

INFLUENCE DE LA FERTILISATION SUR LA COMPOSITION MINERALE DES FOURRAGES, CONSEQUENCES ZOOTECHNIQUES

LA COMPOSITION MINERALE DES PLANTES EST VARIABLE SELON LES SOLS ; CERTAINES REGIONS ONT TOUJOURS DES FOURRAGES PLUS PAUVRES QUE D'AUTRES... MAIS LE végétal lui-même a son propre comportement : par exemple, les légumineuses sont beaucoup plus riches en calcium que les graminées, les fétuques sont beaucoup moins pourvues en sodium que les dactyles... En outre, les fourrages s'appauvrissent en phosphore, en cuivre... au cours de leur vieillissement. Leur composition dépend de la proportion feuilles/tiges et n'est pas la même d'un cycle à l'autre ; elle peut varier, aussi, selon les conditions climatiques de l'année (Gueguen, 1959 ; Gueguen, Fauconneau, 1960, 1961 ; Kerguelen, 1960, 1962 ; Coppenet, Calvez, 1962 ; Coppenet et al., 1972 ; Coppenet, More, 1973 ; Périgaud et al., 1972).

La fertilisation ne peut donc pas avoir *a priori* les mêmes conséquences partout en toutes conditions. C'est la raison pour laquelle les résultats d'expérimentations de fertilisation sont différents et souvent contradictoires d'un auteur à l'autre (Beeson, 1946 ; Fleming, 1973).

Nous essayons, dans les pages qui viennent, de préciser les limites de variation et d'en ébaucher une explication sommaire qui permette de prévoir, 107

dans une certaine mesure, les conséquences d'une intervention donnée sur la composition des fourrages d'un secteur défini.

Nous apprécierons ensuite les conséquences zootechniques de cette fertilisation.

Fertilisation et composition minérale des fourrages

1) Quelques exemples de résultats d'expérimentation.

Les exemples sont consignés dans les tableaux 1, 2, 3. Ils ont été choisis, parmi des expérimentations étrangères et surtout françaises, pour leur représentativité de différentes régions. A chaque élément fertilisant N, P, K, Cu (colonnes) correspond l'effet de ce fertilisant sur la composition en différents minéraux des fourrages indiqués (lignes). Une flèche met en comparaison les teneurs du fourrage témoin (à gauche) et du fourrage fertilisé (à droite).

Ces tableaux montrent qu'un apport de N, P, ou K, peut agir soit de façon bénéfique, soit de façon dépressive sur la composition en éléments majeurs ou mineurs du fourrage.

La figure 1 traduit l'amplitude des variations relevées, exprimées en indice I :

$$I = \frac{\text{teneur du fourrage fertilisé}}{\text{teneur du même fourrage témoin}} \times 100.$$

L'intervalle des teneurs obtenues par la fertilisation se situe de part et d'autre de l'indice 100, représentatif du témoin non fertilisé.

On peut constater que l'amplitude des variations possibles obtenues par la fertilisation azotée est relativement peu importante pour le phosphore, davantage pour le magnésium, nettement plus forte pour le potassium et le calcium, très importante pour les oligoéléments et extrêmement élevée pour le sodium.

Les engrais phosphatés ont relativement moins de conséquences, quoi-
108 qu'ils puissent doubler les taux de molybdène... ou au contraire les abaisser.

EFFET DE LA FERTILISATION SUR
LA COMPOSITION MINERALE DES FOURRAGES

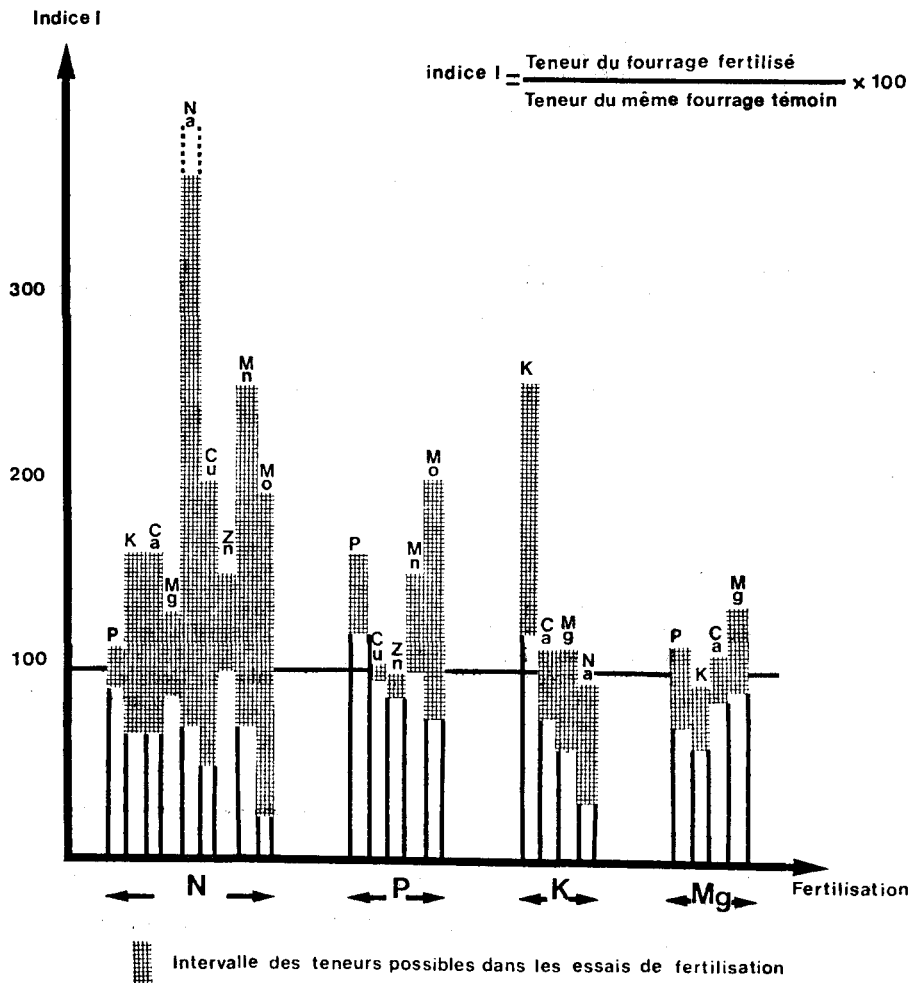


TABLEAU I
EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA COMPOSITION
EN ELEMENTS MAJEURS DU FOURRAGE
(en g/kg M.S.)

