HAL
open science

CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS CHEZ LES RUMINANTS EN FRANCE. III. – ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE OBTENUS PAR LES ANALYSES DE FOURRAGES

J. Bellanger, Simone Périgaud, M. Lamand

To cite this version:

J. Bellanger, Simone Périgaud, M. Lamand. CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS CHEZ LES RUMINANTS EN FRANCE. III. – ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE OBTENUS PAR LES ANALYSES DE FOURRAGES. Annales de Recherches Vétérinaires, 1973, 4 (4), pp.565-598. hal-00900782

HAL Id: hal-00900782

https://hal.science/hal-00900782

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ann. Rech. vétér., 1973, **4** (4), 565-598.

CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS CHEZ LES RUMINANTS EN FRANCE

III. — ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE OBTENUS PAR LES ANALYSES DE FOURRAGES

J. BELLANGER, Simone PÉRIGAUD et M. LAMAND

Station de Physiopathologie de la Nutrition,
Centre de Recherches zootechniques et vétérinaires, I. N. R. A.,
Theix, 63110 Beaumont

RÉSUMÉ

L'analyse des fourrages en provenance des élevages qui ont participé ou non à l'enquête sur les carences en oligo-éléments chez les ruminants en France (IIe mémoire) a montré que les foins de 1re coupe sont tous très insuffisamment pourvus en cuivre, zinc et sélénium ; 18 p. 100 de ces foins ont, en outre, des teneurs en manganèse inférieures au seuil de carence animale. Les toxicités molybdiques sont exceptionnelles.

Ces analyses ont également mis en évidence les différences de composition entre les foins de 1re coupe et les autres types de fourrages (foins de luzerne, ensilages, autres cycles, etc.) ainsi que les relations existant entre certains oligo-éléments et les types de sols concernés.

La synthèse des données, obtenues par l'enquête vétérinaire (1er mémoire), l'enquête auprès des éleveurs (IIe mémoire) et les analyses de fourrages (IIIe mémoire), permet d'affirmer l'existence en France de subcarences généralisées en cuivre et probablement en cobalt, en zinc et en sélénium. Les subcarences en manganèse sont moins importantes mais peuvent être rencontrées sur les sols calcaires sains, aggravées dans ce cas par une alimentation à base de luzerne.

I. — INTRODUCTION

Deux enquêtes, l'une auprès des vétérinaires praticiens, l'autre auprès des éleveurs, ont permis de déceler l'existence de carences probables en oligo-éléments (LAMAND, PÉRIGAUD, 1973 ; PÉRIGAUD, LAMAND, 1973). Ces résultats ont été basés sur des descriptions cliniques de malades.

La confirmation de ce diagnostic peut être fournie, au moins pour la période hivernale, par les analyses de foins et autres constituants de la ration de base.

Ces constituants étant relativement variés, leur analyse nous permet, en outre, de préciser quelques lois de variation de leur composition en fonction de leur nature et de leur origine géographique.

II. — MÉTHODES

Nous avons demandé aux éleveurs de nous faire parvenir les foins et autres aliments (à l'exclusion des racines) entrant pour plus de 30 p. 100 (en matière sèche) dans la ration de base du troupeau pendant l'hiver. Nous avons retenu les types d'aliments les plus couramment consommés dans la région : foins de prairies naturelles, foins de prairies temporaires, foins de graminées ou de légumineuses pures ou en mélange, ensilages de maïs...

Des instructions précises ont été données pour les méthodes de prélèvement. Les ensilages de maïs devaient être séchés avant expédition. Une fiche de renseignements devait obligatoirement être jointe à l'échantillon, apportant des précisions sur l'origine, le type de prairie, le numéro et la date de coupe, la méthode de récolte...

Les échantillons ont été analysés après broyage par nos soins. Après minéralisation par voie humide, le cuivre, le zinc, le manganèse ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (BELLANGER, 1971), le sélénium par fluorimétrie (LAMAND, 1969). Le molybdène a été dosé par colorimétrie au thiocyanate (DUVAL, 1971) après minéralisation par voie sèche.

Le cobalt et l'iode n'ont pas été dosés.

Pour chaque oligo-élément étudié, nous avons calculé les teneurs moyennes de différentes catégories d'échantillons correspondant à des types différents d' « aliments » ou à des origines géographiques distinctes. Tous les facteurs étudiés n'étant pas tous également représentés sur l'ensemble du territoire, les comparaisons n'ont porté, pour chacun d'eux, que sur une fraction variable de la totalité des prélèvements. Les comparaisons statistiques ont été faites par le test t entre deux groupes et par le test de Tuckey à partir de trois moyennes.

Le regroupement des résultats par régions est tel que celles-ci représentent soit un département, soit une fraction de département pédologiquement assez homogène ; une région peut aussi être une unité géographique à cheval sur plusieurs départements limitrophes. Les données nécessaires à ce découpage ont été recherchées par nous sur les cartes géologiques et dans les diverses publications de l'I. N. R. A. consacrées aux études de terroirs. Les subdivisions ont été plus ou moins poussées selon les nombres d'échantillons disponibles.

Les regroupements d'échantillons par type de sol concernent, en fait, les types de soubassements géologiques, recherchés par nous également sur les cartes géologiques de France au 1/80 000. Au voisinage de deux formations différentes un échantillon a été enregistré sous ses deux appartenances. Nous avons limité les classes représentées à 35 types différents correspondant, dans toute la mesure du possible, à la subdivision qui avait été précédemment adoptée pour l'enquête auprès des éleveurs (LAMAND, PÉRIGAUD, 1973).

III. — RÉSULTATS

Au total 1 500 échantillons nous sont parvenus en provenance de 48 départements à raison de 5 à 100 échantillons par département. Les prélèvements se trouvent soit bien répartis, soit au contraire localisés dans une seule région agricole.

A. — LE CUIVRE

1. — *Dans les différents types de fourrages étudiés*

A) *Les prairies naturelles.*

a) *Foins de premières coupes.*

1. *Effet de l'année.*

Nous avons pu, dans quelques régions seulement, comparer les foins de deux ou trois années successives.

Les foins de 1970 et 1971, considérés dans l'ensemble des régions intéressées,

sont significativement plus riches en cuivre que ceux de 1969 (tabl. 1). Mais la différence, inférieure à 0,5 mg/kg MS, est de l'ordre de grandeur de la signification d'un chiffre d'analyse, et inférieure à tous les écarts-types entre moyennes des différentes régions. Par ailleurs, au niveau d'une seule région, cette différence n'est plus significative.

Nous avons donc considéré que nous pouvions ici exploiter ensemble les données de ces trois années.

TABLEAU I

Foins de prairies naturelles
Teneurs moyennes en oligo-éléments, trois années successives (1)

	Cuivre		Zinc	
	Nombre d'échantillons	Cu mg/kg MS	Nombre d'échantillons	Zn mg/kg MS
1969	77	4,93*	33	28,15*
1970	78	5,40*	22	33,31*
1971	17	5,34		

(1) Comparaisons faites sur la totalité des régions qui ont fourni au moins 5 échantillons sur chacune des 3 années.
* Valeurs dont la différence est significative.

2. *Effet du « déprimage ».*

Dans certaines régions, les premiers cycles sont parfois « déprimés » par un passage précoce d'animaux (1). Sur les 200 échantillons de foins de prairie naturelle provenant de régions où existent les deux modes d'exploitation, avec ou sans « déprimage », on observe une teneur moyenne en cuivre légèrement améliorée par le déprimage (5,31 contre 5,12 p.p.m.), mais cette différence n'est pas significative (tabl. 2, 1re part.)

La teneur moyenne en cuivre des prairies naturelles, premières coupes, déprimées ou non, analysées ici (454 échantillons), est donc de :

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 5{,}20 \pm 0{,}05 \text{ mg Cu/kg MS}$$

avec des teneurs individuelles extrêmes de 2,8 à 8,8 et 70 p. 100 de l'ensemble se situant entre 4 et 6 mg/kg MS (tabl. 3).

b) *Autres coupes.* — Les résultats sont reportés sur le tableau 2, 1re partie. En moyenne, les secondes coupes sont mieux pourvues en cuivre que les premières (7,84 mg Cu/kg MS en secondes coupes contre 5,17 en premières). Toutefois, dans certains départements, la différence n'est pas significative : la seconde coupe est en fait très subordonnée aux conditions climatiques, extrêmement variables d'une région à l'autre et d'une année à l'autre. Il est difficile de raisonner au niveau national : tout

(1) Le « déprimage » est un pâturage, au stade du tout début de la montaison, qui a pour but de raser l'herbe sans toucher aux ébauches d'épis.

TABLEAU 2

Teneurs moyennes en oligo-éléments des prairies en France (1969-1970-1971)
(mg/kg MS)

	Cu			Zn			Mn		
	Nbre Ech.	mg/kg MS	σ_m	Nbre éch.	mg/kg MS	σ_m	Nbre éch.	mg/kg MS	σ_m
I. *Prairies naturelles*									
Foins 1re coupe — déprimées	93	5,31	0,12	98	31,64	0,69			
Foins 1re coupe — non déprimées	109	5,12	0,11	142	27,83**	0,61			
Foins 1re coupe — toutes confondues	454	5,20	0,05	439	29,09	0,37	487	158,15	5,27
Foins 1re coupe	77	5,17	0,11	80	30,33	0,80			
2e coupe (mêmes régions)	22	7,84**	0,34	21	36,57*	1,57			
Foins 1re coupe	116	5,27	0,10	116	29,76	0,73	66	177,80	15,03
Regains (mêmes régions)	26	7,55**	0,31	26	39,57**	1,81	12	248,91	54,12
Herbe pâturée	19	7,49	0,59	5	43,60	2,11	19	182,52	32,38
foins (mêmes régions)	40	5,04**	0,12	24	30,87**	1,17	41	130,70	17,5
II. *Graminées*									
Foins Ray-Grass Italie 1res coupes — déprimées	7	5,28	0,39	7	32,14	2,28	7	105,00	19,61
Foins Ray-Grass Italie 1res coupes — non déprimées	7	4,32	0,49	6	25,33*	1,78	6	85,83	11,65
Foins Ray-Grass Italie 1res coupes — toutes confondues	23	4,93	0,27	23	26,52	1,44	23	110	14,52
Foins prairie nat. 1re coupe (mêmes régions)	55	5,18	0,15	52	30,25	0,89	55	130,61	11,24
Foins autres Gram. 1re coupe	17	4,88	0,29	17	27,47	1,93	17	133	18,4
Ensilages Ray-Grass d'Italie	6	6,70	0,53	6	28,83	1,7	6	128	22
Foins (mêmes régions)	120	5,20**	0,10	102	26,95	0,69	41	118	85,3
Ensilages Maïs	32	6,09	0,29	26	26	1,57	31	55,6*	8,65

TABLEAU 2 *(suite)*

	Cu			Zn			Mn		
	Nbre Ech.	mg/kg MS	σ_m	Nbre éch.	mg/kg MS	σ_m	Nbre éch.	mg/kg MS	σ_m
III. *Foins de légumineuses*									
Luzerne 1re coupe	11	6,47	0,34	11	21,36	1,07	11	26,90	2,98
Prairie naturelle (mêmes régions)	39	4,91**	0,15	35	26,65*	1,29	39	104,74*	15,54
Luzerne 1re coupe	23	7,06	0,31	22	24,63	2,05	24	29,04	2,44
Luzerne 2e coupe	19	7,48	0,29	18	23,66	1,08			
Trèfle violet 1re coupe	7	6,65	0,53	7	21	1,52	10	62,70	22,32
Prairie naturelle (mêmes régions)	55	5,18**	0,15	52	30,25**	0,89			
IV. *Foins de temporaires*									
— A base de luzerne (1re coupe)	35	5,99	0,31	35	23,78	1,39	59	64,86	5,69
Prairie naturelle (mêmes régions)	61	5,27	0,13	64	29,27**	1,03			
1re coupe de temporaire	9	5,23	0,32						
2e coupe (mêmes régions)	5	6,50*	0,21						
— A base de trèfle violet (1re coupe)	15	4,24	0,29	15	23,50	1,02	15	109	15,63
Prairies naturelles (mêmes régions)	52	5,09*	0,14	50	27,73*	1,01	51	149,60	14,65
1re coupe de temporaire	10	5,23	0,35	37	23,05	1,27	43	92,60	10,94
2e coupe (mêmes régions)	8	7,68**	1,05	21	27,95*	1,59	21	114,52	17,08
— Complexes (1re coupe)	58	5,52	0,20	59	26,28	1,29	58	134,15	12,08
Prairies naturelles (mêmes régions)	83	5,14	0,11	94	29,63*	0,83	83	187,18	12,85
1re coupe de temporaire	134	5,33	0,12	129	24,99	0,64	134	128,45	7,01
2e coupe (mêmes régions)	16	6,35*	0,54	17	25,11		16	105,18	19,77

* Différence significative à $P < 0,05$.
** à $P < 0,01$.
} avec le chiffre précédent de la même colonne.

au plus peut-on dire que les secondes coupes sont susceptibles d'atteindre des teneurs plus élevées en cuivre (jusqu'à 9 mg/kg MS) que les premières coupes.

Les *regains*, qui correspondent à la dernière coupe productive d'arrière saison, sont beaucoup plus homogènes et toujours mieux pourvus en cuivre : 7,55 contre 5,27 mg/kg MS.

L'herbe pâturée beaucoup plus jeune est nettement plus riche que le foin : 8 mg/kg MS contre 5. En Seine-Maritime, l'herbe atteint 11,1 mg/kg MS contre 4,8 dans les foins.

