut être alors de fractionner l'apport d'azote, comme cela est fait sur les céréales. Pour étudier si le niveau de nutrition en azote au cours d'une repousse était sensible au fractionnement des apports, nous avons comparé 3 traitements (figure 3) au printemps et en été (irrigué). Les résultats montrent que le niveau de nutrition diminue au cours des pousses de printemps et d'été, tant pour le témoin que pour le traitement fertilisé en une seule fois. Le fractionnement se traduit par une augmentation du niveau de nutrition à partir du deuxième apport. Il permet ensuite le maintien du niveau de nutrition en azote tout au long de la repousse.

3. Diagnostic en vue d'adapter l'année suivante la fertilisation azotée d'un ensemble de parcelles ayant une même fonction

* Fertilisation azotée de la sole pâturée au printemps

Nous illustrons la démarche à partir des observations faites durant 3 années consécutives dans 4 élevages laitiers (Duru *et al.*, 2000). Le diagnostic a été fait pour les différents cycles d'utilisation de 3 parcelles ayant comme fonction unique le pâturage des animaux productifs.

Les mesures montrent qu'il y a peu de différences d'indices iN entre élevages (tableau 1), mais les écarts types élevés témoignent de grandes variations. Pour partie, il s'agit d'un effet saison : les valeurs de fin de

printemps (mi-mai, mi-juillet) sont moins élevées que celles de mi-mars à mi-mai, en relation avec des apports d'azote moindres à la seconde période. Néanmoins, les écarts entre parcelles à une même période restent élevés au sein d'un même élevage. Pour un pourcentage élevé de parcelles, les iN sont supérieurs à 100, ce qui est le signe d'un excès d'azote qui n'entraîne pas une vitesse de croissance plus grande. A l'inverse, les parcelles ayant des productions inférieures à 70% du potentiel représentent un pourcentage de parcelles du même ordre de grandeur.

Ce diagnostic permet donc de modifier la fertilisation azotée des parcelles où des niveaux de nutrition excédentaires sont observés. En outre, s'il s'agit de parcelles ayant des fonctions identiques, il est possible d'homogénéiser leur niveau de nutrition.

Figure 3 : Evolution du niveau de nutrition en azote de deux repousses de dactyle sans apport d'azote, avec apport en début de repousse (120 kg/ha) ou avec apport fractionné.

Figure 3 : Changes in the level of nitrogen nutrition of 2 re-growths of cocksfoot without dressing of nitrogen, with a dressing of 120 kg/ha at beginning of re-growth, or with a split dressing.

