

LES OLIGO - ÉLÉMENTS DANS LES FOINS EN FRANCE

INTRODUCTION

DANS LE BUT DE DECELER L'EXISTENCE D'EVENTUELLES CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS, DEUX ENQUETES ONT ETE MISES EN PLACE AU NIVEAU NATIONAL, L'UNE aupres des vétérinaires praticiens, en 1968, l'autre aupres des éleveurs par l'intermédiaire des Services de Développement, en 1969. Les réponses des vétérinaires sont bien réparties sur le territoire français, celles des éleveurs plus régionalisées.

Des syndromes susceptibles d'être effectivement attribués à des carences en cuivre et cobalt d'une part, en zinc ou en sélénium d'autre part, parfois en manganèse, ont été décrits (LAMAND, PERIGAUD, BELLANGER, 1973).

La confirmation de ce diagnostic semblait, *a priori*, pouvoir être fournie, au moins pour la période hivernale, par les analyses des foins et autres constituants de la ration de base.

Les aliments grossiers ont donc été collectés, au cours des deux ou trois années suivant l'enquête, dans les exploitations qui avaient décrit des carences probables, ainsi que dans quelques nouveaux départements ; au total, 1.500 échantillons ont été analysés, en provenance de quarante-huit départ-

par S. Pévigaud,
J. Bellanger
et M. Lamand

tements, très inégalement représentés d'ailleurs (5 à 100 échantillons/département), les prélèvements pouvant être soit assez également répartis, soit au contraire très localisés à une seule région naturelle du département.

Les zones d'élevage bovin les plus importantes en France sont dans l'ensemble représentées, à l'exception toutefois de la Bretagne et de quelques « trous » entre le Massif Central et la Savoie.

La nature de ces échantillons est très variée ; ils comprennent surtout différentes coupes de prairies naturelles, mais aussi des luzernes, des trèfles violets, purs ou en mélange, ainsi que des ensilages de maïs.

Nous présentons, dans les pages qui viennent, les résultats du dépouillement statistique de toutes les données analytiques.

Le cuivre, le zinc, le manganèse ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique sur solubilisation par voie humide (BELLANGER, 1971), le molybdène par colorimétrie (DUVAL, 1971), après minéralisation par voie sèche, le sélénium par fluorimétrie en U.V. (LAMAND, 1969). Le dosage en série du cobalt n'étant pas encore appliqué dans nos laboratoires, cet élément n'est pas étudié ici.

Nous avons cherché, pour chacun des oligo-éléments dosés, s'il existait quelques lois de variations, en fonction du type de prairie, de la coupe, du mode d'exploitation, de la région, etc. Tous ces facteurs n'étant pas tous également représentés, les comparaisons n'ont porté, pour chacun d'eux, que sur une fraction de la totalité des échantillons.

I. — VARIATIONS DE COMPOSITION EN OLIGO-ELEMENTS DES FOURRAGES

1) Selon les plantes et leur stade d'exploitation.

a) *Les prairies naturelles.*

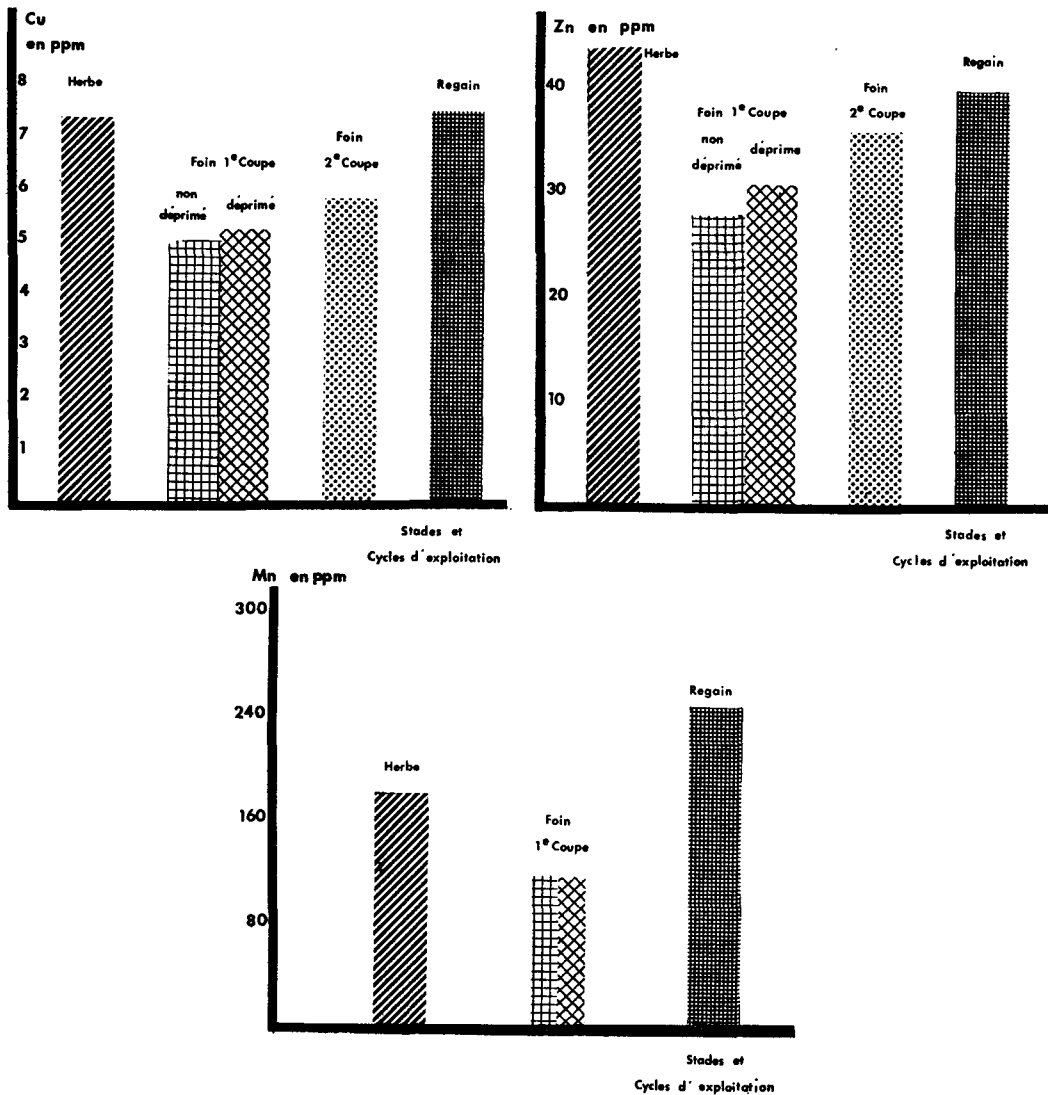
La composition des prairies naturelles varie avec l'année, dans des limites qui ne dépassent toutefois pas 0,5 p.p.m. de cuivre et 5 p.p.m. de zinc au cours des trois années étudiées. En manganèse, la dispersion est telle, au

*Oligo - éléments
dans les foin*

cours d'une même année, qu'aucune moyenne n'est significative. Dans ces conditions, et compte tenu de la marge d'erreurs des analyses, les données de ces trois années ont été exploitées ensemble.

Les variations des teneurs en cuivre, manganèse, zinc sont traduites sur la figure 1 :

FIGURE 1
PRAIRIES NATURELLES - TENEURS RELATIVES EN Cu, Zn, Mn
DES DIFFERENTS STADES ET CYCLES D'EXPLOITATION



- l'herbe au stade pâture est nettement plus riche en cuivre et en zinc que le foin première coupe, de même que les regains d'arrière-saison ;
- les secondes coupes sont également mieux pourvues, toutefois, la différence n'est plus significative à l'échelle du département ;
- le « déprimage » par un passage précoce d'animaux en début de saison augmente légèrement la teneur moyenne en cuivre et zinc des foins de première coupe ultérieurs, ceci de façon significative pour le zinc. Toutefois, cette différence faible est rarement significative à l'intérieur d'une région. Dans ces conditions, la distinction entre les deux types d'exploitation n'est pas nécessaire au niveau de cette enquête.