TABLEAU 3

Répartition des foins de prairie naturelle premières coupes en classes de teneurs croissantes en cuivre

Classe	Nombre de cas p. 100 du total
< 3 mg/kg MS	0,4
3-3,9	9,8
4-4,9	34,0
5-5,9	35,0
6-6,9	14,5
7-7,9	5,0
8-8,9	1,3

B) *Les cultures pures.*

Les données sont synthétisées dans le tableau 2, 2e et 3e parties.

Le déprimage tend, comme précédemment, à augmenter la teneur en cuivre du *foin de Ray-Grass d'Italie* (5,28 contre 4,32 mg/kg MS) mais la dispersion est importante et la différence non significative. Dans l'ensemble et globalement, les Ray-Grass d'Italie ont tendance à être un peu plus pauvres que les prairies naturelles des mêmes régions (4,93 mg/kg MS contre 5,18), mais la différence n'est pas significative.

Les *foins de luzerne*, premières coupes, dont nous disposons, sont, en moyenne, significativement plus riches en cuivre que les prairies naturelles de même provenance (6,47 mg/kg MS contre 4,91). Cependant, cette différence n'est pas significative dans certaines régions (Seine-Maritime). Les secondes coupes apparaissent partout un peu mieux pourvues que les premières, mais ne le sont pas de façon significative (plus grande dispersion).

Les *foins de trèfles violets*, premières coupes, qui proviennent de Seine-Maritime, sont significativement mieux pourvus en cuivre que les graminées (6,65 mg/kg MS contre 5,18).

Les *ensilages de Ray-Grass d'Italie* sont, dans notre étude, très peu représentés ; les six échantillons dont nous disposons sont mieux pourvus en cuivre que les foins de même origine (6,70 mg Cu/kg MS contre 5,20).

Les *ensilages de maïs*, dont nous disposons, ont des teneurs en cuivre extrêmement variables, depuis 3,3 jusqu'à 32 mg/kg MS (ensilages de plantes entières sans addition de minéraux). Des taux de zinc atteignant 200 mg/kg MS démontrent qu'en fait de fortes contaminations sont fréquentes, dues aux propriétés dissolvantes de ce

produit très acide (contamination par les sondes de prélèvements, les plateaux de séchage, les peintures diverses ; etc.). Ces taux anormaux de zinc sont accompagnés des teneurs en cuivre les plus élevées : nous avons donc éliminé tous ces échantillons nettement aberrants.

Dans ces conditions, la teneur moyenne des ensilages de maïs considérés comme non contaminés est de 6,0 mg Cu/kg MS, avec des extrêmes de 3,3 à 9,8. Les ensilages d'épis semblent beaucoup plus pauvres que ceux de plantes entières (2,0 à 3,6 mg/kg MS, extrêmes de quatre échantillons).

C) *Les prairies temporaires.*

Les résultats sont reportés dans le tableau 2, 4e partie.

Un essai de répartition des échantillons de temporaires à base de luzerne en fonction de l'importance relative de la luzerne dans le mélange fourrager n'a révélé aucune différence entre ces catégories, le renseignement fourni par l'exploitant n'étant vraisemblablement pas toujours exact. Il n'a donc pas été tenu compte de cette donnée.

Dans ces conditions, les foins premières coupes de prairies à base de luzerne sont un peu plus riches en cuivre que les prairies naturelles des mêmes régions (5,99 mg Cu/kg MS contre 5,27), mais cette différence n'est pas significative. Les secondes coupes apparaissent un peu plus riches que les premières (6,5 contre 5,3).

Les foins de temporaires, 1re coupe, à base de *trèfle violet,* ont des teneurs en cuivre plus faibles que celles des prairies naturelles (4,24 contre 5,09). Les secondes coupes contiennent significativement plus de cuivre que les premières (7,68 contre 5,25) mais la dispersion reste importante.

Les foins, premières coupes, des *temporaires complexes,* à base de trèfle blanc et autres légumineuses secondaires, sont comparables à ceux des foins de prairies naturelles, et les secondes coupes sont significativement plus riches que les premières (6,35 mg/kg MS contre 5,33).

Il est normal, dans ces conditions, que les échantillons de mélanges de prairies naturelles et de prairies temporaires premières coupes n'apparaissent pas différents des échantillons de prairies naturelles pures.

2. — *Dans les différentes régions et selon les sols*

A) *Les foins de prairies naturelles* (1res coupes).

Les teneurs moyennes en cuivre des foins de prairies naturelles, premières coupes, dans les différentes régions s'échelonnent entre 4,20 et 6,45 mg/kg MS (PÉRIGAUD *et al.*, 1972). Les foins les plus pauvres se situent d'une part dans le Centre, l'Ouest armoricain et les Vosges, d'autre part sur les bordures ouest du Bassin Parisien et du Massif Central, le pied des Pyrénées et le Sud-Est.

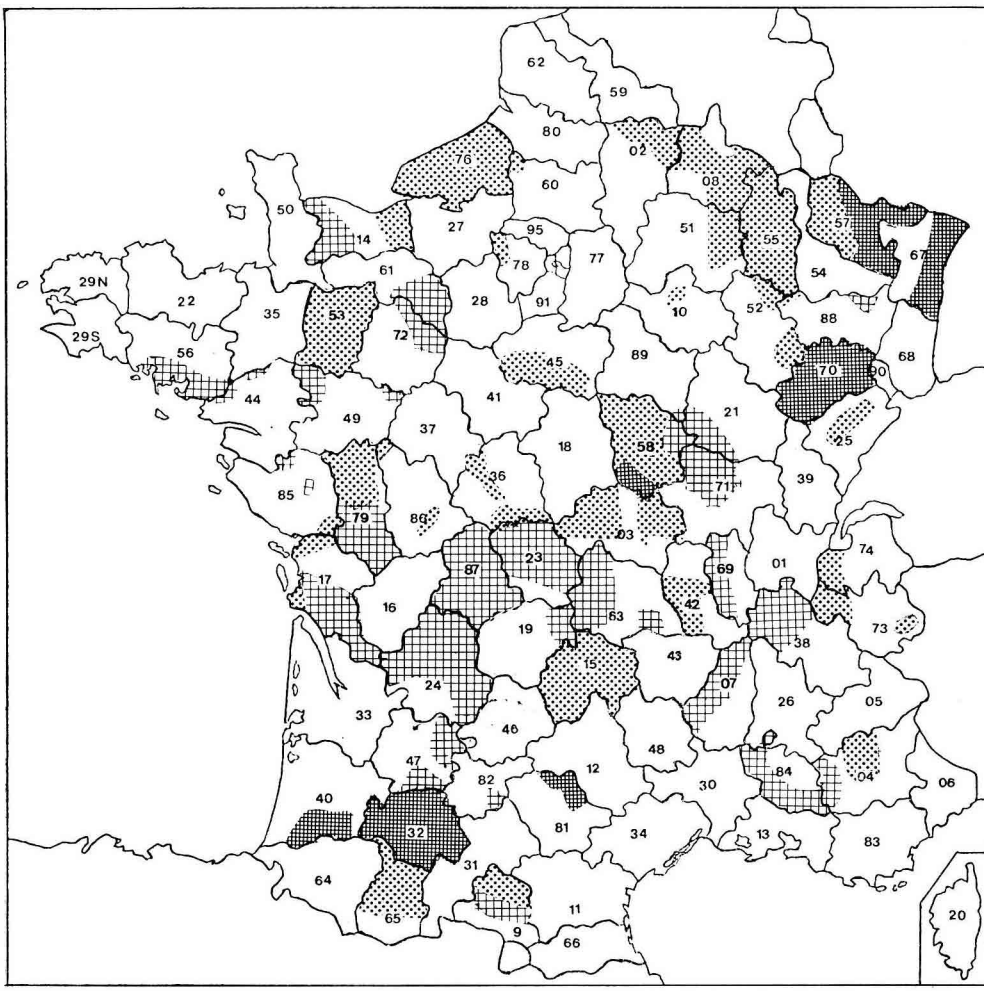
B) *Ensemble de tous les foins de première coupe.*

De l'ensemble des résultats obtenus sur tous les types de foins dosés, il ressort que les foins de première coupe n'ont pas des teneurs en cuivre très modifiées par leur composition botanique, qu'il s'agisse de prairies naturelles ou de temporaires, de graminées pures ou de mélanges complexes. Les ensilages de maïs, plantes entières, ne s'en écartent pas non plus profondément. Les luzernes ou les trèfles violets purs

par contre sont un peu différents. Les regains sont toujours beaucoup plus riches ainsi que les stades de récoltes précoces (herbe de pâture, ensilage d'herbe).

Dans ces conditions, nous avons pu caractériser les régions étudiées par la moyenne de tous les foins premières coupes qui ne diffèrent pas significativement entre eux, c'est-à-dire tout ce qui n'est pas foin de légumineuse pure (annexe I).

Avec l'ensemble de ces foins le recouvrement du territoire est plus important que par les seules prairies naturelles ; il nous donne une vue plus complète de la composition



Teneurs en CUIVRE des foins de prairies naturelles et temporaires premières coupes

Teneurs moyennes en ppm	$\bar{x}<5$	$5 \leq \bar{x}<6$	$\bar{x} \geq 6$

CARTE I

TABLEAU 4

Teneurs des foins de 1re coupe dans les différents types de sols

Roche mère	Lieu (N° département)	Cu mg/kg MS			Zn mg/kg MS			Mn mg/kg MS teneurs extrêmes
		N	$\overline{X}$	$\sigma/\sqrt{N}$	N	$\overline{X}$	$\sigma/\sqrt{N}$	
Schistes, micaschistes....	7-9-15-36-63-81-85-87	29	4,93	0,21	30	29,10	1,98	61-575
Gneiss	3-7-15-19-24-36-42-56-63-87	62	4,79	0,13	62	28,35	0,98	78-436
Migmatites + anatexites.	15-19-23-63-87	33	4,86	0,15	33	29,16	1,19	83-508
Granites	3-7-14-15-23-42-58-63-69-79-87	77	4,84	0,96	76	30,06	1,01	59-509
Granulites	3-7-36-44-79-85	13	4,35	0,28	13	24,61	1,60	62-482
Andésites	15-63	13	4,97	0,28	13	31,38	1,93	65-407
Basaltes.....	15-63	29	5,01	0,20	29	24,75	1,14	29-400
Phyllades et schistes précambriens	14-44-49-53-79	33	4,73	0,18	33	24,68	1,15	34-407
Grès, schistes primaires..	3-14-71-81	19	4,95	0,24	19	28,68	1,35	49-450
Calcaires, grès, marnes, Trias et Infralias	3-7-21-52-57-70-88	29	5,24	0,18	23	28,95	1,55	33-276 (1)
Marnes Lias	8-18-21-24-52-57-58-70-79	35	5,18	0,17	31	27,38	1,31	38-516
Calcaire Bajocien, Bathonien	8-14-21-55-58-70-79	36	5,18	0,16	35	24,48	0,90	18-149
Calcaire, marnes, Callovien, Oxfordien	8-14-55-58-70	26	5,38	0,16	26	27,57	1,12	41-230
Calcaire Raucacien, Séquanien	17-24-25-55-70-79	33	5,42	0,16	33	28,48	0,96	29-231 (2)
Calcaire marneux, Kimméridgien, Portlandien .	17-25-55-76	20	5,67	0,20	21	30,38	2,06	26-446
Calcaires, marnes, Crétacé	8-9-17-24-49-76	44	5,01	0,15	44	28,52	1,42	24-499
Calcaire grèseux et glauconnieux. Crétacé	2-4-51-61-72-79	20	5,49	0,22	20	28,90	1,77	15-261
Argile à silex-crétacé ...	2-17-36-76-80	39	4,71	0,16	39	27,53	1,19	35-247
Craie, Crétacé	2-10-14-51-61-76	25	5,27	0,22	24	29,41	1,44	26-223
Sables, argiles, Détritique, Tertiaire	3-24-32-36-40-42-45-58-78-86	39	5,34	0,22	37	25,35	0,98	36-366
Calcaires grèseux, molasses, marnes tertiaires	9-32-40-47-64-78-82	42	5,02	0,14	41	21,07	0,95	31-335
Calcaires tertiaires cônes déjection Sud-Est	4-84	17	5,12	0,24	17	23,17	1,30	17-57
Cailloutis tertiaire.....	65	13	5,18	0,45	13	22,38	1,65	55-240
Limons des plateaux Miopliocène et Pliocène ..	2-36-45-76-78-79	69	5,28	0,13	64	29,15	0,77	32-253
Alluvions fluviomarines .	17-85	9	5,45	0,23	9	37,00	4,27	43-217
Colluvium glaciaire.....	1-4-12-38-64-73-74	16	5,18	0,30	15	26,93	2,37	25-240

(1) Tous les foins sur grès triasiques ont des teneurs supérieures à 100 mg Mn/kg MS.
(2) Tous les foins du plateau Jurassien ont des teneurs supérieures à 100 mg Mn/kg MS.

moyenne des rations hivernales dans les types d'alimentations traditionnelles à base de foins. Compte tenu de la précision des analyses (0,5 mg/kg MS) et de l'erreur type (0,13 à 0,87) ; les moyennes par région sont réparties en 3 classes de teneurs croissantes en cuivre avec un intervalle de classe de 1 mg/kg MS (carte 1).

Cette carte confirme, en les étendant, les observations faites à propos des seules prairies naturelles. La Sologne, la Brenne, le Plateau Lorrain, le Sud-Ouest, les marais de l'Ouest ne donnent pas des foins particulièrement pauvres.

Le regroupement des échantillons par type de sol (tabl. 4) montre que les foins les plus pauvres en cuivre proviennent des granites, granulites et roches métamorphiques ainsi que des sédiments primaires siliceux et des argiles à silex. Les différences entre ces moyennes sont significatives au-delà de 0,3 mg Cu/kg MS.

