

OLIGO - É L É M E N T S E T QUALITÉ DES FOURRAGES : INFLUENCE DE LA FUMURE MINÉRALE

INTRODUCTION

LA RECHERCHE DE PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES TOUJOURS PLUS POUSSÉES ENTRAÎNE L'APPARITION DE CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS CHEZ LES RUMINANTS DANS LES pays où elles étaient restées longtemps ignorées. C'est le cas, notamment, de la France où une enquête récente a révélé l'existence de subcarences en cuivre, en zinc, en sélénium, parfois en manganèse (LAMAND, PERIGAUD, 1973 ; PERIGAUD, LAMAND, 1973).

L'intensification de la production animale reste encore souvent subordonnée, en France, à celle de la production fourragère qui fait appel à des techniques d'exploitation et de fertilisation très poussées. Celles-ci ont des conséquences non seulement sur les rendements, mais aussi sur la qualité de l'herbe : c'est en fonction des besoins des animaux que l'on doit apprécier cette qualité.

LES NORMES DE QUALITE MINERALE DES FOURRAGES

Les normes auxquelles doit satisfaire la ration alimentaire — donc le fourrage lorsque celui-ci constitue la base de l'alimentation — sont approximativement les suivantes :

- Cuivre : 7-8 mg/kg MS (Kirchessner, Grassman, 1970) ;
- Cobalt : 0,1 mg/kg MS (Marston, 1970) ;
- Zinc : 50 mg/kg MS (A.R.C., 1965) ;
- Manganèse : 40 mg/kg MS (A.R.C., 1965) ;
- Sélénium : 0,1 mg/kg MS (Lamand, 1972) ;
- Iode : 0,12 à 0,8 mg/kg MS, en l'absence de substances goitrogènes (A.R.C.).

Le molybdène commence à interférer avec le cuivre à partir de 3 mg/kg MS. Inversement, une teneur trop faible en molybdène peut induire une toxicité cuivrique chez les moutons pour une teneur en cuivre dans la ration de 15 mg Cu/kg MS (UNDERWOOD, 1971).

Des interférences entre certains oligoéléments et d'autres constituants de la plante semblent modifier la digestibilité et la rétention de ces oligoéléments, de sorte que la teneur, seule, n'est pas toujours un critère suffisant : on sait, par exemple, que le cuivre d'un foin est mieux utilisé que le cuivre du même herbage exploité plus jeune au stade pâture (HARTMANS, 1970). A l'inverse, le zinc est d'autant mieux utilisé que l'aliment est plus digestible (MILLER, CRAGLE, 1965).

Cependant, dans l'état actuel des connaissances, une appréciation du niveau de nutrition minérale des oligoéléments est fournie par la comparaison des teneurs en oligoéléments du fourrage ingéré et des normes précisées plus haut.

INFLUENCE DES AMENDEMENTS ET DES ENGRAIS

1) Les amendements calcaires

Il est connu depuis longtemps que les amendements calcaires, par modification du pH du sol, peuvent provoquer sur les végétaux des carences manganiques et, à l'opposé, constituer un remède aux carences en molybdène (TROCME, 1960 ; COPPENET, 1968).

On signale également que le cuivre sanguin et hépatique des moutons pâturant des herbages recalifiés peut être abaissé (Mc PHEARSON, HEMINGWAY, 1968). Des amendements calcaires peuvent aussi provoquer une carence en cuivre induite par un excès de molybdène (REITH, MITCHELL, 1964).

Quelques expérimentations de remise en valeur de prairies en France ont permis de confirmer ces données sur le fourrage : le tableau I montre un exemple où, en dehors de l'action sur le manganèse et le molybdène, les amendements calcaires abaissent effectivement aussi les taux de cuivre et de zinc. L'effet s'atténue d'ailleurs au cours des années, surtout pour le zinc.

TABLEAU I
INFLUENCE DU CHAULAGE SUR LA TENEUR EN OLIGOELEMENTS
D'UNE PRAIRIE NATURELLE
 (essai I.N.R.A. - S.E.I. - Marcenat)

			<i>Cu</i>	<i>Zn</i> (mg/kg MS)	<i>Mn</i>	<i>Mo</i>
1966	Cycle I	Témoin	4,8	33	142	0,75
		+ chaux	4,4	28	71	1,19
	Cycle II	Témoin	8,1	33	133	1,07
		+ chaux	7,7	29	84	2,13
1967	Cycle I	Témoin	6,5	34	179	0,59
		+ chaux	5,6	30	90	1,05
	Cycle II	Témoin	8,7	36	166	0,92
		+ chaux	9,0	33	129	1,16
1968	Cycle I	Témoin	6,7	38	186	0,62
		+ chaux	6,1	39	154	0,73
	Cycle II	Témoin	8,3	42	219	0,61
		+ chaux	7,6	40	199	0,86

2) La fertilisation azotée

a) Effet sur le cuivre.

L'effet de l'azote sur la teneur en cuivre des fourrages paraît très irrégulier. On signale qu'en sol pauvre en cuivre, de fortes fumures peuvent baisser les taux de cuivre dans les herbages (FLEMING, MURPHY, 1968), provoquer, sur les troupeaux, des hypocuprémies importantes (SCHUTTE, 1964) et,

même, diminuer la fertilité des vaches (STABLES, BOUNDS, 1969). On attribue généralement la baisse du taux de cuivre dans la plante à un effet de dilution du cuivre absorbé dans une masse de matière organique formée plus importante (KERGUELEN, 1962). Cependant, quelques auteurs signalent l'effet bénéfique des fumures azotées sur le taux de cuivre des plantes (HEMINGWAY, 1962).