Elément du fourrage	Fertilisation	
	Avec PK = 0 ou K = 0 et P faible	Avec PK ≠ 0
P	Herbages : 3,7 → 3,4 (1) ou 5,7 → 5,1 (1) Herbages : 1 ^{re} coupe : 3 → 2,6 (2)	Ray-Grass d'Italie 3,6 à 4 : — 5 à 10 % sauf 1 ^{er} cycle (3) Herbages altitude : 1,8 → 1,8 (4) 3,6 → 3,6 (4) Cases lysimétriques : 3,8 → 3,5 (4)
	Herbages : 2 ^e coupe : 15 → 25 (2) 1 ^{re} coupe : 32,4 → 48,1 (1)	Herbages : 37 → 34 (5) 19,3 → 21,1 (6) Herbages altitude : 12,2 → 18,5 (4) 45 → 38,3 (4) Ray-Grass d'Italie (pâturage) : 39 → 36 (5) 31-32 + 10 à 30 % en automne (3) Graminées : Dactyle : 34,5 → 32 Ray-grass anglais : 30,5 → 36 (7) Herbages : 29 → 33 (8)
K	Graminées : Dactyle : 19 → 12,9 (7) Ray-grass anglais : 25,8 → 22,0 Herbages : 21,1 → 21,3 (8)	Herbages : 10,6 → 7,2 (5) 7 → 8,7 (9) Herbages altitude : 8,7 → 6,6 6,2 → 4,6 (4) 4,7 → 3,9 (malgré chaulage) Graminées : Dactyle : 5,6 → 8,4 Ray-grass anglais : 8,0 → 8,7 (7) Fétuque élevée : 7,5 → 6,8 Herbages : 4,9 → 5,1 (8)
	Herbages : 1 ^{re} coupe : 4,9 → 3,4 (2) 4 ^e coupe : 7,6 → 8,0 (2)	Herbages : 2,5 → 2,1 (5) 1,2 → 1,7 (6) Herbages altitude : 0,8 → 0,9 } 1,3 → 1,4 } (4) 2 → 2,7 } Ray-Grass d'Italie : 1,1 à 1,5 — 10 à 25 % sauf 1 ^{er} cycle (3)
Ca	Graminées : Dactyle : 8,2 → 14,7 Ray-grass anglais : 7,2 → 12,6 (7) Fétuque élevée : 9,8 → 8,6 Herbages : 5,5 → 6,1 (8)	Dactyle : 1,8 → 1,7 (7) Herbages : 1,4 → 1,6 (8)
	Herbages : 2 ^e coupe : 1,2 → 1,6 (2)	Herbages : 2,7 → 2,4 (5) Ray-Grass d'Italie : 2,4 → 1,9 (5) 1,8 à 2,4 + 80 à 100 % (3) Graminées : Dactyle 1 → 2,6 Ray-grass anglais : 0,6 → 1,7 (7) Fétuque élevée : 0,3 → 1,6 Herbages (selon année) : 1,8 → 1,3 (10) 1,8 → 2,5 (10) Herbages : 0,9 → 1,2 (8)
Mg	Dactyle : 1,8 → 1,9 (7) Herbages : 1,8 → 2,0 (8)	Herbages : 0,9 → 1,2 (8)
	Herbages : 0,5 → 1,6 (2) Graminées : Dactyle : 3,5 → 3,1 Ray-grass anglais : 0,9 → 3,2 (7) Fétuque élevée : 0,8 → 4,2	
Na	Herbages (selon année) : 2,5 → 1,9 (10) 2,5 → 2,7 (10) Herbages : 2,0 → 3,0 (8)	

Références :

(1) Reid et al., 1966 - (2) Mudd, 1970 - (3) Coppenet, 1973 - (4) Synthèse de Montard à publier (documents de Montard, Niqueux, ...) - (5) Beheage, 1973 - (6) Raymond, Spedding, 1965 - (7) Chevallier, document S.C.P.A., 1973 - (8) Kemp, 1960 - (9) Kreil et al., 1966 - (10) Henkens, 1965.

Flèches : voir texte.

TABLEAU II

EFFET DE LA FERTILISATION P ET K SUR LA COMPOSITION
EN ELEMENTS MAJEURS DES FOURRAGES
(en g/kg M.S.)

