

*DÉFICIENCES EN CUIVRE ET EN ZINC OBSERVÉES
EN ZONES VOLCANIQUES DE L'Auvergne :
POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ
DES FOINS PAR APPORT AU SOL DE CES DEUX
OLIGO-ÉLÉMENTS*

PLUSIEURS ANALYSES DE SOLS ET DE FOURRAGES PRÉLEVÉS EN ZONE VOLCANIQUE, PRÈS D'ORCIVAL (PUY-DE-DOME) ET A DES ALTITUDES COMPRISES ENTRE 950 ET 1.050 m, ont révélé une déficience caractérisée de ces échantillons en cuivre et en zinc, avec répercussions sur la santé d'un troupeau de bovins. Après application au sol de sulfate de cuivre (SO_4Cu , 5 H_2O) et de sulfate de zinc (SO_4Zn , 7 H_2O), on constate au terme de la deuxième année d'une culture de ray-grass anglais, variété Réveille, une amélioration de la qualité des foins en ces deux oligo-éléments qui s'accroît au cours des troisième et quatrième années. Les teneurs primitivement situées au-dessous des seuils de carence communément admis sont désormais au-dessus de ces seuils pour le zinc, quelle que soit la coupe ; il en est de même pour le cuivre, mais seulement pour les deuxième et troisième coupes, la composition de la première, la plus abondante, restant toujours insuffisante.

*par J. Dejou,
F.-X. de Montard,
M. Lamand
et J. Bellanger.*

INTRODUCTION

Si la genèse et les propriétés physico-chimiques des andosols développés sur les basaltes du Massif Central commencent à être mieux connues grâce surtout aux travaux de HETIER (1975) et de MOINEREAU (1977), beaucoup de problèmes agronomiques concernant l'exploitation de ces sols demeurent encore en suspens. En 1969, GACHON a mis l'accent sur le pouvoir fixateur considérable des sols andiques de l'Auvergne à l'égard du phosphore et sur son importance dans l'estimation des flux de phosphates offerts par le sol aux cultures. Par ailleurs, LAMAND et PÉRIGAUD (1973), puis BELLANGER et al. (1973) ont montré, à la suite d'une large enquête, que les carences en cuivre et zinc sont généralisées sur tout le territoire national et particulièrement en zones volcaniques.

Nous apportons ici quelques données complémentaires sur les oligo-éléments Cu, Zn et Mn des sols et des fourrages prélevés au domaine du Roc, situé à Orcival (Puy-de-Dôme), à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de Clermont-Ferrand, en zone basaltique, d'altitude comprise entre 950 et 1.050 m.

Teneurs en cuivre et en zinc des sols et des fourrages (tableau I)

Ce tableau donne la composition en cuivre, zinc et manganèse des échantillons récoltés. On constate que la teneur des sols en cuivre et zinc est presque nulle, très inférieure aux données moyennes enregistrées pour Cu et Zn totaux des roches basaltiques (PEDRO et DELMAS, 1970) qui atteignent 100 et 300 ppm. La teneur en manganèse total est relativement faible, mais les analyses proposées par MICHEL (1953) pour diverses roches volcaniques de la Comté d'Auvergne montrent que des écarts considérables peuvent exister dans les compositions en cet élément, depuis 0 jusqu'à 2.000 ppm. Ces valeurs se situent pour le cuivre et le zinc au-dessous des seuils de carence auxquels on se réfère dans notre pays. Il faut préciser toutefois que ces derniers n'ont pas été établis en domaine volcanique où, à notre connaissance, de telles données ne sont pas encore connues.