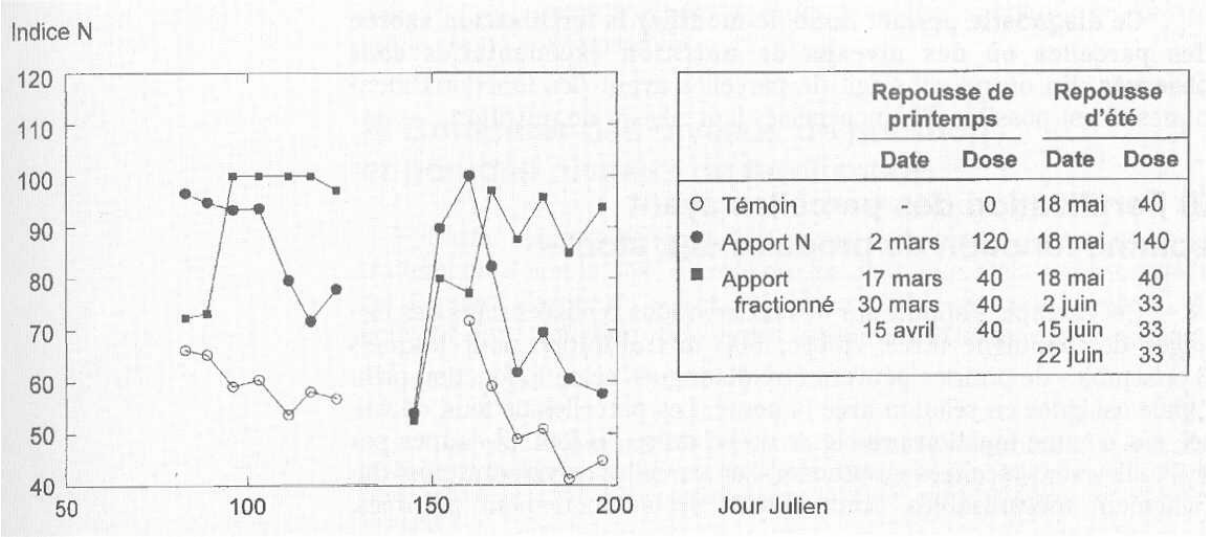


Tableau 1 : Niveau de nutrition azotée de parcelles pâturées au printemps pour 4 élevages laitiers.

Table 1 : Nitrogen nutrition level of spring-grazed pastures in 4 dairy farms.

Elevage	**A**	**B**	**C**	**D**
Nombre de données	*25*	*36*	*27*	*28*
Indice azote moyen et (écart type)*	88 (15)	82 (14)	80 (12)	89 (12)
Proportion de parcelles où IN>100 (%)	28	8	8	30
Proportion de parcelles où IN<70 (%)	16	21	16	6
* 3 parcelles par élevage durant 3 années				

* Fertilisation des parcelles ayant comme fonction de produire des stocks

Cet exemple s'appuie sur des observations réalisées dans des élevages de montagne (Ercé, Ariège, 600 m d'altitude), pour lesquels 3 ensembles de prairies peuvent être distingués selon la fonction principale assignée en relation avec la pente. Les parcelles de fond de vallée ont comme fonction principale de produire du foin (2

coupes par an) ; elles sont récoltées en premier. Les parcelles de versant, plus difficilement mécanisables, sont d'abord systématiquement pâturées, puis fauchées une seule fois lorsque le chantier précédent est terminé. Enfin, les pacages ne sont pâturés qu'en pré- et post-estive. Du fait de cette structuration de l'espace herbager, on peut s'attendre à ce que la production permise par l'azote soit la plus importante pour les surfaces de fond de vallée.

La croissance permise par l'azote n'est en moyenne pas très différente selon les types de prairies (tableau 2). Il n'y a donc pas un gradient net en fonction de l'intensité d'utilisation. En revanche, le gradient attendu est observé pour le niveau de nutrition en phosphore[1] On note que pour les prairies fauchées, les indices de nutrition azotée moyens sont très voisins entre élevages. Ce diagnostic peut servir à réviser la distribution de la fumure organique entre les différents types de prairies, de façon à privilégier celles où l'objectif de production est le plus élevé.

Tableau 2 : Indices moyens de nutrition en azote et en phosphore (au printemps, au stade pâturage) dans 4 élevages pour 3 types de prairies.

Table 2 : Mean nitrogen and phosphorus nutrition indices (spring, grazing stage) in 4 dairy farms with 3 types of pasture.

Elevage	A		B		C		D	
	iN	iP	iN	iP	iN	iP	iN	iP
Fonction principale des prairies :								
- Prairies de fond de vallée fauchées 2 fois et pâturées	68	97	63	86	66	83	70	86
- Prairies de versant pâturée et fauchées 1 fois	67	65	64	61	73	79	66	73
- Pacages de pré et post estive	62	86	58	49	Nc		70	68

Créer un référentiel régional

1. Mieux tirer parti des essais agronomiques

Un des buts de la méthode proposée est d'éviter de confondre les effets de plusieurs facteurs lors de l'interprétation de résultats d'essais. Nous en donnons ci-dessous des exemples, sachant que d'autres applications sont possibles.