Elément du fourrage	P avec N ≠ 0	K		NPK
		avec N faible	avec N fort	
P	<i>Fumure fond</i> Herbages altitude : + 1 à 2 g (1) 0,8 → 1,3 (2) 1,7 → 2,0 (2) 2,0 → 2,9 (2) <i>P soluble couverture</i> Luzerne Dactyle : 2,5 → 3,9 (3) Prairies : 1,9 à 2,9 (3) → 2,4 à 3,9 (3) Ray-grass d'Italie pâturé 1,82 → 2,14 (4)	<i>Herbages (5)</i> 1 ^{re} coupe : 3,0 → 2,3 4 ^e coupe : 3,4 → 5,3	3,0 → 2,8 3,4 → 5,4	<i>Herbages :</i> 1,42 → 3,02 (6) 0,8 → 1,5 (2) 1,8 → 2,7 (2) 1,8 → 3,0 (2)
	K	<i>Herbages</i> 16,8 → 13,1 (2) 12,5 → 10,9 (2)	<i>Temporaire</i> 8 à 13 → 19 à 26 (7) 18,8 → 32,4 (1) <i>Graminées (9)</i> Dactyle : 19 → 34,5 Ray-grass anglais : 25,8 → 30,5 Féтуque : 23,7 → 32,5	<i>Dactyle :</i> 4 ^e coupe : 33 → 37 (8) 12,9 → 32 22,2 → 36 15,2 → 30,2
Ca		<i>Herbages :</i> + Scories : 4,7 → 7,5 (2)	<i>Herbages :</i> 7,5 → 5,5 (1) <i>Graminées (9)</i> Dactyle : 7,2 → 5,6 Ray-grass anglais : 7,3 → 8,0 Féтуque : 9,8 → 7,5	12,6 → 8,4 10,9 → 8,7 8,6 → 6,8
Mg		<i>Herbages (11)</i> 1 ^{re} coupe : 2,5 → 1,8 3 ^e coupe : 3,8 → 2,8 <i>Graminées (9)</i> Dactyle : 1,8 → 1,4 Féтуque : 3,1 → 2,6	3,8 → 2,5 5,3 → 2,0 1,9 → 1,7 3,3 → 2,7	<i>Herbages :</i> 0,5 → 2,4 (5) 2,29 → 1,87 (6) 1,5 → 2,5 (2) 0,7 → 0,9 (2) 2,5 → 2,5 (2)
Na		<i>Herbages (12)</i> 1 ^{re} coupe : 1,87 → 1,74 2 ^e coupe : 2,60 → 1,37 <i>Graminées (9)</i> Dactyle : 3,5 → 1,0 Ray-grass anglais : 0,9 → 0,6 Féтуque : 0,8 → 0,3 <i>Herbages (10)</i> 2 → 0,9	1,85 → 1,37 2,20 → 0,70 3,1 → 2,6 2,0 → 1,1 4,2 → 1,6 3,0 → 1,2	

Références :

(1) Rapport Comité Fertilisation Auvergne-Limousin, 1969 - (2) Synthèse de Montard, à publier (documents de Montard, Niqueux, ...) - (3) Ferrando et al., 1959 - (4) Coppenet, More, 1973 - (5) Mudd, 1970 - (6) Trait d'Union agricole, 1974, n° 52 - (7) Meriaux et al., 1968 - (8) Lefebvre Drouet, 1970 - (9) Chevallier, Document S.C.P.A., 1973 - (10) Kemp, 1960 - (11) Mc Intosh et al., 1973 - (12) Henkens, 1965.

TABLEAU III

EFFET DE LA FERTILISATION EN AZOTE ET EN CUIVRE
SUR LA COMPOSITION EN OLIGO-ELEMENTS DES FOURRAGES
(en mg/kg M.S.)

Elément du fourrage	<i>Avec azote</i>	<i>Avec cuivre</i>
Cu	<p><i>Herbages (graminées)</i> 1^{re} coupe : 4,4 → 9,3 (1) 4^e coupe : 6,8 → 11,9 (1) 4,9 → 9,2 (2) 7,0 → 4,7 (3) 4,4 → 3,7 (4)</p> <p><i>Graminées</i></p> <p>Ray-grass anglais : 1^{re} coupe : 2,7 → 4,0 } (5)</p> <p>Dactyle : 1^{re} coupe : 5,7 → 4,7 }</p> <p>Fétuque : 1^{re} coupe : 5,8 → 3,4 } (6) 3^e coupe : 7,0 → 3,4 }</p>	<p><i>Herbages</i> 1^{re} année : 8 à 12 → 27 } 2^e année : 7,5 → 16 } (4) Graminées : 5,3 → 6,7 } Trèfle : 1,4 → 5,7 }</p> <p><i>Prairie mixte (épiaison)</i> Graminées : 4,8 → 6,5 → 9,9 * Légumineuses : 6,7 → 10,1 → 21,7 * (5)</p> <p><i>Graminées (épiaison)</i> Dactyle : 4,7 → 7,1 (9) Fétuque élevée : 5,7 → 8,0 (9)</p> <p><i>Ray-Grass d'Italie</i> 1^{re} coupe : 6,4 → 8,1 (10) 2^e coupe : 7,8 → 10,7</p>
Zn	<p><i>Herbages :</i> 33,9 → 50,2 (2)</p> <p><i>Ray-Grass d'Italie (pâturage) :</i> augmenté de 10-20 % (7)</p> <p><i>Graminées 1^{re} coupe :</i> Ray-Grass anglais : 15 → 25 (8) Fétuque des prés : 16 → 17</p>	
Mo	<p><i>Herbages (graminées)</i> 1^{re} coupe : 1,5 → 0,5 (1) 4^e coupe : 2,1 → 0,5 (1) 1^{re} coupe : 1,3 → 0,8 (4)</p> <p><i>Graminées (4^e coupe)</i> Ray-grass anglais : 1,45 → 0,89 (8) Dactyle : 5,00 → 1,41</p>	<p><i>Herbages</i> 1^{re} coupe : 4,7 → 3,5 (11) 4^e coupe : 3,9 → 4,3</p> <p><i>Graminées</i> 1^{re} coupe : Dactyle 3,56 → 1,85 } Fétuque 1,53 → 1,26 } (9) 3^e coupe : Dactyle 6,13 → 2,84 }</p>

Références :

- (1) Hemingway, 1962 - (2) Raymond, Spedding, 1966 - (3) Kreil et al., 1966 - (4) Reith, Mitchell, 1964 -
(5) Périgaud, Bellanger, 1972 - (6) Périgaud, 1972 - (7) Coppenet, More, 1973 - (8) Périgaud, 1974 -
(9) Périgaud, 1974 - (10) Coppenet, 1970 - (11) Morgan, Clegg, 1961.