TABLEAU I

**TENEURS MOYENNES ET EXTREMES EN OLIGOELEMENTS
DES FOINS DE PREMIERE COUPE EN FRANCE**

	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Moyennes</i>	σ_m	<i>Extrêmes</i>
Cuivre (Cu) p.p.m.	454	5,20	0,05	2,8-8,0
Zinc (Zn) p.p.m.	440	29,09	0,37	13-60
Manganèse (Mn) .. p.p.m.	440	158,15	5,27	12-580
Molybdène (Mo) .. p.p.m.	193	0,63	0,04	
Sélénium (Se) p.p.m.	93	0,05		0,011-0,11

Le tableau I précise les teneurs moyennes des foins de première coupe en France en tous les oligo-éléments étudiés, avec les erreurs-types et les compositions individuelles extrêmes. Le tableau II montre la répartition de ces valeurs en différentes classes de teneurs croissantes pour le cuivre, le zinc et le manganèse. Les analyses de molybdène et sélénium portent sur un nombre moindre d'échantillons et ne font par conséquent pas l'objet des

comparaisons systématiques précédentes ; les regains, en nombre suffisant, sont toujours plus riches que les premières coupes (1,18 p.p.m. de molybdène, 0,16 p.p.m. de sélénium, contre respectivement 0,63 et 0,05).

TABLEAU II
REPARTITION DES FOINS DE PRAIRIES NATURELLES
PREMIERES COUPES
EN CLASSES DE TENEURS CROISSANTES

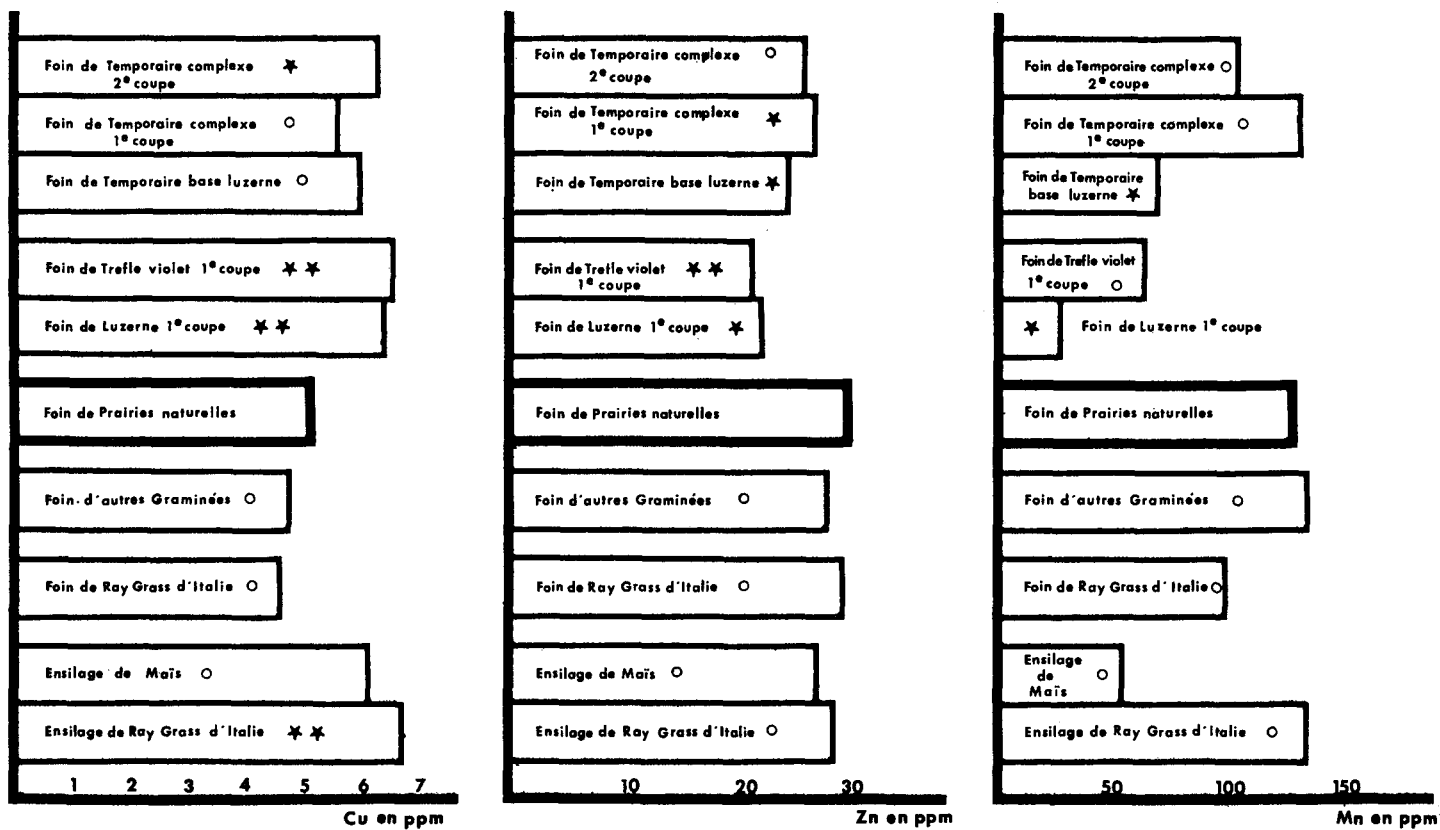
<i>Cuivre</i>		<i>Zinc</i>		<i>Manganèse</i>	
<i>Classe</i>	<i>% total</i>	<i>Classe</i>	<i>% total</i>	<i>Classe</i>	<i>% total</i>
< 3 p.p.m.	0,4	< 15 p.p.m.	1,1	< 25 p.p.m.	3,5
3-3,9	9,8	15-19,9	8,4	25- 50	15
4-4,9	34,0	20-24,9	19,2	50-100	22
5-5,9	35,0	25-29,9	26,9	100-200	29
6-6,9	14,5	30-34,9	24,2	200-300	18
7-7,9	5,0	35-39,9	10,5	300-400	7
8-8,9	1,3	40-44,9	6,2	400-500	4
		45-49,9	2,1	500-600	1,5
		> 50 (50-60)	1,4		

b) *Autres prairies.*

La figure 2 met en évidence les compositions moyennes en cuivre, manganèse, zinc des différents types de prairie que nous avons pu comparer statistiquement aux foins de prairies naturelles.

Les foins de graminées pures sont en général un peu moins bien pourvus en tous les oligo-éléments que ceux de prairies naturelles, mais la différence n'est jamais significative.

FIGURE 2
TENEURS RELATIVES EN Cu, Zn, Mn
DE DIFFERENTS TYPES DE FOURRAGES



○ Moyennes non significatives
par rapport aux prairies naturelles

* Moyennes significatives
par rapport aux prairies naturelles

* * Moyennes hautement significatives
par rapport aux prairies naturelles

Les foins de luzerne (premières coupes) se distinguent par contre nettement des prairies naturelles par une teneur en zinc et surtout, *en manganèse, beaucoup plus faible*. Si cette teneur moyenne est un peu plus élevée en cuivre, il existe certaines régions dans lesquelles le résultat est inversé (Normandie).

Les trèfles violets sont voisins des luzernes. Les prairies temporaires suivent les lois de leurs composants : en première coupe, leur composition en cuivre est voisine de celle des prairies naturelles ; par contre, elles sont plus pauvres en zinc et en manganèse.

Les ensilages de ray-grass d'Italie, qui correspondent à une herbe récoltée plus jeune qu'un foin, sont mieux pourvus en tous éléments que le foin.

Les ensilages de maïs (plante entière) sont voisins des autres graminées en se distinguant toutefois par leur plus grande pauvreté en manganèse.

En molybdène, les trèfles violets et les luzernes pures ont des teneurs légèrement plus faibles que celles des prairies naturelles (0,33 p.p.m. contre 0,39 p.p.m. de molybdène). Le sélénium diffère peu.

2) Selon les régions.

Le regroupement des résultats a été fait par « régions » telles 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.

a) Les prairies naturelles premières coupes.

Les teneurs moyennes en cuivre, zinc, manganèse, molybdène, sélénium ont été calculées pour les différentes régions et les taux extrêmes relevés (tableau III). Approximativement, deux moyennes sont significativement différentes, pour le cuivre lorsqu'elles diffèrent d'au moins 0,4 p.p.m. de cuivre avec une erreur-type inférieure elle-même à 0,4 p.p.m. (test de Tukey). Pour le zinc, elles doivent différer de 5 p.p.m. avec un σ_m de 6 p.p.m.