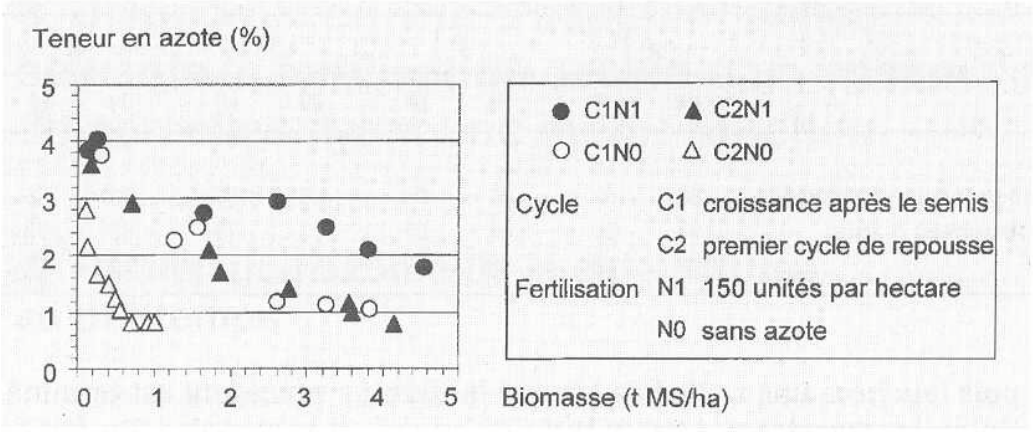
* Comparer des niveaux de nutrition et non des niveaux de fertilisation

D'une manière générale, les essais agronomiques comparent les traitements selon la dose d'azote qui les distingue. Cela revient à négliger l'apport d'azote du sol et les pertes, par lessivage ou autres, qui peuvent être fonction des types d'engrais et des doses utilisées (exemple : interactions P-N et formulation de la composante azotée). Les risques d'erreurs d'interprétation sont minimisés quand les comparaisons se font entre traitements à une même période et sur une même parcelle. En revanche, le risque est élevé lorsqu'on compare des doses identiques sur des parcelles ou cycles de croissance différents. La figure 4 illustre ceci pour deux repousses successives de sorgho fourrager recevant deux doses d'azote bien distinctes : 0 et 150 unités par hectare. On y observe que le traitement N0 du premier cycle de croissance après semis (C1) a le même niveau de nutrition que la repousse (C2) du traitement N150. La différence observée entre les deux cycles pour une même dose d'engrais provient en partie de la fourniture d'azote du sol qui a été (d'après les parcelles N0) d'environ 32 et 8 kg/ha pour C1 et C2 respectivement. Ces résultats illustrent les risques que l'on prend en comparant des données provenant des essais conduits sur des années, saisons ou parcelles différentes.

[1] Les prairies permanentes présentent souvent des déficiences en P et K. Une méthode de diagnostic par analyse de plante, basée sur des recherches antérieures (Duru et Thélier, 1997) a été présentée dans un autre article (Farruggia et al., même ouvrage).

Figure 4 : Teneur en azote d'une culture de sorgho fourrager selon le cycle de croissance et la fertilisation azotée.

Figure 4 : Nitrogen contents of a forage sorghum crop according to growth cycle and to nitrogen fertilization.