Ce problème a donc fait l'objet de travaux divers en France ; le sens et l'importance de la variation des teneurs des graminées fourragères et des prairies soumises à des doses croissantes d'azote sont très variables. Globalement, il existe une dose optima d'azote correspondant à la teneur maxima de la plante en cuivre ; cette dose optima est fonction du sol, de la flore, du cycle et de l'année.

Ainsi, le tableau II montre les résultats d'un essai mené en un site donné sur diverses graminées recevant des doses annuelles d'azote croissant de 0 à 1 000 kg/ha : la fétuque des prés est peu touchée par la dose en premier cycle, par contre, en second et troisième cycles, l'apport optimum, vis-à-vis du cuivre, se situe entre 250 et 500 kg/ha. La fétuque élevée voit sa teneur en cuivre toujours d'autant plus augmentée que l'apport d'azote est plus fort et ceci de façon substantielle pour le cycle de septembre. Sur la fléole, seul le premier cycle est enrichi en cuivre par l'azote, mais non les suivants...

Dans d'autres sites, on retrouve les mêmes tendances mais éventuellement à des niveaux de cuivre plus élevés et avec une efficacité différente (tableau III). En un site donné, les résultats ne sont pas identiques deux années de suite (fig. 1).

Sur les prairies naturelles, la fumure azotée tend, en outre, à modifier la composition floristique mais globalement les conséquences sur la teneur en cuivre sont sensiblement les mêmes que sur graminées pures : l'optimum de fumure est situé relativement bas en sol pauvre ; il est plus élevé ailleurs (PERIGAUD, 1970, 1972).

Des travaux en cours, encore non publiés, sur l'absorption du cuivre en milieu hydroponique, il ressort que le taux de cuivre dans une plante fourragère est en relation non seulement avec la disponibilité du cuivre aux racines mais aussi et surtout, dans le cas d'une réserve cuivrique normale, avec la forme nitrique ou ammoniacale de l'azote absorbé (BLANC, COIC, communication personnelle) ; la vitesse de croissance, c'est-à-dire l'intensité de la

TABLEAU II

INFLUENCE DE LA FUMURE AZOTEE SUR LA COMPOSITION EN OLIGOELEMENTS DE QUELQUES GRAMINEES
(essai I.N.R.A. - Lusignan - 1969)

Dose d'azote (en kg N/ba)		N = 0				N = 250				N = 500				N = 1 000			
Espèces et variétés	Date de coupe	Cu	Zn mg/kg	Mn MS	Mo	Cu	Zn mg/kg	Mn MS	Mo	Cu	Zn mg/kg	Mn MS	Mo	Cu	Zn mg/kg	Mn MS	Mo
<i>Ray-grass anglais</i> Primevère (précoce)	9-5	2,7	15	69	0,93	2,8	15	113	0,50	3,5	21	143	0,58	4,0	25	153	0,56
	27-6	4,9	19	80	1,73	5,6	26	114	1,75	5,3	26	137		4,5	23	117	1,46
	8-8	7,3	26	86	4,02	6,3	28	162	2,86	6,5	33	203	2,57	6,2	40	245	1,70
	24-9	9,6	38	101	2,21	8,4	28	141	1,14	10,0	34	201	0,73	9,6	34	269	0,53
	20-11	7,5	26	149	1,45	7,6	27	176	1,43	9,2	36	246	1,11	8,0	38	454	0,89
<i>Dactyle</i> Floréal (demi-précoce)	9-5	5,7	18		1,15	4,2	21		0,96	4,7	20		0,66	5,0	21		0,73
	27-6	3,2	23		3,40	5,5	23		2,32	6,0	24		1,50	6,5	21		1,70
	8-8	4,0	20		6,40	5,2	20		2,64	6,2	22		1,74	6,7	26		1,41
	24-9	5,3	26		5,40	7,7	26		2,56	9,0	27		1,44	10,0	28		1,34
	20-11	7,2	29		5,00	7,7	29		4,22	8,5	30		1,78	9,5	36		1,41
<i>Fétuque des prés</i> Séquana (demi-précoce)	20-5	2,7	16		1,10	3,0	14		0,67	3,0	17		0,47	2,5	17		0,44
	7-7	4,2	15		2,03	6,0	12		1,79	5,0	16		1,12	4,5	18		0,87
	19-8	5,0	14		1,49	6,5	26		1,04	6,5	23		1,07	5,7	24		0,72
	6-10	5,0	27		1,33	5,7	17		0,94	6,2	22		0,85	6,2	21		0,50
	25-11	4,5	23		1,58	6,2	21		1,59	6,2	22		1,11	6,0	22		0,91
<i>Fétuque élevée</i> S 170 (demi-précoce)	5-5	2,0	15	65	0,77	3,5	22	77	0,61	3,7	29	137	0,49	4,0	16	119	0,47
	24-6	2,0	17	72	3,30	3,7	19	161	1,0	3,5	19	125		4,0	21	175	0,77
	28-7	3,2	16	82	6,4	3,7	15	112	2,2	4,0	17	196	1,65	4,2	18	217	0,92
	17-9	2,0	17	79	4,3	5,0	19	117	1,58	6,2	30	182	0,80	6,0	26	300	0,51
	19-11	3,5	18	137	4,1	5,5	24	181	2,70	5,7	27	256	1,01	5,7	26	440	0,49
<i>Fléole</i> Pécora (demi-précoce)	16-5	3,7	21	77	0,35	4,0	24	80	0,65	4,5	26	90	0,65	5,5	28	111	0,82
	30-6	5,0	26	100	0,64	4,7	25	75	0,73	4,2	18	81	0,80	4,0	18	86	1,13
	8-8	4,0	25	175	0,61	6,2	21	77		6,5	23	97		4,7	27	142	0,99
	24-9	8,0	34	94	2,02	6,7	28	119	0,54	7,0	28	193		7,2	30	215	0,84