TABEAU III
TENEURS EN OLIGO-ELEMENTS DES FOINS DE PRAIRIE NATURELLE PREMIERE COUPE

Départements	Région	Cu (p.p.m. M.S.)				Zn (p.p.m. M.S.)				Mn (p.p.m. M.S.)		Mo (p.p.m. M.S.)		Se (p.p.m. M.S.)	
		Nbre d'éch.	Moyen. \bar{x}	$\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$	Extrêmes	Nbre d'éch.	Moyen. \bar{x}	$\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$	Extrêmes	Nbre d'éch.	Extrêmes	Nbre d'éch.	Extrêmes	Nbre d'éch.	Extrêmes
02 Aisne	Thiérache (Aisne, Ardennes)	10	5,81	0,31	4,3-7,4	10	35,70	2,16	27-47	10	59-181	3	0,27-0,41		
03 Allier	Sologne bourbonnaise, Val d'Allier, Bocage bourbonnais*	8	5,27	0,31	4,6-7,3	7	28,14	3,69	19-44	7	85-450	7	0,12-1,44	2	0,03-0,06
04 Basses-Alpes	Plateau de Forcalquier	7	4,92	0,45	3,9-7,3	7	20,71	1,53	15-27	7	12-68	4	0,47-0,86		
	Montagne Haute-Provence ..	7	5,21	0,37	4,5-7,2	6	26,66	2,66	20-38	6	17-34	2	0,43-0,79		
07 Ardèche	Haut-Vivarais	15	4,62	0,19	3,5-5,8	15	34,80	2,04	16-28	15	98-436	5	0,13-0,56	5	0,05-0,11
08 Ardennes	Crêtes préardennaises	13	4,97	0,21	4,0-6,0	13	21,92	1,03	23-45	13	28-166	10	0,15-4,24	2	0,02-0,07
	Thiérache (voir Aisne) Argonne (voir Meuse) Champagne (voir Marne)														
09 Ariège	Coteaux et plaine	8	5,30	0,24	3,8-8,1	8	27,50	2,62	17-41	8	32-335	2	0,28-0,42		
	Sous-Pyrénées et Pyrénées ..	5	4,64	0,41	4,1-4,9	5	31,0	0,31	30-32	5	27-303				
10 Aube	Champagne (voir Marne)														
14 Calvados	Ouest : Bocage normand ...	9	4,63	0,53	3,3-5,7	9	29,44	1,49	22-36	9	78-310	6	0,20-0,74	3	0,03-0,06
	Est : Pays d'Auge	6	5,30	0,18	3,6-6,6	6	33,5	1,99	26-40	6	44-226	2	0,31-0,49	1	0,06
15 Cantal	S.-E. et S.-O. : sol cristallin et métamorphique*	10	5,40	0,33	3,6-6,0	10	33,0	1,90	23-44	10	46-528	4	0,44-1,08	3	0,03-0,04
	Centre : volcanique	22	5,32	0,21	3,4-7,1	22	29,0	2,37	16-60	22	43-407	9	0,29-1,21	3	0,02-0,04
17 Charente-Maritime	Marais de Rochefort et Marennes, Marais de Vendée	6	5,58	0,26	5,3-6,5	6	34,0	5,16	21-50	6	24-217	3	0,61-1,41	2	0,04-0,11
24 Dordogne	Périgord bergeracois, landais (calc. \pm sidérol.)* .. Nontronnais (cristall.) (voir Haute-Vienne)	13	4,72	0,13	3,8-5,2	13	25,61	1,50	20-32	13	52-499	6	0,04-0,26		
32 Gers	Totalité	4	5,20	0,30	4,4-6,1	4	21,0	1,08	18-23	4	58-295	2	0,29-0,35		
36 Indre	Boischaud sud	4	4,87	0,40	4,2-5,3	4	31,50	2,98	24-38	4	164-575	4	0,16-0,57	2	0,05-0,08
42 Loire	Forez et Madeleine	16	5,28	0,21	3,8-7,2	16	35,87	2,03	24-51	16	45-418	5	0,19-0,73	7	0,01-0,07
45 Loiret	Sologne, Val de Loire, Beauce (Loir-et-Cher)	3	4,40	0,54	3,7-5,5	3	20,66	2,9	16-26	3	66-184	2	0,54-0,63		
47 Lot-et-Garonne	Coteaux nord et sud	7	4,40	0,18	3,6-5,0	7	18,57	1,08	15-22	7	28-300	5	0,18-0,46	1	0,07
51 Marne	Champagne (Marne, Ardennes et Aube)	8	5,90	0,53	3,4-8,0	7	24,42	2,56	14-30	7	29-287	2	0,06-0,15	3	0,03-0,11

(*) Une subdivision en deux ou trois régions pédologiquement très différentes n'ayant pas mis en évidence de différences de composition des fourrages, l'ensemble du département a été regroupé.

TABEAU III
TENEURS EN OLIGO-ELEMENTS DES FOINS DE PRAIRIE NATURELLE PREMIERE COUPE (suite)

Départements	Région	Cu (p.p.m. M.S.)				Zn (p.p.m. M.S.)				Mn (p.p.m. M.S.)		Mo (p.p.m. M.S.)		Se (p.p.m. M.S.)	
		Nbre d'éch.	Moyen. \bar{x}	$\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$	Extrêmes	Nbre d'éch.	Moyen. \bar{x}	$\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$	Extrêmes	Nbre d'éch.	Extrêmes	Nbre d'éch.	Extrêmes	Nbre d'éch.	Extrêmes
52 Haute-Marne	E.-S.-E.: Amance et Vingeanne Nord: voir Meuse (Barrois)	15	5,10	0,13	4,4-5,5	6	28,83	1,07	27-34	6	24-516	6	0,43-1,18	1	0,01
53 Mayenne	Schistes et granites	9	5,60	0,40	3,4-8,0	9	27,22	1,89	20-33	9	74-407	3	0,22-0,68		
55 Meuse	Argonne (Meuse, Ardennes et Marne)	7	6,05	0,48	4,0-7,4	7	31,14	2,73	18-42	7	19-132	4	0,27-0,51		
	Barrois (Meuse et nord de Haute-Marne)	13	5,54	0,29	4,3-7,7	14	31,85	2,06	21-50	14	26-351	1	0,60		
	Wœvre et Montmédy	6	5,78	0,35	4,7-6,9	6	27,33	1,42	22-32			4	0,40-0,56		
57 Moselle	Ouest (Lias)	7	5,42	0,15	5,0-6,4	7	26,14	1,29	31-50	7	33-92	3	0,31-0,65		
	Est (Trias)	7	6,20	0,50	4,6-8,3	7	35,85	2,57	23-32	7	36-106	3	0,45-0,50		
58 Nièvre	Bourgogne nivernaise et Nivernais	7	5,71	0,20	5,0-6,1	8	27,5	2,06	19-30	8	35-193	4	0,22-1,0	2	0,04-0,05
	Entre Loire et Allier	12	6,05	0,51	4,0-10,7	11	27,90	1,28	19-33	11	61-272	1	0,63		
63 Puy-de-Dôme	Combrailles, Dômes, Livradois	19	4,62	0,20	3,9-6,6	19	29,94	1,87	21-86	19	95-325	8	0,60-2,32	3	0,01-0,04
65 Hautes-Pyrénées	Gave Pau, coteaux Béarn, Hautes vallées	5	4,44	0,41	3,3-5,7	5	22,20	2,22	17-28	5	117-321	4	0,20-0,38		
67 Bas-Rhin	Plaine du Rhin	4	6,45	0,87	4,4-8,6	4	35,5	2,9	31-44	4	66-292	1	0,46		
70 Haute-Saône	Totalité*	12	5,79	0,21	4,9-7,3	12	30,41	1,06	26-37	12	67-225	12	0,47-3,87	3	0,01-0,04
71 Saône-et-Loire	Autunois	3	5,90	0,50	4,9-6,0	3	35,33	1,85	33-39	3	137-212	3	0,23-0,63		
73 Savoie	Combes et Haute-Maurienne	7	5,44	0,64	3,2-6,5	7	26,85	4,31	14-42	7	32-130	7	0,21-0,95		
74 Haute-Savoie	Bas-Genevois (voir Savoie)														
76 Seine-Maritime	Pays de Caux	30	5,32	0,22	3,3-6,7	28	29,71	1,32	18-46	28	30-286			1	0,04
	Pays de Bray	25	5,02	0,18	3,7-6,7	24	30,87	1,17	23-49	24	35-446	4	0,17-0,52	2	0,02-0,06
79 Deux-Sèvres	Nord (socle primitif et sch.)	5	4,58	0,35	3,5-5,6	5	24,80	1,88	21-32	5	48-522				
	Sud (terrains secondaires)	6	4,93	0,51	3,5-6,9	6	27,58	4,79	18-48	6	46-211	3	0,26-0,39		
84 Vaucluse	Mont Ventoux et Tricastin	3	4,66	0,75	3,3-4,8	3	23,33	2,96	19-29	3	18-23	3	0,50-0,95	2	0,03-0,09
87 Haute-Vienne	Totalité + nord de la Dordogne (métamorphique)	15	4,85	0,15	4,1-5,8	15	29,53	2,05	19-41	15	82-580	6	0,32-1,22	6	0,02-0,03
88 Vosges	Plateau lorrain (Trias)	3	4,20	0,30	3,9-4,8	3	20,6	1,0	18-21	3	64-169	3	0,33-0,63	1	0,03

(*) Une subdivision en deux ou trois régions pédologiquement très différentes n'ayant pas mis en évidence de différences de composition des fourrages, l'ensemble du département a été regroupé.