TABLEAU I
OLIGO-ÉLÉMENTS CONTENUS DANS LES SOLS
ET LES FOURRAGES DU DOMAINE I.N.R.A. D'ORCIVAL
ET SEUILS DE CARENCE CORRESPONDANTS
(résultats en ppm)

Oligo-éléments	Référence	Cu	Zn	Mn
I-SOLS				
a/Seuils de carence admis	COPPENET-DUVAL MAURICE (1970)	Sols de Bretagne Extraction de Cu par attaque nitro-perchlorique < 7		Sols de Bretagne Mn actif < 20 si pH > 6 > 100 toxicité probable pour pH < 5
	DARTIGUES-LUBET (1967)		Sols de l'Adour Zn extractible par CIH 0,2 N < 3	
b/ Teneurs des sols d'Or- cival(0-20)cm. Moyennes et écarts-types pour 12 échantillons	Station d'Agronomie INRA (1975)	0,82 ± 0,16	0,80 ± 0,44	119 ± 31 (1)
=====				
II- FOURRAGES				
a/ Seuils de carence des foins de prairies pour les bovins adultes.	PERIGAUD(1970)	4 à 10 (fonction du taux de Mo) moy. = 7	40 à 45	< 40
b/ Teneurs des fourrages d'Orcival Fourrages verts Foins	BELLANGER- LAMAND (1970) PERIGAUD(1970)	3 à 5,9 3,5 à 4,5	30-58 30-33	120 à 230

(1) Remarque - Il s'agit de Mn total ; Mn actif n'a pas été dosé.

Cette déficience des sols en cuivre et en zinc se répercute dans la composition des fourrages qui, là encore, est inférieure aux seuils de carence connus pour les foins de prairie destinés aux bovins adultes, sans que pour autant se manifestent au champ les effets visibles de ces carences. Par contre, le C.R.Z.V. (*) de Theix a constaté des symptômes caractéristi-

ques de ces insuffisances en oligo-éléments chez les ruminants, avec notamment des défauts d'aplomb, des troubles cardiaques, ainsi que la décoloration des poils attribuée au manque de cuivre et des dépilations provoquées par l'insuffisance de zinc (LAMAND, 1970 ; LAMAND ET PÉRIGAUD, 1973).

Il était donc nécessaire d'essayer de corriger les carences en cuivre et en zinc des fourrages — leur composition en manganèse s'avérant correcte — de façon à éliminer les accidents cliniques enregistrés chez les bovins ; d'où la mise en place d'un essai avec installation d'une prairie temporaire sur une parcelle du domaine du Roc, en sol basaltique profond (80 à 100 cm), mais caillouteux à la base, doté d'une légère pente (3 %) et à 1.040 m d'altitude.

IMPLANTATION D'UN RAY-GRASS ANGLAIS (variété Réveille) CONDITIONS DE L'ESSAI

Caractéristiques du sol

Il s'agit d'un andosol développé sur basalte ; dans l'ensemble de la parcelle (720 m²), on observe une homogénéité correcte de l'architecture du profil et de chacun de ses horizons. La surface du sol est d'une coloration brune très foncée ; la texture est typiquement limoneuse, la structure finement grenue étant due à la prairie permanente ayant occupé le sol avant la temporaire. En profondeur, la teinte s'éclaircit ; la texture demeure identique, mais la structure devient polyédrique. On note un excellent enracinement des espèces prairiales jusqu'à 50 cm.

Les analyses granulométriques et chimiques de ce profil sont consignées dans le tableau II ; elles correspondent pour chacun des horizons à un échantillon moyen composé par le mélange d'une douzaine de prélèvements. On retrouve les caractéristiques classiques des andosols des régions tempérées : texture limoneuse dominante, richesse en matières organiques

TABLEAU II
ANALYSE DU SOL DU CHAMP D'ESSAI D'ORCIVAL

Horizons pédologiques	A			A (B)
Profondeur (en cm)	0-10	10-20	20-40	40-60
<u>Granulométrie (en %)</u>				
Argile < 2 μ	14.0	13.4	10.9	6.5
Limon 2-20 μ	31.0	32.3	27.0	18.2
(20-50 μ)	6.5	7.5	9.4	19.0
Sables (50-200 μ)	7.7	9.7	12.3	19.5
(200-500 μ)	6.5	11.0	12.9	15.2
(500-2000 μ)	11.9	6.8	10.3	7.8
Humidité	7.0	6.5	6.6	7.2
Mat. Organiques	15.1	12.3	7.4	6.3