B. — Le zinc

1. — *Dans les différents types de fourrages étudiés*

A. *Les prairies naturelles.*

a) *Foins de premières coupes.*

1. *Effet de l'année.*

Comme pour le cuivre (tabl. 1), les foins de 1969 sont moins bons que ceux de 1970 (28,15 contre 33,31 mg/kg MS) ; la différence cependant est peu importante et, comme précédemment, tous les échantillons 1969 et 1970 ont été exploités ensemble.

2. *Déprimage.*

Le déprimage donne des foins un peu plus riches en zinc, cette différence étant hautement significative au niveau national (31,64 mg Zn/kg MS contre 27,83, tabl. 2, 1re part.).

Toutefois, la variation individuelle est telle qu'au niveau d'une région cette différence est rarement significative.

TABLEAU 5

Répartition des foins de prairie naturelle premières coupes en classes de teneurs croissantes en zinc

Classe	Nombre de cas p. 100 du total
< 15 mg/kg MS	1,1
15-19,9	8,4
20-24,9	19,2
25-29,9	26,9
30-34,9	24,2
35-39,9	10,5
40-44,9	6,2
45-49,9	2,1
> 50 (< 60)	1,4

Sur l'ensemble des 440 foins de première coupe, déprimés ou non, la teneur moyenne en zinc est de :

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 29{,}09 \pm 0{,}37 \text{ mg Zn/kg MS}$$

avec des teneurs individuelles extrêmes de 13 à 60 mg/kg MS et 80 p. 100 des échantillons se répartissant entre 20 et 40 (tabl. 5).

b) *Autres coupes.* — Comme pour le cuivre, *l'herbe* exploitée au stade pâture est plus riche que le foin : dans la région où des comparaisons sont possibles, l'herbe contient 43,6 mg Zn/kg MS, contre 30,8 dans le foin (tabl. 2).

Les secondes coupes sont également mieux pourvues que les premières : 36,57 contre 30,33 mg/kg MS ; mais, comme pour le cuivre, cette différence n'est pas toujours significative au niveau d'une région. Les *regains* sont également toujours plus riches en zinc que les premières coupes (39,6 contre 29,7 mg/kg MS, tabl. 2).

B. *Les graminées pures.*

Le déprimage, comme dans les prairies naturelles, augmente la teneur relative en zinc du Ray-Grass d'Italie, et ceci de façon significative (25,3 contre 32,1 mg/kg MS, tabl. 2, 2e part.).

Les autres graminées prairiales ont sensiblement la même composition que les prairies naturelles, de même que les ensilages de maïs.

C. *Les légumineuses et prairies mixtes.*

Des régions où la comparaison est possible, il ressort nettement que les luzernes et surtout les trèfles violets sont toujours plus pauvres en zinc que les prairies naturelles (tabl. 2, 3e part.).

Les prairies temporaires à base de luzerne sont donc plus pauvres en zinc que les prairies naturelles (29,3 contre 23,8 mg/kg MS). Il en est de même pour les prairies à base de trèfle violet (27,7 contre 23,5 mg/kg MS). Les légumineuses autres que la luzerne et le trèfle violet impriment le même caractère (29,6 contre 26,3 mg/kg MS).

2. — *Dans les différentes régions et selon les sols*

A. *Les foins de prairie naturelle* (1res coupes).

Les teneurs moyennes en zinc des foins dans les différentes régions s'échelonnent entre 18,5 et 36 mg/kg MS (Périgaud *et al.*, 1972).

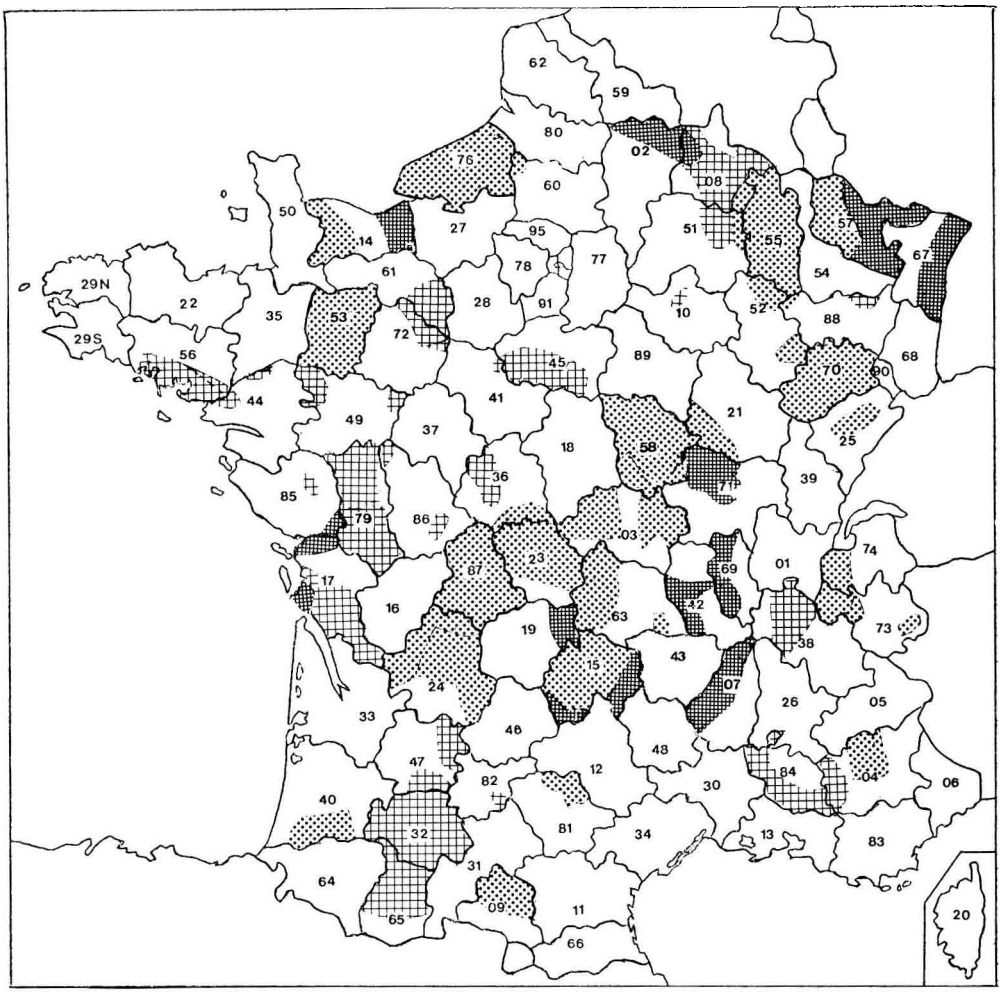
Les foins de prairies naturelles les plus pauvres ($<$ 25 mg/kg MS) ne se situent pas, en général, dans le Centre de la France mais plutôt à la périphérie (Ardennes, Perche-Anjou, Saintonge-Agenais) et dans le Sud-Est (Mont Ventoux et région de Forcalquier). Le Gers apparaît également très pauvre.

B. *Ensemble de tous les foins de premières coupes.*

Bien que le type floristique ne soit pas sans conséquence sur la teneur en zinc d'une prairie, son effet est relativement limité ; des moyennes ont donc été calculées, comme pour le cuivre, pour tous les foins de 1re coupe (annexe 1) : ce « mélange »

a pour conséquence que cette moyenne tend à être un peu inférieure à celle des prairies naturelles.

L'ensemble est réparti en trois classes de teneurs croissantes en zinc (carte 2). On confirme que les foins les plus pauvres (< 25 mg/kg MS Zn) se situent dans l'Ouest et le Sud-Est. Ils atteignent les teneurs les plus élevées dans l'Est, l'est du Massif Central et les marais de l'Ouest.



Teneurs en ZINC des foins de prairies naturelles et temporaires premières coupes

Teneurs moyennes en ppm	$\bar{x} < 25$	$25 \leq \bar{x} < 32$	$\bar{x} \geq 32$

CARTE 2

Les teneurs en zinc des foins en fonction des types de roche mère sont indiqués dans le tableau 4 ; les différentes moyennes ne sont significatives qu'au-delà de 3 mg/kg MS avec une erreur type inférieure à 2 mg/kg MS. Les foins les plus pauvres en zinc sont localisés sur les calcaires gréseux et les molasses tertiaires ainsi que sur les Terrasses et Cailloutis provenant des torrents pyrénéens.

C. — Le manganèse

1. — *Dans les différents types de fourrages*

La teneur moyenne en manganèse des 440 foins de prairie naturelle de première coupe, déprimés ou non, est de :

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 158{,}15 \pm 5{,}27 \text{ mg Mn/kg MS}$$

avec des teneurs individuelles extrêmes variant de 12 à 580 mg, 18 p. 100 de l'ensemble se situant au-dessous de 50 et 60 p. 100 au-dessus de 100 mg/kg MS (tabl. 6).

TABLEAU 6

Répartition des foins de prairie naturelle premières coupes en classes de teneur croissante en manganèse

Classe	Nombre de cas p. 100 du total
< 25 mg/kg MS	3,5
25-50	15
50-100	22
100-200	29
200-300	18
300-400	7
400-500	4
500-600	1,5

L'extrême dispersion des teneurs à l'intérieur d'un même groupe de prairies fait que, si les différences entre moyennes suivent souvent les mêmes lois que pour les autres oligo-élements, celles-ci sont rarement significatives (tabl. 2).

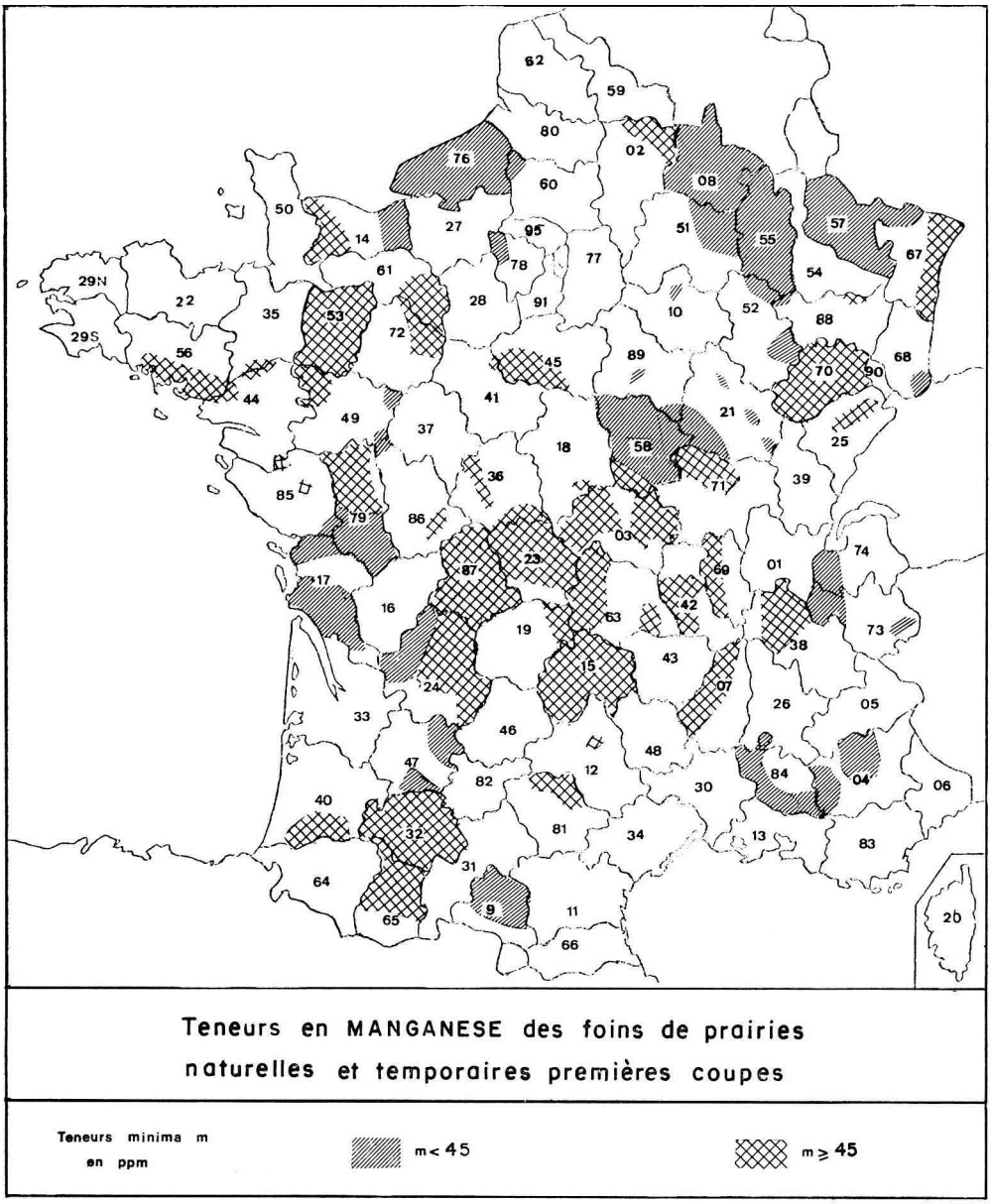
Seules les *luzernes* apparaissent, de façon nette, toujours beaucoup moins bien pourvues en manganèse que les prairies naturelles (27 contre 104 mg/kg MS). Cette différence importante de composition se répercute sur les temporaires, mais de façon non significative.

Le maïs est plus pauvre en manganèse que les graminées prairiales (tabl. 2).