TABLEAU III

INFLUENCE DE LA FUMURE AZOTEE SUR LA COMPOSITION EN OLIGOELEMENTS DE QUELQUES GRAMINEES
(essai I.T.F.C. - Vaudes - 1970)

Espèces et variétés	Dose d'azote (en kg/ha)		N = 0				N = 210				N = 420				N = 840			
	N° de coupe	Date	Cu	Zn	Mn	Mo	Cu	Zn	Mn	Mo	Cu	Zn	Mn	Mo	Cu	Zn	Mn	Mo
			(mg/kg MS)				(mg/kg MS)				(mg/kg MS)				(mg/kg MS)			
Ray-grass anglais Primevère (précoce)	1	21-5	4,0	23	42	0,90	4,5	19	43	0,74	4,8	20	42	0,60	4,5	18	39	0,54
	3	6-8	7,3	35	57	1,89	6,8	40	73	3,54	6,8	48	65	2,84	6,6	39	87	2,46
	4	14-9					8,3	39	62	4,48	8,1	44	73	3,43	8,9	47	81	3,24
Dactyle Floréal (demi-précoce)	1	14-5	5,3		194	1,94	6,2	23	79	0,99	6,8	24	93	1,05	7,4	26	86	1,03
	3	29-7	4,4	25	205	5,26	7,2	28	85	3,80	6,0	24	84	1,99	7,6	34	87	2,56
	4	10-9					6,0	41	107	3,49	6,2	44	87	2,47	7,2	42	81	3,38
Fétuque des prés Séquana	1	27-5	5,1	21	118	1,60	6,0	16	89	1,06	6,2	18	73	0,93	7,3	19	62	0,93
	3	12-8	4,6	23	77	2,16	6,7	36	58	3,62	6,6	32	56	3,15	7,1	36	75	2,27
	4	21-9					6,2	28	63	3,60	6,8	28	56	3,65	7,5	28	68	2,86
Fétuque élevée S 170 (demi-précoce)	1	19-5	3,8	22	34	0,99	4,8	23	40	1,06	5,3	21	42	1,03	5,3	24	42	0,82
	3	4-8	4,9	17	47	3,47	4,2	20	35	3,17	4,8	30	39	3,41	5,0	27	43	2,84
	4	8 et 21-9					4,3	25	38	3,59	5,2	29	40	2,69	5,0	27	38	2,73

montrent que la fertilisation azotée diminue d'autant plus le taux de molybdène que la plante, en l'absence d'azote, est plus riche : ainsi la fétuque des prés et la fléole, qui ne contiennent pas beaucoup de molybdène, sont peu touchées. Par contre, la fétuque élevée, le dactyle, le ray-grass anglais, dont certains cycles dépassent les seuils de toxicité animale dans le témoin, ont, sous azote, des teneurs normales d'autant plus basses que la dose est plus élevée.

Pratiquement, l'azote tend à annuler la spécificité variétale vis-à-vis du molybdène et diminue donc les risques de molybdénose.

Il faut cependant noter que dans les sols où le molybdène est abondant et très disponible, les taux de molybdène peuvent rester élevés en fin de saison même sous de fortes doses d'azote (tableau III).

3) La fertilisation phosphorique

L'acide phosphorique, employé seul, peut avoir un effet dépressif sur les teneurs en *cuivre* du fourrage, mais combiné à l'azote, il pourrait augmenter cette teneur de 50 % (REITH, MITCHELL, 1964). En fait, les situations sont très variables selon les sols ; le tableau V montre qu'en sol pauvre, en cours de remise en valeur, la fertilisation NP rend la fétuque encore plus pauvre que dans le témoin peu productif.

TABLEAU V
INFLUENCE DU CHAULAGE
ET DU NIVEAU DE FUMURE PHOSPHATEE
SUR LA TENEUR EN CUIVRE DE LA FETUQUE ELEVEE
A FEYT (CORREZE)
 (essai I.N.R.A. - Clermont-Ferrand - 1969)

Traitement Date et coupe	+ Ca			- Ca		
	NP 100-0	NP 100-300	NP 50-300	NP 100-0	NP 100-300	NP 50-300
1 ^o coupe - 17-6-69 ..	1,0	0,8	1,0	2,2	1,4	1,4
2 ^o coupe - 20-8-69 ..	3,2	2,8	2,8	3,6	2,8	3,0
3 ^o coupe - 12-11-69 ..	3,4	2,8	3,0	4,0	4,0	3,4
Moyenne	2,5	2,1	2,2	3,3	2,7	2,6

N.B. — Chiffres correspondant au mélange des « prélèvements moyens » des quatre répétitions par traitement.

d) Effet sur le molybdène.

L'azote est toujours dépressif sur le taux de molybdène tout au moins chez les graminées (REITH, MITCHELL, 1964) et surtout dans les cycles riches de fin d'été (HEMINGWAY, 1962). Nos résultats (tableau II et fig. 2)