* 1^{er} chiffre : témoin ; 2^e chiffre : Cu apporté au sol, en couverture ; 3^e chiffre : cuivre en pulvérisation foliaire.

Les engrais potassiques peuvent améliorer ou abaisser les taux de calcium et de magnésium, ils peuvent diviser par 3 ou 4 ceux de sodium.

Ainsi la fertilisation peut avoir des effets opposés et d'importance variable selon les lieux et les cultures.

2) *Origine des variations observées.*

La fertilisation intervient sur la composition de la plante par le biais de nombreux facteurs tant au niveau du sol que de la plante.

Au niveau du sol, il faut retenir surtout l'importance des phénomènes d'échanges d'ions : ils expliquent les antagonismes entre cations K-Ca, K-Na, K-Mo ou entre anions PO_4 - Mo, NO_3 - Mo... Par ailleurs, certains constituants du sol, les hydroxydes, bloquent énergiquement les éléments tels que phosphore, cuivre, molybdène. Les matières organiques brutes, difficilement minéralisables, immobilisent sévèrement phosphore et cuivre (Duchaufour, 1965 ; Mitchell, 1965). Or, l'importance de tous ces constituants varie beaucoup d'un sol à l'autre et l'effet d'un nutriment donné enrichit plus ou moins la plante en cet élément selon qu'il est très ou peu retenu par le sol.

Par ailleurs, certains engrais modifient le pH du sol et, par conséquent, l'état, dans le sol, des éléments sensibles au pH : ainsi manganèse et molybdène réagissent, en sens inverse, non seulement aux amendements calcaires mais, à dose égale, à la forme acidifiante ou alcalinisante de l'engrais azoté (Coppenet, 1973 ; Périgaud, 1974).

Au niveau de la plante, on retrouve des phénomènes de compétition et de sélectivité des ions dans les mécanismes d'absorption, de transferts et d'accumulation vers les parties aériennes. La spécificité génétique est importante pour certains ions (différence entre graminées vis-à-vis du sodium, entre graminées et légumineuses vis-à-vis du calcium, du magnésium, du manganèse...). La fumure azotée, par son action défavorable sur le rhizobium, arrive à faire disparaître les légumineuses et modifier, par ce biais, la composition minérale d'une prairie complexe.

Par ailleurs, l'azote, en augmentant la capacité d'échanges de cations des racines (Smith, 1962) et en agissant sur les transferts, peut permettre à la plante de s'enrichir en minéraux jusqu'à un certain optimum variable avec l'élément.

Mais si la disponibilité de l'élément dans le sol est insuffisante, l'azote peut, en augmentant le rendement, provoquer une *dilution* de cet élément dans une masse de matière organique formée plus importante et la plante se trouver ainsi appauvrie (Smith, 1962 ; Fleming, 1973). Les exemples des tableaux 1 et 2 montrent bien que l'antagonisme K-Na joue surtout en présence d'une forte fumure azotée.

L'effet de la fertilisation sur la composition minérale du fourrage est donc très complexe : il dépend du type de fourrage, de la précocité de son exploitation, de son cycle, des conditions climatiques et du niveau des réserves disponibles en tous nutriments dans le sol au moment où la plante en a le plus besoin (Kerguelen, 1960, 1962 ; Whitehead, 1970 ; Fleming, 1973).

3) *Possibilités de prévision du comportement des sols.*

La détermination du niveau des réserves disponibles dans le sol pose des problèmes : il existe, en effet, des méthodes d'extraction des éléments du sol qui, par référence à des résultats d'expérimentations culturales, indiquent des teneurs seuils dans le sol en dessous desquelles il y a déficit de rendement en l'absence d'apport de l'élément fertilisant concerné. Mais il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de préciser l'effet de la fertilisation sur la *composition* du fourrage. Les corrélations décelées, en Bretagne, entre les taux de cuivre ou cobalt dans le sol et dans le Ray-Grass d'Italie (Coppenet, 1970 ; Coppenet-Calvez, 1967) ne traduisent pas des différences notables de composition et n'existent d'ailleurs pas pour tous les sols. De même, la teneur en phosphore dans la plante dépend plus de la plante elle-même, de son stade d'exploitation et de son cycle que du taux de phosphore dans le sol et de la fumure phosphatée (Coppenet, 1973). L'analyse du sol n'est donc, en général, pas utile pour apprécier des compositions de fourrage.

Par contre, la connaissance de la pédogenèse locale et du comportement géochimique global des différents éléments peuvent laisser soupçonner leur faible disponibilité dans le sol pour la végétation et, par conséquent, des fourrages relativement pauvres, surtout en cas d'intensification culturale.

Il a été possible, par exemple, de prévoir par cette méthode les régions de France où les fourrages seraient pauvres en cuivre et en cobalt (Périgaud, 1972) : c'est bien sur ces sols que la fertilisation azotée diminue les taux de cuivre dans les fourrages alors qu'elle l'augmente ailleurs (Périgaud, 1974).

De même, certaines contradictions dans les résultats des tableaux 1 et 2 s'expliquent par la connaissance des sols : l'antagonisme K-Ca joue moins, vis-à-vis de la plante, en sol calcaire qu'en sol acide et l'appauvrissement en calcium provoqué par la fumure azotée n'est observé que dans les sols à faible réserve calcique.

En résumé, bien qu'il ne soit pas possible de prévoir les conséquences précises de la fertilisation en n'importe quelle condition, une bonne connaissance des sols, de leur passé cultural, et des fourrages eux-mêmes, permet, au niveau régional, d'apprécier le sens et l'importance probable des variations de composition induites sur les différents fourrages par la fertilisation.