2. — *Dans les différentes régions*

A l'intérieur d'une même région géographique, on constate également une extrême dispersion des teneurs en manganèse (Perigaud *et al.*, 1972). Cette dispersion est telle qu'aucune moyenne régionale ne peut avoir de sens ; nous ne donnons que les

teneurs extrêmes rencontrées (annexe 1). La carte des teneurs en manganèse des foins de 1re coupe (carte 3) ne présente pas, comme précédemment, trois classes de teneurs moyennes croissantes mais deux types de régions : celles dans lesquelles la teneur minima en manganèse des foins est toujours supérieure à 45 mg/kg MS et celles qui contiennent au moins un foin de teneur < 45 mg/kg MS.



Carte 3

Ce dernier cas se rencontre très souvent avec une extension plus large que celle citée à propos de la classe de fourrages les plus pauvres en cuivre : les Ardennes, la Meuse, la Haute-Marne et la Moselle, la Seine-Maritime et le Bocage normand, la Bourgogne, le Nivernais et le Morvan, le Poitou, la Saintonge jusqu'au Périgord et l'Agenais, enfin le Sud-Est et le Pied des Alpes.

Dans cet ensemble, le Sud-Est, avec des foins dont les teneurs sont *toutes* inférieures à 60 mg/kg MS se montre particulièrement pauvre. Les régions de Champagne dépassent rarement 80 mg/kg MS.

A l'opposé, le Massif Central, les Alpes, le Jura produisent des foins très largement pourvus en manganèse.

Le tableau 4 précise les teneurs extrêmes rencontrées sur les différents types de sols. Les foins les plus pauvres en manganèse se rencontrent sur certains sols calcaires. Les foins provenant des granites, granulites, roches métamorphiques etc. sont au contraire presque toujours très largement pourvus.

D. — Le molybdène

Nous ne disposons pas, pour le molybdène, d'un nombre aussi important de données analytiques que pour le cuivre, le zinc et le manganèse ; cependant, toutes les régions étudiées précédemment sont représentées.

1. — *Dans les différents types de fourrages*

La teneur moyenne des 193 foins dosés de prairies naturelles, 1re coupe est de :

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 0{,}63 \pm 0{,}04 \text{ mg Mo/kg MS.}$$

Celle des prairies temporaires complexes (41 échantillons) est de :

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 0{,}74 \pm 0{,}08 \text{ mg Mo/kg MS.}$$

Les trèfles violets (9 échantillons) et les luzernes pures (11 échantillons) ont des teneurs légèrement plus faibles (0,33 et 0,39 mg Mo/kg MS). Les temporaires à base de ces légumineuses apparaissent intermédiaires.

Les regains sont un peu plus riches (1,18 ± 0,33 mg/kg MS pour 11 échantillons).

2. — *Dans les différentes régions*

Les teneurs extrêmes en molybdène des foins des différentes régions sont indiquées en annexe II.

— Des foins particulièrement pauvres en molybdène (< 0,1 mg/kg MS) ont été trouvés en Dordogne, dans le Lot-et-Garonne, dans l'Indre, dans la Marne.

— A l'opposé, des teneurs élevées, supérieures à 3 mg/kg MS se rencontrent exceptionnellement dans les Ardennes, la Haute-Saône.

— Les teneurs intermédiaires se rencontrent dans le Puy-de-Dôme, la Haute-Vienne, les Deux-Sèvres. Dans ces départements, les regains tendent à atteindre des taux de 3 mg/kg MS.

E. — Le sélénium

Le nombre d'échantillons de premières coupes dosés n'est, pour le sélénium, que de 115, répartis sur tout le territoire étudié avec souvent deux dosages seulement par département (annexe II). La teneur moyenne de l'ensemble est de 0,05 mg Se/kg MS avec des extrêmes de 0,011 à 0,11.

Les autres coupes et les légumineuses n'ont été étudiées que sur douze cas au total ; tous ont des teneurs en sélénium se situant dans le même intervalle. Seuls les regains semblent le dépasser avec 0,16 mg/kg MS.

IV. — DISCUSSION

A. — Composition en oligo-éléments des fourrages étudiés

1. — *Influence des types de fourrages et des modes d'exploitation.*

a) La composition en oligo-éléments des foins de prairies naturelles varie avec *l'année*, mais dans des limites qui restent assez étroites pour les trois années étudiées, de l'ordre de 0,5 mg/kg MS pour le cuivre et 5 mg/kg MS pour le zinc. Des variations plus importantes sont possibles (Fleming, Murphy, 1968 ; Gawecki *et al.*, 1968).

b) Le *déprimage* qui améliore la qualité des fourrages récoltés ultérieurement (Demarquilly, communication personnelle) a aussi pour conséquence d'augmenter leur teneur en cuivre et surtout en zinc. Les regains sont d'autre part toujours nettement plus riches que les premiers cycles.

Autrement dit, les techniques qui tendent à améliorer la qualité des fourrages et les cycles qui sont toujours les meilleurs correspondent aussi à un niveau plus élevé en oligo-éléments.

c) Comme nous l'avons confirmé par ailleurs (Périgaud, 1970, 1972 *a* et *b*), les fourrages *récoltés de façon précoce*, c'est-à-dire l'herbe de pâture puis l'ensilage, sont toujours plus riches en cuivre et en zinc que les foins correspondants : la plante s'appauvrit avec l'âge (Fleming, Murphy, 1968). Cet appauvrissement continuerait au cours de la maturation des semences (Kirchgessner, 1965), aussi les foins récoltés de façon trop tardive sont-ils particulièrement pauvres en cuivre.

d) *La composition botanique* des foins de 1re coupe, légumineuses pures mises à part, n'a pas de conséquence appréciable sur la composition en oligo-éléments. Ce résultat est en contradiction apparente avec les données obtenues à partir d'expérimentations fourragères sur des cultures pures (Perigaud, 1972 *a*) ; il s'explique cependant par le fait que la gamme de variation des teneurs des graminées est relativement étroite au stade de récolte foin (même référence) : au niveau d'une enquête sur des foins riches en graminées, récoltés souvent tardivement et prélevés en grange, les variations individuelles sont tamponnées.

Seules les différences systématiques très importantes sont décelées sans ambiguïté : ainsi les légumineuses sont beaucoup plus pauvres en zinc et surtout en manga-

nèse que les graminées de même provenance. Les prairies temporaires à base de luzerne sont donc également plus pauvres en zinc et manganèse que les prairies naturelles.

Les foins de Ray-Grass d'Italie sont un peu plus pauvres en cuivre que les foins de prairies naturelles : cette graminée est effectivement souvent mal pourvue en cuivre (PÉRIGAUD, 1972 *b*), mais il est certain aussi que sur un sol ayant des réserves cuivriques insuffisantes l'augmentation du rendement par les techniques de fertilisation tend à appauvrir encore davantage le fourrage (KERGUELEN, 1962, PÉRIGAUD, 1972 *b*).

En ce qui concerne le cuivre, les légumineuses sont, en général, un peu mieux pourvues que les graminées (FLEMING *et al.*, 1968). Cependant les luzernes sont plus sensibles à une faible disponibilité du cuivre dans le sol et contiennent alors moins de cuivre que la graminée (MITCHELL, 1960) : c'est le cas très probable de la Seine-Maritime où la luzerne est plus pauvre que la prairie naturelle. On peut remarquer que, dans ce même département, les trèfles violets sont, au contraire, mieux pourvus. Les prairies temporaires à base de trèfle violet contiennent, cependant, moins de cuivre que les prairies naturelles. Il est vraisemblable que la récolte ne se fait pas au même stade dans les deux cas et que le fanage, trop tardif pour le trèfle violet en culture mixte, entraîne la perte des parties les plus fragiles de la plante : un examen macroscopique des deux types de foins confirme en effet que dans le foin de temporaires la plupart des feuilles ont disparu ; le foin de trèfle violet pur est beaucoup moins détérioré.

Contrairement à ce qui est signalé aux États-Unis (BARSHAD, 1948), nos trèfles violets et nos luzernes n'ont pas des teneurs en molybdène plus élevées que les graminées.

La composition de nos ensilages de maïs — plante entière — est voisine de celle indiquée par COPPENET (1972), avec un taux de cuivre un peu supérieur. Il n'est pas certain que toutes les contaminations aient été bien éliminées. Cette contamination importante possible des ensilages est à souligner. De grandes précautions sont à prendre au moment du prélèvement et de toutes les manipulations intervenant avant la dessiccation totale de ce produit acide.

Nous confirmons que l'ensilage de maïs plante entière a une composition voisine de celle des graminées de prairie avec, cependant, une teneur en manganèse en moyenne nettement plus faible. Les ensilages d'épis sont beaucoup plus pauvres.

2. — *Influence de la région et des sols*

Si la localisation géographique des différents élevages étudiés est bien précisée, le type de sol qui leur correspond comporte une part d'incertitude. Nous n'avons en effet considéré que la roche mère, en admettant que celle-ci était bien le soubassement géologique indiqué sur les cartes les plus récentes ; en fait, les couvertures superficielles à partir desquelles le sol s'est formé ne sont pas toujours indiquées. D'autre part, les limites entre roches différentes sont plus ou moins exactes et peu précises à l'échelle d'une exploitation : aussi les élevages voisins de telles limites ou participant de deux roches différentes ont-ils été enregistrés comme appartenant aux deux types de formation. Par ailleurs, la densité insuffisante des prélèvements ne permettait pas de pousser nos subdivisions jusqu'aux types différents de pédogenèse que nous ne connaissions d'ailleurs pas avec précision.

Nous avons surtout voulu voir s'il existait ou non une relation entre la composition moyenne des fourrages et les « types de sols », au sens géologique de ce terme.

Notre découpage de certains départements en deux ou trois régions, tient déjà compte de l'embase géologique ; par conséquent, il y a superposition de nos deux découpages par régions (annexe 1) et par types de roche (tabl. 4) dans le cas où une roche est très localisée géographiquement (cas des roches volcaniques du Cantal). D'autres, par contre, se retrouvent très dispersées à travers la France (granites, sables détritiques, etc.).

a) *Le cuivre.* Les foins les plus pauvres en cuivre se situent bien, dans l'ensemble, sur les sols connus pour leur relative pauvreté en cuivre ; des précisions complémentaires sont apportées là où le nombre important de prélèvements a permis des subdivisions plus fines que dans notre précédente étude (PÉRIGAUD, 1972 *a*). A l'inverse, certaines d'entre elles n'ont pas été possibles.

Ainsi nous confirmons que les foins les plus pauvres sont issus des roches éruptives et métamorphiques. Le bas de l'échelle correspond bien aux granulites (COPPENET, 1970), mais les granites à biotite, quelle que soit leur altitude, sont à peine supérieurs, de même que les gneiss et les migmatites. Les sédiments primaires très anciens sont également très pauvres. L'ensemble de ces formations les plus défavorisées correspond au « V hercynien » (Massif Central, Massif Armoricain et Vosges).

Les foins issus des basaltes du Cantal et du Puy-de-Dôme tendent à être légèrement mieux pourvus, mais la différence est insignifiante : on confirme donc également que l'altération subie au cours de la formation du sol rend peu disponible le cuivre présent en quantité importante dans les roches volcaniques.

Les foins issus de la plupart des sédiments calcaires sont relativement pauvres, que le socle soit jurassique (Crêtes préardennaises, Bocage normand, Poitou), crétacé (Perche, Anjou, Saintonge, Périgord) ou tertiaire (Agenais, Pied des Pyrénées, Sud-Est) ; des nuances interviennent entre étages : les plus mal pourvus semblent être les calcaires et marnes du Crétacé, les marnes et les molasses tertiaires. Les étages du Jurassique semblent s'appauvrir avec l'âge.

On confirme que les argiles à silex issues de la décalcification du Crétacé sont très appauvries. Or celles-ci correspondent à des surfaces importantes dans le Bassin parisien. Par contre, le « limon des plateaux » qui recouvre souvent les formations précédentes est mieux pourvu.

Nous n'avons pratiquement pas de données sur les grès triasiques qui, en Allemagne, sont connus pour leur pauvreté (ANKE *et al.*, 1962) : ils sont, dans notre enquête, peu nombreux et très imbriqués dans les étages voisins ; les colluvium glaciaires sont également peu représentés.

Les sols hydromorphes issus des formations détritiques siliceuses tertiaires (Sidérolithique du Poitou et du Périgord, Brenne, Sologne, Sologne bourbonnaise) ne donnent pas, contrairement à ce que nous pensions, des fourrages particulièrement pauvres. Nous avons confirmé ce résultat par ailleurs sur des graminées pures cultivées sur certains de ces sols (PÉRIGAUD, résultats non publiés). Deux explications sont possibles : d'une part, ces sols, très difficiles à cultiver, sont exploités de façon très extensive, ce qui correspond à de faibles besoins pour la plante, d'autre part l'excès d'humidité maintient le cuivre sous une forme relativement mobile (SWAINE, MITCHELL, 1960) donc disponible pour une végétation qui supporte cet excès d'eau

comme c'est le cas des graminées fourragères. Il faut vraisemblablement atteindre des degrés d'altération encore plus poussés que chez nous pour que la totalité des réserves cuivriques, progressivement solubilisées, ait été éliminée du profil.

Les alluvions fluviomarines des marais de l'Ouest, très argileuses et hydromorphes, donnent, comme on pouvait s'y attendre, des foins relativement bien pourvus en cuivre.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus correspondent aux prévisions. On peut remarquer toutefois que la pauvreté des foins dans une région *a priori* carencée n'est pas systématique. La Mayenne dont les sols se rattachent au Massif Armoricain, la Moselle et la Haute-Saône, voisins des Vosges, ne sont pas des plus pauvres en cuivre. Des tendances se dégagent donc à petite échelle, mais elles restent à préciser au niveau de la région : d'une part le mode d'exploitation, la conduite de la prairie, sa fertilisation peuvent modifier substantiellement la composition des fourrages (PÉRIGAUD, 1972 *b*), d'autre part les teneurs en cuivre d'un même type de roche peuvent varier considérablement, de même que la dynamique de ce cuivre dans le sol en fonction du degré d'évolution pédologique ; celui-ci varie lui-même, dans une même séquence de sols, avec la situation topographique (DAUTRIA, 1970).

b) *Le zinc.* Le problème du zinc est plus complexe que celui du cuivre car sa disponibilité vis-à-vis de la plante dépend peu de la roche et de la pédogenèse mais surtout de la structure du sol, du niveau de fertilisation, de la luminosité (DARTIGUES, 1964). On peut soupçonner des possibilités de carence lorsque le pH du sol dépasse 6,4-6,5 (sols calcaires ou fortement amendés) et que la fertilisation est importante.