1. — Les foins des prairies naturelles *les plus pauvres en cuivre* se situent (tableau III) :

- d'une part sur les granites, roches métamorphiques et sédiments primaires les plus anciens du V hercynien : Massif Central (Puy-de-Dôme, Creuse et sud de l'Indre, Corrèze, Haute-Vienne et nord de la Dordogne), Massif Armoricaïn (représenté ici seulement par le Morbihan, la Loire-Atlantique, le nord des Deux-Sèvres) et les Vosges (peu étudiées) ;
- d'autre part, sur des sédiments calcaires :
 - soit secondaires : jurassiques (crêtes préardennaises, Bocage Normand, Poitou) ou crétacés (Perche, Anjou d'une part, Saintonge, Périgord, d'autre part),
 - soit tertiaires : Aquitaine (Agenais, Ariège au pied des Pyrénées, et Sud-Est (mont Ventoux, plateau de Forcalquier). Les cônes de déjections des torrents pyrénéens peuvent être rattachés à cette classe (Lannemezan).

2. — *Les foins les plus pauvres en zinc (< 25 p.p.m.)* ne se situent pas, en général, sur les terrains cristallins et cristallophylliens, mais surtout sur certains calcaires déjà carencés en cuivre : Ardennes, Perche-Anjou, Saintonge-Agenais et Sud-Est (mont Ventoux et région de Forcalquier). Le Gers apparaît également très pauvre.

3. — *Pour le manganèse*, la dispersion est telle qu'aucune moyenne ne peut avoir de sens. Les foins les plus pauvres (teneur minima < 45 p.p.m. de manganèse) se situent sur les sédiments calcaires, jurassiques, crétacés ou tertiaires avec une extension souvent 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 calcaires.

Dans cet ensemble, le Sud-Est, avec des foins dont les teneurs sont *toutes* inférieures à 60 p.p.m., se montre particulièrement pauvre. Les régions de Champagne dépassent rarement 80 p.p.m. Le Morvan a des foins pauvres en manganèse exclusivement sur les affleurements liasiques, mais non sur le socle primitif et les sédiments primaires.

Dans cette liste, quelques départements ne figurent pas, bien que certains de leurs sols soient calcaires (Aisne, Indre, Gers, Hautes-Pyrénées). Leurs foins ont des teneurs en manganèse qui dépassent en fait à peine ce seuil conventionnel de 45 p.p.m.

A l'opposé, les foins sont toujours bien pourvus en manganèse sur les terrains primitifs (acides) et, de façon générale, les sols d'altitude où l'évolution lente de la matière organique maintient un milieu acide, quelle que soit la roche-mère (cas des plateaux jurassiens).

4. — *En molybdène*, des foins particulièrement pauvres (0,1 p.p.m. de molybdène) se rencontrent en Dordogne, dans le Lot-et-Garonne, dans l'Indre, dans la Marne.

A l'opposé, des teneurs élevées (> 3 p.p.m. Mo) se rencontrent exceptionnellement dans les Ardennes, la Haute-Saône, sur le Jurassique inférieur et moyen. Elles correspondent à des sols bruns calcaires hydromorphes et des sols rendziniformes humides sans être toutefois généralisées à tout l'étage : par exemple, le taux de molybdène est très moyen dans les foins des argiles liasiques de la Meuse, de la Haute-Marne et du Morvan.

Les terrains primitifs du Puy-de-Dôme, de la Haute-Vienne, des Deux-Sèvres donnent des foins relativement bien pourvus en molybdène ; les regains, avec des teneurs encore plus élevées, tendent à atteindre 3 p.p.m.

5. — *En sélénium*, les résultats sont relativement homogènes dans la pauvreté.

b) *Ensemble des foins distribués aux animaux.*

L'addition des foins de prairies naturelles et des autres foins ne s'en différenciant pas de façon significative permet une couverture un peu plus large du territoire avec une vue d'ensemble plus complète de la composition moyenne des rations hivernales distribuées par les éleveurs dans les types d'alimentation traditionnels.

Compte tenu de la précision des analyses et de l'erreur-type, nous avons réparti ces moyennes en trois classes de teneurs croissantes en cuivre et en zinc, avec un intervalle de classe de 1 p.p.m. pour le cuivre et 7 p.p.m. pour le zinc et dressé des cartes correspondantes (figures 3 et 4).