Conséquences zootechniques de la fertilisation

Les conséquences de la fertilisation sur la productivité animale et sur l'état de santé des animaux traduisent un effet global qui intègre les modifications de valeur nutritionnelle de l'herbe (Demarquilly, 1974) et les changements de composition minérale : les deux aspects sont difficiles à dissocier. Les conséquences zootechniques de la fertilisation sur la seule composition minérale de l'herbe ne peuvent qu'être raisonnées par comparaison avec les besoins en minéraux des animaux.

1) Effet global de la fertilisation.

Si l'augmentation de la productivité en lait ou viande peut être appréciée dans le cadre d'expérimentations certes difficiles mais possibles, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de définir l'état de santé des animaux : la variabilité des réactions individuelles est telle que l'importance des lots à mettre en comparaison pendant de très longues durées rend l'expérimentation rigoureuse pratiquement impossible. Des dispositifs simplifiés ou des enquêtes permettent simplement de déceler des tendances.

Ainsi certains engrais montrent des effets spécifiques sur la santé des animaux.

Les engrais phosphatés améliorent la fécondité (Ferrando et al., 1964 ; Brochart, 1972) et permettent une meilleure résistance à l'entérite paratuber-

culeuse (Delanne et al., 1963, 1966). Ils sont, par contre, sans effet sur la fièvre vitulaire des vaches laitières (Barlet, comm. personnelle).

Les engrais azotés, employés à forte dose, semblent à l'origine d'ennuis divers : des enquêtes en France ont montré que les taux de fécondité des troupeaux laitiers sont meilleurs là où les exploitants n'utilisent pas d'azote (Brochart, 1972). Dans le Massif Armoricaïn, les cas de mauvaise fertilité sur les vaches apparaissent sur les sols pauvres en cuivre dans les exploitations où les doses d'azote employées dépassent 100 kg/ha/an (Coppenet, 1973).

En fait, la fertilisation azotée est difficile à dissocier des autres facteurs d'intensification et la cause la plus importante d'infécondité en France reste une sous-nutrition en énergie et en azote (Brochart, 1972 ; Brochart et al., 1972).

Les fortes fertilisations azotées et potassiques ont été considérées comme à l'origine des accidents de tétanie d'herbage. En fait, si elles peuvent en augmenter la fréquence, elles n'entrent, en France, que pour une faible part (3 %) dans l'ensemble des facteurs responsables de la maladie (Larvor, 1964) : celle-ci relève plus d'un trouble du métabolisme, d'origine endocrinienne, que du taux de magnésium dans l'herbe (Larvor, Violette, 1969). La tétanie peut d'ailleurs sévir sur des pâturages non fertilisés (Metson et al., 1966).

2) *Besoins en minéraux des animaux.*

Les besoins en éléments minéraux des ruminants sont, dans l'état actuel de nos connaissances, appréciés avec plus ou moins de précision, selon l'élément concerné. Ils peuvent varier au cours de la carrière de l'animal et les apports alimentaires doivent tenir compte de l'utilisation digestive réelle de l'élément ingéré.

Pour les éléments majeurs, ces apports peuvent être calculés en grammes/jour comme on calcule une ration en énergie et en azote. Connaissant la quantité moyenne de matière sèche ingérée selon l'âge et la production, il est possible d'exprimer l'apport minéral nécessaire en termes de composition minérale de la matière sèche de la ration (Gueguen, 1972, 1974, commun. personnelle).

En ce qui concerne les oligoéléments, on se réfère à la composition des
116 fourrages pour lesquels les accidents de carence tendent vers zéro : les rations

*Composition minérale
des fourrages*

TABLEAU V
BESOINS EN OLIGO-ELEMENTS ET SEUILS DE TOXICITE
(en mg/kg M.S. ingérée)

	<i>Catégorie d'animaux</i>	<i>Besoins</i>	<i>Seuil de toxicité</i>
<i>Fer</i>	Adulte	30	
	Veau destiné à l'élevage	200	
	(en régime lacté)		
<i>Cuivre</i>	Bovins	10	< 115 chez les jeunes veaux *
	Ovins	7	25 (10-15 si Mo < 0,2) **
<i>Molybdène</i>	Tous	<0,5	
<i>Cobalt</i>	Tous	0,1	> 3 (→ carence Cu) **
<i>Iode</i>	Femelles en lactation	0,8	
	Autres	0,12	8 *
	En présence de goitrogènes	augmenter de 1,2	
<i>Manganèse</i>	Tous	50	
<i>Zinc</i>	Tous	50	
<i>Sélénium</i>	Tous	0,1 - 0,2	4-5 ** ou 0,5 ***

* A.R.C. 1965.

** Underwood 1971.

*** Législation française J.O. du 15-12-1973 (tient compte des accumulations dans les produits animaux et des toxicités possibles, à long terme, sur l'homme).

Autres chiffres : Lamand, 1972.

TABLEAU IV
BESOINS EN ELEMENTS MAJEURS DES RUMINANTS
(en g/kg M.S. ingérée)

		<i>P</i>	<i>Ca</i>		
<i>Bovins en croissance</i>	200 kg (5- 6 mois), gain 750 g/j	3,3	6,0		
	1.250 g/j	3,6	7,3		
	300 kg (11-12 mois), gain 750 g/j	3,1	4,8		
	1.250 g/j	3,3	5,7		
	500 kg (22-24 mois), gain 750 g/j	3,3	4,5		
	1.250 g/j	3,4	5,3		
<i>Vaches laitières</i>	Entretien	2,7*	3,7*		
	+ 10 kg lait/jour	3,5	6,0		
	+ 30 kg lait/jour	4,0	8,2		
<i>Ovins en croissance</i>	Gain : 50 g/jour	2,1 à 2,3	3,5 à 4,0		
	200 g/jour	2,5 à 2,7	5,0 à 5,5		
	> 200 g/jour	3,5 à 4,0	7 à 9		
<i>Brebis</i>	Entretien + gestation	3,4 à 3,8	5,0 à 6,0		
	Lactation (pointe)	4,0	8,0		
		<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>S</i>
Bovins en croissance		1,5	4,0	1,5	1,5**
Vaches laitières		2,0	5,0	1,5	

* Pratiquement, les laitières ne sont jamais à l'entretien ; les apports des fortes productrices doivent atteindre, en période de tarissement, 3,5 g P et 5,5 g Ca.

