

# Pédoclimat, fertilisation et croissance des prairies permanentes au printemps.

## I- Variabilité de la nutrition minérale

M. Duru<sup>1</sup>, B. Colomb<sup>1</sup>, Y. Cransac<sup>2</sup>, J.C. Fardeau<sup>3</sup>,  
J.L. Julien<sup>4</sup>, M. Rozière<sup>2\*</sup>

**E**n conditions d'alimentation hydrique non limitante, la nutrition minérale, azotée tout particulièrement, est le principal facteur de productivité, du moins pour les couverts prairiaux permanents à base de graminées. Les niveaux de nutrition dépendront d'une part du pouvoir alimentaire du sol et de la fertilisation apportée, d'autre part des possibilités de leur valorisation par le système racinaire.

En vue de décider d'un niveau de fertilisation, les tests analytiques de routine pratiqués sur les terres sont souvent insatisfaisants pour le phosphore (BONIFACE et TROCMÉ, 1988 ; FARDEAU, 1988) et pour le potassium (QUÉMÉNER, 1976). Des tests

---

\* : avec la participation technique de H. DUCROCQ<sup>2</sup>, P. MARRION<sup>2</sup>, R. ROUSSEL<sup>2</sup>, L. SOS<sup>1</sup> et R. VIARD<sup>1</sup>.

### **MOTS CLÉS**

Azote, diagnostic, fertilisation, nutrition, phosphore, potassium, prairie permanente.

### **KEY-WORDS**

Diagnosis, fertilization, nitrogen, permanent pasture, phosphorus, plant nutrition, potassium.

### **AUTEURS**

1 : INRA Agronomie, BP 27, F-31326 Castanet-Tolosan.

2 : Chambre d'agriculture de l'Aveyron, Carrefour de l'Agriculture, F-12000 Rodez.

3 : Commissariat à l'Energie Atomique, Service de Radio-agronomie, F-13108 Saint-Paul-Les-Durance.

4 : Laboratoire Interprofessionnel des Analyses Laitières, 8 rue de Salers, F-15000 Aurillac.

plus adaptés tels que la mesure de la concentration en phosphore dans la solution du sol et le phosphore isotopiquement échangeable (FARDEAU, 1988), l'extraction du potassium des sols par le tétraphénylborate (QUÉMÉNER, 1988), ne sont souvent pas utilisés en routine pour diverses raisons. Enfin, pour des éléments comme l'azote pour lesquels il conviendrait de faire des prévisions à très court terme, les tests analytiques au niveau du sol sont trop longs à mettre en œuvre et les modèles prévisionnels peu performants du fait d'une insuffisance des connaissances des processus impliqués dans les transformations de l'azote organique en azote minéral (BROCKMAN, 1991).

La complexité des processus intervenant au niveau du sol fait qu'il est le plus souvent impossible de mettre en évidence des relations statistiques éprouvées entre les quantités d'éléments fertilisants apportés et les rendements en matière sèche. Les quantités permettant un niveau de production donné varient selon les années, les sols et les techniques culturales antérieures. Pour décider des quantités de fertilisants à apporter, il est alors insuffisant de connaître les besoins en éléments minéraux, même référés à un objectif de production.

Ces difficultés ont amené plusieurs auteurs à réaliser un diagnostic de nutrition minérale en analysant les teneurs en éléments minéraux des végétaux (LEMAIRE et al., 1989 pour l'azote ; SALETTE et HUCHÉ, 1991, pour le phosphore et le potassium). Cette méthode permet au minimum de juger a posteriori du niveau de nutrition et ainsi de discuter du bien fondé du niveau des apports relativement à un objectif de production donné. Une méthode de diagnostic a été établie et validée (DURU, 1992a). Notre objectif est de l'utiliser pour un plus grand nombre de situations, afin de réaliser un diagnostic des variations inter-annuelles de la nutrition minérale de prairies permanentes bien typées, soumises à différents régimes de fertilisation. L'étude multi-sites a été mise à profit pour dégager des tendances, voire des régularités par situation pédoclimatique, en vue de formuler quelques enseignements pour la conduite de la fertilisation. Dans les articles suivants, ces résultats seront repris pour modéliser la croissance de l'herbe au printemps.

## Matériel et méthodes

### 1. Sites et parcelles

Trois sites ont été retenus : Pyrénées centrales (latitude 47°30', longitude 2°, altitude 1 250 m), Aubrac (49°45', 0°30', 900 à 1 000 m), vallée de l'Aveyron (49°15', 0°30', 600 à 800 m). Sur chaque site, deux prairies permanentes ont été échantillonnées de façon à recouvrir un gradient de nutrition P et K. A cette fin, une première sélection de parcelles a été effectuée empiriquement avant l'étude proprement dite, à partir des résultats d'analyse de terre, d'une indication des niveaux

*Diagnostic et évolution pluriannuelle de la nutrition minérale des prairies*

de rendement (tableau 1) et de l'histoire culturale des parcelles (tableau 2). Ensuite, pour les sites Aubrac et Aveyron, nous avons retenu 2 parcelles nettement différenciées quant à leur nutrition P et K au vu des premières analyses minérales de l'herbe, de façon à installer un dispositif plus complet que celui mis en place précédemment.

	A U		V A		P Y	
	S	D	S	D	S	D
<b>Analyse chimique de terre (0-10 cm)</b>						
pH	5,9	5,5	7,1	7,5	6,5	6,3
MO (%)	12,9	18,1	5,4	5,9	7,0	10,0
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimil. (%)</b>						
- Dyer	0,16	0,63	0,24	0,03(*)	0,11	0,04
-Olsen	0,055	0,034	0,057	0,035	0,033	0,022
CP(mg/P/l)	0,093	0,023	0,20	0,035	0,22	0,042
K <sub>2</sub> O échangeable (%)	0,29	0,46	0,15	0,16	0,24	0,17
CK (mg/K/l)	3,9	3,6	0,9	1,3	6,2	2,1
r1/R	0,10	0,022	0,16	0,09	0,42	0,14
CEC (meq/100g)	37,1	66,7	27	23,2	18,0	18,3
<b>Granulométrie (% terre)</b>						
A	30,5	14,1	47,1	35,5	12,5	20,6
LF	22,6	22,9	27,1	15,2	31,8	25,0
LG	29	33,8	15,5	30,1	9,7	41,0
SF	2,8	4,9	2	10,2	7,3	9,1
SG	2,2	6,2	1,8	1,1	38,7	4,3