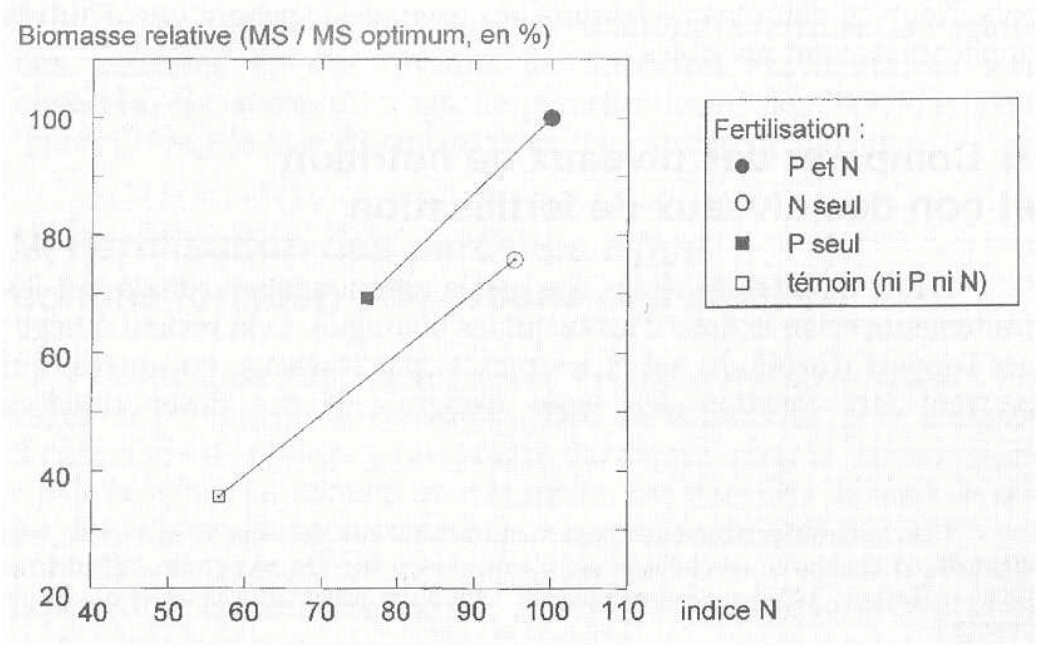


* Identifier et quantifier les interactions entre P et N

L'apport de P n'est toutefois pas toujours simple à interpréter. En effet, nous avons montré que, pour des sols déficients en P, l'augmentation de rendement provenait à la fois d'un effet direct, mais aussi d'un effet indirect suite à une augmentation du niveau de nutrition azotée (Duru et Ducrocq, 1997). Dans l'exemple présenté, l'indice de nutrition azotée passe d'environ 55 à 75 suite à un apport de P seul (figure 5). Ce phénomène provient vraisemblablement d'une augmentation du taux de minéralisation de la matière organique (Jouany *et al.*, 1998). L'accroissement de rendement consécutif à l'augmentation du niveau de nutrition en azote est plus important que l'effet direct de l'apport de P : la biomasse relative (rapport de biomasse d'un traitement donné à celle du traitement où la nutrition P et N est non limitante) passe de 35 à 55 du fait de l'augmentation du niveau de nutrition en azote, et de 55 à 70 à niveau de nutrition azotée identique. Cette interaction entre P et N est cependant variable entre les prairies. Une recherche en cours vise à identifier les caractéristiques physico-chimiques des sols qui sont à l'origine de ces différences de réponse.

Figure 5 : Biomasse relative fonction de l'indice de nutrition en azote d'une prairie de la vallée de l'Aveyron déficiente en P avec 4 traitements de fertilisation (d'après Duru et Ducrocq, 1997).

Figure 5 : Relative bio-mass of a pasture in the Aveyron valley, dependent on the nitrogen nutrition index, for 4 fertilization treatments, under conditions of P deficiency (after Duru and Ducrocq, 1997).

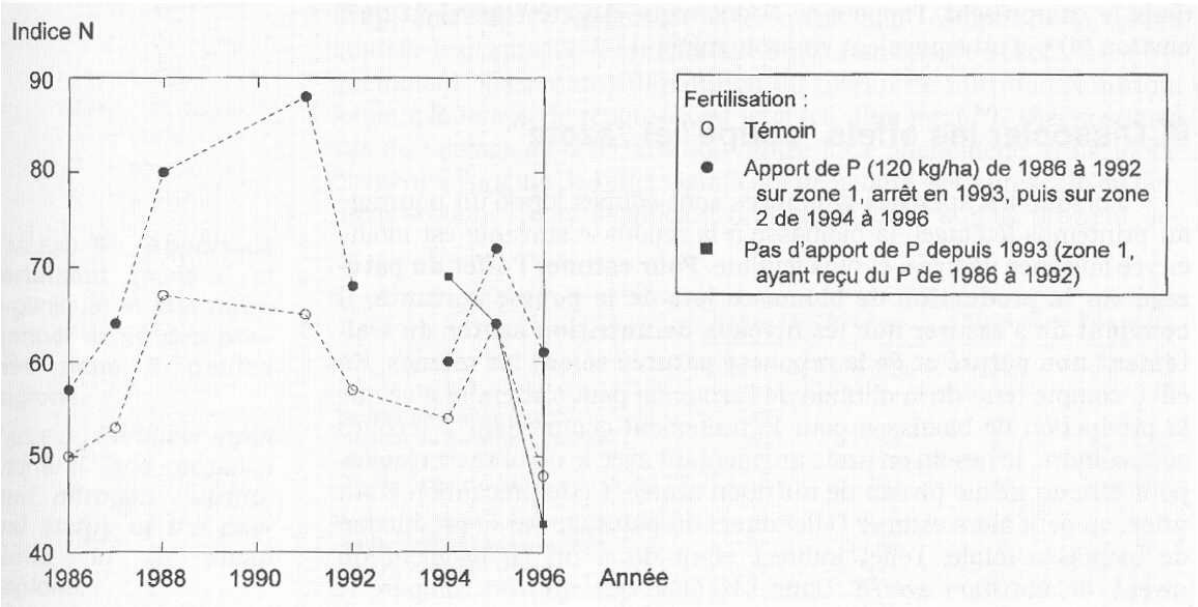


* Estimer l'évolution et les fluctuations des fournitures en azote suite à un changement de fertilisation