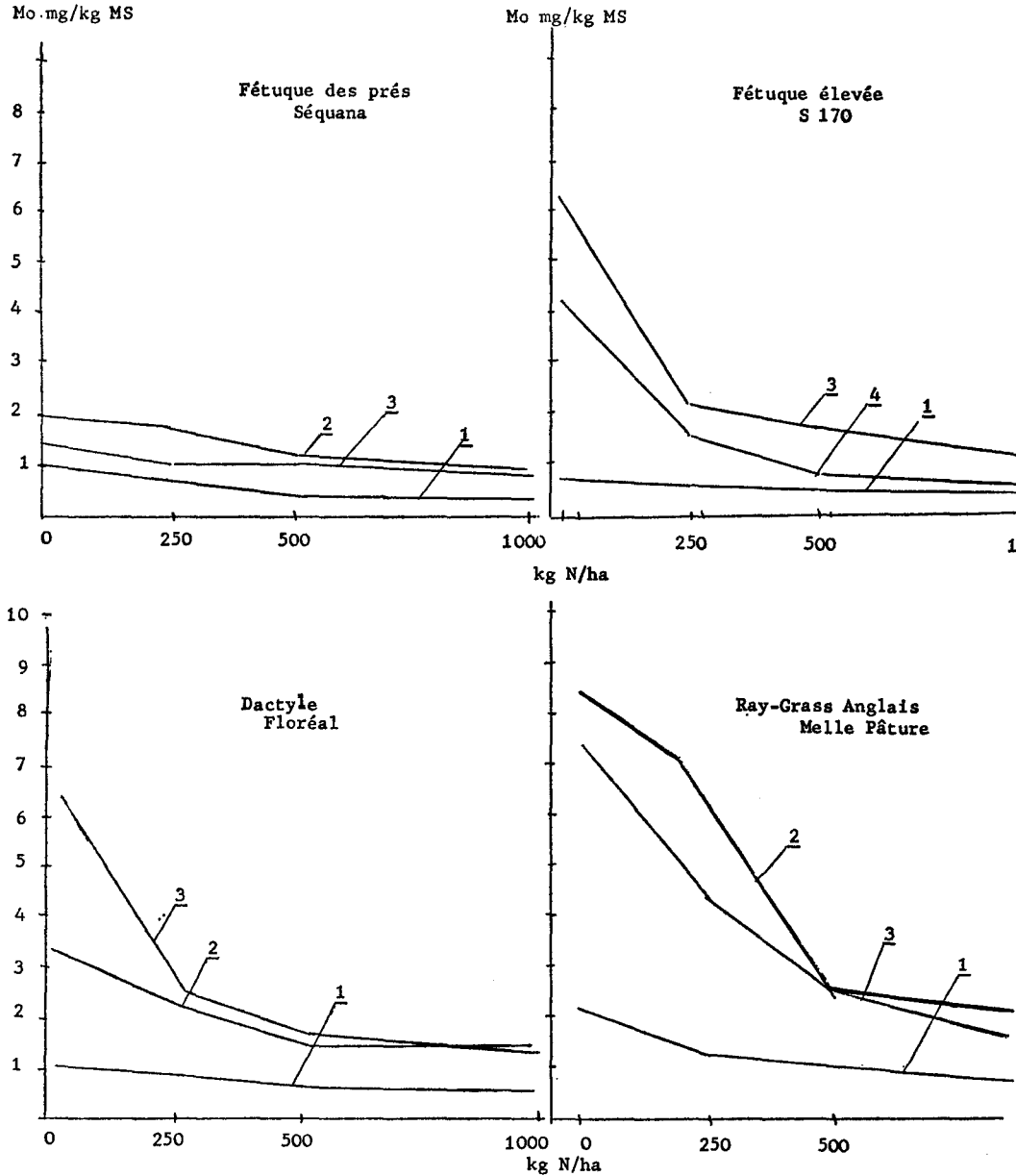


FIGURE 2

Influence de la fumure azotée sur le taux de molybdène
(Essai I.N.R.A. - Lusignan)

Les chiffres 1, 2, 3, 4 correspondent aux numéros de coupe

photosynthèse, semble également intervenir (BLANC, PERIGAUD, non publiés).

On conçoit donc mieux que l'efficacité de la fumure azotée sur les transferts et l'accumulation du cuivre dans les plantes prairiales *in situ* puisse varier avec la plante et la saison. La richesse en cuivre du sol proprement dit est un facteur supplémentaire qui paraît n'intervenir, tout au moins en France, que dans des cas assez limités, surtout de remise en valeur.

b) *Effet sur le zinc.*

L'effet de la fertilisation azotée sur le taux de zinc est assez peu étudié ; REITH et MITCHELL (1965) montrent qu'il est pratiquement nul ; pour WILLIAMS et al. (1960), il serait plutôt dépressif.

Dans nos expérimentations culturales en France, la fertilisation azotée tend plutôt à augmenter les teneurs en zinc des fourrages (tableaux II et III), mais dans de faibles proportions et de façon non systématique. Récemment, COPPENET a obtenu des effets nettement bénéfiques (1973).

c) *Effet sur le manganèse.*

L'assimilabilité du manganèse dans le sol varie beaucoup avec sa valence et, par conséquent, avec le pH. L'azote a donc un effet très variable avec la forme sous laquelle est apportée la fumure ; les engrais ammoniacaux augmentent le taux de manganèse dans la plante, le sulfate plus que le nitrate ; le nitrate de chaux, par contre, a tendance à diminuer la teneur (tableau IV).

TABLEAU IV
INFLUENCE DE LA DOSE ET DE LA FORME D'AZOTE
SUR LES TENEURS EN CUIVRE ET MANGANESE DE DACTYLE
(essai I.N.R.A. - Dijon)

Traitement	Première coupe		Deuxième coupe		Troisième coupe	
	Cu (mg/kg MS)	Mn (mg/kg MS)	Cu (mg/kg MS)	Mn (mg/kg MS)	Cu (mg/kg MS)	Mn (mg/kg MS)
<i>N = 100 :</i>						
Nitrate de chaux	5,6	110	6,0	123	6,2	153
<i>N = 240 :</i>						
Nitrate de chaux	6,6	86	7,0	90	6,8	117
Nitrate d'ammoniaque	6,7	106	6,8	113	6,9	150
Sulfate d'ammoniaque	6,7	131	6,7	144	6,3	271

Cuivre : différences hautement significatives entre N 100 et N 240.