**TABLEAU 1 : Principales caractéristiques des parcelles étudiées : analyses de sol (1986 pour le site PY, 1990 pour les sites AU et VA ; CP et CK : concentrations en P et K de la solution du sol (FARDEAU) ; r1/R : pouvoir fixateur (FARDEAU) ; \* : analyse du P par la méthode Joret-Hébert).**

*TABLE 1 : Main characteristics of the plots : soil analyses (1986 for site PY, 1990 for sites AU and VA ; CP and CK : P and K contents of soil solution (FARDEAU) ; r1/R : fixing capacity (FARDEAU) ; \* : P analysed by Joret-Hébert method).*

Les sites sont indiqués par deux lettres (PY : Pyrénées, AU : Aubrac, VA : vallée de l'Aveyron). Une troisième lettre rend compte globalement du niveau de nutrition P-K en l'absence de fertilisation minérale (S : satisfaisant, D : déficient).

Dans la vallée de l'Aveyron, les sols sont neutres ou calcaires et riches en éléments fins. En Aubrac, ils sont acides et moins argileux que dans la vallée. Leur teneur en matière organique et en limons, leur composition géochimique permettent de les classer parmi les andosols développés sur basalte (parcelle D) ou granite (parcelle S). Dans les Pyrénées, les sols sont développés sur dépôts glaciaires. Les caractéristiques physico-chimiques des sols sont répertoriées tableau 1.

	1987	1986	1985
VA.S	320 kg de 0-25-25	500 kg de 0-26-13	500 kg de 0-26-13
VA.D	25 m3 de lisier		600 kg de scories 0-12-0
AU.S	900 kg de 0-12-0 180 kg d'ammonitrate	26 m <sup>3</sup> de lisier 900 kg de chaux vive	
AU.D	300 kg de 0-15-15		800 kg de scories 0-12-0
PY.S			20 t de fumier/2 ans
PY.D			rien depuis plusieurs décennies

TABLEAU 2 : Pratiques de fertilisation sur les parcelles avant le début de l'expérimentation.

TABLE 2 : Fertilizer dressins applied to plots prior to begin of trials.

D'une manière générale, les graminées sont le groupe d'espèces le plus représenté dans les prairies étudiées.

Les pratiques de fertilisation durant les années précédant la mise en place des expérimentations sont très variables selon les parcelles (tableau 2). Dans les Pyrénées, aucun apport d'engrais n'a été réalisé, de mémoire d'agriculteur.

Les modes d'exploitation pratiqués par les agriculteurs consistent dans les Pyrénées en deux coupes pour la parcelle S et une coupe pour la parcelle D. Dans la vallée de l'Aveyron et en Aubrac, les parcelles sont fauchées une fois puis pâturées par des bovins ou des ovins.

## 2. Traitements de fertilisation

Chaque traitement est caractérisé par un code. La lettre indique l'élément considéré, elle est suivie du chiffre 1 ou 0 selon que l'élément a été apporté ou non. Lorsque le phosphore est apporté sous forme de superphosphate, aucune mention supplémentaire n'est apportée. S'il s'agit de scories, le code est complété par "sc".

La fertilisation a été apportée mi-février (VA), ou début mars (AU et PY). L'apport d'azote du traitement témoin est réalisé chaque année sur des emplacements différents, alors que les apports de P et K ont lieu chaque année sur les mêmes emplacements. Sauf indication contraire, l'apport annuel a été de 26 kg de P et 208 kg de K. Le récapitulatif des traitements par site est effectué dans le tableau 3.

		86	87	88	89	90	91
P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	AU-VA			x	x	x	x
	PY	x	x	x		(x)	x
P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	AU-VA			x	x	x	x
	PY	x	x	x		(x)	x
P <sub>1</sub> K <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	AU-VA				x	x	x
	PY						
P <sub>1</sub> K <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	AU-VA						
	PY					(x)	x
P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	AU-VA						
	PY			x		(x)	x
P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	AU-VA						
	PY	x	x			(x)	x
P <sub>0</sub> K <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	AU-VA					x	x
	PY						
P <sub>1</sub> scK <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	AU-VA				x	x	x
	PY						
P <sub>1</sub> (120)K <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	AU-VA				x	x	x
	PY						

**TABLEAU 3 : Récapitulatif des traitements de fertilisation selon les parcelles et les années ; (x) : un seul contrôle au cours de la pousse.**

*TABLE 3 : Summary of fertilizer treatments in the various plots and years ; (x) : one check only during growth.*

### 3. Mesures

Pour tous les traitements et parcelles, les coupes d'herbe ont été réalisées à la microtondeuse à 2 cm de hauteur. A chaque date, des placettes de 2 500 cm<sup>2</sup> ont été récoltées avec 4 répétitions par traitement (emplacements tirés au sort en début d'année).

De façon à disposer de courbes de dilution des minéraux, plusieurs coupes sur des emplacements différents ont été réalisées du début du printemps (hauteur d'herbe comprise entre 5 et 15 cm environ) à une date voisine ou postérieure au stade épiaison des graminées selon les traitements. En Aveyron et en Aubrac, 4 dates de récolte ont été réalisées sur les placettes fertilisées et 5 ou 6 sur les traitements témoins. Dans les Pyrénées, 6 à 7 coupes ont été effectuées sur chacun des traitements.

Après séchage à l'étuve à 80°C durant 48 h puis pesées, les 4 répétitions ont été mélangées pour analyse des teneurs des éléments minéraux.