Le niveau de nutrition permis par les fournitures en azote du sol est souvent variable en fonction des conditions climatiques. Le calcul du niveau de nutrition en azote permet d'estimer l'ampleur de ces variations. Ainsi, sur une prairie permanente des Pyrénées centrales, riche en matière organique mais déficiente en P, exploitée en fauche à raison de 2 coupes par an, le niveau de nutrition azotée a varié de moins de 50 à presque 70 sur une décennie (figure 6). L'apport de P a permis d'augmenter le niveau de nutrition azotée (de 5 à 20 points), et ce durant 7 années consécutives. Une deuxième série d'apports initiée en 1994 confirme ces résultats. On montre aussi que, suite à un arrêt de l'apport de P, le niveau de nutrition N du traitement ayant reçu un apport de P durant 7 années est égal à celui du témoin non fertilisé dès la troisième année de l'arrêt.

Figure 6 : Evolution du niveau de nutrition en azote de 1986 à 1996 d'une prairie déficiente en P (Pyrénées centrales, 1 300 m).

Figure 6 : Changes in the level of nitrogen nutrition from 1986 to 1996 in a P-deficient pasture (Central Pyrenees, 1 300 m a.s.l.).



* Quantifier l'effet de la fertilisation organique

L'effet de la fertilisation organique est souvent mal connu alors que cette ressource tend à être de plus en plus utilisée. Très souvent, des essais agronomiques comparent un témoin non fertilisé à des traitements recevant une fertilisation minérale et organique. Dans ce dernier cas, il est souvent difficile de dissocier les effets immédiats et différés des apports organiques. En outre, les fumiers apportent d'autres éléments minéraux, ce qui complique l'interprétation des effets.

Pour une prairie permanente déficiente en P (tableau 3), on a comparé la production de biomasse d'une coupe à foin pour un traitement témoin, un traitement ayant reçu du fumier durant 6 années consécutives et un traitement ayant reçu 120 kg d'azote l'année de la comparaison. Les 3 traitements sont exploités au même rythme (2 coupes par an). Les résultats montrent qu'il n'y a pas eu d'effet de l'apport de fumier sur le niveau de nutrition en P, vraisemblablement du fait de la carence du fumier en cet élément. Le niveau de nutrition N du traitement avec fumier est intermédiaire entre le traitement témoin et celui ayant reçu un apport d'azote minéral. En revanche, dans le cas présent, l'apport de N organique n'a été équivalent qu'à environ 30% d'un équivalent en azote minéral.

Tableau 3 : Comparaison de l'effet de 3 traitements de fertilisation sur la biomasse récoltée (début juillet) et les indices N et P d'une prairie de montagne (1300 m d'altitude) déficiente en P.

Table 3 : Compared effects of 3 fertilization treatments on the harvested bio-mass (beginning July) and the N and P indices in a P-deficient mountain pasture (1 300 m a.s.l.).

	Biomasse (t/ha)	Indice N	Indice P	Biomasse relative (T/Nm ou No/Nm)	Indice N relatif (T/Nm ou No/Nm)
Témoin (T)	3,8	54	57	0,59	0,72
N minéral* (Nm)	6,5	75	52		
N organique* (No)	4,6	60	58	0,70	0,80

* N minéral : première année, 120 kg/ha début mars ;
N organique : 20 t de fumier depuis 6 ans, soit en moyenne 124 kg N total par an

* Dissocier les effets "coupe" et "azote"