** Chiffre porté à 2,5 quand le supplément azoté est sous forme non protéique (urée).

Tableau tiré de Gueguen (1972), et de l'A.R.C. (1965) pour les bovins + Communication personnelle de Gueguen pour les ovins.

doivent avoir des teneurs un peu supérieures à ces chiffres de manière à préserver une marge de sécurité, mais ceci sans excès de manière à ne risquer ni toxicité, ni interférence avec d'autres éléments (Lamand, 1971).

Les recommandations proposées par Gueguen sont indiquées dans le tableau 4 : elles sont de 50 % plus élevées en calcium pour les vaches laitières que celles préconisées par l'ARC (1965). Les besoins des ovins sont du même ordre de grandeur que ceux des bovins en système de production intensif, mais plus faibles pour des croissances inférieures à 200 g/jour. Le tableau 5 indique les apports nécessaires en oligoéléments et les seuils de toxicité.

Dans tous les cas, il s'agit d'ordres de grandeur, les coefficients d'utilisation digestive variant selon les plantes, leur stade, l'élément concerné et les interférants possibles souvent inconnus. Par exemple, à teneurs sensiblement égales en cuivre, des graminées cultivées simultanément en conditions d'environnement identiques peuvent induire ou non des carences en cuivre (Patil et al., 1969)...

3) Effet de la fertilisation sur la nutrition minérale des animaux.

Une des premières actions indirectes de la fertilisation azotée sur l'alimentation animale est une *exploitation plus précoce* des fourrages alors plus riches en la plupart des éléments minéraux. Cependant, la plus grande richesse peut être assortie d'une moins bonne utilisation digestive du phosphore (Gueguen, Demarquilly, 1965), du cuivre (Hartmans, 1970)... et un pâturage au stade feuillu peut, finalement, être défavorable (Coppenet, 1973). D'autre part, l'humidité plus grande du fourrage très jeune fait que pour une même quantité de matière verte ingérée, celle d'éléments minéraux peut être moins importante, ce qui expliquerait certains bilans négatifs du calcium en fin d'été et la digestibilité plus faible du magnésium sous forte fertilisation azotée (Mudd, 1970).

Les *chaulages* peuvent également avoir un effet dépressif sur le cuivre sanguin et hépatique même si la teneur en cuivre du fourrage n'est pas significativement diminuée (Mc Phearson, Hemingway, 1968). Sur les sols riches en molybdène, les chaulages augmentent également l'importance des carences en cuivre (Neenan et al., 1956). La baisse des taux de manganèse, de zinc, de cobalt, respectivement égales à 75 %, 50 % et 30 % sur les Ray-

Grass d'Italie de Bretagne (Coppenet, 1973), peut induire ces carences là où les teneurs du fourrage ne sont pas très élevées au-dessus du seuil pour l'animal.

Les besoins en *potassium* ne posent pas de problèmes puisque les fourrages en contiennent 3 à 10 fois plus que nécessaire. Inversement, des apports très élevés de potassium, n'ont pas de conséquences sur la santé des animaux (Brochart, 1971). La fumure potassique ne peut donc jouer éventuellement que par son interférence sur les autres éléments.

Le *sodium* est très souvent insuffisant : c'est avant tout, nous l'avons vu, une question de plantes. Les foin sont également plus pauvres que les stades précoces. La fumure azotée en l'absence d'apport de potassium a plutôt tendance à améliorer les teneurs en sodium, et cette amélioration peut être substantielle (teneurs multipliées par 2 à 5). Par contre, les fumures potassiques ont un effet antagoniste en toutes conditions et surtout sous forte fumure azotée (teneurs divisées par 2 à 3) : le taux de sodium, suffisant en l'absence de fumure potassique, peut donc, avec certaines flores (fléoles, fétuques) devenir inférieur au seuil de carence pour l'animal.

Les besoins en *magnésium* sont, le plus souvent, couverts par les fourrages pour les jeunes. Les laitières sont un peu plus exigeantes. Or, le taux de magnésium dans les fourrages fluctue souvent autour du seuil : l'effet de l'azote est positif ou négatif selon les sols et les cycles. Le potassium, appliqué en sol normalement pourvu en potassium, déprime le magnésium surtout sous forte fumure azotée et dans les derniers cycles (baisse possible de 15-20 %). Autrement dit, une forte fumure peut faire basculer le taux de magnésium vers le seuil de carence pour l'animal. L'apport d'amendements magnésiens est souvent peu efficace.

Pour le *phosphore* et le *calcium*, les possibilités varient beaucoup selon le niveau de production. Les animaux de haute productivité laitière ne peuvent trouver dans les seuls fourrages ce dont ils ont besoin, comme ils ne le trouvent d'ailleurs pas, non plus, en énergie et azote ; une complémentation en concentré et minéraux reste obligatoire quelle que soit la fertilisation.

A l'opposé, pour les bovins à l'engrais de plus de 24 mois, les laitières à moins de 10 litres (exception faite des fortes laitières à l'entretien), les brebis tarées ou en fin de lactation, les élèves ovins, la complémentation minérale n'est pas nécessaire, tout au moins sur des pâturages recevant régulièrement des fumures phosphatées et une fumure azotée moyenne.