### 4. Traitement des données

Les indices de nutrition ont été calculés à partir des équations proposées précédemment (DURU, 1992a). L'indice d'azote ( $I_N$ ) est établi à partir d'un prélèvement d'herbe dont on mesure la teneur en azote et la biomasse aérienne exprimée (en tonnes de matière sèche, MS). Pour calculer les indices de nutrition en P et K ( $I_P$  et  $I_K$ ), il suffit de connaître les teneurs en ces éléments (P, K) et en azote (N) :

$$- I_N = (1 - MS^{-0,32} + N/4,8) \times 100 ;$$

$$- I_P = (4,17 P \times N^{-0,64}) \times 100 ;$$

$$- I_K = (0,62 K \times N^{-0,48}) \times 100.$$

Comme nous avons montré précédemment qu'en cas de déficience les valeurs des indices P et K peuvent dépendre légèrement du niveau de nutrition azotée (DURU, 1992b), nous présenterons seulement les  $I_P$  et  $I_K$  des traitements ayant reçu un apport d'azote. Les indices de nutrition présentés correspondent aux valeurs moyennes des 4 dates de prélèvement. Un indice de 100 ou plus indique un niveau de nutrition non limitant pour l'azote. Pour P et K, les indices non limitants sont inférieurs à 100 (DURU, 1992b).

Le calcul des exportations en éléments minéraux est effectué à partir des teneurs et des biomasses récoltées au premier cycle de croissance. Ce faisant, les valeurs sont estimées par défaut, surtout pour les parcelles fauchées 2 fois. L'estimation du bilan pluriannuel n'est possible que pour les traitements P1N1 et P0N0, pour lesquels il y a cumul des apports sur les mêmes placettes.

## **Résultats et discussion**

### **1. Nutrition azotée**

#### **• Evolution interannuelle**

Les valeurs des indices sont comprises entre les valeurs extrêmes de 55 et 110 (figure 1). Les valeurs les plus basses traduisent un important déficit de nutrition azotée (DURU, 1992b).

Les valeurs des indices d'azote des traitements POKON0 et POKON1 subissent des fluctuations interannuelles similaires, mises à part quelques exceptions comme PY.S et VA.S en 1991. Cette observation nous permet de formuler l'hypothèse que ces fluctuations proviennent le plus souvent de différences de fourniture d'azote par le sol.

Les valeurs les plus basses correspondent aux années où une sécheresse a été observée sans équivoque (PY en 1987, VA en 1989). Dans ce cas, les biomasses moindres récoltées proviendront des effets directs du manque d'eau mais aussi de la réduction du niveau de nutrition azotée résultant de la sécheresse (LEMAIRE et DENOIX, 1987). Le faible écart entre N1 et N0 pour PY.S en 1991 n'est cependant pas explicable par le climat.

Même avec des doses d'azote élevées (de 120 à 150 kg selon les sites), on remarque que l'indice des placettes témoins, sans apport de P, est inférieur à 95, 7 fois sur 12 pour les parcelles S et 10 fois sur 12 pour les parcelles D. A partir d'une deuxième année d'apport de P, seulement 3 cas sur 12 ont un indice inférieur à 95. Pour les placettes sans apport d'azote, les mêmes observations peuvent être faites. Cependant, pour les sites AU et VA les écarts avec le témoin N0 sont moins importants (de 5 à 20 points en 1990, et de 0 à 15 points en 1991).

Ces résultats confirment l'effet d'une limitation de la nutrition phosphatée sur le niveau de nutrition azotée, que nous avons observé précédemment pour un nombre plus limité de situations (DURU, 1992b). Comme les observations ont été faites avec et sans apport d'azote, on peut penser que c'est l'offre du sol en azote qui est plus ou moins bien valorisée selon le niveau de nutrition P, sans doute en relation avec son effet sur le système racinaire (CALLOT et al., 1982).

En conditions de nutrition phosphatée non limitantes, les indices azotés sont peu différents entre sites et parcelles. Ainsi, en 1991, toutes les valeurs sont comprises entre 100 et 107 pour les placettes avec apport d'azote, entre 75 et 95 pour celles sans apport.

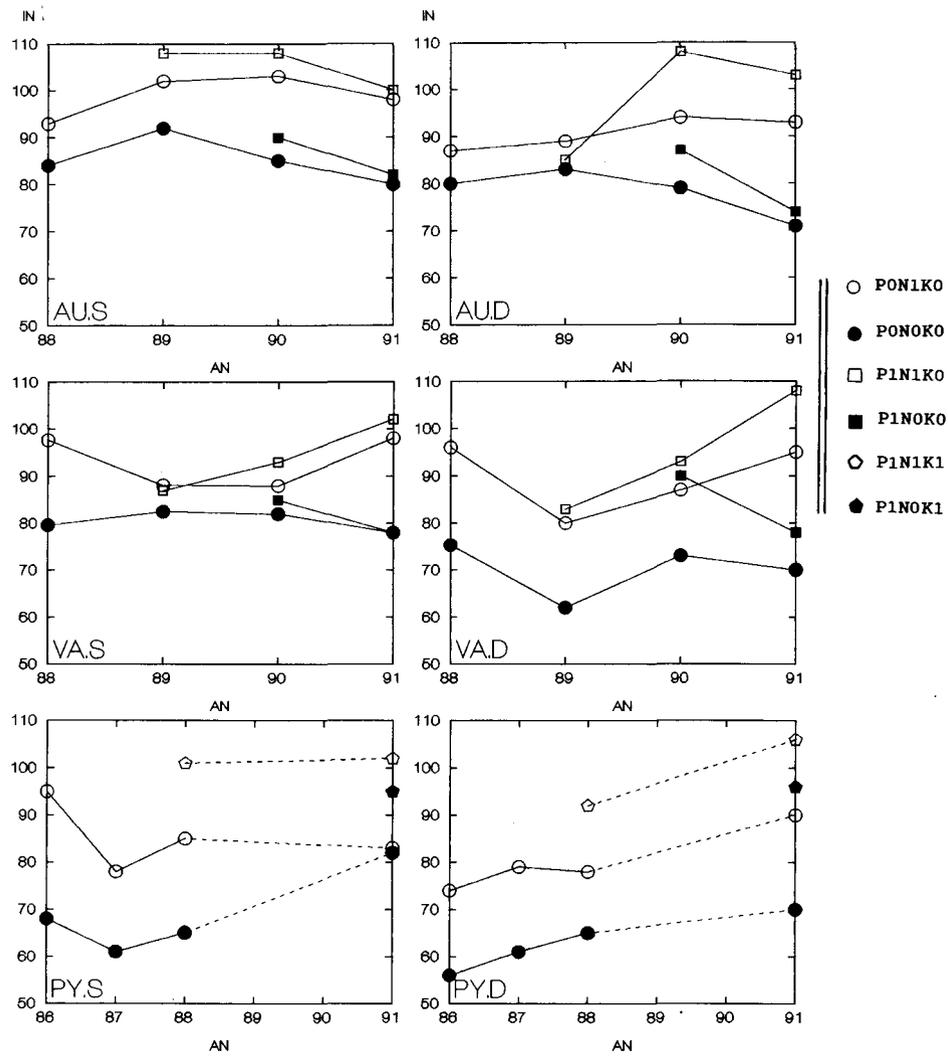


FIGURE 1 : Evolution pluriannuelle des indices azote pour les différents sites et parcelles.