pH eau	5.6	5.5	5.6	5.2
C ‰	88.0	71.6	42.8	36.4
N ‰	6.4	5.8	3.7	3.1
Rapport C/N	13.7	12.3	11.6	11.7
C. E. C. en me/100 g	25.6	23.5	19.4	21.0
(Ca)	4.4	3.8	2.6	1.3
Bases en (Mg)	0.43	0.31	0.21	0.18
me/100g (K)	0.81	0.36	0.26	0.26
(Na)	0.08	0.09	0.08	0.05
Taux de saturation	22.3	19.4	16.2	8.5
P2O5 Dyer ‰	0.41	0.34	-	0.24
K2O échangeable ‰	0.35	0.17	0.12	0.12
Densité apparente	0.78	0.70	0.70	0.70
Cu total (p. p. m)	0.95			
Zn total (p. p. m)	0.64			
Mn total (p. p. m)	140			

TABLEAU III
CONDITIONS CLIMATIQUES
AU COURS DE L'ESSAI D'ORCIVAL
(hypothèse R.F.U. = 100 mm)

Année	1975	1976	1977	1978
Pluviométrie d'avril à octobre(mm)	667	495	796	787
E. T. P. (en mm)	571	673	528	561
E. T. R. (d'après TURC)	563	398	528	480
Pluviométrie annuelle (mm)	996	869	1282	922

non seulement en surface, mais aussi en profondeur, faible saturation du complexe argilo-humique, densité apparente peu élevée ; en outre, les teneurs en cuivre et en zinc totaux sont extrêmement faibles comme dans l'ensemble du domaine.

Données climatologiques

Les données climatologiques figurent dans le tableau III pour la durée de l'expérimentation (1975-1978). Il s'agit d'une région humide, exposée aux précipitations venues de la côte atlantique et caractérisée par des écarts très sensibles d'une année à l'autre. De plus, la répartition des pluies est assez irrégulière durant la phase active de la végétation et aussi en arrière-saison. Cependant, compte tenu de l'altitude, l'évapotranspiration potentielle est plus réduite qu'en plaine et on ne relève pas de saison sèche d'une durée prolongée — à l'exception de l'année 1976 où elle dépasse de 100 à 150 mm celle des autres années.

Quant à la température moyenne annuelle, elle est de l'ordre de 7 °C.

Conditions expérimentales — Implantation de la prairie temporaire

Le ray-grass anglais a été implanté fin avril 1974, mais la production n'a été contrôlée qu'à partir du printemps 1975.

TABLEAU IV
QUANTITÉ ET FORME
DES ÉLÉMENTS FERTILISANTS APPORTÉS
(en kg/ha)

Eléments fertilisants	Date d'apport	1975	1976	1977	1978
N de l'ammonitrate 33,5%	Début de chaque cycle	80+60+40 = 180	80+120+40 = 240	80+90+60 = 230	80+90+60 = 230
P ₂ O ₅ du super 25%	mars-début avril	100	100	100	100
K ₂ O du chlorure de potassium 60%	Début de chaque cycle	100+80+60 = 240	100+160+60 = 320	100+80+60 = 240	100+80+60 = 240
MgO de l'oxyde MgO 100%	mars-début avril	100	100	100	100
Cu du SO ₄ Cu 5H ₂ O 25,3%		7,6	7,6	7,6	0
Zn du SO ₄ Zn 7H ₂ O 22,6%		11,3	11,3	11,3	0

Traitements :

Le protocole choisi comportait six traitements, répétés en quatre blocs sur des parcelles élémentaires de 5 m × 3 m = 15 m², soit vingt-quatre parcelles. Ils étaient les suivants :

- 1) NP
- 2) NP Mg
- 3) NP KMg
- 4) NP KMg + Cu
- 5) NP KMg + Zn
- 6) NP KMg + Cu + Zn

Les trois premiers traitements avaient pour but de tester le comportement du magnésium et du potassium en sol volcanique. Nous ne discuterons pas dans cette note des résultats acquis par ces éléments majeurs, nous réservant de les exposer dans un autre article à l'issue de la campagne 1979 : nous nous limiterons donc aux oligo-éléments avec pour objectif l'étude des rendements et de la qualité des foins récoltés.