Entre ces deux cas extrêmes, le problème peut se poser pour les intermédiaires... : le fourrage peut apporter ou ne pas apporter le phosphore et le calcium nécessaires selon le sol, la flore, le cycle et la fertilisation. Il faut donc se souvenir que les derniers cycles sont plus riches que les premiers, que les stades tardifs du premier cycle, c'est-à-dire les fourrages conservés, sont les plus pauvres, que l'azote fait disparaître les légumineuses riches en calcium ; en sol mal pourvu en phosphore et sans grande réserve de calcium, l'augmentation des rendements par l'azote et la modification de la flore peuvent faire baisser de 0,3 - 0,4 g/kg M.S. le taux de phosphore et jusqu'à 3 g celui du calcium. Autrement dit, l'absence de complémentation de ces animaux n'est pas valable en toutes conditions, et la connaissance des sols est impérative. Des troubles du squelette et une mauvaise fertilité peuvent, à la longue, trouver leur origine dans une telle sous-nutrition minérale.

En ce qui concerne les *oligoéléments*, l'influence du niveau de production sur la fréquence des accidents de carence n'a été vraiment bien démontrée que pour la myopathie des veaux (carence en sélénium) dont le diagnostic ne pose aucun problème (Lamand, 1972). Il est vraisemblable cependant que l'importance des subcarences en cuivre, cobalt, zinc, observées en France (Lamand, Périgaud, 1973 ; Périgaud, Lamand, 1973) est liée à un niveau de production animale et fourragère plus élevé dans les élevages étudiés qu'en système extensif (Périgaud, 1973). Or, nous avons vu qu'en sol de faible réserve cuivrique, où la teneur en cuivre des fourrages est déjà faible, la fumure azotée peut la diviser par deux et la faire descendre en dessous du seuil de carence primaire pour l'animal. Si le type de flore est également changé, le taux de cuivre peut passer sur un même secteur de 7 à 1,5 mg/kg M.S. (Kerguelen, 1960). La complémentation en oligoéléments des fourrages paraît donc indispensable lorsque l'on cherche à atteindre des niveaux de production élevés, celle en manganèse étant à limiter aux régions de sols calcaires sains (Périgaud et al., 1972). La fertilisation des fourrages en cuivre, zinc, cobalt est également possible, soit par apport au sol, soit en pulvérisation foliaire (Copenet, 1970 b ; Périgaud, 1974). En revanche, les engrais séléniés sont à proscrire à cause des risques de toxicité (Grant, 1965). Si l'apport de molybdène est parfois nécessaire pour augmenter les rendements de la luzerne, le risque est grand de dépasser le seuil de toxicité pour l'animal et le contrôle analytique du fourrage produit reste indispensable : l'antagonisme Mo - SO₄ peut d'ailleurs parfois permettre, avec du plâtre, de corriger cet excès possible de molybdène (Juste et al., 1971).

Conclusion

Une fertilisation en éléments majeurs bien conduite, respectant l'équilibre entre tous les éléments compte tenu de leur rétention par le sol tend à augmenter les teneurs en tous les éléments utiles pour l'animal. Déséquilibrée, notamment par un excès d'azote, elle appauvrit le fourrage en l'élément insuffisant dans le sol, calcium, magnésium, sodium, cuivre, etc. Une fumure potassique en excès peut induire une carence relative en magnésium, sodium.

Des carences en phosphore, cuivre..., provoquées par la fertilisation, se révèlent surtout en début d'intensification à un moment où de nombreux éléments sont énergiquement bloqués par la matière organique brute du sol et où les premières fumures, associées souvent à la recalcification, en activent la minéralisation dans un turn-over microbien rapide. Des accidents peuvent alors être à craindre surtout si, parallèlement aux augmentations de fumure, il y a conversion de la prairie, à flore complexe, en une culture monospécifique, pâturée trop précocement.

Ultérieurement, une fois l'équilibre biologique atteint dans le sol et les nouvelles techniques d'élevage maîtrisées, une connaissance même globale du type de sol et des fourrages utilisés permet d'apprécier l'incidence probable de la fertilisation : il devient possible alors d'utiliser pleinement ses effets positifs jusqu'à ses limites d'efficacité vis-à-vis du type d'élevage adopté.

Une complémentation minérale directe de l'animal reste nécessaire, de toutes façons, au moins en P et Ca, et souvent en Na, pour les plus fortes laitières et les jeunes destinés à un élevage intensif, ainsi qu'en cuivre, zinc et cobalt, parfois manganèse pour tous les animaux destinés à un niveau de production élevé.

Simone PERIGAUD,
I.N.R.A. - C.R.Z.V. Theix,
Physiopathologie de la Nutrition,
63110 Beaumont.