FIGURE 1 : Variation over several years of N indices of the various sites and plots.

• **Estimation des fournitures d'azote par le sol**

Pour les témoins N0, les moyennes entre années des quantités maximales prélevées lors de la première pousse varient de 63 à 116 kg/ha (tableau 4). La contribution potentielle de la fixation symbiotique à la nutrition azotée ne doit pas être très importante puisque la part des légumineuses estimée par la méthode des points quadrats est inférieure à 12 %, excepté en VA.D. Sur un site donné, les quantités prélevées sont toujours plus élevées pour la parcelle de type S qui présente les moindres déficiences en P, même si l'histoire culturale du point de vue des apports de N n'est pas favorable (AU.S). On note aussi que les indices les plus faibles sont observés pour les parcelles de type D des sites AU et PY où les teneurs du sol en matière organique sont très élevées. LOISEAU (1989) a fait le même constat à partir d'une comparaison de différents types de couverts (pelouse, pelouse intensifiée, prairie riche). Les fournitures d'azote par le sol sont d'autant plus élevées que les C/N sont faibles. Le pouvoir de minéralisation plus élevé se traduit par des teneurs en matière organique plus faibles.

	AU		VA		PY	
	S	D	S	D	S	D
1986					62	30
1987					54	56
1988	104	59	90	87	85	85
1989	126	76	66	75		
1990	131	84	90	80	71	69
1991	103	65	99	74	89	75
m	116	71	86	79	72	63

**TABLEAU 4 : Quantités d'azote maximales prélevées lors du premier cycle pour les traitements POKON0 (kg N/ha).**

*TABLE 4 : Maximum amounts of N taken up during first cycle in POKON0 treatments (kg N/ha).*

Les indices de nutrition azotée des témoins N0 des sites AU et VA tendent à diminuer en 1990 et 1991 (sauf en VA.D à cause de la sécheresse en 1989), alors qu'ils augmentent pour le site PY. Etant donné que des comportements similaires sont observés entre parcelles d'un même site, on peut penser que l'effet année est important. De ce fait, il n'est pas intéressant de relier l'évolution des indices de nutrition à des bilans culturaux. Les durées des essais n'ont pas été suffisamment

longues pour que les effets des traitements sur les disponibilités en azote du sol soient discernables des effets années.

## **2. Nutrition P**

### **• Evolution interannuelle**

En vallée de l'Aveyron, on note (figure 2) une légère diminution au cours des années des indices des traitements témoins P0 (de 95 à 78 pour la parcelle S et de 45 à 38 pour la parcelle D). L'apport de superphosphate se traduit par un accroissement faible de l'indice pour la parcelle S (10 points en deuxième et troisième années d'apport), mais plus élevé pour la parcelle D (20 et 30 points respectivement en 1990 et 1991). L'effet de la même dose de P sous forme de scories conduit à des résultats similaires. Par contre, l'apport de K (60 kg en 1990, 150 en 1991) conduit à une baisse importante du niveau de nutrition P pour les deux parcelles en 1991.

En Aubrac, les valeurs du traitement témoin ont tendance à baisser pour la parcelle S (de 92 en 1988 à 65 en 1991), alors qu'elles sont assez stables pour la parcelle D (de 48 à 55 points). C'est une évolution attendue compte tenu du pouvoir fixateur des andosols vis à vis du phosphore (GACHON, 1969 ; ROCHE, 1983). Avec apport de superphosphate, les accroissements en deuxième et troisième année d'apport sont de 5 à 20 points (parcelle S) et d'environ 15 points (parcelle D). La même dose de P apportée sous forme de scories conduit à des valeurs similaires ou légèrement inférieures. L'apport de K se traduit par un effet dépressif très important en 1991, comme dans la vallée de l'Aveyron, fait qui à notre connaissance n'est pas rapporté dans la bibliographie.

Dans les Pyrénées, les valeurs des indices des traitements témoins (P0) tendent à baisser légèrement au cours des années. L'apport de superphosphate se traduit par un accroissement important des indices, dès la deuxième année d'apport.

De manière générale, dans le cas où l'indice P des traitements témoins est faible ( $I_p$  de 45 à 60), l'apport de 26 kg de P se traduit par une augmentation rapide de la nutrition phosphatée. Après deux années d'apport cumulé, l'accroissement est de 40 points d'indice pour les deux parcelles des Pyrénées, de 25 points pour la parcelle VA.D et de 15 points pour la parcelle AU.D. Sur les sites AU et VA, l'apport d'une dose double se traduit par une augmentation supplémentaire d'indice de 5 points environ.

### **• Fertilisation, caractéristiques des sols et évolution de la nutrition P**

La relation entre les  $I_p$  des traitements témoins (l'année où les analyses de sols ont été effectuées) et la concentration en P dans la solution du sol est croissante