Qualité et forme des éléments fertilisants apportés

RÉSULTATS DE L'ESSAI ET DISCUSSION

Les résultats acquis au cours des quatre campagnes d'expérimentation sont consignés dans le tableau V. Il faut noter au préalable que les données de la troisième coupe de 1975 sont quelque peu sujettes à caution, car des animaux ont pénétré dans le champ d'essai peu de jours avant cette récolte.

D'autre part, il n'est pas fait mention ici des rendements acquis dans les parcelles « NP » et « NPMg », qui seront étudiés dans le second mémoire.

Incidence des apports de cuivre et de zinc sur la production agricole globale

Très forte en 1975, la production globale du ray-grass a fortement diminué en 1976 par suite de la sécheresse estivale et s'est maintenue à un bon niveau en 1977 et aussi en 1978 au terme de la cinquième année, ce qui traduit une longévité satisfaisante de la graminée à cette altitude. Le rendement moyen de 11,6 t/ha de M.S., obtenu sur une période de quatre ans avec une fertilisation minérale complète « NPKCaMg », est pratiquement identique à celui des prairies temporaires installées dans les Monts Dore à Laqueuille (11 t /ha) à la même altitude (ARNAUD, 1972). Ainsi se trouvent confirmées les potentialités des sols volcaniques du Massif Central pour la production fourragère.

En se cantonnant aux effets du cuivre et du zinc sur les rendements, on constate que, durant toute la durée de l'essai, l'apport de ces deux oligo-éléments ne s'est pas traduit par un accroissement de rendement. Dans trois cas sur douze, les récoltes ont dépassé celles du traitement « NPKMg » qui sert de référence, mais jamais les différences enregistrées, relativement peu accusées, ne se sont révélées significatives. Nous retrouvons à Orcival un résultat formulé dans la littérature qui fait état d'« effet parfois limité » des engrais cupriques répandus sur le sol sur la production des fourrages (PÉRIGAUD, 1970).

TABLEAU V
RENDEMENTS MOYENS EN M.S. A 105 °C
(t/ha)

1 9 7 5

Traitements	1ère coupe 16/6/75	2ème coupe 29/7/75	3ème coupe 23/9/75	Total	Indice	Signification de l'essai ppds sur la production totale
3-NPKMg	6.25	4.49	2.63	13.37	100	Ind. Rend ^t (t) P=0.05 7.8 1.08 P=0.01 10.8 1.50
4- - + Cu	6.19	4.22	2.67	13.08	98	
5- - + Zn	6.59	4.33	3.09	14.01	105	
6- - + Cu + Zn	6.71	4.55	3.75	15.01	110	

1 9 7 6

id.	8/6/76	3/8/76	21/10/76			
3-NPKMg	5.16	2.06	2.16	9.38	100	P=0.05 13.4 0.99 P=0.01 18.6 1.37
4- - + Cu	4.99	1.87	1.81	8.67	92	
5- - + Zn	5.39	2.27	2.13	9.79	104	
6- - + Cu + Zn	5.00	2.17	2.00	9.17	98	

1 9 7 7

id.	20/6/77	18/8/77	10/10/77			
3-NPKMg	6.72	3.57	2.17	12.46	100	P=0.05 11.1 0.98 P=0.01 13.6 1.19
4- - + Cu	6.43	3.46	1.95	11.84	95	
5- - + Zn	6.59	3.78	2.18	12.55	101	
6- - + Cu + Zn	6.40	3.52	1.98	11.90	96	

1 9 7 8

id.	22/6/78	10/8/78	28/9/78			
3-NPKMg	6.48	2.77	2.08	11.33	100	P=0.05 14.1 1.05 P=0.01 19.5 1.45
4- - + Cu	6.26	2.43	1.82	10.51	92	
5- - + Zn	6.36	2.55	1.98	10.89	96	
6- - + Cu + Zn	6.48	2.56	2.13	11.17	98	
7- NPK	6.45	2.93	2.24	11.62	103	

Remarque - Pour le traitement NPKMg (N° 3), les rendements globaux annuels exprimés en MS se révèlent proportionnels à l'ETR

Année	MS/ETR
1975	23.8
1976	23.6
1977	23.7
1978	23.5

Incidence des apports de cuivre et de zinc sur la qualité des foins (figures 1 et 2)