Il est donc normal que les foins les plus pauvres en zinc ne se situent pas sur les terrains cristallins et métamorphiques du Massif Central, mais plutôt sur les terrains calcaires de la périphérie ainsi que sur les sols molassiques riches en calcaire actif de l'Ouest et du Sud-Est. Dans le Sud-Ouest, où les sols calciques sont souvent mal structurés et très humides, les carences en zinc sur maïs sont connues depuis longtemps.

Parmi les roches cristallines, les granulites semblent se distinguer des autres granites par leur plus grande pauvreté. Il est connu que les roches éruptives les plus acides sont les plus pauvres en zinc ; il est possible aussi que le système d'exploitation soit différent, les chaulages s'étant trouvés plus généralisés dans l'Ouest de la France, (où sont les granulites étudiées) que dans le Centre ; des carences en zinc sur maïs sont signalées dans le Finistère (COPPENET, 1970).

c) *Le manganèse.* Le manganèse existe dans le sol sous différentes formes en équilibre permanent, variable avec les conditions de milieu (pH et potentiel d'oxydoréduction). L'activité biologique permet un passage rapide de Mn^{++} à Mn^{+++} ; une augmentation de pH de 4,6 à 6,5 suffit à diviser par 20 à 50 le taux de manganèse échangeable (HODGSON, 1963).

Or, parmi les formes minérales, seul Mn^{++} est soluble ou échangeable, donc disponible pour la végétation. Les variations de pH et d'humidité au cours de l'année suffisent ainsi à modifier le pouvoir d'assimilation du manganèse par la plante et ceci de façon très ponctuelle, au niveau du champ où la structure du sol et la circulation de l'eau ne sont jamais homogènes. On explique ainsi l'extrême hétérogénéité des teneurs en manganèse des mêmes types de fourrages, et également le fait que même dans les régions les plus carencées il existe toujours quelques fourrages bien pourvus.

Par ailleurs, dans certaines régions à soubassement calcaire, la plupart des sols sont, en fait, formés aux dépens de dépôts superficiels d'épaisseur et de nature très variables qui laissent apparaître le substrat de façon irrégulière, surtout le long des pentes (Lorraine, Normandie) : une même exploitation agricole comporte donc des sols de comportement différent.

De façon générale, il faut s'attendre à un blocage du manganèse sous des formes inassimilables surtout sur des sols calcaires sains, riches en « calcaire actif » de type rendzine et, à un degré moindre, sur les sols argilocalcaires. Nous retrouvons ainsi des foins pauvres en manganèse sur divers sédiments calcaires triasiques (Muschelkalk), jurassiques, crétacés ou tertiaires, dans les « Champagne » du Bassin Parisien (Est et Ouest), sur les rendzines rouges et les lithosols du Sud-Est, sur des sols argilocalcaires au pied des Pyrénées. Par contre, les sols calcaires humides des argiles liasiques et des marnes du jurassique supérieur ne fournissent qu'exceptionnellement des foins pauvres. De même, lorsque les conditions climatiques sont favorables à l'accumulation intense d'une matière organique acidifiante, le soubassement calcaire n'intervient plus au niveau du pH du sol et les foins sont riches en manganèse (cas du plateau jurassien).

Le manganèse reste très disponible et les foins sont très riches sur les schistes, les gneiss, les migmatites et les granites ; quelques cas isolés de pauvreté dans l'Ouest (surtout sur schistes) correspondent vraisemblablement aux surchaulages (COPPENET, 1970).

d) *Le molybdène.* Le molybdène est très énergiquement bloqué par les hydroxydes de fer présents dans le sol c'est-à-dire dans les sols ferrugineux acides. Il est, par contre, mobile en pH neutre ou alcalin, et surtout en milieu réducteur.

Des teneurs relativement élevées en molybdène étaient donc attendues sur de tels sols, signalés d'ailleurs à l'étranger pour toxicoses molybdiques : alluvions fluvio-marines et marnes de l'Infralias (LERICHE, 1959 ; KUBOTA *et al.*, 1961).

En fait, aucune teneur anormale n'a été relevée sur les Marais de l'Ouest.

Les teneurs les plus élevées, dépassant à peine 3 mg/kg MS, ont été relevées effectivement dans les Ardennes et la Haute-Saône sur des sols bruns calcaires hydromorphes et des sols rendziformes humides issus du Jurassique inférieur et moyen.

Par ailleurs, en dehors de cette enquête, des cas de toxicoses molybdiques ont déjà été signalés dans le Bassigny (KERGUELEN, 1962) et nous avons décelé, dans le cadre d'expérimentations culturales, des teneurs relativement élevées en molybdène sur certaines prairies de cette région (PÉRIGAUD, résultats non publiés).

Autrement dit, si nos foins ont, dans l'ensemble, des teneurs très normales en molybdène, quelques cas d'excès sont possibles sur les sols précédemment signalés.

e) *Le sélénium.* La pauvreté en sélénium des foins est généralisée, aucune teneur anormalement élevée n'a été décelée.

Les sols les plus connus pour les carences en sélénium sont formés sur granites, sur roches métamorphiques anciennes, sur roches volcaniques récentes (KUBOTA *et al.*, 1967) et, en général, sous pluviométrie élevée (GARDINER, GORMAN, 1963) ; les faibles teneurs en sélénium observées dans le Massif Central, dans l'ouest Armoricain, dans les Vosges, sont donc normales. Les sédiments secondaires et tertiaires, calcaires ou siliceux, sont également signalés comme ne contenant pratiquement pas de sélénium (MOXON, 1937).

B. — Les foins en France et les carences animales

Les variations de composition en oligo-éléments en fonction de l'année sont apparues peu importantes. Il ne faut cependant pas en oublier les conséquences possibles sur l'animal, certaines carences ne s'extériorisant que certaines années. Ainsi, en France, des symptômes de carence en cuivre signalés en Normandie en 1967 n'ont pas été extériorisés en 1968, or l'analyse des foins des mêmes exploitations décelait des taux de cuivre de 3 à 5 mg/kg MS en 1967 contre 4,6 à 9,9 en 1968. Des analyses annuelles restent nécessaires.

L'interprétation des résultats d'analyse des fourrages est faite d'après les besoins en oligo-éléments des ruminants. Les seuils de carences animales se situent sensiblement vers :

— 7-8 mg Cu/kg MS (Kirchgessner, 1970), des carences aiguës graves se déclenchant avec moins de 3 mg Cu/kg MS (Anderson, 1970) ;
— 50 mg Zn/kg MS (A. R. C., 1965) ;
— 40 mg Mn/kg MS (A. R. C., 1965) ;
— 0,1 mg Se/kg MS (Lamand, 1972).

Le molybdène commence à interférer avec le cuivre à partir de 3 mg/kg MS (A. R. C., 1965). Une teneur trop faible en cet élément (0,1-0,2 mg/kg MS) peut induire une toxicité cuivrique chez les ovins pour une teneur en cuivre dans la ration de l'ordre de 15 mg Cu/kg MS (Underwood, 1971).

Des interférences entre certains oligo-éléments et d'autres constituants de la plante, variables avec la plante elle-même et son stade de végétation, semblent modifier la digestibilité de ces oligo-éléments ; une teneur en cuivre plus élevée dans l'herbe que dans le foin n'induit pas forcément une meilleure satisfaction des besoins de l'animal (Hartmans, 1970) et deux plantes de teneurs voisines en cuivre n'ont pas toujours la même « efficacité cuivrique » (Patil *et al.*, 1969). C'est la raison pour laquelle la grille d'interprétation des analyses doit rester assez lâche.

1. — *Cuivre*

45 p. 100 de nos foins contiennent moins de 5 mg/kg MS et 94 p. 100, moins de 7 mg/kg MS. Le minimum se situe à 2,8, le maximum à 8,9, la moyenne à 5,2.

Autrement dit, la presque totalité de ces foins se situe en zone de carence ou, plus exactement, en zone de subcarence.

Le remplacement du foin de prairies naturelles par d'autres foins ou par des ensilages de maïs — plante entière — ne modifie pas sensiblement la situation. Les ensilages d'épis de maïs sont beaucoup plus carencés.

Dans le cadre d'une étude à objectif animal, notre classement des régions en trois groupes de teneurs croissantes en cuivre des foins n'a pas un intérêt pratique évident, puisque l'ensemble se situe en-dessous du seuil de carence pour le ruminant.

Ce résultat explique que des carences animales soient décrites à peu près partout en France (Lamand, Périgaud, 1973 ; Périgaud, Lamand, 1973).

2. — *Molybdène*

Contrairement à certains pays (U. S. A., Grande-Bretagne), le molybdène est peu important en France dans les foins, les taux les plus élevés rencontrés ne dépassent pas le seuil de toxicité. Les interférences avec le cuivre ne semblent pas devoir être à craindre. Les contrôles restent cependant nécessaires dans les régions calcaires humides (argiles liasiques, et certains étages du Jurassique).

A l'inverse, on rencontre souvent des teneurs très faibles susceptibles d'induire des toxicités cuivriques chez les ovins.

3. — *Zinc*

99 p. 100 des foins de prairies naturelles ont des taux de zinc inférieurs au seuil, près de 30 p. 100 contiennent moins de 25 mg/kg MS.

Tous nos foins apparaissent ainsi comme susceptibles d'induire des carences en zinc. L'utilisation des luzernes tend à aggraver la situation.

Comme pour le cuivre, le classement de nos foins en trois groupes de teneurs croissantes n'a pas d'intérêt pratique certain. Les descriptions de carence en zinc sur les troupeaux (LAMAND, PÉRIGAUD, 1973 ; PÉRIGAUD, LAMAND, 1973) ne proviennent pas exclusivement des départements dont les foins sont les plus pauvres.

4. — *Manganèse*

18 p. 100 seulement de nos foins de prairies naturelles ont des teneurs en manganèse inférieures au seuil animal. De plus, à l'intérieur d'une même exploitation, des compensations interviennent souvent dans les apports, selon que les parcelles sont plus ou moins acides, plus ou moins humides, ce qui modifie le pouvoir d'assimilation du manganèse par la plante. Les cas de carence peuvent donc rester plus ponctuels que pour le cuivre et le zinc. Toutefois, ces carences isolées sont susceptibles d'être rencontrées sur une aire très importante, l'ensemble de tous les terrains calcaires en France, ainsi que sur des sols riches en matière organique et surchaulés.

La densité des carences manganiques s'élève sur les sols riches en calcaire actif, en particulier dans le Sud-Est et les Champagne.

Notre enquête sur les carences animales n'a pas permis de déceler des carences spécifiquement manganiques, mais un syndrome « troubles osseux » qui peut être dû soit à une carence en manganèse, soit à une carence en cuivre ou en zinc ou en phosphore ou en calcium (LAMAND, PÉRIGAUD, 1973).

L'introduction de luzernes dans les assolements aggrave la situation ; des carences importantes en manganèse peuvent se révéler là où elles n'existent pas avec des foins de graminées. Des carences induites par une alimentation à base de luzerne déshydratée ne sont pas rares (LAMAND, communication personnelle). Les ensilages de maïs — plantes entières — peuvent aussi engendrer des carences en manganèse.

5. — *Sélénium*

Les résultats de l'enquête complètent ceux précédemment obtenus (LAMAND, 1970).

Avec un seuil de carence situé vers 0,1 mg Se/kg MS, une teneur moyenne en sélénium dans les fourrages de 0,05 mg/kg MS, un maximum de 0,11 mg/kg MS,

la myopathie est susceptible de se révéler non seulement dans le Centre (LAMAND, 1972), mais aussi, avec une intensité moindre, presque partout en France.

Il n'existe pas de toxicité par le sélénium en France.

6. — *Synthèse*

Les foins en provenance de cette enquête tendent à déceler une pauvreté certaine très généralisée, en cuivre, en zinc et en sélénium, les insuffisances de manganèse sont moins systématiques mais très dispersées. Beaucoup de régions cumulent l'extrême pauvreté en tous ces oligo-éléments. Les toxicités molybdiques sont par contre très rares. Aucun excès de sélénium n'a été décelé.

Ces foins proviennent, en fait, de départements qui se sont intéressés à notre enquête parce qu'ils avaient apparemment des problèmes de carence. Nous n'avons pas de données sur le reste de la France.

Cependant, la plupart des régions d'élevage bovin (PLUVINAGE, 1971) sont représentées, au moins par un de leurs départements. Par ailleurs, les données de COPPENET (1970) complètent largement les nôtres, insuffisantes, sur le Massif armoricain, de même que de nombreux résultats d'analyses des foins de HEDIN (communication personnelle) sur l'Aubrac (1964), la Lozère (1964), le Champsaur (1966). Nous pouvons considérer que l'ensemble des données recueillies est bien représentatif de la situation en France.