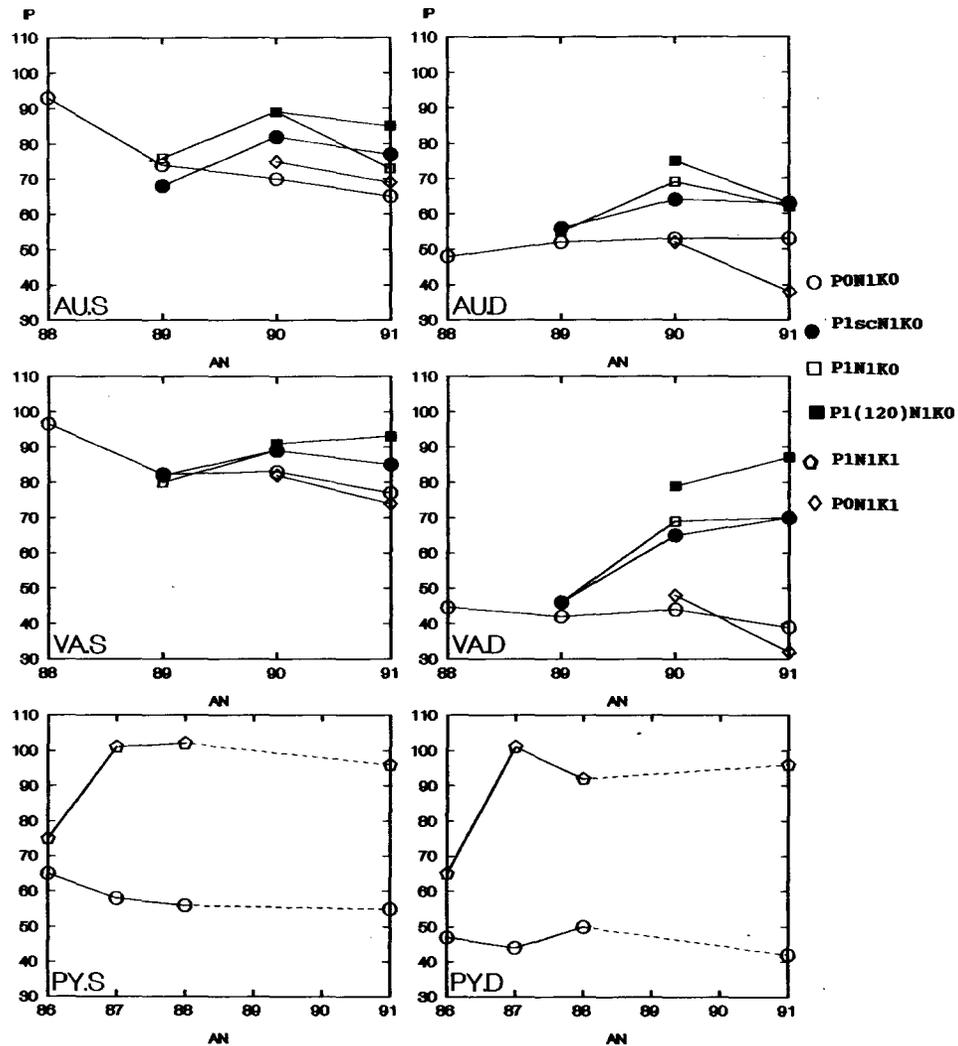


FIGURE 2 : Evolution pluriannuelle des indices P pour les différents sites et parcelles.

FIGURE 2 : Variation over several years of P indices of the various sites and plots.

( $r^2 = 0,62$  ;  $p < 0,1$ ). La prise en compte du pouvoir fixateur permet d'expliquer 93% de la variance. Pour les 3 parcelles de type D où les  $I_p$  initiaux sont les plus bas, les accroissements en deuxième année d'apport sont d'autant plus impor-

tants que le pouvoir fixateur est faible. Ces résultats confirment l'intérêt de la double caractérisation du phosphore dans le sol afin de classer et prédire l'effet d'une fumure.

La relation entre les  $I_p$  et les valeurs mesurées de phosphore assimilable du sol est non significative par la méthode Dyer mais significative au seuil 1% par la méthode Olsen. Ces résultats sont cohérents avec les études de FARDEAU et al., (1988). La comparaison de différents extractifs montre que c'est avec les résultats fournis par la méthode Olsen qu'on obtient la meilleure adéquation avec la caractérisation du phosphore par une méthode isotopique.

L'estimation des bilans culturaux nous permet de préciser le diagnostic :

— En PY, les exportations de P, estimées par défaut dans les traitements témoins, varient de 6,5 à 10 kg de P par an (tableau 5). Au bout de 6 années, les bilans sont déficitaires de 30 à 40 kg de P, alors que les indices de nutrition P ne sont que légèrement décroissants (figure 2). Pour les placettes fertilisées en P, les exportations sont inférieures aux apports durant les trois premières années, puis l'inverse est observé les années suivantes (tableau 5). Les indices de nutrition sont stables et le bilan durant la période d'étude évolue peu. Ces observations sont cohérentes avec les faibles pouvoirs fixateurs observés sur ces sols (tableau 1).

— Pour les traitements témoins des parcelles de type S des sites AU et VA, l'indice P baisse en relation avec un accroissement du déficit du bilan cultural. On peut penser que le pouvoir fixateur de ces sols est trop élevé pour maintenir une offre suffisante pouvant satisfaire aux besoins. Avec apport de P, les bilans culturaux apparaissent équilibrés, mais on observe une augmentation des indices lorsque la dose est double. Pour ces situations, nous ne sommes pas en mesure de savoir si un apport de 26 kg de P est insuffisant compte tenu des pouvoirs fixateurs, ou bien s'il s'agit d'une consommation de luxe dans la mesure où la valeur non limitante est établie par excès (DURU, 1992b). Pour les témoins des parcelles de type D, l'indice P est stable, mais les exportations sont faibles (moins de 10 kg/an). Les apports de P se traduisent par une augmentation des indices P, qui se maintiennent à des niveaux inférieurs à ceux des parcelles de type S bien que les bilans culturaux soient plus favorables. On peut l'interpréter par un pouvoir fixateur plus fort que celui mesuré pour les parcelles de type S.

Les baisses d'indice P, suite à un apport de potassium, ne sont observées que pour les deux parcelles déficitaires en P. Pour interpréter rigoureusement l'effet du potassium, il faudrait disposer de traitements non limitants en P.