Lorsque les apex des graminées sont coupés lors d'un pâturage au printemps (étêtage), la biomasse à la repousse suivante est moins élevée (absence de tiges) et plus feuillue. Pour estimer l'effet du pâturage sur la production de biomasse lors de la pousse suivante, il convient de s'assurer que les niveaux de nutrition azotée du traitement non pâturé et de la repousse pâturée soient les mêmes. En effet, compte tenu de la dilution de l'azote, on peut s'attendre à ce que la production de biomasse pour le traitement comprenant 2 récoltes soit moindre, le besoin en azote augmentant avec le nombre de récoltes pour être au même niveau de nutrition azotée. Cette précaution étant prise, on peut alors estimer l'effet direct du pâturage sur la production de biomasse totale, l'effet indirect étant dû à un changement du niveau de nutrition azotée. Dans l'exemple qui suit, on compare le cumul de la biomasse récoltée lors d'un étêtage et de la coupe à foin suivante, à la biomasse récoltée à la même période sans étêtage. Toutes parcelles confondues, l'effet dépressif du pâturage tardif sur la biomasse récoltée (pâturage + coupe à foin comparé à coupe à foin seul) est de 33% (tableau 4). Lorsqu'on considère le sous-ensemble de parcelles ayant le même niveau de nutrition azoté pour chacun des régimes de coupe, cette réduction n'est plus que de 23%. Autrement dit, le fait de réaliser 2 récoltes a réduit la quantité récoltée du fait d'une diminution du niveau de nutrition azotée et d'une moindre quantité de tiges suite à la suppression des apex.

Tableau 4 : Comparaison des biomasses récoltées pour 2 rythmes de coupe (Ercé, 600 m, Pyrénées centrales).

Table 4 : Compared harvested bio-masses for 2 cutting schedules (Ercé, 600 m a.s.l., Central Pyrenees).

	Coupe à foin seule		Pâturage + coupe à foin	
	Biomasse (t/ha)	n parcelles	Biomasse (t/ha)	n parcelles
Toutes les données	5,4	*22*	3,6	*51*
Sous ensemble des données avec niveaux de nutrition en azote similaires	5,4	*21*	4,2	*25*

2. Valoriser les informations issues d'enquêtes culturales

Une enquête parcellaire sur les pratiques de fertilisation d'une petite région agricole peut être l'occasion d'estimer les états nutritionnels et de rechercher les variables de conduite susceptibles d'être à l'origine des différences observées. Une telle démarche a été effectuée pour des prairies permanentes dans 2 petites régions du département de l'Aveyron : la vallée de l'Aveyron et le plateau de l'Aubrac, respectivement en 1988 et 1989 (tableau 5).

Tableau 5 : Apport de fertilisant (minéral et organique) et état nutritionnel azoté des prairies dans 2 petites régions.

Table 5 : Fertilizer input (mineral and organic) and nitrogen nutritional status of the pastures in 2 small regions.

	Vallée de l'Aveyron		Plateau de l'Aubrac	
	moyenne	mini-maxi	moyenne	mini-maxi
Toutes parcelles *(nombre)*	*95*		*60*	
– Indice de nutrition azotée	58	33 - 93	60	35 - 124
– N apporté (kg/ha/an)	68	0 - 428	87	0 - 380
– P_2O_5 apporté (kg/ha/an)	43	0 - 360	56	0 - 202
Parcelles sans apport d'azote *(nombre)*	*19*		*43*	
– Indice de nutrition azotée	59	33 - 84	54	35 - 74
– P_2O_5 apporté (kg/ha/an)	20	0 - 111	6	0 - 80

Il n'y a pas de relation significative entre le niveau de nutrition en azote du couvert et l'apport d'azote. En revanche, il y a un effet significatif entre iN et l'apport de P lorsqu'on tient compte de la date à laquelle le diagnostic N est effectué. Suite à un apport d'azote, il est fréquemment observé une diminution du niveau de nutrition N surtout lorsque le temps de repousse est long (cf. plus haut "2. Diagnostic en vue du pilotage de la fertilisation azotée"). Ce phénomène, vraisemblablement à l'origine de l'effet significatif de la date, sera présenté en dernière section. L'effet significatif de l'apport de P sur iN provient des interactions entre P et N que nous avons précisées précédemment. Pour le sous-ensemble de parcelles sans apport d'azote, les apports de P sont moindres que pour celles recevant de l'azote. On note cependant que les niveaux de nutrition en azote sont en moyenne peu inférieurs (Aubrac) ou égaux (vallée de l'Aveyron) à ceux des parcelles ayant reçu un apport d'azote. Ces faibles écarts proviennent vraisemblablement d'une plus grande abondance des légumineuses dans les parcelles ne recevant pas d'azote. Ces dernières données fournissent une indication du niveau de production permis par les fournitures du sol et la fixation, en comparaison du potentiel permis par les caractéristiques du climat.