FIGURE 3
FOINS DE PREMIERE COUPE

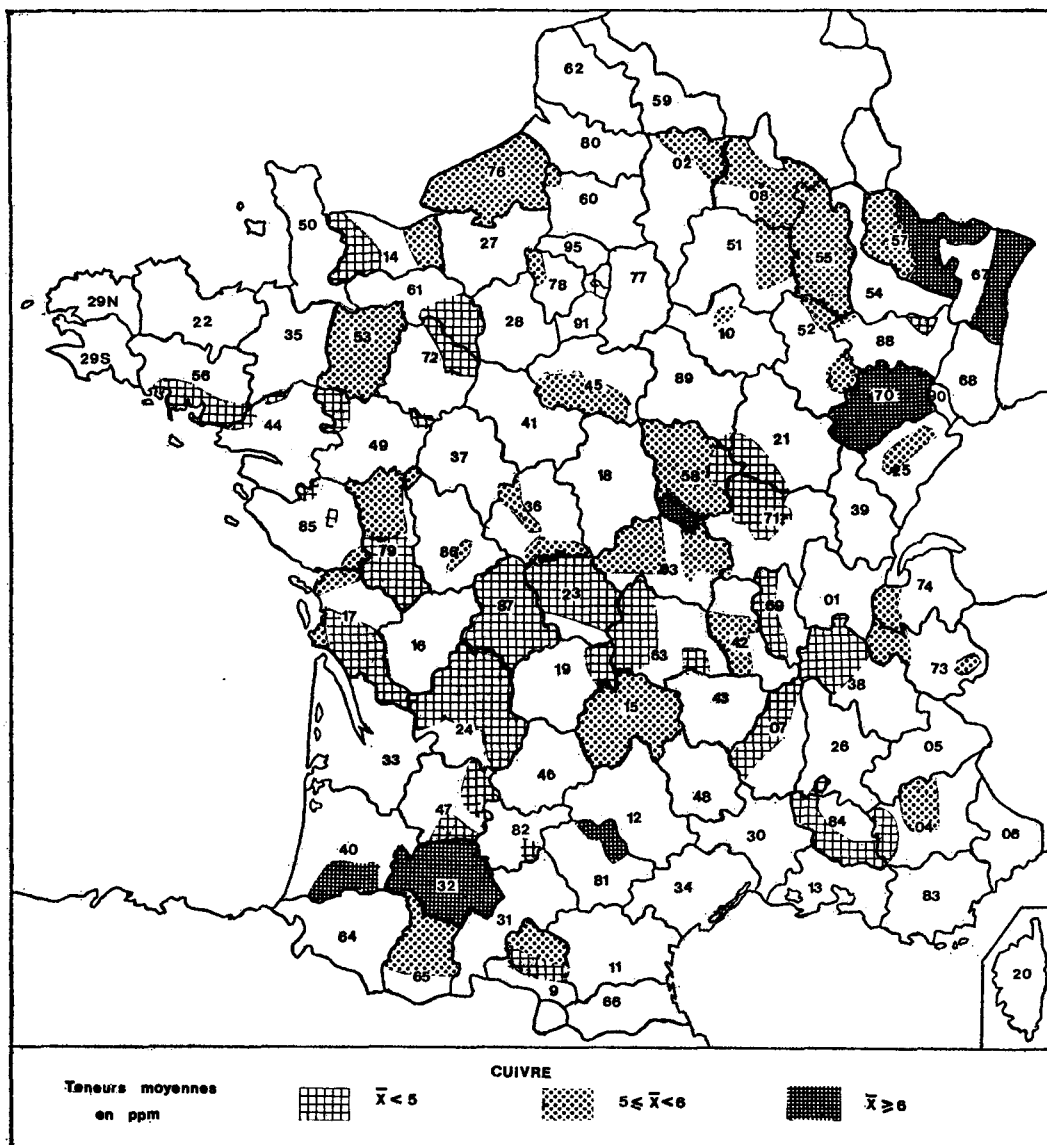


FIGURE 4
FOINS DE PREMIERE COUPE

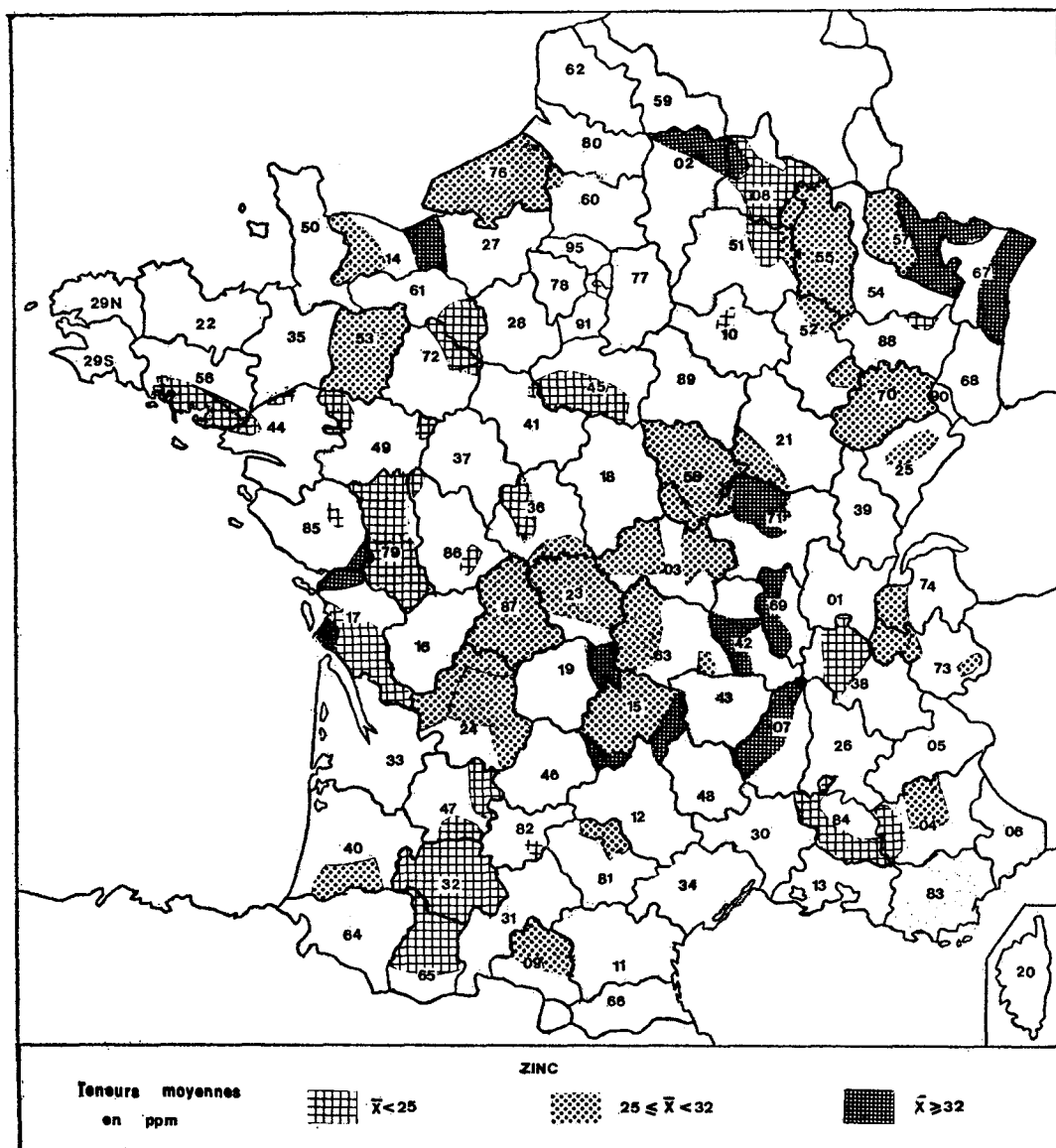
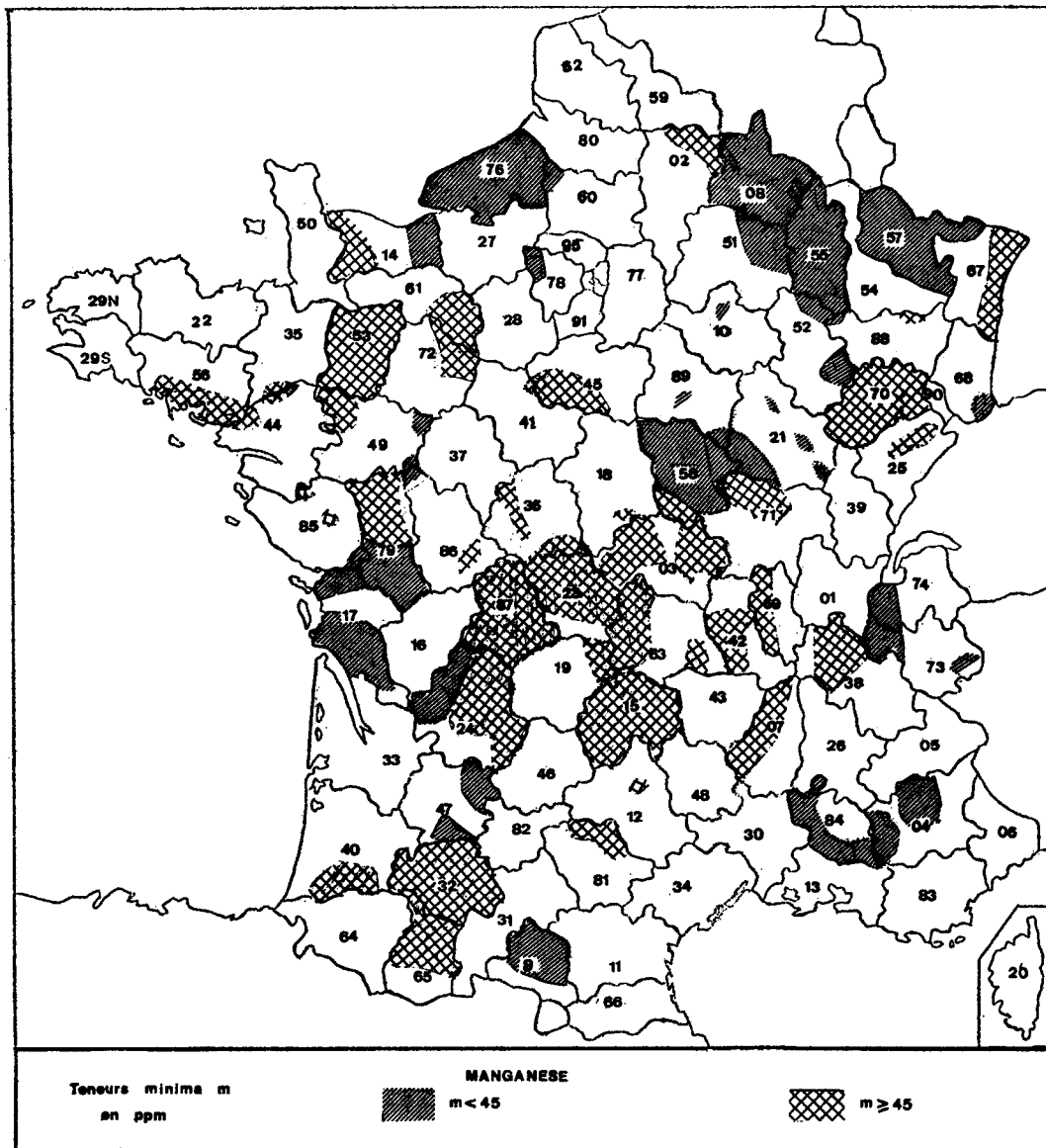


FIGURE 5
FOINS DE PREMIERE COUPE



On retrouve les secteurs les plus pauvres en cuivre cités à propos des prairies naturelles ; on peut constater en outre que les sols sédimentaires hydromorphes où l'exploitation herbagère reste extensive ne sont pas les moins bien pourvus (Sologne, Brenne, plateau lorrain, boulbènes du Sud-Ouest, marais vendéen et charentais, etc.).

Les foins les plus pauvres en zinc se situent dans l'Ouest et le Sud-Est, ils atteignent les teneurs les plus élevées dans l'Est, le Massif Central oriental et les marais de l'Ouest.

Pour le manganèse (figure 5), nous distinguons seulement deux catégories de régions, celles dans lesquelles la teneur *minima* en manganèse des foins est toujours supérieure à 45 p.p.m. et celles qui contiennent au moins un foin de teneur < 45 p.p.m. On retrouve les résultats précisés à propos des prairies naturelles.

DISCUSSION ET CONCLUSION

A) Les oligo-éléments dans les fourrages.

1) 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 p.p.m. pour le cuivre et 5 p.p.m. pour le zinc. Des variations plus importantes sont signalées (FLEMING, MURPHY, 1968, GAWECKI et al., 1968).

2) *Le déprimage* a, sur les oligo-éléments, les mêmes effets d'amélioration de la qualité du foin récolté ultérieurement que sur les autres constituants (DEMARQUILLY, communication personnelle).