Cette situation n'est pas très différente de celle décrite dans d'autres pays : en Allemagne, KIRCHGESSNER (1965) montre que plus de la moitié des fourrages ne couvrent pas les besoins en cuivre des ruminants. En Écosse, HEMINGWAY *et al.* (1968) signalent que 90 p. 100 sont insuffisamment pourvus en cuivre, 39 p. 100 en manganèse. Au Canada, 92 p. 100 des foins de graminées contiennent moins de 8 mg Cu/kg MS, 96 p. 100 moins de 50 mg Zn/kg MS et 23 p. 100 moins de 40 mg Mn/kg MS (MILTIMORE *et al.*, 1970).

Par contre, contrairement aux U. S. A. et aux pays du Nord de l'Europe — Irlande, Angleterre —, les accidents de toxicité ne semblent pas à craindre.

En France, on ne rencontre pas de teneurs très basses et les résultats d'analyses pour le cuivre, le zinc et le manganèse laissent présager l'absence de carences graves susceptibles d'induire une pathologie spectaculaire, mais indiquent plutôt des sub-carences très généralisées.

V. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES POUR L'ENSEMBLE DES ENQUÊTES (I, II, III)

A. — COMPARAISON DE LA MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DES CARENCES UTILISÉE A L'ÉTRANGER ET EN FRANCE

1. — *A l'étranger*

Les carences en oligo-éléments ont été mises en évidence il y a plus de 30 ans dans les pays où des problèmes graves étaient à résoudre : accidents sur les animaux ou rendements végétaux très faibles (Australie, Nouvelle-Zélande, U. R. S. S. et à un degré moindre, U. S. A.).

Les premières recherches ont porté sur des cas précis, bien localisés. Les méthodes d'études ont fait appel, plus ou moins simultanément (GREEN, 1956 ; TAYLOR *et al.*, 1956, STEPHENS, DONALD, 1958 ; THACKER, BEESON, 1958 ; TODD, 1970 ; VLASYUK, 1964), à l'observation clinique (animale et végétale), à la réaction des malades à divers traitements, au diagnostic thérapeutique, à des essais culturaux avec des engrais à base d'oligo-éléments, à l'analyse des plantes ou des herbages et, parfois, des tissus animaux, souvent à l'analyse des sols et à la recherche d'une relation avec la roche mère ou la pédologie.

Selon les pays et le problème posé, l'une ou l'autre de ces données a commencé par prédominer : les études ont porté surtout sur les sols en U. R. S. S., les symptômes cliniques en Australie, les symptômes ou les analyses de plantes aux U. S. A. Mais, partout, une évolution progressive a abouti rapidement à une étude synthétique complète, du sol à l'animal, par l'intermédiaire de la plante (ALLAWAY, 1962) et à la recherche d'une cartographie prévisionnelle des carences.

a) *L'observation clinique* n'a pas soulevé de difficultés dans les cas de carences aiguës.

b) De nouvelles techniques de dosage des oligo-éléments ont amélioré progressivement *l'analyse des plantes*. Des seuils de carences dans les herbages ont été précisés en comparant le comportement clinique des animaux dans des régions voisines (ANDERSON, 1970). Il en fut de même pour les seuils de toxicité (BARSHAD, 1948 ; WALSH, NEENAN, 1952).

c) *Les analyses de sols* sont plus difficiles à interpréter. Un test analytique, au niveau du sol, en bonne corrélation avec la composition des fourrages en provenance de ce sol, serait très précieux. Mais la fraction d'élément assimilable par la plante dans la réserve totale du sol est très variable avec le sol lui-même, avec les conditions extérieures et avec la plante (PÉRIGAUD, 1972 *a*). De multiples recherches en ce domaine, il ressort que des analyses de sols distinguent de grandes zones de végétation là où la géologie, homogène, et le climat, très tranché, dessinent effectivement des différences très nettes, comme c'est le cas en U. R. S. S. (VLASYUK, 1964). La Nouvelle-Zélande (WELLS, 1962), l'Allemagne de l'Est (BERGMANN, 1968) éditent aussi de telles cartes basées sur des analyses de sols. Mais les corrélations avec la composition des fourrages sont très lâches là où la géologie est complexe et ne s'appliquent, pour un extractif donné, qu'à un seul type de sol (MITCHELL, 1965).

De façon générale, de telles analyses mettent en évidence les cas de carences extrêmement marquées qui empêchent une croissance normale des végétaux sensibles (COPPENET, 1970). Elles décèlent aussi, à l'opposé, des toxicités (Se-Mo-Cu) au voisinage des gîtes métallifères (ALLAWAY *et al.*, 1964 ; KOVALSKII, 1970) ou par accumulation consécutive au lessivage ou à la sédimentation (FLEMING, 1962 ; KUBOTA *et al.*, 1967 ; THORNTON, WEBB, 1970). En dehors de ces cas extrêmes qu'il est facile de cartographier, aucune corrélation généralisable n'a pu être mise en évidence entre un test de sol et la composition d'une plante destinée à l'animal (BEESSON, 1959), si ce n'est peut être pour le cobalt avec les légumineuses (KUBOTA, 1968).

d) *Les cartes pédologiques* sont, en revanche, largement utilisées. Si, en effet, la relation n'est pas évidente entre le sol et la plante en un lieu précis, le comportement de certains oligo-éléments dans le sol est, par contre, en rapport avec la roche mère

et le type d'évolution pédologique qu'elle a subie (PÉRIGAUD, 1972 *a*). Si, par conséquent, une carence animale est dépistée sur tel type de sol, on est autorisé à en extrapoler la possibilité d'apparition à toute l'aire géographique concernée par ce type de sol, et ceci qu'elle que soit l'extension de la maladie dans les élevages observés (ANDREWS, 1956). Le même principe est appliqué aux résultats d'analyses de fourrages judicieusement prélevés, en petit nombre, sur des aires représentatives de types de sols bien définis (CUNNINGHAM *et al.*, 1956).

Ainsi, des cartes prévisionnelles de carence ont-elles été établies à partir d'observations cliniques et (ou) d'analyses végétales d'une part, des cartes de sols (spécifiques de chaque pays) d'autre part : par exemple, carte des carences en cobalt (ANDREWS, 1956) et en Cu et Co (ANDREWS, 1956 ; JACKMAN *et al.*, 1962) en Nouvelle-Zélande, en cuivre et zinc en Australie (ANDERSON, UNDERWOOD, 1959), en cobalt (KUBOTA, 1968) et en tous éléments (THACKER, BEESON, 1958) aux U. S. A. Les « provinces biogéochimiques » de KOVALSKII (1970) font la synthèse du sol à l'animal et même à l'homme pour tous les oligo-éléments et certains éléments majeurs.

En Europe, la complexité géologique des pays nordiques où se sont révélées les premières carences, l'absence de cartes pédologiques généralisées, ont rendu difficile l'établissement de cartes de carences sur des bases pédologiques. La localisation de carences végétales ou animales en fonction des types de sols a cependant été précisée (F. A. O., 1961 ; RYAN, 1966).

e) *Les méthodes* adoptées pour la détection, le diagnostic et la cartographie des carences en oligo-éléments varient donc un peu avec le pays, en fonction de la géographie mais aussi de ses structures et de ses moyens.

Dans les cas de carences aiguës, l'étude, menée par une équipe pluridisciplinaire apportant des données au niveau de l'animal, des fourrages et des sols, est assez bien définie. Elle reste cependant très coûteuse et n'apparaît possible que sur une aire relativement limitée (KUBOTA, ALLAWAY, 1972) ou par une planification rigoureuse d'un travail d'enquêtes systématiques avec centralisation des résultats (KOVALSKII, 1970).

En zone de subcarences, les symptômes ne sont pas nets, les analyses sont difficiles à interpréter, et il faut, pour préciser le diagnostic, une réaction favorable de l'animal supposé carencé à un traitement adapté (THACKER, BEESON, 1958).

2. — *En France*

Des carences nettes en sélénium ont été dépistées dans le Massif Central où se posaient de sérieux problèmes d'élevage (LAMAND, 1965).

Des carences en cuivre étaient soupçonnées (BELLANGER, 1968). Une étude exhaustive des roches mères et des sols faisait considérer comme possibles et très dispersées des carences en Cu-Co-Zn, Mn et Se sans atteindre toutefois des niveaux d'extrême gravité (PERIGAUD, 1972 *a*).

Seule une enquête nationale au niveau des animaux et des fourrages pouvait tendre à confirmer ces soupçons ; mais celle-ci, dès le départ, devait se heurter à deux types de difficultés :

— d'une part nous n'avions à notre disposition aucun enquêteur formé au type

d'observations souhaitées. Nous avons dû avoir recours à des bonnes volontés extérieures qui ont introduit un sens clinique très variable d'une personne à l'autre et une interprétation personnelle, également variable, de l'importance des questions posées ;

— d'autre part, nous étions bien en présence de subcarences avec toutes les difficultés d'interprétation des analyses qu'elles soulèvent, étant donné que nous n'avons pas pu imposer des tests thérapeutiques.

C'est la raison pour laquelle nous avons exploité les données dont nous disposions par différentes méthodes avec recherche de multiples recoupements entre leurs résultats.

Une synthèse générale de cet ensemble indique de simples présomptions de carences et demande maintenant des recherches plus précises à l'échelon régional.

B. — Synthèse des résultats obtenus par les trois enquêtes

Les descriptions chimiques montrent qu'il n'y a pas, en France, de mortalité ni de troubles importants dus aux carences en oligo-éléments.

Il existe cependant une pathologie de subcarence en cuivre, cobalt, zinc, sélénium, parfois manganèse et plus exceptionnellement en iode, caractérisée par une répartition irrégulière des symptômes entre les animaux d'un même troupeau et l'absence totale de symptôme chez la plupart.

Nos analyses de foins confirment que leurs teneurs en cuivre, zinc, sélénium et parfois manganèse sont supérieures aux seuils de carence grave pour les animaux (Anderson, 1970) mais nettement inférieures aux normes de l'*Agricultural Research Council* (1965).

Nous avons donc, en France, des subcarences généralisées, difficiles à déceler dans leurs formes marginales, et qui affectent probablement, sans que l'on puisse le préciser, un effectif important.

Les pertes économiques ne peuvent pas être appréciées comme dans les cas de carences aiguës ; Kovalskii et Andrionova (1970) citent des améliorations substantielles de production, 10-15 p. 100 de lait, 10-15 p. 100 de gain de poids vif, par une complémentation minérale adaptée. Ces pertes, en cas de subcarences, sont difficiles à chiffrer et à mesurer expérimentalement mais leur importance est certaine et non négligeable (Anderson, 1970 ; Miller, 1970 ; Lamand, 1972).

Les techniques d'intensification révèlent ces subcarences et aggravent la situation (Thornton, Webb, 1970 ; Kubota, Allaway, 1972). Nous avons en effet observé que la myopathie sévissait surtout sur les veaux à croissance rapide : la morbidité atteint 80 p. 100 dans les troupeaux ayant des gains de poids de 1 400 g/j et quelques pour cent pour 5 à 600 g/j (Lamand, 1972). De même l'intensification fourragère modifie la composition des fourrages, elle peut tendre à abaisser les teneurs, et d'autant plus que le sol est mal pourvu en oligo-éléments (Perigaud, 1972 *b*).

Or, pour des raisons économiques évidentes, l'intensification de la production fourragère et animale augmentera encore dans les années à venir. Il faut donc tenir compte des éventuelles carences en oligo-éléments pour ne pas introduire ou aggraver un facteur limitant de la productivité.

C. — Conséquences pratiques

1. — *Le diagnostic des carences*

Les enquêtes et les analyses de fourrages indiquent l'existence quasi généralisée de subcarences en oligo-éléments.

Sans complémentation, il faut s'attendre à de telles carences en cuivre, cobalt, zinc, sélénium partout où l'intensification fourragère et animale est amorcée. Des carences en manganèse sont, en outre, à craindre sur les sols calcaires sains, et ceci d'autant plus que la ration est riche en luzerne.

Pour l'établissement du diagnostic précis, il faut tenir compte des symptômes plus ou moins diffus. Certains, sans gravité (décoloration des poils, pelade, dermites...) ne doivent pas être négligés car ils permettent d'expliquer des troubles plus graves mais non spécifiques des carences en oligo-éléments (déficit de croissance, inappétence, chute de production de lait...).

Une confirmation du diagnostic peut être obtenue par l'analyse des principaux fourrages dans l'exploitation. Ces analyses permettent de préciser une éventuelle carence primaire, aiguë ou subaiguë.

Cependant le problème des carences secondaires par modification de la digestibilité ou de l'utilisation des oligo-éléments n'est pas résolu. Il est probable que de telles carences se rencontrent avec des fourrages dont les teneurs sont voisines des seuils (Patil *et al.*, 1969 ; Hartmans, Bosman, 1970 ; Lamand, 1971). Or, on ne connaît pas, pour le moment, l'influence du type de ration sur la digestibilité des oligo-éléments. Ce point reste donc à étudier.

2. — *Prophylaxie des carences*

Une prophylaxie systématique des carences apparaît nécessaire dans toute la France. Les animaux, en alimentation individuelle, peuvent recevoir un complément minéral adapté à leur ration. Au pâturage, une supplémentation par l'intermédiaire de pierres à lécher (Lamand *et al.*, 1972) est possible dans la mesure où la composition en oligo-éléments de la pierre a été adaptée aux consommations spontanées des animaux.

Il est possible également d'intervenir au niveau du fourrage lui-même, soit par apport d'oligo-éléments au sol, soit par pulvérisations foliaires (Périgaud, 1972 *a*).