Manganèse : différences hautement significatives entre tous les traitements.

Oligo - éléments et
qualité des fourrages

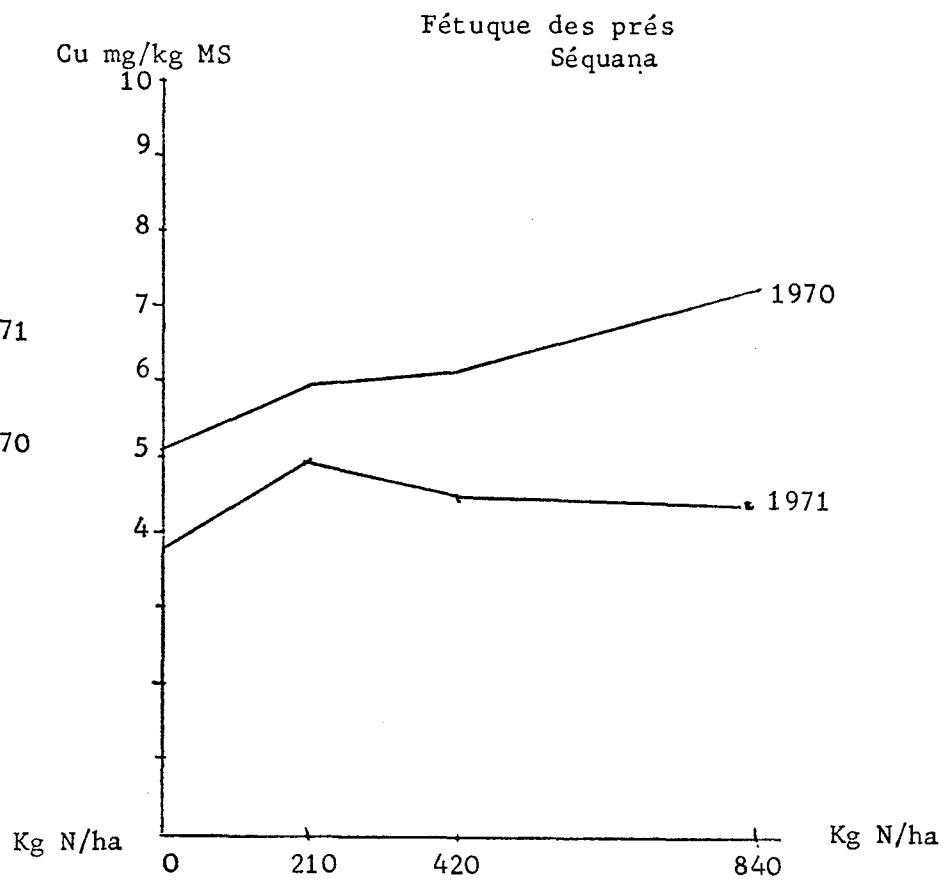
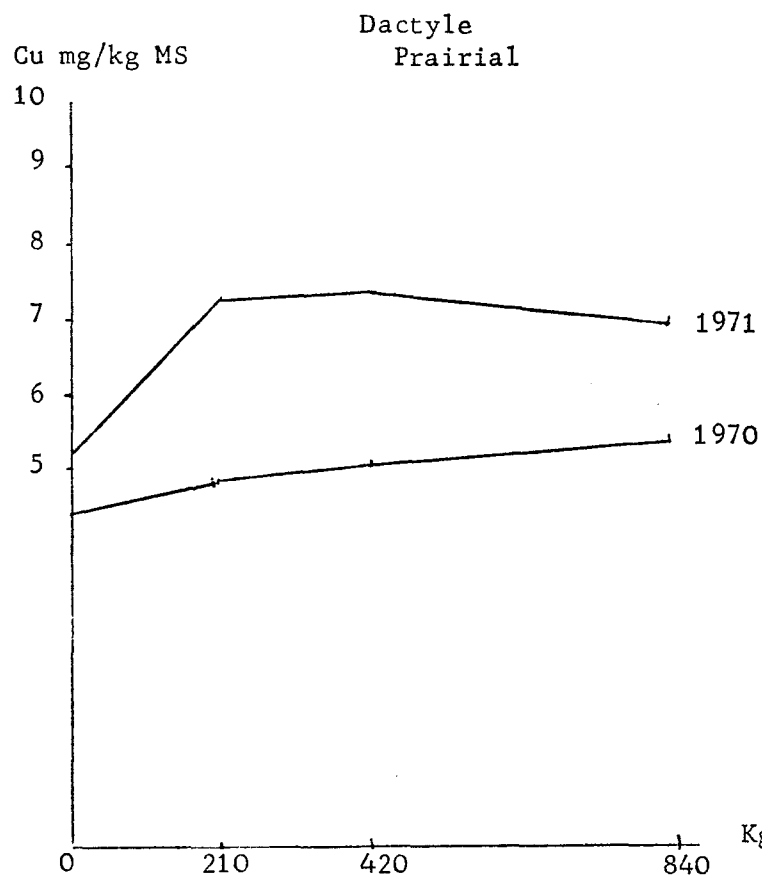


FIGURE 1

Influence de la fumure azotée sur la teneur en cuivre de la première coupe (début épiaison)
(Essai I.T.C.F. - Vaudes)

Le phosphore exerce vis-à-vis de la plante une action synergique vis-à-vis du molybdène (STOUT et al., 1951). Mais, dans le sol, son influence est faible et irrégulière (HEMINGWAY, 1962). Combiné avec le chaulage cependant, l'acide phosphorique augmente l'assimilabilité du molybdène et, en sol riche en molybdène, l'apparition d'hypocuprosis peut être liée à l'utilisation de simples scories (WALSH et al., 1952).