3) *La composition botanique* des foins de première coupe — légumineuses mises à part — n'a pas une grande influence sur sa composition en oligo-éléments. Ces données sont en contradiction apparente avec celles que l'on obtient avec des expérimentations fourragères menées dans des conditions bien définies, mais s'expliquent par le fait que la gamme de variations des teneurs des graminées, qui constituent la base de l'ensemble, est relativement étroite, en un même lieu, au stade de récolte foin (S. PERIGAUD, 1972). Au niveau d'une enquête provenant de foins prélevés en grange, les variations relativement faibles sont tamponnées.

Seules les variations systématiques importantes sont décelables sans ambiguïté : les légumineuses sont beaucoup plus pauvres en zinc et surtout en manganèse que les graminées de même provenance ; les prairies mixtes à base de luzerne sont donc également plus pauvres que les prairies naturelles. Quant au cuivre, le classement respectif graminées-légumineuses varie d'une région à l'autre : en conditions de sol normalement pourvu en cuivre, la légumineuse est plus riche, mais en sol pauvre, le résultat est inversé (MITCHELL, 1960).

Comme nous l'avons vérifié par ailleurs (résultats non publiés), la teneur en molybdène des trèfles violets est légèrement plus faible que celle des graminées, ce qui ne correspond pas aux données en provenance des Etats-Unis (BARSHAD, 1948).

Les foins de ray-grass d'Italie sont un peu plus pauvres en cuivre que ceux de prairie naturelle, ce qui peut s'expliquer surtout par la différence de niveau des rendements obtenus (KERGUELEN, 1962).

4) Comme nous l'avons partout vérifié (S. PERIGAUD, 1970 et résultats non publiés), les fourrages récoltés de façon précoce, c'est-à-dire l'herbe de pâture, puis l'ensilage, sont toujours plus riches en cuivre et zinc que les foins correspondants : la plante s'appauvrit avec l'âge (FLEMING, MURPHY, 1968). De même, les regains sont beaucoup plus riches que les premiers cycles.

5) L'influence du sol sur la composition en oligo-éléments de ces fourrages n'est pas négligeable.

a) *Les foins les plus pauvres en cuivre* se situent bien sur les sols que les connaissances géopédologiques actuelles peuvent faire considérer comme les moins bien pourvus en cuivre utilisable par les plantes en général (S. PERIGAUD, 1972) : Massif Armoricain, Centre cristallin, la plupart des calcaires ; cette pauvreté des fourrages n'est toutefois pas généralisée sur ces roches-mères : la Mayenne qui se rattache au Massif Armoricain, la Haute-Saône, la Moselle, dont les secteurs étudiés appartiennent aux Vosges, ne sont pas des plus mal pourvus.

Des nuances sensibles sont donc à apporter par des études plus fines des sols à l'échelle de la région.

b) *Les foins les plus pauvres en zinc* appartiennent le plus souvent à des sols connus pour la faible disponibilité de cet élément : sols peu acides

ou calcaires, en général assez humides et compacts (DARTIGUES, 1964). Le Sud-Ouest est déjà connu par ses carences en zinc sur maïs. Pratiquement, les facteurs modifiant l'assimilabilité du zinc sont si nombreux que les sols « carencés » sont difficilement cartographiables à petite échelle.

c) *Les foins les plus pauvres en manganèse* correspondent aux sols dans lesquels le manganèse est bloqué sous des formes inaccessibles à la végétation, c'est-à-dire, dans le cas le plus général, sur des sols calcaires sains, à bon drainage. De faibles variations dans les facilités de circulation de l'eau se répercutent sur la composition de la plante, ce qui explique en partie la très forte hétérogénéité observée.

Pratiquement, les sols « pauvres en manganèse » se situent sur le substrat calcaire Secondaire et Tertiaire (carte géologique de France), mais sont loin de recouvrir la totalité de ces formations. D'une part, bon nombre de ces 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, subordonnée, le long des pentes, à la topographie (Lorraine, Normandie). D'autre part, les roches carbonatées n'ont pas toutes la même structure : les calcaires tendres, filtrants, bloquent le manganèse : à l'opposé, d'autres, plus durs, soumis à des conditions de climat favorables à l'accumulation de la matière organique, peuvent donner des sols qui ne sont plus calcaires et des foins normalement pourvus en manganèse (plateau jurassien).

d) *Les foins les plus riches en molybdène* sont situés sur des sols déjà signalés en Angleterre, Irlande, Nouvelle-Zélande, comme susceptibles d'induire des toxicoses molybdiques (LE RICHE, 1959 ; KUBOTA et al., 1961). Mais, comme sur l'Infralias anglais, sur lequel la toxicose n'est pas généralisée à tout l'étage, la richesse relative en molybdène reste assez ponctuelle ; elle est, en outre, beaucoup moins forte qu'en Angleterre.

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 p.p.m. en 1967, contre 4,6 à 9,9 p.p.m. en 1968. Des analyses annuelles restent nécessaires.