Ces deux figures montrent les variations de la composition en cuivre et zinc des foins de ray-grass anglais au cours des quatre campagnes et pour chacune des trois coupes annuelles. Il est possible de déduire de ces graphiques et de l'interprétation statistique des résultats les remarques suivantes :

a) Le cuivre (figure 1)

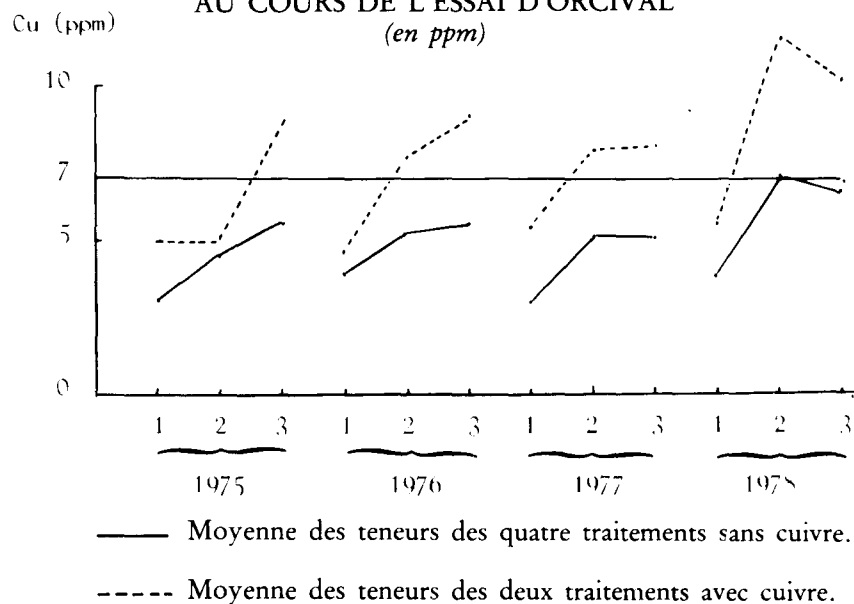
Chaque année, la teneur en cuivre des foins augmente régulièrement de la première à la troisième coupe, sans doute par suite d'un effet de dilution de la première récolte qui représente 50 à 60 % de la production globale. Ce fait a déjà été signalé par PÉRIGAUD (1970) pour des foins récoltés dans le Puy-de-Dôme à Theix et en Combrailles en sols développés sur granites et roches métamorphiques. Dans les quatre traitements sans apport de cuivre, les teneurs restent en dessous du seuil de carence. De telles déficiences sont suffisantes pour expliquer les difficultés rencontrées dans l'élevage des bovins.

L'apport de cuivre au sol sous forme de sulfate se solde, quelle que soit la coupe et même pour l'année 1978 où il n'y a pas eu d'application, par une augmentation de cet élément dans les fourrages, mais celle-ci ne devient significative ($P = 0,05$) par rapport aux traitements sans cuivre qu'à partir de la troisième coupe de 1975, soit six mois après l'épandage. Ensuite, à l'exception de la deuxième coupe de 1978, les différences restent toujours significatives (quatre cas pour $P = 0,05$, un cas pour $P = 0,01$ et trois cas pour $P = 0,001$). Il faut souligner en outre que toutes les premières coupes des parcelles enrichies en cuivre ont des teneurs relativement homogènes (5,1 à 5,7 ppm Cu) mais inférieures au seuil de carence. Pour les autres coupes, ces valeurs dépassent ce seuil ; les fourrages sont par conséquent correctement enrichis.

b) Le zinc (figure 2)

Le comportement de cet élément présente des analogies certaines avec celui du cuivre. Son apport au sol détermine toujours une augmentation progressive de la teneur des fourrages en zinc, mais qui ne devient signifi-

FIGURE 1
VARIATIONS DES TENEURS EN CUIVRE
DANS LE RAY-GRASS ANGLAIS
AU COURS DE L'ESSAI D'ORCIVAL
(en ppm)