L'apport au sol est efficace pour le cobalt (Archer, 1968 ; Coppenet, 1970). L'efficacité d'engrais cuivrique sur la composition de la plante, non carencée en elle-même, est fonction du mode d'apport (Coppenet, 1970) et de la flore (Périgaud, Bellanger, 1972) ; la méthode, satisfaisante pour traiter les carences animales dans certains pays, ne l'est pas pour d'autres (Russel, Duncan, 1956 ; Archer, 1968). Des engrais zinciques semblent pouvoir être favorables (Gladstones, Loneragan, 1967) mais sont encore à étudier sous l'angle des carences chez l'animal. Des engrais séléniés risquent d'induire des toxicités sur le ruminant et sont donc à proscrire (Grant, 1965) ; il en est de même pour le molybdène (Cunningham, Hogan, 1956).

Les pulvérisations foliaires d'oligo-éléments sont également utilisables mais dans la mesure où elles permettent une accumulation suffisante de l'oligo-élément dans les

parties aériennes du fourrage sans atteindre le seuil de toxicité pour l'animal; or leur effet est très subordonné à la plante et aux conditions climatiques extérieures momentanées (PÉRIGAUD, BELLANGER, 1972). Les conditions d'utilisation sont encore à préciser pour les fourrages.

Reçu pour publication en juin 1973.

SUMMARY

TRACE ELEMENTS DEFICIENCIES IN RUMINANTS IN FRANCE
III. — SURVEY DATA OBTAINED BY ANALYSIS OF FORAGE

The analysis of forage sampled from the farms which took part or not in this survey on trace element deficiencies in ruminants in France (second paper) show that all first-cut hay contains inadequate copper, zinc and selenium ; in addition, 18 per cent of these hay samples show lower levels of manganese than the animal deficiency threshold. Molybdenum toxicities are very uncommon.

These analysis also evidence differences of composition between first-cut hay and other types of forage (lucerne hay, silage, other cuts etc.) as well as the relationships existing between certain trace elements and the types of soils concerned.

The synthesis of the data derived from the veterinary survey (first paper), the stock breeders survey (second paper) and the forage analyses (third paper) show that widespread copper-and probably cobalt — zinc and selenium subdeficiencies exist in France. Manganese subdeficiencies are less common but may be found with well drained calcareous soils and are, in this case, worsened by lucerne based diets.

РЕЗЮМЕ

Недостаток олигоэлементов в пище жвачных животных во франции. — III. Элементы анкеты, полученные анализом фуража.

Анализ фуража происходящего от разных скотоводческих хозяйств, которые приняли участие в анкете на недостатки олигоэлементов в пище жвачных животных во Франции (второй доклад), и от других, которые не принимали участия в анкете, позволил обнаружить, что очень недостает меди, цинка и селени в первых срезах сена. Количество марганца, в 18 случаях на 100, спускается ниже допустимого уровня. Совсем исключительна токсичность вызванная молибдатами.

Эти анализы также позволили обнаружить большую разницу в составных элементах сена от первых срезов и других сухих кормов (люцерна, силос, другие циклы, и т. п.), и существующие соотношения между некоторыми олигоэлементами и тип соответствующей почвы.

Синтез полученных данных при ветеринарной анкете (1ый доклад), анкета у скотоводов (2ой доклад) и анализы фуража (3ий доклад) позволяют утверждать, что во Франции есть обобщенные недостатки в пище таких элементов как медь, и вероятно кобальт, цинк и селен. Недостатки в марганце менее значительны, но встречаются в известковой здоровой почве, и в этом случае положение еще ухудшается питанием на базе люцерны.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLAWAY W. H., 1962. Relation of soil and animal nutrition. *Proc. Cornell Nutrit. Conf. feed Manuf.*, 23 p., Ithaca, New York.

ALLAWAY W. H., CARY E. E., KUBOTA J., EHLIG C. F., 1964. Soil and plant factors in relation to selenium deficiency diseases. *Proc. Cornell Nutrit. Conf. feed Manuf.*, 15 p.

ANDERSON A. J., 1970. Trace elements for sheep pastures and fodder crops in Australia. *J. Austral. Inst. agric. Sci.*, **36**, 15-29.

ANDERSON A. J., UNDERWOOD E. J., 1959. Trace element Deserts. *Sci. U. S. A.*, **200**, 97-102.

ANDREWS E. D., 1956. Cobalt deficiency. *New Zeal. J. agric. Res.*, **92**, 239-244.

ANKE M., SASUM K., OLL U., GRAUPE B., 1962. De la composition de la luzerne en relation avec les formations géologiques. *Arch. Tierernähr*, **12** (2), 93-108.

ARCHER F. C., 1968. The trace element content of pastures. *Rep. welsh Soil Discuss. Grp*, **9**, 60-71.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, 1965. *The nutrient requirements of farm livestock, n° 2: Ruminants*, 264 p,. Ed. Agricultural Research Council, London.

BARSHAD I., 1948. Molybdenum content of pasture plants in relation to toxicity to cattle. *Soil. Sci.*, **66**, 187-195.

BEESON K. C., 1959. Plant and Soil analysis in the evaluation of micronutrient element status. *Book mineral Nutrit. Trees*, Duke University. *Bull.*, **15**, 71-80.

BELLANGER J., 1968. Relations entre les taux de cuivre sanguin, hépatique et pilaire chez 250 bovins d'abattoir. *Rech. vétér.*, **1**, 127-139.

BELLANGER J., 1971. *Spectrométrie d'absorption atomique. Application à l'analyse chimique* dans PINTA *et al.*, 519-539, Éd. Masson.

BERGMANN W., 1968. *Microelements nutritifs: importance, besoins, emploi. Vebchemiehandel*, 37 p., Berlin (en Allemand).

COPPENET M., 1970. Les oligo-éléments en France. Exemples de problèmes régionaux. I. Le Massif Armoricain. *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 oligo-éléments. *C. R. Acad. Agric.*, **56** (13), 923-937.

COPPENET M., 1972. Composition minérale des maïs récoltés dans le Finistère. *Fourrages*, **49**, 53-72.

CUNNINGHAM I. J., HOGAN K. G., BREEN J. N., 1956. The copper and molybdenum contents of pasture grown on the different soils of New Zealand. *New Zeal. J. Sci. Technol., A.*, **38** (3), 225-238.

CUNNINGHAM I. J., HOGAN K. G., 1956. Molybdenum content of pasture after topdressing with molybdates. *New Zeal. J. Sci. Technol.*, A., **38** (3), 248-267.

DARTIGUES A., 1964. Déficience en zinc dans les plantes et ses causes. Revue bibliog. *Ann. agron.*, **15**, 667-691.

DAUTRIA J. M., 1970. *Contribution à l'étude de la dynamique pédologique de quelques éléments majeurs et mineurs en milieu granitique de la zone tempérée humide.* Thèse de spécialité, Fac. Sci. Clermont Ferrand.

DUVAL L., 1971. Le dosage du molybdène dans les végétaux. Examen de divers procédés de détermination. Mise au point d'une méthode colorimétrique au thiocyanate. *Ann. agron.*, **22** (1), 127-147.

F. A. O., 1961. *Cooperative Research project on trace elements of the Subcommission on Agricultural research of the European Commission on Agriculture*, 61 p.

FLEMING G. A., 1962. Selenium in Irish soils and plants. *Soil Sci.*, **94**, 28-35.

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.

GARDINER M. B., GORMAN R. C., 1963. Further observations on plant selenium levels in western Australia. *Austral. J. exper. Agric. animal Husband.*, **3**, 284-290.

GAWECKI K. C., ILECKI J. H., PONIKIEWSKA T. J., 1968. Content of trace elements in forage crops in relation of the stage of development of the plants, the method of gathering and storage. *Final report period 1963-1968*, College of Agric. Poznan.

GLADSTONES J. S., LONERAGAN J. F., 1967. Mineral elements in temperate crop and pasture plants 1. zinc. *Austral. J. agric. Res.*, **18** (3), 427-446.

GRANT A. B., 1965. Pasture top-dressing with selenium. *New Zeal. J. agric. Sci.*, **8**, 681-690.

GREEN R. J., 1956. Micronutrient deficiencies in sheep and cattle and their distribution in Tasmanie. *J. austral. Inst. agric. Sci.*, 40-44.

HARTMANS J., 1969. The detection of copper deficiency and other trace element deficiencies under field conditions. In *Trace element metabolism in animals.* Proc. internation. Symp. Aberdeen, 1970, 441-447, Ed. Livingstone, Edimburg and London.

HARTMANS J., BOSMAN M. S. M., 1969. Differences in the copper status of grazing and housed cattle and their biochemical backgrounds. In *Trace element metabolism in animals.* Proc. internation. Symp. Aberdeen, 1970, 362-366, Ed. Livingstone, Edimburg and London.

HEMINGWAY R. G., MC PHERSON A., DUTHIE A. K., BROWN N. A., 1968. The mineral composition of hay and silage grown in Scotland in relation to the A. R. C. standards for the mineral requirements of dairy cattle. *J. agric. Sci.*, **71** (1), 53-60.

HODGSON J. F., 1963. Chemistry of micronutrient elements in soils. *Adv. in Agron.*, **15**, 119-154.

KERGUELEN M., 1962. Valeur minérale de l'herbe (oligo-éléments). Influence du sol et de la fumure sur la composition minérale. *Fourrages*, **10**, 63-70.

KIRCHGESSNER M., 1965. De l'approvisionnement en oligo-éléments et de leur disponibilité. *Feder. europ. Zootech. Comm. Aliment. animaux domestiques. Noordwick*, n° 425.

KIRCHGESSNER M., GRASSMANN E., 1969. The dynamics of copper absorption. In *Trace element metabolism in animals.* Proc. internation. Symp. Aberdeen, 1970, 277-285, Ed. Livingstone, Edimburg and London.

KOVALSKII V. V., 1969. The geochemical ecology of organisms under conditions of varying contents of trace elements in the environment. In *Trace element metabolism in animals.* Proc. internation. symp. Aberdeen, 1970,385-397,. Ed. Livingstone Edimburg and London.

KOVALSKII V. V., ANDRIOVOVA G. A., 1970. *Les oligo-éléments dans les sols de l'U. R. S. S.* Izdatelstvo Naouka, Moscou.

KUBOTA J., 1968. Distribution of cobalt deficiency in grazing animals in relation to soils and forage plants of the United States. *Soil Sci.*, **106** (2), 122-130.

KUBOTA J., ALLAWAY W. H., 1972. Geographic distribution of trace element problems. *In Micronutrients in Agriculture* (Symposium in Alabama 1971), Ed. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisconsin, 525-554.

KUBOTA J., ALLAWAY W. H., CARTER D. L., CARY E. E., LAZAR V. A., 1967. Selenium in crops in the United States in relation to Selenium responsive diseases of animals. *J. agric. Food. Chem.*, **15**, 448-453.

KUBOTA J., LAZAR V. A., BEESON K., 1961. The relationship of soils to molybdenum toxicity of cattle in Nevada. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **25**, 227-232.

KUBOTA J., LAZAR V., SIMONSON G. H., HILL W. W., 1967. The relationships of soils to molybdenum toxicity in grazing animals in Oregon. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **31** (5), 667-671.

LAMAND M., 1965. Syndrome myopathie-dyspnée : influence de la prophylaxie par le sélénium sur la composition biochimique du plasma chez le veau. *Ann. Biol. anim., Biochim. Biophys.*, **5** (2), 309-315.

LAMAND M., 1969. Dosage du sélénium dans les produits biologiques et mélanges minéraux alimentaires. *Ann. Fals. Expert. chim.*, 4-12.

LAMAND M., 1970. Expansion de la myopathie en France en liaison avec la carence en sélénium des fourrages. *C. R. Acad. Agric.*, **56**, 604-610.

LAMAND M., 1971. Causes, conséquences biochimiques, pathologiques et prophylaxie des carences en oligo-éléments chez les ruminants. *Aliment. Vie*, **59** (2), 154-172.

LAMAND M., 1972. Intérêt de la prophylaxie de la myopathie du veau par addition de sélénium aux compléments minéraux des mères. *Ann. Zootech.*, **21** (1), 29-35.

LAMAND M., 1972. Maladies de carence en oligo-éléments. Extrait de Regards sur la France 1972, *Les maladies animales. Leur incidence sur l'Economie agricole*, 261-270, Ed. S. P. E. I., Paris.

LAMAND M., DEMARQUILLY C., MARQUIS B., 1972. Possibilités de prophylaxie des carences en oligo-éléments chez les bovins par blocs à lécher. *Bull. tech. C. R. Z. V.*, **8**, 31-34.

LAMAND M., PÉRIGAUD S., 1973. Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France. I. Éléments d'enquête obtenus dans la pratique vétérinaire. *Ann. Rech. vétér.*, **4** (4), 513-534.

LE RICHE H. H., 1959. Molybdenum in the lower lias of England and Wales in relation to the incidence of teart. *J. Soil Sci.*, **10**, 133-136.

MILLER M. J., 1970. Zinc nutrition of cattle : a review. *J. dairy Sci.*, **53** (8), 1123-1135.

MILTIMORE J. E., MASON J. L., ASHBY D. L., 1970. Copper, zinc, manganese and iron variation in five feeds for ruminants. *Canad. J. animal Sci.*, **50**, 293-300.

MITCHELL R. L., 1960. Trace elements in Scottish Soils. *Proc. Nutrit. Soc.*, **19**, 148-154.

MITCHELL R. L., 1965. Trace elements in soils. In BEAR F. B., *Chemistry of the soil*, 320-368, Ed. Chapman et Hall l. t. d. London.

MOXON A. L., 1937. Alkali diasease or selenium poisoning. *Bull. Agric. exper. Stat. South Dakota*, **311**, 91.

PATIL B. D., JONES D. I. H., HUGUES R. 1969. Wool characteristics as an indicator of nutritive attributes in herbage varieties. *Nature, G. B.*, **5210**, 1072-1073.

PÉRIGAUD S., 1970. Les carences en oligo-éléments chez les ruminants en France. Leur diagnostic. Les problèmes soulevés par l'intensification fourragère. *Ann. agron.*, **21** (5), 635-669.