PRINCIPALES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- A.R.C., 1965 : The nutrient requirements of farm livestock. n° 2 Ruminants tech. Reviews and Summaries. *Agricultural Research Council*, London, pp. 264.
- BEESON K.C., 1946 : The effect of mineral supply on the mineral concentration and nutritional quality of plants. *Bot. Rev.*, 12, 424-455.
- BROCHART M., 1971 : Evaluation du rapport K/Na alimentaire par analyse pilaire chez les bovins. Application à la fertilité des vaches. *Ann. Rech. Vétér.*, 2, 2, 259-262.
- BROCHART M., 1972 : L'infécondité d'origine nutritionnelle chez les vaches. In Regards sur la France : « Les maladies animales - leur incidence économique ». *Ed. S.P.E.I.*, Paris, 295-300.
- BROCHART M., GAULIARD D., GIROU R., 1972 : Niveau calorico-azoté. Flushing post-œstral et fertilité des vaches laitières. VII^e Congrès Intern. Reprod. anim. et Insémin. artif., Munich 3, 1737-1741.
- COPPENET M., 1970 : Les oligoéléments en France. Exemples de problèmes régionaux. I. Le Massif Armoricain. *Ann. Agron.*, 21, 5, 587-601.
- COPPENET M., 1973 : Fertilisation intensive et qualité des fourrages. *Bull. Techn. Inform.*, 583-591.
- COPPENET M., CALVEZ J., 1962 : Variations de la composition minérale de dix variétés fourragères au cours d'une année d'exploitation au rythme pâture. *Ann. Agron.*, 13, 3, 203-219.
- COPPENET M., CALVEZ J., 1967 : Les oligoéléments et en particulier le cobalt dans les sols et les fourrages du Finistère. *C.R. Ac. Agr.*, 12, 939-946.
- COPPENET M., MORE E., 1973 : Sur les teneurs en zinc du Ray-Grass et du maïs. *C.R. Ac. Agric.*, 7, 487-496.
- COPPENET M., MORE E., LE CORRE L., LE MAO M., 1972 : Variations de la teneur en cobalt des Ray-Grass. Etude des techniques d'enrichissement. *Ann. Agron.*, 23, 2, 165-196.
- DELANNE J., FERRANDO R., GERVY R., 1966 : Entérite paratuberculeuse et fumure phosphatée. *Rec. Méd. Vétér.*, 142, 285-291.
- DEMARQUILLY C., 1974 : Influence de la fertilisation sur la valeur alimentaire des fourrages. *Coll. FAO-CEE*, Genève, non publié.

- FERRANDO R., LAGNEAU L., GERVY R., 1964 : Fumure phosphatée et fertilité de la vache laitière. V° Congr. Intern. Reprod. Anim. et Fécond. Artific. Trente, 2, 39, 304-310.
- FLEMING G.A., 1973 : Mineral composition of herbage. In Chemistry and Biochemistry of herbage. Ed. Butler, Bailey, vol. 1. Acad. Press London, New-York, 529-566.
- GUEGUEN L., 1959 : Etude de la composition minérale de quelques espèces fourragères. Influence du stade de développement et du cycle de végétation. *Ann. Zoot.*, 8, 245-268.
- GUEGUEN L., 1972 : L'alimentation minérale des bovins. *La Revue de l'Elevage*, n° 305.
- GUEGUEN L., DEMARQUILLY C., 1965 : Influence du cycle de végétation et du stade de croissance sur la valeur minérale de quelques plantes fourragères pour le mouton adulte. *Fourrages*, 22, 48-59.
- GUEGUEN L., FAUCONNEAU G., 1960 : Etude sur les variations des teneurs en matières azotées et en éléments minéraux du dactyle. *Ann. Zootech.*, 9, 157-179.
- GUEGUEN L., FAUCONNEAU G., 1961 : Etude sur les variations des teneurs en matières azotées et en éléments minéraux de la fétuque des prés. *Ann. Zootech.*, 10, 2, 69-87.
- JUSTE C., DELAS J., TAUZIN J., 1971 : Carence en soufre de la luzerne en sol de Charente. - III. Interaction soufre-molybdène dans un essai réalisé en vases de végétation. *C.R. Ac. Agric.*, 57, 13, 1134-1139.
- KERGUELEN M., 1960 : Aspects des variations de la composition de quelques fourrages en fonction des espèces, des stades de végétation, des conditions de sol et de fertilisation. *Ann. Amél.*, Pl. 10, 177-236.
- KERGUELEN M., 1962 : Valeur minérale de l'herbe (en oligoéléments). Influence du sol et de la fumure sur la composition minérale. *Fourrages*, 10, 63-71.
- LAMAND M., 1971 : Causes, conséquences biochimiques, pathologiques et prophylaxie des carences en oligoéléments chez les ruminants. *Bull. Soc. Sc. Hyg. Alim.*, 59, 2, 155-172.
- LAMAND M., 1972 : Maladies de carence en oligoéléments. In Regards sur la France. Les Maladies Animales. Leur incidence sur l'Economie Agricole. Ed. S.P.E.I., Paris, 261-270.
- LAMAND M., PERIGAUD S. : Carences en oligoéléments chez les ruminants en France. I. Eléments d'enquête obtenus dans la pratique vétérinaire. *Ann. Rech. Vétér.*, 4, 4, 513-534.
- LARVOR P., 1964 : Enquête sur les facteurs agronomiques et zootechniques de la tétanie d'herbage dans le Nord de la France. *Ann. Zoot.*, 13, 3, 277-288.

- LARVOR P., VIOLETTE C., 1969 : Influence de l'ingestion d'herbe tétanigène sur le métabolisme minéral (Mg, Ca, P, Na, K) et certains éléments du métabolisme énergétique chez les brebis. Nouvelle hypothèse pathogénique sur la Tétanie d'herbage. *Rech. Vétér.*, 2, 27-44.
- MUDD A.J., 1970 : The influence of heavily fertilized grass on mineral metabolism of dairy cows. *J. Agric. Sci. Camb.*, 74, 11-21.
- PERIGAUD S., 1972 : Liaisons carencielles entre sols, végétaux et animaux. *Ann. Nutr. Alim.*, 25, B327-B378.
- PERIGAUD S., 1973 : Les carences en oligoéléments chez les ruminants en France et en particulier, dans la région Centre-Auvergne-Forez. *Documents A.C.A.F.*, Crouelle, Clermont-Ferrand.
- PERIGAUD S., 1974 : Oligoéléments et qualité des fourrages. Influence de la fumure minérale. *Fourrages*, 57, 43-60.
- SMITH P.F., 1962 : Mineral analysis of plant tissues. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 13, 81-108.