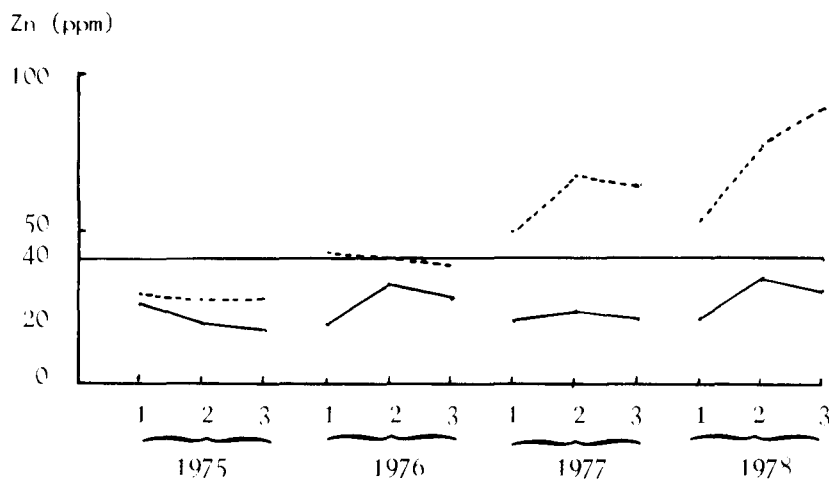


En abscisse : ordre des coupes.

Le seuil de carence est indiqué par la ligne à 7 ppm Cu.

cative qu'à partir de la troisième coupe de 1975. Celle-ci se prolonge jusqu'à la fin de l'essai, malgré l'interruption des apports en 1978. Les parcelles fertilisées donnent alors des fourrages contenant deux à trois fois plus de zinc que les témoins ; le seuil de carence pour l'animal est alors très largement dépassé, contrairement aux foins des parcelles sans zinc qui ont, dans tous les cas, des teneurs très inférieures à ce seuil.

FIGURE 2
VARIATIONS DES TENEURS EN ZINC
DANS LE RAY-GRASS ANGLAIS
AU COURS DE L'ESSAI D'ORCIVAL
(en ppm)



————— Moyenne des teneurs des quatre traitements sans zinc.

----- Moyenne des teneurs des deux traitements avec zinc.

Le seuil de carence est indiqué par la ligne à 40 ppm Zn.

Comparativement au cuivre, le zinc manifeste cependant un métabolisme spécifique, puisque les teneurs en cet élément des deuxième et troisième coupes peuvent être inférieures à celles de la première, comme c'est le cas en 1975. Le phénomène de dilution invoqué pour expliquer la pauvreté relative des première coupes ne peut alors être proposé.

Remarques sur la dynamique du cuivre et du zinc dans le sol et la plante

Les résultats mentionnés au paragraphe précédent traduisent une grande complexité dans la dynamique des deux oligo-éléments à la fois dans le sol et dans la plante.

L'effet des apports de cuivre et de zinc sur la qualité des fourrages n'est significatif qu'au terme d'une période de six mois après leur épandage ; la cession de ces éléments du sol à la plante est donc un phénomène lent, caractérisé par un temps de latence et qui s'amplifie par la suite. Il persiste encore d'une manière aussi importante et significative en 1978 où il n'y a pas eu d'apport. Par ailleurs, la disproportion considérable entre les applications : 7,5 et 11,3 kg/ha/an de cuivre et de zinc et les exportations par les récoltes de l'ordre de 85 g de cuivre et 700 g de zinc/ha/an, y compris en 1978, permet d'envisager un arrière-effet prolongé sur plusieurs années.

D'autre part, il faut aussi souligner la disproportion non moins importante entre les réserves du sol lors de la mise en route de l'essai : 1,4 kg/ha de cuivre et 0,95 kg/ha de zinc dans l'horizon 0-20 cm et les apports qui se sont chiffrés en trois ans à 22,8 kg/ha de cuivre et 33,9 kg/ha de zinc.

Mais, compte tenu de l'absence d'information sur le devenir de ces deux éléments, l'essai sera poursuivi afin d'en établir un bilan approché aux différents niveaux du profil cultural.