*Diagnostic et évolution pluriannuelle de la nutrition minérale des prairies*

		Phosphore				Potassium							
		PO	KO	N1	P1	K(0)	N(1)	PO	KO	N1	P(0)	K1	N(1)
		E			E	A-E		E	E		E	A - E	
AUS	89		23		24	0		158		119		-	69
	90		46		55	-7		319		323		-	223
	91		61		69	+3		426		438		-	213
AUD	89		9		11	+13		89		158		-	43
	90		18		31	+17		136		239		-	139
	91		30		50	+22		217		340		-	115
VAS	89		15		21	+3		100		91		-	41
	90		36		49	-1		240		230		-	130
	91		59		73	-1		404		388		-	163
VAD	89		7		13	+11		106		103		-	53
	90		17		29	+19		219		231		-	131
	91		28		53	+19		355		350		-	125
PYS	86		11		11	+13		103		109		+	16
	87		20		25	+13		214		230		+	20
	88		31		56	+16		382		532		-	157
	89		42		87	+9		550		814		-	314
	90		50		106	+14		649		993		-	368
	91		60		139	+7		806		1340		-	590
PYD	86		5		6	+18		63		79		+	58
	87		11		23	+25		146		213		+	37
	88		18		47	+25		272		439		-	64
	89		25		71	+25		398		665		-	165
	90		31		89	+31		459		806		-	181
	91		39		123	+25		582		1114		-	364

**TABLEAU 5 : Cumuls des bilans annuels du phosphore et du potassium pour les traitements POK0N1 et P1K0N1 (P1K1N1 pour le site PY) ; A : apports sous forme d'engrais, E : quantités contenues dans la biomasse aérienne, A-E : différence entre les deux termes du bilan.**

*TABLE 5 : Cumulated balances of P and K in treatments POK0N1 and P1K0N1 (P1K1N1 on site PY) ; A : amounts supplied by fertilizers, E : amounts in aerial biomass, A-E : difference between the two.*

### 3. Nutrition K

#### • Evolution pluriannuelle

En vallée de l'Aveyron, les indices K des traitements témoins évoluent peu (figure 3). L'apport de 60 kg de K se traduit par un accroissement de l'indice. Il est à noter que parfois l'apport de phosphore conduit à un accroissement similaire (VA.D en 1991).

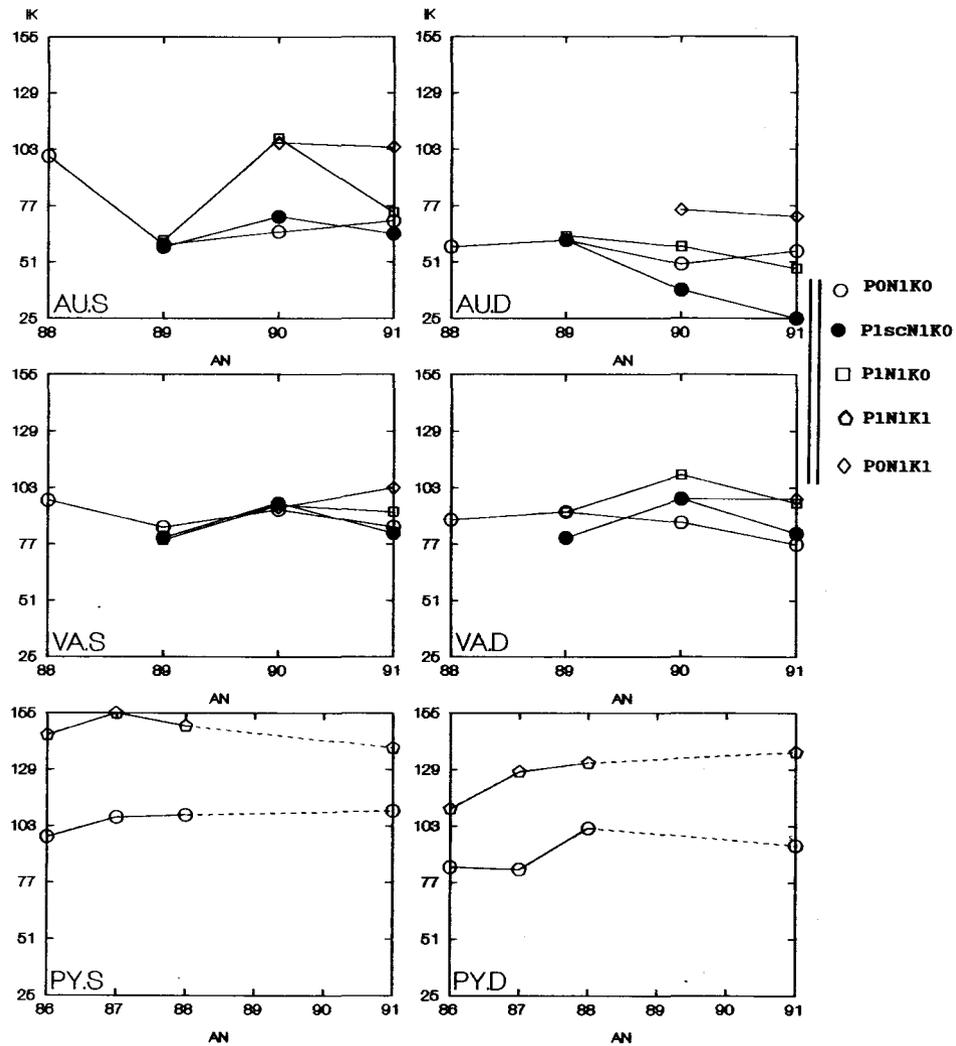


FIGURE 3 : Evolution pluriannuelle des indices K pour les différents sites et parcelles.

FIGURE 3 : Variation over several years of K indices of the various sites and plots.

En Aubrac, la chute de l'indice du traitement témoin est importante la première année pour la parcelle. L'effet de l'apport de K est très important pour cette parcelle S (+ 30-40 points), mais moins élevé en D (+ 15-20 points). Avec apport de phosphore sous forme de superphosphate, les valeurs ne sont pas très différentes de celles observées sur les témoins (sauf en 1990, pour la parcelle S). Par contre, l'apport de scories se traduit par un effet négatif durant deux années consécutives sur la parcelle D, sans doute en relation avec l'antagonisme Ca/K.

En Pyrénées, les valeurs des indices K des traitements témoins laissent à penser que cet élément est non limitant bien que les parcelles n'aient jamais reçu d'engrais. Elles ne baissent pas au cours de la période d'étude. L'apport de K se traduit par des valeurs d'indices supérieures ou égales à 130, dès la deuxième année d'apport. On peut considérer qu'il s'agit d'une consommation de luxe.

#### • **Fertilisation, caractéristiques du sol et évolution de la nutrition K**

La mise en relation des valeurs du potassium échangeable, ainsi que du potassium dans la solution du sol, avec les indices K ne montre aucune relation satisfaisante. Ceci confirme que ces tests, considérés seuls, sont insuffisants pour estimer l'offre du sol et le niveau de nutrition potassique des peuplements (Bosc, 1988). La prise en compte de la teneur en argile et du taux de saturation de la CEC (Capacité d'Echange Cationique ; JULIEN, 1989), ne conduit pas non plus à une relation significative.