L'antagonisme phosphore-zinc est couramment signalé (DARTIGUES, 1964), tout au moins sur des sols carencés à la fois en phosphore et en zinc (BROWN et al., 1970). Nous n'avons pas détecté une telle interférence dans nos essais sur fourrages.

4) Fertilisation en oligoéléments

Les graminées fourragères sont peu sensibles aux carences en oligo-éléments : dans les sols français les moins bien pourvus en cuivre qui provoquent des carences graves sur céréales, on n'observe que rarement des symptômes sur ray-grass d'Italie et fléole, il n'y a qu'exceptionnellement déficit de rendement. On signale par contre des carences en cuivre nettes sur le trèfle violet, accessoirement sur la luzerne, des carences en molybdène et bore sur la luzerne, des carences en zinc sur le maïs (COPPENET, 1970) ; on ne connaît pas de carence en manganèse sur fourrages.

En conséquence, si l'on excepte le cas du molybdène et du cuivre sur certaines légumineuses, nous n'avons pas affaire en France à de véritables carences végétales. Cependant, beaucoup de prairies ont des teneurs en dessous des seuils de carence animale : c'est sous l'aspect possibilité d'enrichissement au-delà du seuil animal que la fertilisation en oligoéléments surtout est à envisager.

a) *Cuivre.*

L'apport de sulfate de cuivre au sol est une technique courante dans les pays où on a décelé des carences en cuivre sur les animaux au pâturage, notamment en Suède, Allemagne du Nord, Ecosse, Hollande, ainsi qu'en Australie et Nouvelle-Zélande. Pour certains, avec 20 à 30 kg de sulfate, la prairie est fortement enrichie en cuivre (HENKENS, 1965), pour d'autres, elle l'est relativement peu ; les sols organiques réagissent mieux que les sols minéraux. Par ailleurs, le comportement moyen est lié à la composition floristique de la prairie (REITH, MITCHELL, 1964).

Les pulvérisations foliaires sur la végétation en pleine croissance sont également utilisées aux U.S.A., en Nouvelle-Zélande, en Grande-Bretagne, mais les résultats sont peu précis.

Nous avons donc entrepris en France l'étude comparative des deux techniques (COPPENET, 1970 ; PERIGAUD, 1970 ; PERIGAUD, BELLANGER, 1972).

Sous ray-grass, l'incorporation de sulfate de cuivre au sol est d'une inefficacité presque totale ; la pulvérisation de 140 g de cuivre en solution de sulfate à 0,1 g/l sur des repousses de 15 cm peut arriver à presque doubler les teneurs (COPPENET).

L'enrichissement apparaît, en fait, en un site donné, lié à la précocité de la plante (PERIGAUD, non publié). Sur une prairie mixte, les légumineuses et les plantes diverses s'enrichissent mieux que les graminées et mieux par pulvérisation foliaire de 200 g Cu/ha que par 25 kg de sulfate au sol (tableau VI). Cependant, en période de pousse rapide, l'enrichissement relatif diminue rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du jour de l'intervention : la méthode semble donc surtout intéressante pour les pâtures. La forme du sel de cuivre utilisé est très importante ainsi que les adjuvants. En période où la pousse est très ralentie, les doses sont à diminuer sous risque d'atteindre les seuils de toxicité pour ovins.

Le transfert jusqu'aux parties aériennes du cuivre absorbé au niveau des racines est difficile (DROUINEAU, MAZOYER, 1962). L'absorption par voie foliaire est très mal connue. Des travaux actuellement en cours cherchent à préciser les mécanismes en jeu.

b) *Cobalt.*

Les sels de cobalt sont couramment utilisés aussi dans les herbages où les carences en cobalt sévissent, par exemple en Irlande, en Ecosse... 2 kg de sulfate tous les trois ans suffisent en sol acide (REITH, MITCHELL, 1964), mais les doses sont à adapter au sol (GARTRELL, 1969). En France, dans le Massif Armoricain, 2 kg font passer la teneur du ray-grass d'Italie de 0,04 à 0,10 mg/kg MS ; les pulvérisations foliaires de 2,3 g de cobalt/ha en solution à 0,01 p. mille sur repousses de 7 cm sont aussi très efficaces (COPPENET, 1970 ; COPPENET et al., 1972).

TABLEAU VI
ESSAI D'ENRICHISSEMENT EN CUIVRE D'UNE PRAIRIE
(I.N.R.A. - Theix)

Date	Stade	Plantes	Témoin	← Cu mg/kg MS →			Nombre de jours écoulés depuis le dernier apport de Cu
				Cuivre sol 6 kg Cu/ha avant départ végétation		Cuivre feuilles 200 g Cu/ha par coupe (trois fois)	
3-6-69	Ensilage	Graminées	4,8 **	6,5 **	**	9,9 **	20
		Légumineuses	6,7 **	10,1 **		21,7 **	
		Divers	9,1	12,8		24,7	
		Mélange	5,5 **	7,8 *		11,9 **	
17-6-69	Foin 1 ^o coupe	Mélange	5,4 **	6,2 **	**	7,9 **	35
4-8-69 (+ 7 sem.)	2 ^o coupe	Mélange	7,8 **	8,2 **	**	14,8 **	23
24-9-69 (+ 7 sem.)	3 ^o coupe	Mélange	9,0 **	10,6 **	**	15,8 **	18

* Différences significatives (P < 5 %).