PÉRIGAUD S., 1972 *a*. Liaisons carentielles entre sols, végétaux et animaux. *Ann. Nutrit. Aliment*, **26**, B 327-B 378.

PÉRIGAUD S., 1972 *b*. Conséquences de l'intensification fourragère sur la composition en oligo-éléments des fourrages. *7e Congr. mond. Fertilisants*, Vienne, (à paraître).

PÉRIGAUD S., BELLANGER J., 1972. Possibilités d'enrichissement en cuivre des fourrages. *Bull. tech. C. R. Z. V.*, **7**, 17-22.

PÉRIGAUD S., BELLANGER J., LAMAND M., 1972. Les oligo-éléments dans les foins en France. *Fourrages* **52**, 11-37.

PÉRIGAUD S., LAMAND M., 1973. Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France. II. Éléments d'enquête obtenus dans les élevages. *Ann. Rech. vétér.*, **4**, (4), 535-563.

PLUVINAGE J., 1971. *Regards sur l'élevage bovin français et son avenir*, 394 p, Éd. Génin, Paris.

RUSSEL F. C., DUNCAN D. L., 1956. Minerals in pasture : deficiencies and excesses in relation to animal health. *Comm. Bur. animal Nutrit. Tech. Comm. n° 15*, 170 p., Éd. Comm. Agric. Bur. Bucks England.

RYAN P., LEE J., PEEBLES T. F., 1967. *Trace element problems in relation to soil units in Europe*, 55 p. F. A. O. Rome.

STEPHENS C. G., DONALD C. M., 1958. Australian soils and their responses to fertilizers, *Adv. in Agron.*, **10**, 167-256,

SWAINE D. J., MITCHELL R. L., 1960. Trace element distribution in soil profiles. *J. Soil Sci.*, **11**, 347-368.

TAYLOR N. H., CUNNINGHAM I. J., DAVIES E. B., 1956. Soil type in relation to mineral deficiencies. *7th internation. Grassland Congr., New Zealand*, **9**, 3-12.

THACKER E. J., BEESON K. C., 1958. Occurence of mineral deficiencies and toxicities in animals in the United States and problems of their detection. *Soil Sci.*, **85** (2), 87-94.

THORNTON I., WEBB J. S., 1970. Regional geochemical reconnaissance and trace element mapping for agriculture. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, **18** (4), 357-365.

TODD J. R., 1969. A survey of the cattle using copper oxidase (ceruloplasmin) activity of blood serum *In Trace element metabolism in animals*. Proc. internation. Symp. Aberdeen, 1970, 448-451, Ed. Livingstone, Edimburg and London.

UNDERWOOD E. J., 1971. *Trace elements in human and animal nutrition*, 543 p., Ac. Press New York, Londres.

VLASYUK P. A., 1964. Mapping the content of minor elements in the soils of the Ukrainian SSR and the efficiency of minor element fertilizers. *8th internation. Congr. Soil Sci., Bucarest*, **4**, 319-325.

WALSH T., NEENAN M., O'MOORE L. B., 1952. Molybdenum in relation to cropping and livestock problems under Irish conditions. *Nature*, G. B., **170** (4317), 149-150.

WELLS N., 1962. Single factor Maps showing total copper, total molybdenum, available molybdenum in New Zealand, *Dept sci. industr. Res.*, Ed. Owen, Wellington.

ANNEXE I

TENEURS EN CUIVRE, ZINC ET MANGANÈSE

1. *Foins de première coupe* (prairies naturelles et temporaires contenant des graminées)

Département (1)	Cuivre			Zinc			Manganèse
	N (2)	Cu mg/kg MS moy.	Cu mg/kg MS $\sigma/\sqrt{N}$	N (2)	Zn mg/kg MS moy.	Zn mg/kg MS $\sigma/\sqrt{N}$	N (2)	Mn mg/kg MS extrêmes
01 Ain	2	7,30		2	24,5	2,0	2	79-139
02 Aisne	10	5,81	0,31	10	35,70	2,16	10	59-181
03 Allier	16	5,21	0,30	16	27,56	1,81	16	85-450
04 Basses-Alpes	18	5,23	0,41	17	23,65	1,83	17	12-68
07 Ardèche	15	4,62	0,19	15	34,80	2,04	15	98-436
08 Ardennes	25	5,02	0,26	23	21,73	0,67	23	18-93
09 Ariège :								
– N : côteaux	13	5,91	0,42	13	28,69	1,73	13	40-238
– S : montagne	5	4,64	0,18	5	31,0	0,31	5	27-303
14 Calvados :								
– O : bocage	9	4,63	0,24	9	29,44	1,49	9	78-310
– E : P. d'Auge	6	5,30	0,41	6	33,5	1,99	6	44-226
15 Cantal :								
– socle primitif	10	5,40	0,33	10	33,0	1,90	10	46-528
– volcanique	22	5,32	0,21	22	29,0	2,37	22	43-407
17 Charente-Maritime :								
– calcaires	5	4,36	0,42	6	21,0	1,1	6	40-186
– marais	15	5,42	0,23	15	32,2	2,98	6	24-217
19 Corrèze	12	4,97	0,16	12	32,91	1,47	12	112-430
21 Côte d'Or	2	3,65		2	30,0		2	24-33
23 Creuse	9	4,72	0,42	9	26,0	1,71	9	59-308
24 Dordogne	17	4,92	0,15	18	25,72	1,27	18	31-499
25 Doubs	15	5,78	0,22	11	30,18	1,60	11	45-293
32 Gers	18	6,53	0,57	18	18,94	0,90	18	51-295
36 Indre :								
– Sud	10	5,37	0,57	11	29,0	4,10	11	58-575
– Nord	5	5,38	0,65	5	21,4	3,40	5	53-292
38 Isère	4	4,40	0,38	4	20,0	3,0	4	61-183
40 Landes	5	6,52	1,06	5	30,2	5,43	5	86-197
42 Loire	25	5,39	0,19	23	35,13	1,58	23	45-600
44 Loire-Atlantique	8	4,23	0,30	8	18,75	1,44	8	80-384
45 Loiret	7	5,70	0,67	7	22,85	2,41	7	46-184
47 Lot-et-Garonne	16	4,72	0,25	18	17,27	0,57	18	22-300
49 Maine-et-Loire	3	4,53	0,06	3	16,3	1,45	3	30-90
51 Marne	20	5,64	0,35	15	23,0	1,45	15	29-84
52 Haute-Marne	15	5,10	0,13	6	28,83	1,07	6	24-516
53 Mayenne	12	5,17	0,38	9	27,22	1,89	9	46-407
55 Meuse :								
– Argonne	15	5,85	0,26	12	30,0	1,90	12	19-432
– Barrois	21	5,36	0,22	21	29,23	1,64	21	22-551
– Wœvre	11	5,70	0,22	11	27,54	1,17	11	29-72

Département (1)	Cuivre			Zinc			Manganèse	
	N (2)	Cu mg/kg MS moy.	Cu mg/kg MS $\sigma/\sqrt{N}$	N (2)	Zn mg/kg MS moy.	Zn mg/kg MS $\sigma/\sqrt{N}$	N (2)	Mn mg/kg MS extrêmes
57 Moselle :								
– Ouest	7	5,42	0,15	7	26,14	1,29	7	33-92
– Est	7	6,2	0,50	7	35,85	2,57	7	36-106
58 Nièvre :								
– Morvan	12	4,20	0,22	6	25,33	5,37	6	32-438
– Reste	24	6,01	0,35	22	26,8	1,28	19	35-272
61 Orne	5	4,42	0,44	4	24,25	3,09	4	90-261
63 Puy-de-Dôme	27	4,56	0,17	27	26,37	1,75	27	72-325
64 Basses-Pyrénées	2	5,20		1	25,0		2	56-206
65 Hautes-Pyrénées	11	5,04	0,59	11	21,72	1,76	11	55-321
67 Bas-Rhin	4	6,45	0,87	4	35,5	2,9	4	66-292
69 Rhône	7	4,81	0,12	7	34,05	2,49	7	78-261
70 Haute-Saône	15	6,11	0,25	12	30,41	1,06	12	67-231
71 Saône-et-Loire	8	4,98	0,36	8	32,62	1,51	8	98-238
73 Savoie	7	5,44	0,64	7	26,85	4,31	7	32-130
76 Seine-Maritime :								
– Caux	55	5,26	0,16	28	29,71	1,32	28	17-286
– Bray	44	5,28	0,18	24	30,87	1,17	24	35-446
79 Deux-Sèvres :								
– socle primaire	13	5,13	0,32	13	24,46	1,59	13	48-522
– séd. calcaire	19	5,02	0,24	19	23,42	1,67	19	26-211
81 Tarn	7	6,14	0,39	5	28,6	2,48	5	49-274
82 Tarn-et-Garonne	2	4,15		2	16,5		2	51-61
84 Vaucluse	6	4,90	0,42	6	21,16	1,88	6	18-57
85 Vendée	4	4,75	0,62	4	25,0	3,34	4	177-265
86 Vienne :								
– Saumurois	2	6,2		2	15,0		2	26-60
– Brandes	4	5,0	1,0	4	22,75	4,42	4	45-156
87 Haute-Vienne	41	4,65	0,12	45	26,55	2,34	45	61-580
88 Vosges	3	4,20	0,30	3	20,0	1,0	3	64-169

2. *Autres fourrages*

	N (2)	Cu mg/kg MS $\bar{x}$	Cu mg/kg MS $\sigma/\sqrt{N}$	Zn mg/kg MS $\bar{x}$	Zn mg/kg MS $\sigma/\sqrt{N}$	Mn mg/kg MS extrêmes
04 Basses-Alpes :						
– luzernes + sainfoins	5	8,20	0,90	22,40	1,96	17-32
44 Loire-Atlantique :						
– maïs	5	5,60	0,26	26,60	1,88	40-96
47 Lot-et-Garonne :						
– luzernes	3	6,66	0,87	17,0	1,71	16-37
76 Seine-Maritime :						
– luzernes	6	6,33		26,33	2,43	12-58
– trèfles violets	7	6,65		21,0	1,52	21-55

(1) Une partie ou la totalité de chaque département est représentée : se reporter aux cartes 1, 2 ou 3 pour la localisation exacte.

(2) N = Nombre d'échantillons dosés.

ANNEXE II

TENEURS EN MOLYBDÈNE ET SÉLÉNIUM DES FOINS PREMIÈRES COUPES

Département (1)	Molybdène		Sélénium	
	N (2)	Mo mg/kg MS (extrêmes)	N (2)	Se mg/kg MS (extrêmes)
02 Aisne	3	0,27-0,41	2	0,04-0,05
03 Allier	8	0,12-1,44	2	0,03-0,06
04 Basses-Alpes	6	0,43-0,86	2	0,03
07 Ardèche	5	0,13-0,56	5	0,05-0,11
08 Ardennes	11	0,15-4,24	2	0,02-0,07
09 Ariège	2	0,28-0,42	2	0,04-0,05
14 Calvados	8	0,20-0,94	4	0,03-0,06
15 Cantal	13	0,29-1,21	6	0,02-0,04
17 Charente-Maritime :				
– Champagne	3	0,14-0,72	2	0,04-0,06
– Marais	6	0,17-1,64	3	0,04-0,11
19 Corrèze	2	0,51-0,93	1	0,07
21 Côte-d'Or	1	0,50	1	0,08
23 Creuse	4	0,47-1,24	2	0,02-0,04
24 Dordogne	6	0,04-0,26	2	0,05-0,06
25 Doubs	8	0,50-1,60	3	0,03-0,05
32 Gers	2	0,29-0,35	2	0,03
36 Indre	13	0,07-0,86	3	0,05-0,08
40 Landes	2	0,27-0,62		
42 Loire	7	0,19-0,73		
44 Loire-Atlantique	8	0,16-0,96	5	0,01-0,03
45 Loiret	2	0,54-0,63		
47 Lot-et-Garonne	7	0,08-0,56	3	0,01-0,07
49 Maine-et-Loire	3	0,32-0,62	3	0,01-0,05
51 Marne	7	0,06-0,24	3	0,03-0,11
52 Haute-Marne	6	0,43-1,18	1	0,01
53 Mayenne	3	0,22-0,68	1	0,05
55 Meuse	9	0,27-0,60		
57 Moselle	6	0,31-0,65	2	0,04
58 Nièvre :				
– Morvan	11	0,45-0,93	9	0,01-0,03
– Reste	5	0,22-0,63	2	0,04-0,05
61 Orne	3	0,15-0,18		
63 Puy-de-Dôme	14	0,53-2,32	4	0,01-0,04
65 Hautes-Pyrénées	4	0,20-0,38	2	0,02-0,03
67 Bas-Rhin	1	0,46		
69 Rhône	2	0,75	2	0,03
70 Haute-Saône	15	0,47-3,87	3	0,01-0,04
71 Saône-et-Loire	7	0,23-0,63	2	0,04-0,06
73 Savoie	7	0,21-0,95		
76 Seine-Maritime	13	0,12-0,52	6	0,02-0,06
79 Deux-Sèvres :				
– Nord (socle)	2	0,51-1,52	2	0,04-0,07
– Sud (calcaire)	6	0,24-0,39		
81 Tarn	2	0,19-0,59		
84 Vaucluse	5	0,15-1,60	2	0,03-0,09
85 Vendée	1	1,36		
86 Vienne	3	0,22-0,86		
87 Haute-Vienne	18	0,13-1,57	6	0,02-0,03
88 Vosges	3	0,33-0,63	1	0,03

(1) Une partie ou la totalité de chaque département est représentée : se reporter aux cartes 1, 2 ou 3 pour la localisation exacte.

(2) N = Nombre d'échantillons analysés.