Les situations étudiées nous permettent de distinguer plusieurs types de comportement de sols par rapport à la nutrition potassique :

— Dans les Pyrénées et dans la vallée de l'Aveyron, les sols libèrent des quantités annuelles de potassium suffisantes pour que le niveau de nutrition des traitements sans apport soit peu ou non limitant, les exportations annuelles étant supérieures à 100 kg/an (tableau 5). On remarque toutefois que c'est dans les Pyrénées que l'indice  $I_K$  augmente le plus, suite à une fertilisation potassique.

— Pour la parcelle S de l'Aubrac, régulièrement fertilisée, la baisse de l'indice K du traitement témoin est nette dès la première année. On peut penser que ce type de sol ne libère pas suffisamment de potassium pour compenser des exportations élevées (> 150 kg/an). Pour la parcelle D de l'Aubrac située sur andosols, le niveau de nutrition reste stable mais son niveau de départ est limitant et les exportations moyennes annuelles au premier cycle sont de 70 kg.

#### **4. Application pour la conduite de la fertilisation**

Ces résultats nous permettent de discuter de l'intérêt et des limites de la méthode de diagnostic présentée. Dans de nombreuses situations elle peut être utilisée à pos-

teriori pour interpréter une situation culturale afin de confirmer ou non une hypothèse de facteur limitant, de repérer un dysfonctionnement (comme nous l'avons observé avec l'apport de scories sur certains sols), et plus généralement de dissocier les effets du milieu de ceux des pratiques (PONS et al., 1990).

Quant à l'aide à la conduite de la fertilisation, cette approche présente un intérêt certain qui dépend de l'élément considéré :

— Le raisonnement de la fertilisation azotée doit être effectué en fonction des objectifs de production, ce qui suppose de connaître la participation potentielle de l'azote du sol, ainsi que la fixation symbiotique par les légumineuses. Compte tenu des effets du P sur la nutrition azotée, il nous semble recommandable de piloter la fertilisation P de façon à ce que cet élément ne soit pas limitant pour le niveau de production permis par la nutrition azotée. La même stratégie peut être envisagée pour le potassium.

La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la fertilisation azotée repose sur la comparaison des exportations escomptées et l'estimation des fournitures. Les exportations estimées pour un objectif de niveau de nutrition peuvent être établies compte tenu des références disponibles et du potentiel climatique. LOISEAU (1989) a proposé une méthodologie pour prévoir les coefficients apparents de l'utilisation de l'azote des engrais selon les situations culturales. Les fournitures par les restitutions, la fumure organique et la minéralisation du sol sont par contre beaucoup plus difficiles à estimer. Concernant ce dernier terme du bilan, DE MONTARD et al. (1986) ont proposé une grille pour des prairies permanentes en Auvergne. Elle est basée sur un ensemble de critères tels la profondeur de sol exploitée par les racines, l'histoire culturale et le climat. En l'état actuel des connaissances, le diagnostic basé sur l'analyse des teneurs des plantes pourrait alors être un moyen de validation du bien fondé des références retenues et constituer ainsi une aide pour les ajuster.

— Pour le potassium, à défaut de disposer de tests performants, l'analyse de la teneur en minéraux dans l'herbe permettrait de classer les situations pédoclimatiques. Des tests sur des parcelles témoins, fertilisées ou non et dont on connaît l'histoire culturale, seraient un moyen indirect d'estimer les capacités de fixation ou de libération des sols. A cet effet, des analyses effectuées sur environ 140 parcelles pour lesquelles étaient connues les pratiques de fertilisation ont mis en évidence des différences de nutrition très marquées selon la nature des sols de la petite région concernée (CRANSAC et al., 1989, non publié).

— Pour le phosphore, la cohérence de ces premiers résultats avec les tests analytiques du sol précités nous conduit à envisager un usage complémentaire du diagnostic par analyse des plantes prairiales et des résultats d'analyse de terre.

## **Conclusion**

Ces premiers résultats de suivi de l'évolution pluriannuelle des niveaux de nutrition en fonction de la fertilisation et de quelques types de situations pédoclimatiques ont permis de dégager des régularités qui peuvent servir de guide pour le pilotage de la fertilisation.

Pour la nutrition azotée, il apparaît un effet positif quasi systématique des apports de P, même dans les situations culturales où un apport d'azote est effectué. Ces résultats confirment ceux observés précédemment pour d'autres parcelles que celles étudiées ou pour les mêmes parcelles lors d'années différentes (DURU, 1992b). Il n'a pas été possible de mettre en relation les indices d'azote avec les caractéristiques des sols mesurées couramment (teneur en matière organique...). Pour l'ensemble des situations étudiées où la nutrition P n'est pas limitante, les fournitures par le sol permettent d'atteindre des indices d'azote au moins égaux à 80. Ceci témoigne d'un important potentiel de minéralisation de ces sols.

Les niveaux de nutrition P sont cohérents avec les tests analytiques réalisés sur le sol, du moins en absence de déficit hydrique : P mesuré avec la méthode Olsen, concentration du phosphore dans la solution du sol et pouvoir fixateur. Cependant, lorsqu'il est établi par dilution isotopique, ce dernier critère n'est pas disponible en analyse de routine. D'autres méthodes, comme celle proposée par STUDER (1987), même si elle est moins précise pour discriminer les sols à fort pouvoir fixateur, gagneraient à être utilisées. La comparaison des traitements avec et sans apport de P montre la rapidité d'amélioration de la nutrition P, même sur des sols à pouvoir fixateur élevé. Dans ce cas, l'absorption se fait par contact de l'engrais avec les racines (FARDEAU, 1988, et MOREL, 1988). Il est alors important que l'apport ait lieu au moment où les possibilités d'absorption sont importantes. C'est la raison pour laquelle il convient de raisonner les apports de P, notamment au printemps, comme pour l'azote.

Pour le potassium, aucune relation nette n'a été mise en évidence avec les caractéristiques analytiques de routine.