FIGURE 6

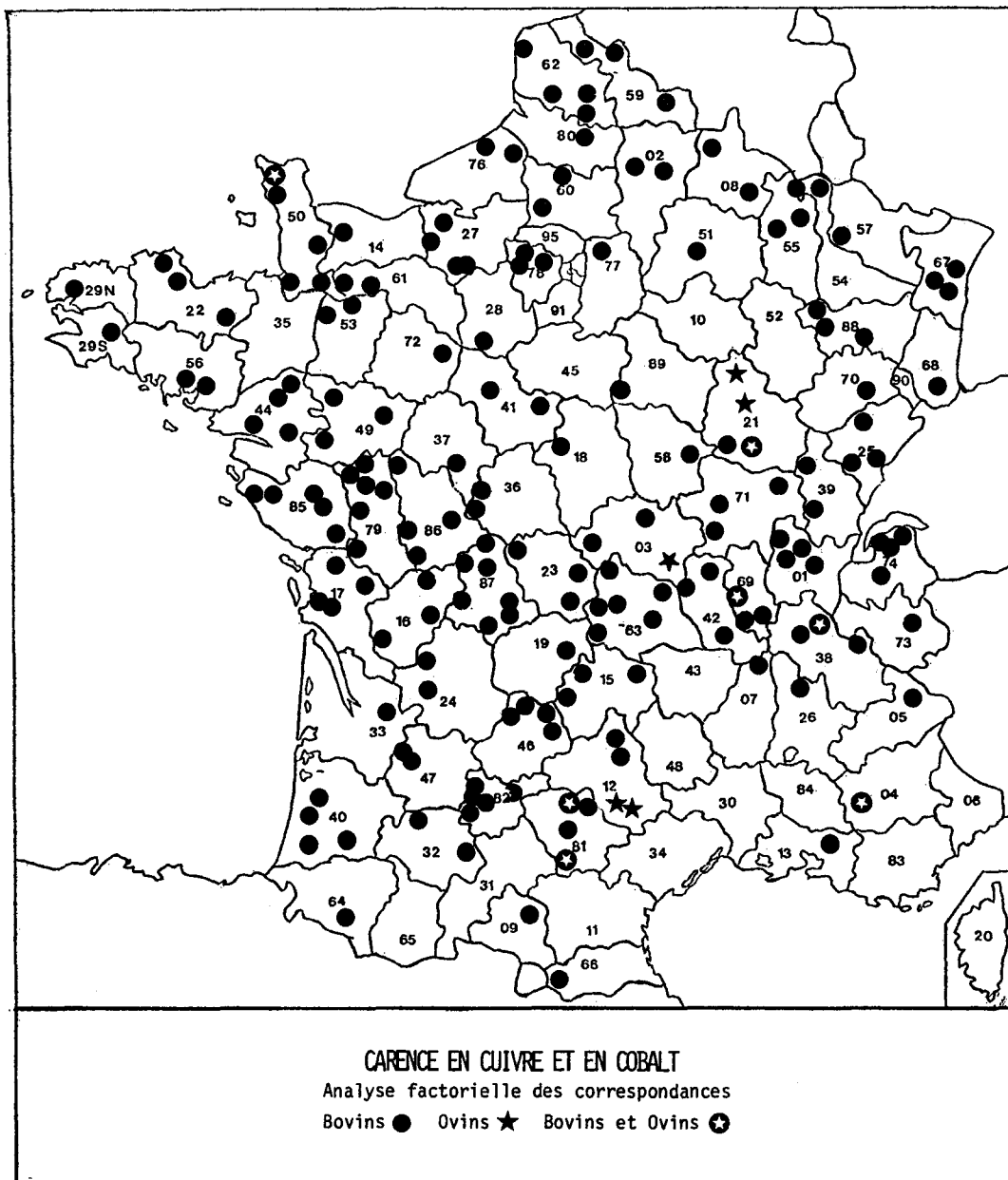


FIGURE 7

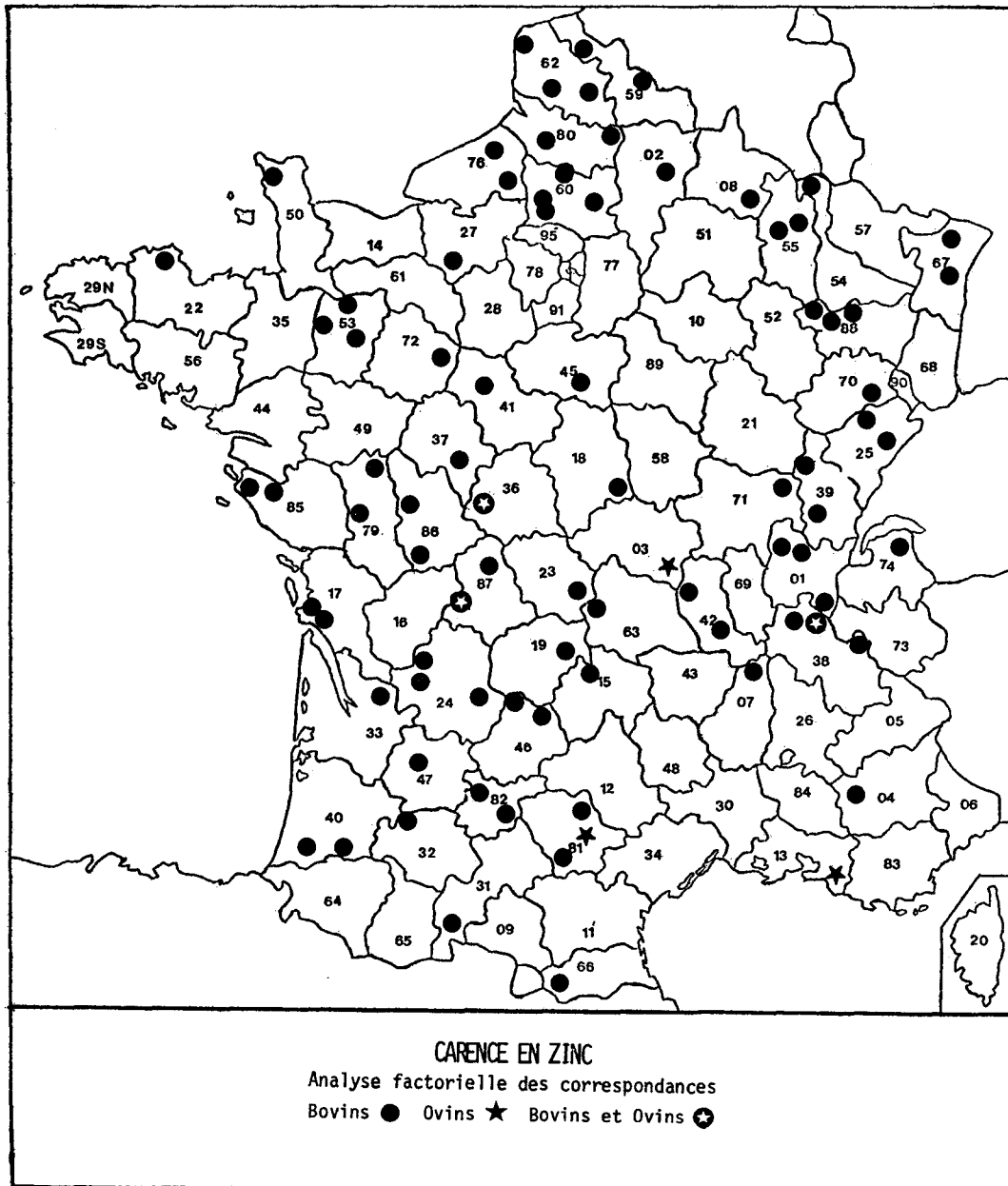


FIGURE 8

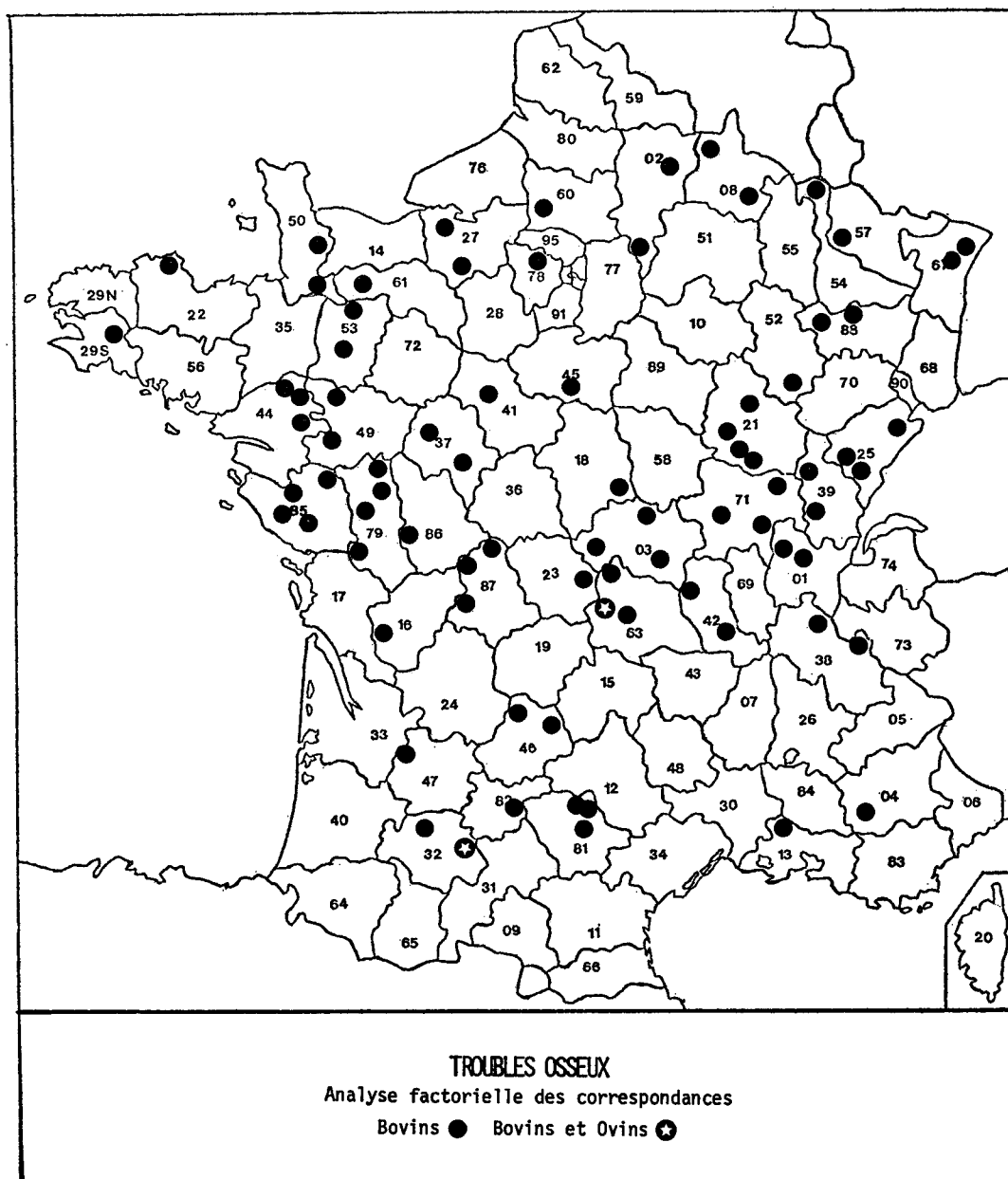
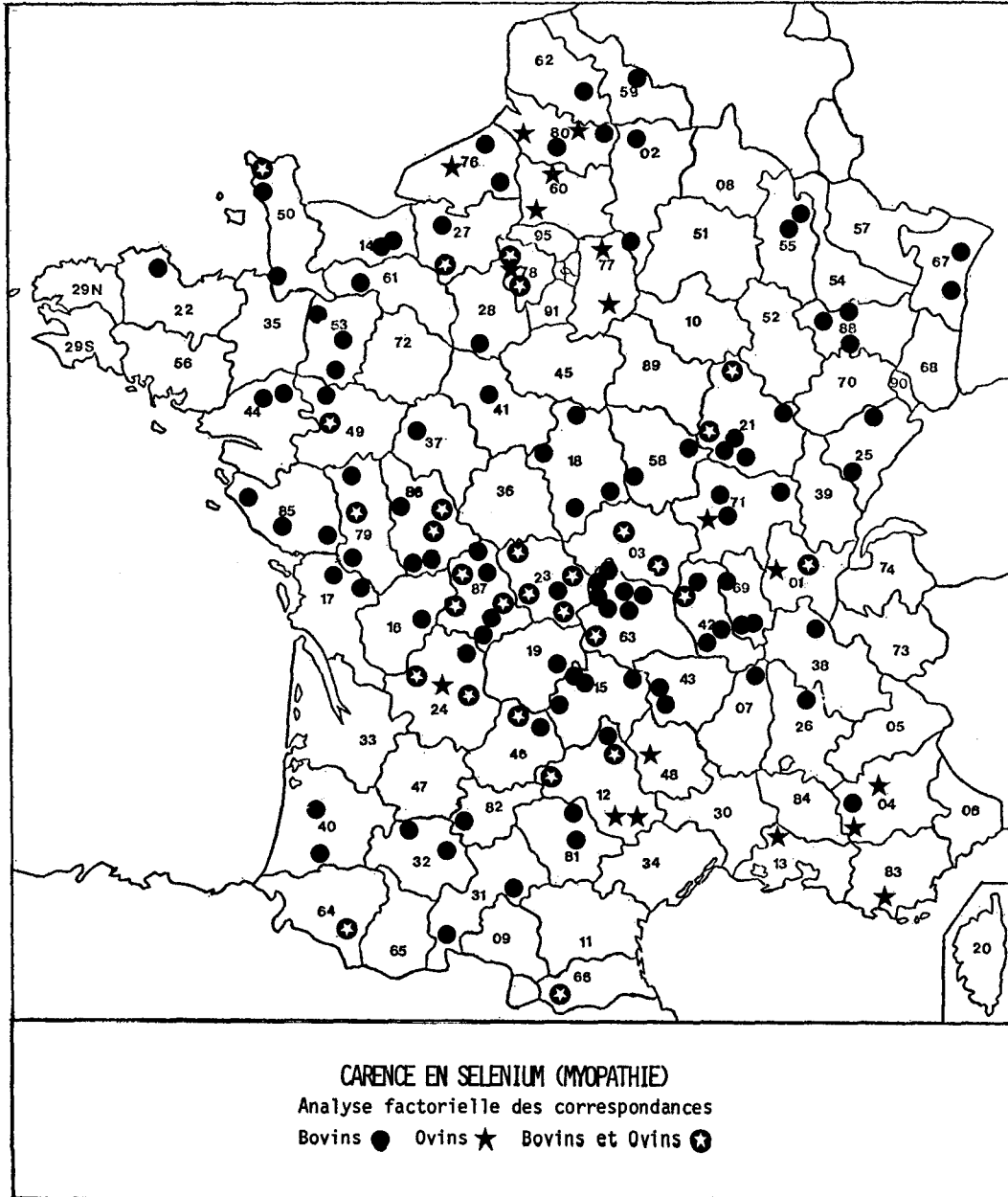