** Différences hautement significatives (P < 1 %) entre les résultats encadrant le signe.

c) *Zinc.*

Les apports de zinc sur maïs sont répandus car ils traitent une véritable carence végétale (LUBET, 1965 ; COPPENET, 1970). Dans l'optique d'enrichissement des fourrages en zinc, ils sont plus exceptionnels : 20 kg de sulfate permettent de doubler les teneurs en zinc des herbages mixtes en Ecosse (REITH, MITCHELL, 1964). COPPENET obtient sur ray-grass d'Italie, avec 50 kg, un taux qui passe de 16 à 42 mg/kg MS en première coupe (1973).

d) *Manganèse.*

Les apports de manganèse au sol (25 à 50 kg/ha) sont de très faible efficacité sur la teneur des fourrages et limités à la première coupe (VAN LUIT, 1967). Les pulvérisations foliaires sont plus efficaces et plus économiques, mais doivent être échelonnées (REITH, MITCHELL, 1964).

En France, un essai d'enrichissement en manganèse ne présenterait d'intérêt que pour les luzernes, dont le taux de manganèse, en sol calcaire, descend à 10-15 mg/kg MS. Nous n'avons jusqu'à ce jour aucune donnée en ce domaine.

e) *Molybdène.*

La fertilisation molybdique des graminées et des prairies mixtes est peu courante. En effet, REITH et MITCHELL (1964) ont montré que les fourrages ainsi fertilisés pouvaient être enrichis au point de dépasser largement le seuil de toxicité pour les ruminants. L'importance de l'enrichissement dépend surtout, pour une dose donnée (100 à 150 g/ha), du sol et de l'espèce : les légumineuses réagissent beaucoup plus que les graminées et ceci surtout en sol calcaire (ou chaulé) (PIPER, BECKWITH, 1949) et en fin de saison (REITH, MITCHELL, 1964). Les plantes diverses sont, également, plus sensibles que les graminées (GUPTA, Mc KAY, 1968).

En France, la fertilisation molybdique des luzernes est d'une pratique de plus en plus courante. On a obtenu dans certains sols argilo-calcaires des taux de molybdène trop élevés, qu'un apport de soufre peut corriger (JUSTE et al., 1971). Dans l'état actuel de nos connaissances, des précautions élémentaires d'analyse du fourrage sont donc conseillées avant sa distribution aux animaux.

f) *Sélénium.*

Les engrais sélénisés ont été utilisés pour essayer de lutter contre la myopathie des veaux (carence en sélénium), mais l'assimilabilité du sélénium par la plante est si importante que des accidents de toxicité sur les animaux peuvent se déclarer (ALLAWAY et al., 1966) : pratiquement, l'usage de tels engrais, quelque soit leur forme, est à rejeter (GRANT, 1965).

CONCLUSIONS

L'intensification de la production fourragère modifie la composition minérale des plantes et modifie, par conséquent, les quantités de minéraux ingérées par les animaux ainsi que les équilibres entre eux.

D'abord, les modifications de flore par la fumure tendent, dans les prairies, à donner une part plus grande aux graminées, donc à appauvrir le fourrage en cuivre, mais à l'enrichir en zinc et surtout en manganèse.

L'augmentation des rendements par la fumure tend, de façon générale, à diluer les quantités d'oligoéléments absorbées et par conséquent à appauvrir le fourrage en tous éléments.

Ce phénomène est systématique et évident là où la réserve disponible dans le sol est relativement faible ; c'est le cas des sols issus de roche-mère très pauvres ou de sols longtemps inexploités dans lesquels les oligoéléments se sont accumulés sous une forme organique peu minéralisable.

En sols normalement pourvus et bien exploités, on observe souvent, par contre, un enrichissement en cuivre et zinc lorsque le rendement augmente : les raisons, très complexes et mal connues, sont à chercher à la fois au niveau du sol et de la plante ; dans les conditions actuelles de nos connaissances et dans ces sols normaux, les conséquences de la fumure sont difficiles à prévoir.

En tout état de cause, les graminées et les prairies naturelles à base de graminées sont le plus souvent insuffisamment pourvues en cuivre, cobalt et zinc pour les besoins animaux ; les luzernes sont beaucoup trop pauvres en zinc et surtout en manganèse. Une complémentation minérale directe de l'animal est donc nécessaire pour prévenir tout accident et atteindre des niveaux de production élevés. Pour les animaux au pâturage, il est possible d'enrichir directement les fourrages sur pied par apport d'oligoéléments au sol ou en pulvérisations foliaires ; les limites de cette technique sont en cours d'étude.

Simone PERIGAUD,
I.N.R.A. - C.R.Z.V. de Theix (Saint-Genès-Champanelle).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ALLAWAY W.H., MOORE D.P., OLDFIELD J.E., MUTH A.R.S., 1966. *Movement of physiological levels of selenium from soils through plants to animals*. Journ. Nutrit., 88, 4, 411-418.
- A.R.C., 1965. *The nutrient requirements of farm livestock*, n° 2. Ruminants, Agricultural Research Council, Londres, 264 p.
- BROWN A.L., KRANTZ B.A., EDDINGS J.L., 1970. *Zinc - phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis*. Soil Sci., 110, 6, 415-421.
- COPPENET M., 1968. *Les oligoéléments*. Bull. Techn. Inform., n° 231, 596-608.
- COPPENET M., 1970. *Les oligoéléments en France. Exemples de problèmes régionaux. I. Le Massif Armoricaïn*. Ann. Agron., 21, 5, 587-601.
- COPPENET M., 1970. *Effet des sels de cuivre et de cobalt sur l'enrichissement des plantes fourragères en ces deux oligoéléments*. C.R. Acad. Agric. Fr., 56, 13, 923-937.
- COPPENET M., MORE E., 1973. *Les teneurs en zinc du ray-grass et du maïs*. C.R. Acad. 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.