Limites et intérêt de la méthode de diagnostic

1. Précautions pour la réalisation et l'interprétation du niveau de nutrition azotée

Comme nous l'avons illustré ci-dessus, du fait des variations de fourniture en azote par le sol, le niveau de nutrition azotée est rarement constant au cours d'une repousse. Ceci est d'autant plus probable que le temps de pousse est long. Lorsque l'objectif est de faire un bilan de campagne, il est donc préférable de s'affranchir de ces variations. C'est la raison pour laquelle il est recommandé de faire une mesure de l'état nutritionnel à la mi-temps de la repousse. En outre, il convient d'éviter de faire un tel diagnostic lors d'une période de sécheresse. A l'effet direct sur la croissance d'un déficit hydrique qui surestime la valeur de l'indice (même teneur pour une plus faible biomasse), s'ajoute un effet indirect compensatoire du fait d'une réduction de l'absorption d'azote qui sous-estime l'offre en N du sol. Le bilan entre ces deux effets opposés dépendra du moment d'intervention du stress hydrique dans le cycle de croissance et de sa durée (Lemaire et Denoix, 1987). Les résultats ne sont alors plus généralisables à des années où les conditions hydriques sont peu ou pas limitantes.

Dans le cas de prairies contenant un pourcentage élevé de trèfle blanc, le diagnostic tel que présenté n'est plus valide. En effet, pour cette espèce où l'on récolte principalement les organes foliaires, il existe un risque de surestimation des indices iN de l'ensemble du couvert (Moulia, 1986). En fait, les feuilles de trèfle blanc sont des tissus à teneur en azote très élevée et pratiquement constante tout au long du cycle de croissance. La courbe critique établie n'est plus valide. Des recherches sont en cours pour définir le seuil en dessous duquel la présence de trèfle blanc n'est pas un obstacle à l'utilisation des indices établis pour l'ensemble du couvert.

Une autre voie est d'utiliser une méthode simplifiée basée sur la teneur en azote de l'horizon éclairé du couvert, qu'il s'agisse de la légumineuse ou de la graminée (Lemaire *et al.*, 1997). Cette méthode est basée sur le fait que la diminution de teneur moyenne résulte d'une diminution de la proportion de tissu métabolique au profit des tissus de soutien (structuraux) au fur et à mesure que la biomasse s'accroît (Lemaire et Gastal, 1997). La teneur moyenne en azote du couvert diminue, alors que la teneur en azote des tissus éclairés se maintient au cours du temps. Cette méthode simplifiée ne devrait être valable que dans des couverts denses, où la teneur en azote de la biomasse diminue comme résultante de l'auto-ombrage, en évitant les mesures sur des plantes isolées ou non soumises à la compétition pour la lumière. En outre, dans la mesure où il n'est pas nécessaire de peser l'échantillon nécessaire à l'analyse, cette méthode serait adaptée à un diagnostic rapide. Enfin, des mesures de réflectance au champ permettraient d'avoir un diagnostic instantané (Wood *et al.*, 1993).

2. Quelle place pour cet outil de diagnostic dans l'activité de conseil et de prescription ?

L'activité de conseil et de prescription comprend une phase de mise au point et de validation de références, généralement suivie d'une phase de vulgarisation et de prescription. Ces deux phases ne sont pas toujours assurées par les mêmes organismes (Instituts techniques, Chambre d'agriculture), ni par les mêmes agents au sein des organismes. Ainsi, les ingénieurs de synthèse ou les conseillers spécialisés ont comme fonction de traiter de questions spécifiques (la fertilisation, le pâturage…), d'autres, les " techniciens de proximité ", sont en contact régulier avec un même réseau d'élevages.