Pour expliquer le temps de latence de six mois observé au début de l'essai entre la première application de cuivre et de zinc et les premiers effets positifs, il faut considérer le pouvoir de fixation très fort des sols volcaniques vis-à-vis des oligo-éléments par l'intermédiaire des allophanes, des argiles et de la matière organique qui ne représente pas moins ici de 15 % de la terre fine (FORBES, 1975). D'autre part, le rôle spécifique des argiles a été bien mis en évidence dans les sols dérivés de matériaux basiques (POUPET, 1976).

Une différence nette se manifeste entre le comportement du zinc et celui du cuivre. L'alimentation en zinc dans les parcelles fertilisées semble continue et donne des fourrages correctement pourvus. Par contre, la fourniture du cuivre est plus difficile, si bien que les premières coupes ont

des teneurs constamment inférieures au seuil de carence contrairement aux coupes suivantes qui subissent un effet moindre de dilution.

On retrouve ici une caractéristique du métabolisme général des graminées qui absorbent le cuivre d'une façon beaucoup moins active que les légumineuses (PERIGAUD, 1970 et 1974). D'autre part, on sait que le cuivre peut s'accumuler dans les racines, alors que la partie aérienne est peu alimentée (COIC et al., 1974). Ces divers obstacles, tant au niveau du sol qu'à celui des racines, s'opposent à une alimentation correcte du ray-grass en cuivre et rendent compte des insuffisances constatées dans la composition des fourrages en cet élément.

Teneur des fourrages en manganèse

Cet élément déterminé conjointement au cuivre et au zinc se caractérise par de grandes variations suivant les coupes ; la première est la moins riche : 84 ppm Mn/M.S. en moyenne, tous traitements confondus ; la deuxième et la troisième en contiennent 156 ppm, la différence avec la première étant très hautement significative.

Les exportations annuelles ne varient que très peu avec les traitements : leur répartition entre chacune des coupes est la suivante : 490, 460 et 310 g/ha respectivement pour les première, deuxième et troisième coupes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Si le sol volcanique d'Orcival assure sans apport une alimentation correcte des fourrages en manganèse, il n'en est pas de même pour le zinc et surtout pour le cuivre qui détermine les accidents cliniques les plus graves chez les bovins. Il est donc nécessaire de pallier les insuffisances du

sol en ces deux oligo-éléments. Une fertilisation zincique et cuprique par application de sulfates au sol ne détermine pas une augmentation des rendements du ray-grass anglais, mais permet d'obtenir un fourrage enrichi en ces constituants, ce qui est en définitive l'objectif visé. Toutefois, cette amélioration n'est pas immédiate, ce qui corrobore les observations de PÉRIGAUD et al. (1973) et n'intervient pour les deux éléments qu'à partir de la troisième coupe de l'année d'épandage. Elle se poursuit alors d'une façon régulière pour le zinc et tous les fourrages récoltés sont alors correctement pourvus, si bien que les manifestations de carence constatées sur le bétail ne devraient plus être redoutées. Par contre, par suite de difficultés d'absorption du cuivre dues à la forte rétention du sol et au métabolisme propre de la graminée, les parcelles fertilisées en cuivre ne donnent des fourrages convenablement pourvus en cet oligo-élément que lors des deuxième et troisième coupes, les teneurs en cuivre de la première coupe se révélant toujours inférieures au seuil de carence. Aussi, afin d'éviter les accidents cliniques encore possibles avec les foins de première coupe, est-il justifié d'ajouter du cuivre à l'alimentation des animaux, par l'intermédiaire d'un condiment minéral.

J. DEJOU (1), F.-X. de MONTARD (1),
M. LAMAND (2) et J. BELLANGER (2),
avec la collaboration technique de
G. BAUCHER (1), O. JOURDAN (1)
et B. PONS (1)

(1) I.N.R.A. - Station d'Agronomie, Domaine de Mondésir, 12, avenue de l'Agriculture, 63939 Clermont-Ferrand Cedex.