Accepté pour publication, le 14 mars 1993.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BONIFACE R., TROCMÉ S. (1988) : "Enseignements fournis par divers essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 2-Essais sur la fumure phosphatée", *Phosphore et potassium dans les relations sol-plante*, INRA Ed., 279-402.

- BOSC M. (1988) : "Enseignements fournis par divers essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 3-Essais sur la fumure potassique", *Phosphore et potassium dans les relations sol-plante*, INRA Ed., 403-466.
- BROCKMAN J.S. (1991) : "Grassland farming in the 1990's", *Management issues for the grassland farmer in the 1990's*, Ed. C.S. Mayne ; BGS Occ. Symp., N°25, 3-15.
- CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L. (1982) : "Incidences sur la nutrition minérale", *Les interactions sol-racine*, INRA Ed., 325p.
- DURU M. (1992a) : "Diagnostic de la nutrition minérale de prairies permanentes au printemps. I-Etablissement de références", *Agronomie*, (12), 219-233.
- DURU M. (1992b) : "Diagnostic de la nutrition minérale de prairies permanentes au printemps. II-Validation de références", *Agronomie*, (12), 345-357.
- FARDEAU J.C., MOREL C. (1988) : "L'offre alimentaire du sol en phosphore", *Perspectives agricoles*, 127, 20-27.
- FARDEAU J.C., MOREL C., BONIFACE R. (1988) : "Pourquoi choisir la méthode Olsen pour estimer le phosphore "assimilable" des sols ?", *Agronomie*, 8 (7), 577-584.
- FARDEAU J.C., JAPPE J. (1988) : "Valeurs caractéristiques des cinétiques de dilution isotopique des ions phosphate dans les systèmes sol-solution", *Phosphore et potassium dans les relations sol-plante*, INRA Ed., 79-100.
- GACHON L. (1969) : "Les méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols", *Bull. Ass. Française pour l'étude du sol*, 4, 17-31.
- JULIEN J. L. (1989) : "Détermination de normes d'interprétation d'analyse de terre en vue de la fertilisation potassique", *Sciences du sol*, 27, 2, 131-144.
- 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*, 7, (6), 381-389.
- LEMAIRE G., GASTAL F., SALETTE J. (1989) : "Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content", *XVIIth Int. Grassland Cong.*, Nice, France, 179-180.
- LOISEAU P. (1989) : "Fourniture par le sol et utilisation de l'azote minéral dans les prairies de montagnes volcaniques", *Agronomie*, 9, 965-972.
- DE MONTARD F.X., ANGLADE F., MONTEILHET P., THOULY J.C. (1986) : "Mise au point d'une méthode pratique pour le calcul de la fertilisation des prairies dans le Massif Central humide. I- La fertilisation azotée", *Fourrages*, 108, 39-78.
- PONS Y., LEMAIRES G., LAFON E., SALETTE J. (1989) : "Intensification des prairies des marais de l'Ouest. II - Fertilisation et méthodes de diagnostic de la nutrition minérale", *Fourrages*, 120, 367-382.
- ROCHE P. (1983) : "Les méthodes d'appréciation du statut phosphorique des sols. Leur application à l'estimation des besoins en engrais phosphatés", *3ème Cong. Int. sur les Composés Phosphorés*, Bruxelles, 165-194.
- SALETTE J., HUCHÉ L. (1991) : "Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal : principes, mise en œuvre, exemples", *Fourrages*, (125), 3-18.

- STUDER R. (1987) : "Le pouvoir fixateur des sols à l'égard du phosphore. Mesure et signification analytique", *Les premières journées de l'analyse de terre : l'analyse du phosphore*, GEMAS, 1-7.
- QUÉMÉNER J. (1976) : *Analyse du potassium des sols*, Dossier K 20, Au service de l'agriculture, SCPA, Centre de recherche d'Aspach-le-Bas, 68700 Cernay, 26 p.

### **RÉSUMÉ**

Dans trois situations pédoclimatiques (Pyrénées centrales, vallée de l'Aveyron et Aubrac), deux prairies permanentes de niveaux de fertilité P différents sont soumises à plusieurs traitements de fertilisation N, P et K durant 4 à 6 années. Le diagnostic de nutrition minérale est effectué par comparaison d'indices calculés à partir des teneurs en minéraux des parties aériennes. Les évolutions pluriannuelles des différents traitements et parcelles sont utilisées pour formuler des règles de conduite de la fertilisation.

Pour la nutrition azotée, il apparaît un effet positif quasi systématique des apports de P, même dans les situations culturales où un apport d'azote est effectué. Pour l'ensemble des situations étudiées où la nutrition P n'est pas limitante, les fournitures d'azote par le sol permettent d'atteindre des indices d'azote au moins égaux à 80, ce qui témoigne d'un important potentiel de minéralisation de ces sols. Les niveaux de nutrition en phosphore sont cohérents avec les concentrations de cet élément dans la solution du sol. La comparaison des traitements avec et sans apport de P montre la rapidité d'amélioration de la nutrition P, même sur des sols à pouvoir fixateur élevé pour lesquels il est important que l'apport ait lieu au moment où les possibilités d'absorption sont élevées. Pour le potassium, aucune relation nette n'a été mise en évidence avec les analyses de sols réalisées en routine.

### **SUMMARY**

#### ***Soil, climate, fertilization and growth of permanent pastures in Spring. I- Pattern of mineral nutrition***

In three locations differing with respect to soil and to climate (Central Pyrenees, Aveyron valley, and Aubrac), two permanent pastures, with low and with high P soil supply, were studied. Various amounts of N, P and K fertilizer dressings were applied for four to six years. The diagnosis of the nutrition level of the herbage was based on the mineral contents. Indices were calculated, making it possible to compare plots and years, in order to find decision rules applicable to a fertilization policy.

It was shown that the P supply improved the nitrogen nutrition level ( $I_N$ ) even on plots supplied with N. When the P nutrition level was not limiting, the nitrogen supplied by the soil was enough for high N levels ( $I_N > 80$ ) to be attained in the herbage. P index values were consistent with the P contents of the soil solution. P dressings improved quickly (in about 2 years) the P nutrition level in the herbage, even on plots with a high fixing capacity, where it is important that P should be applied at the moment when there is a great capacity for uptake. As regards potassium, no relationship was found between K indices and the results of routine soil analyses.