L'outil de diagnostic présenté peut contribuer de manière significative à la construction de référentiels, à la vulgarisation de recommandations et à l'articulation entre ces deux fonctions, en complément de la démarche de planification (Farruggia *et al.*, 2000, même ouvrage). D'une part, l'interprétation des résultats des nombreux essais réalisés sur la fertilisation peut être approfondie par les conseillers spécialisés. D'autre part, il est possible de mieux adapter les prescriptions au contexte de production de l'élevage. L'outil permet en outre d'assurer une confrontation rigoureuse entre les leçons issues d'essais agronomiques et des observations effectuées dans des réseaux de parcelles d'éleveurs. Le même " instrument de mesure " peut donc remplir des fonctions différentes pour des usagers différents ; c'est ce qui en fait son principal intérêt. Au sein d'un collectif, il joue le rôle d'un langage, ce qui facilite la communication. Au niveau d'un acteur, il permet un auto-apprentissage, en ce sens qu'il peut lui faciliter la création d'un référentiel.

Accepté pour publication, le 11 octobre 2000.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bélanger G., Gastal F., Lemaire G. (1992) : "Growth analysis of a tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen", *Crop Sci.*, 32, 1371-1376.

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 of permanent pastures", *Nutrient cycling in agroecosystems*, 47, 59-69.

Duru M., Thélier L. (1997) : "N and P-K status of herbage : use for diagnosis of grasslands", *Colloque INRA*, 32, 125-138.

Duru M., Ducrocq H., Tirilly V. (1995) : "Modeling growth of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) at the end of spring in relation to herbage nitrogen status", *J. of Plant Nutrition*, 18, 2033-2047.

Duru. M, Lemaire G., Cruz P. (1997) : "The nitrogen requirements of grasslands", *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, G.Lemaire éd., Springler Verlag, New-York, pp 59-72.

Duru M., Ducrocq H., Bossuet L. (2000) : "Decision rules based on herbage volume to manage a rotational grazing system in spring. Case of dairy cows and ewes", *J. of range management* (in press).

Gastal F., Bélanger G., Lemaire G. (1992) : "A model of leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature", *Ann. Bot.*, 70, 437-442.

Jouany C., Duru M., Ducrocq H. (1998) : "Effects of P application on mineral nitrogen release upon incubation of permanent pastures soils", *poster présenté au XVIe Cong. Int. de Science du Sol*, Montpellier, 20-26/08/1998, 5 p.

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, 5, 423-430

Lemaire G., Denoix A. (1987) : "Croissance estivale en matière sèche de peuplements de fétuque élevée et de dactyle dans l'Ouest de la France. II Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée", *Agronomie*, 76, 381-387.

Lemaire G., Gastal F. (1997) : "N Uptake and distribution in plant canopies", *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, G.Lemaire éd., Springler Verlag, New-York, pp 3-44.

Lemaire G., Plénet D., Grindlay D. (1997) : "Leaf N Content as an Indicator of Crop N Nutrition Status", *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, G.Lemaire éd., Springler Verlag, New-York, pp 189-199.

Moulia B. (1986) : *Contribution à l'étude écophysiologique de la fétuque élevée, du trèfle blanc et de leur association*, mémoire d'ingénieur ENITA de Bordeaux, 57 p.

Wood C.W., Reeves D.W., Himelrick D.G. (1993) : "Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield : a review", *Agronomy Society of New Zealand*, 23, 1-9.

SUMMARY

Use of the diagnosis of the nitrogen nutrition of grasses by plant analysis in agricultural advice

More than 10 years ago, a method for the diagnosis of the nitrogen nutrition level of a plant cover was defined, that was based on the analysis of the plants'nitrogen content. The present paper shows its possible uses when applied to pastures made up of grasses. It can be used for the management of nitrogen fertilization : 1) for short-term steering (instanced by the paddocks of a rotationally grazed field and the splitting of nitrogen dressings on silage pastures) and 2) for the diagnosis of a set of plots having all the same purpose in order to determine the level of fertilization in the year n+1 from the results of year n. Another set of applications regards the creation of regional references through a better utilization of field experiments (5 very different examples are given) and also through an improved exploitation of the data supplied by agricultural surveys. Lastly, the limits of the method are shown (application to pastures with a high clover content) and the simplifications considered possible.