(2) I.N.R.A. - Laboratoire des Maladies nutritionnelles, C.R.Z.V. de Theix, 63110 Beaumont.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ARNAUD R. (1972) : « Influence du mode d'exploitation sur le comportement des prairies temporaires », *Fourrages*, n° 50, pp. 107-134.
- BELLANGER J., LAMAND M. et PÉRIGAUD Simone (1970) : « La carence en cuivre chez les ruminants », *Ann. Nutr. Alim.*, t. 24, pp. 1-62.
- BELLANGER J., PÉRIGAUD Simone et LAMAND M. (1973) : « Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France - II. Éléments d'enquête obtenus par les analyses de fourrages », *Ann. Rech. Vétér.*, v. 4 (4), pp. 565-598.
- COIC Y., LESAINTE Christiane et CHOLET Yveline (1974) : « Accumulation comparée du cuivre dans les racines et parties aériennes de plantes fourragères en fonction de l'alimentation en cuivre et de la matière nitrique ou nitrico-ammoniacale de l'alimentation azotée », *C.R. Acad. Agri*, pp. 1162-1171.
- COPPENET M. (1970) : « Exemples de problèmes régionaux - I. Le Massif armoricain », *Ann. Agron.*, t. 21, n° 5, pp. 587-601.
- DARTIGUES A. et LUBET E. (1967) : « Relation entre le pH du sol et la manifestation de la carence en zinc du maïs dans un secteur du bassin de l'Adour. Possibilités et limites d'un diagnostic par l'analyse du sol », *Ann. Agro.*, t. 18, pp. 285-299.
- DUVAL L. et MAURICE J. (1970) : « Le diagnostic des carences en oligo-éléments au moyen de l'analyse chimique des sols », *Ann. Agro.*, t. 21, n° 5, pp. 573-586.
- FORBES E.A. (1975) : « Cobalt, copper and zinc in yellow-brown pumice soils under grazed permanent pastures », *Jour. Agric. Research*, n° 2, t. 19, pp. 153-164.
- GACHON L. (1969) : « Les méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols », *Bull. A.F.E.S.*, n° 4, pp. 17-31.
- HETIER J.-M. (1975) : *Formation et évolution des andosols en pays tempéré*, thèse Univ. Nancy, 195 p. + XXIII p. annexes + 13 p. bibliogr.
- LAMAND M. (1970) : « Carences en oligo-éléments chez les ruminants », *Cah. Med. Vét.*, t. 39, n° 2, pp. 60-75.
- LAMAND M. et PÉRIGAUD Simone (1973) : « Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France - I. Éléments d'enquête obtenus dans la pratique vétérinaire », *Ann. Rech. Vétér.* v. 4 (4), pp. 513-534.
- LAMAND M. et PÉRIGAUD Simone (1973) : « Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France - II. Éléments d'enquête obtenus dans les élevages », *Ann. Rech. Vétér.* v. 4 (4), pp. 535-563.
- MICHEL R. (1953) : « Contribution à l'étude pétrographique des pépérites et du volcanisme tertiaire de la Grande-Limagne », *Mém. Soc. Hist. Nat. Auvergne*, n° 5, 140 p.

- MOINEREAU J. (1977) : *Altération des roches, formation et évolution des sols sur basalte sous climat tempéré humide (Velay, Vivarais, Coirons)*, thèse Univ. Sc. et Tech. Languedoc, Montpellier, 139 p. + 30 p. annexes.
- PEDRO G. et DELMAS A.B. (1970) : « Les principes géochimiques de la distribution des éléments — traces dans les sols », *Ann. Agro.*, t. 21, n° 5, pp. 483-518.
- PÉRIGAUD Simone (1970) : « Les carences en oligo-éléments chez les ruminants en France. Leur diagnostic, les problèmes soulevés par l'intensification fourragère », *Ann. Agron.*, t. 21, n° 5, pp. 635-669.
- PÉRIGAUD Simone, TRESSOL J.-C. et AMBOULOU D. (1973) : « Enrichissement en cuivre des fourrages sur pied », *C.R. Acad. Agr.*, pp. 1049-1071.
- PÉRIGAUD Simone (1974) : « Oligo-éléments et qualité des fourrages », *Fourrages*, n° 57, pp. 43-60.
- POUPET P. (1976) : *Contribution à la connaissance du comportement des métaux dans les sols. Cas des sols développés sur les amphibolites du massif de Blanchefort (Corrèze)*, thèse 3^e cycle, Univ. Orléans, 137 p.