- DARTIGUES A., 1964. *Déficiencia en zinc chez les végétaux et leurs causes*. Revue bibliographique. Ann. Agron., 15, 667-691.
- DROUINEAU G., MAZOYER R., 1962. *Contribution à l'étude de la toxicité du cuivre dans les sols*. Ann. Agron., 13, 1, 31-53.
- FLEMING G.A., MURPHY W.E., 1968. *The uptake of some major and trace elements by grasses as affected by season and stage of maturity*. J. Brit. Grassl. Soc., 23, 2, 174-185.
- GARTRELL J.W., 1969. *Copper, zinc and molybdenum fertilizers for new land crops and pastures*. J. Agric. West Austria, 9, 2, 517-521.
- GRANT A.B., 1965. *Pasture top-dressing with selenium*. N.Z.J. Agric. Sci., 8, 681-690.
- GUPTA V.C., MACKAY D.C., 1968. *Crop responses to applied molybdenum and copper on podzol soils*. Canad. J. Soil Sci., 48, 3, 235-242.
- HARTMANS J., 1970. *The detection of copper deficiency and other trace element deficiencies under field conditions*. In : Trace element metabolism in animals, Proc. Intern. Symp. Aberdeen 1969. Livingstone, Edinburgh and London, 441-447.
- HEMINGWAY R.G., 1962. *Copper, molybdenum, manganese and iron contents of herbage as influenced by fertilizer treatments over a three-year period*. J. Brit. Grassl. Soc., 17, 3, 182-187.
- HENKENS C.H., 1965. *Guiding principles of trace element fertilizing in the Netherlands*. Landw. Forsh., 18, 108-116.
- JUSTE C., DELAS J., TAUZIN J., 1971. *Carence en soufre de la luzerne en sol de Charente. III. Interaction soufre-molybdate dans un essai réalisé en vase de végétation*. C.R. Acad. Agric., 57, 13, 1134-1139.
- 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.
- KIRCHGESSNER M., GRASSMAN, 1970. *The dynamics of copper absorption*. In : Trace element metabolism in animals, Proc. Intern. Symp., Aberdeen 1969. Livingstone, Edinburgh and London, 277-285.
- LAMAND M., 1972. *Intérêt de la prophylaxie de la myopathie du veau par addition de sélénium aux compléments minéraux des mères*. Ann. Zootechn., 21 (1), 29-35.
- LAMAND M., PERIGAUD S., 1973. *Carences en oligoéléments chez les ruminants en France*. Eléments d'enquête recueillis I auprès des vétérinaires. Ann. Rech. Véter., à paraître.
- LUBET E., 1965. *Carence en zinc sur maïs*. S.E.I., n° 23, 8 p.
- MAC PHEARSON A., HEMINGWAY R.G., 1968. *Effects of liming and various forms of oral copper supplementation on the copper status of grazing sheep*. Journ. Sci. Food. Agric., 19, 53-56.

- MARSTON H.R., 1970. *The requirement of sheep for cobalt or for vitamine B 12*. Brit. J. Nutr., 24, 3, 615-623.
- MILLER J.K., CRAGLE R.G., 1965. *Gastrointestinal sites of absorption and endogenous secretions of zinc in dairy cattle*. J. Dairy Sci., 48, 3, 370-373.
- PERIGAUD S., 1970. *Les carences en oligoéléments chez les ruminants en France. Leur diagnostic. Les problèmes soulevés par l'intensification fourragère*. Ann. Agron., 21, 5, 635-669.
- PERIGAUD S., 1972. *Conséquences de l'intensification fourragère sur la composition en oligoéléments des fourrages*. VII^e Congrès Mond. Fertilisants, Vienne, à paraître.
- PERIGAUD S., LAMAND M., 1973. *Carences en oligoéléments chez les ruminants en France*. Éléments d'enquête recueillis dans les élevages. Ann. Rech. Vétér., à paraître.
- PERIGAUD S., BELLANGER J., 1972. *Possibilités d'enrichissement en cuivre des fourrages*. Bull. Techn. C.R.Z.V., 7, 17-22.
- PIPER C.S., BECKWITH R.S., 1949. *The influence of copper and molybdenum by plants*. Proc. Spec. Conf. Agric. Melbourne, B, 1-13.
- REITH J.W.S., MITCHELL R.L., 1964. *The effect of soil treatment on trace element uptake by plants*. Plant anal. and Fertil. probl. Proc. 4th Coll., 241-254.
- TROCME S., 1960. *Oligoéléments autres que le fer*. Techn. Agric., 1, 1290.
- SCHUTTE K.H., 1964. *Intern. monographs : aspects of animals and human nutrition. The biology of the trace elements. Their role in nutrition*. Crosby Luckwood and Son, London, 228 p.
- STABLES J.W., BOUNDS N., 1969. *A study of fertility and production in low cost production herds*. Vet. Rec., 84, 1, 379-390.
- STOUT P.R., MEAGLIER W.R., PEARSON E.A., JOHNSON C.M., 1951. *Molybdenum nutrition of crop plants I. The influence of phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures*. Plant and Soil, 3, 51-87.
- WALSH T., NEENAN M., O'MOORE L.B., 1952. *Molybdenum in relation to cropping and livestock problems under irish conditions*. Nature, 4317, 149-150.
- WILLIAM R.J., STOJKOVSKA A., COOKE G.W., WIDDOWSON F.V., 1960. *Effects of fertilizers and farm yard manure on the copper, manganese, molybdenum and zinc removed by arable crops at Rothamsted*. J. Sci. Food Agric., 11, 570-575.
- UNDERWOOD E.J., 1971. *Trace elements in human and animal nutrition*, 543 p., Ac. Press New York, Londres.
- VAN LUIT B., 1967. *Influence de quelques facteurs (sol et engrais) sur la teneur en manganèse de l'herbe des prairies*. Landbouwwoorlichting, 24, 9, 302-304.

*Oligo - éléments et
qualité des fourrages*