FIGURE 9



Des carences sévères en oligo-éléments, fréquentes dans certains pays, sont exceptionnelles en France. Par contre, les subcarences paraissent généralisées (figures 6, 7, 8, 9, LAMAND, PERIGAUD, BELLANGER, 1973). Leur diagnostic clinique est difficile car si le déficit de production est certain, celui-ci n'est pas évident en l'absence de « témoin ». Les autres symptômes, souvent sans gravité apparente, ne sont ni très visibles ni très spécifiques (tableau IV, LAMAND, 1971) et n'existent pas sur tous les animaux.

TABLEAU IV
SYMPTOMES DES CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS CHEZ LES RUMINANTS

Eléments	Fer		Cuivre		Cobalt		Iode		Manganèse		Zinc		Sélénium	
	A*	J*	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
<i>Symptômes</i>														
Déficit de croissance ou d'engraissement		×	×	×	×	×		×	×	×	×	×		
Chute production lait			×		×		×				×			
Inappétence		×	×	×	×	×	×	×			×	×		
Pica			×	×	×	×								
Cachexie			×	×	×	×					×	×		
Anémie		×	×	×	×	×								
Défaut d'aplomb			×	×					×	×	×	×		
Fractures spontanées			×	×										
Boiterie			×	×					×	×	×	×		×
Troubles cardiaques			×	×										×
Dyspnée			×	×										×
Diarrhée			×		×	×								
Décoloration des poils			×	×										
Poils piqués			×	×	×	×		×			×	×		
Pelade								×			×	×		
Dermites											×	×		
Goitre							×	×						
Infécondités			×		×		×		×		×			
Déformation des sabots											×	×		
Dégénérescence musculaire ..														×

L'analyse du fourrage reste donc, pour beaucoup, le moyen de déceler des carences probables.

Les seuils de carence animale se situent sensiblement (UNDERWOOD, 1971) vers :

- 4 à 10 p.p.m. M.S. de cuivre avec une limite située généralement vers 7 p.p.m. (LAMAND, 1971),
- 40 à 50 p.p.m. de zinc,
- 50 p.p.m. de manganèse.

Le molybdène ne doit pas dépasser 3 p.p.m. A l'opposé, une teneur inférieure à 0,1 p.p.m. de molybdène peut induire une toxicité cuivrique chez les ovins pour une teneur en cuivre dans la ration de l'ordre de 15 p.p.m. de cuivre.

Des interférences entre certains oligo-éléments et d'autres constituants de la plante, variables avec la plante elle-même et son stade, 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, 1969) 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 reste parfois assez lâche.

Les foins de prairies analysés présentent les caractéristiques suivantes :

CUIVRE

45 % du total contiennent moins de 5 p.p.m. et 94 % moins de 7 p.p.m. 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, au minimum, en zone de subcarence. Ce résultat est en accord avec ceux de notre enquête animale (figure 6).

Le remplacement du foin de prairies naturelles par d'autres foins ou par les ensilages de maïs ne modifie pas sensiblement la situation.

Il n'est pas certain que notre classement des régions en trois groupes de teneurs croissantes ait un intérêt pratique, puisque l'ensemble se situe en dessous du seuil animal.

Il convient toutefois de rappeler que nos foins proviennent tous de départements qui se sont intéressés à notre enquête parce qu'ils avaient des problèmes de carence. Nous n'avons pas de données sur le reste de la France.

MOLYBDENE

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.

ZINC

99 % des foins de prairies naturelles ont des taux de zinc inférieurs au seuil ; près de 30 % contiennent moins de 25 p.p.m.

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, il n'est pas évident que le classement de nos foins en trois groupes de teneurs croissantes ait un intérêt pratique. Les descriptions de carence en zinc sur les troupeaux ne proviennent pas exclusivement des départements dont les foins sont les plus pauvres (figure 7).

MANGANESE

18 % 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 les parcelles plus ou moins acides, plus ou moins humides, qui modifient l'assimilabilité 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. Sur la figure 5, les régions contenant des foins de teneurs inférieures à 45 p.p.m. de manga-

nèse sont pratiquement, parmi les secteurs prospectés, ceux dans lesquels on peut rencontrer des carences manganiques animales.

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

Notre enquête sur les carences animales n'a pas permis de déceler des carences spécifiquement manganiques, mais un syndrome « troubles osseux » (figure 8) 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, PERIGAUD, 1972).

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).

SELENIUM

Avec un seuil de carence situé vers 0,1 p.p.m. de sélénium, une teneur moyenne de sélénium dans les fourrages de 0,05 p.p.m., un maximum de 0,11 p.p.m., la myopathie est susceptible de se révéler non seulement dans le Centre (LAMAND, 1970), mais aussi, avec une intensité moindre, presque partout en France.

Ce résultat est en accord avec ceux de notre enquête animale (figure 9).

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

En résumé.

D'après nos analyses de fourrages, les carences en cuivre, en zinc, en sélénium sont généralisées en France, celles en manganèse sont moins importantes et plus localisées. Certaines régions cumulent l'extrême pauvreté en tous les oligo-éléments (Ouest charentais, Sud-Est, etc.) .

La carte prévisionnelle des carences en cuivre, établie d'après les données géochimiques (S. PERIGAUD, 1972), montrait, elle aussi, l'extrême dispersion probable des carences en cuivre en France.

Nos analyses de foins provenant des régions où des syndromes ressemblant à de telles carences ont été décrites indiquent que les seuils de carence animale sont atteints.

Toutes nos données sont donc concordantes pour confirmer l'extension et la dispersion des carences en oligo-éléments en France.

Pratiquement, il apparaît difficile de ne pas attendre de carences dans les élevages nourris sans complémentation minérale, et ceci d'autant plus que l'intensification tend à produire des fourrages relativement moins bien pourvus en oligo-éléments que les prairies naturelles extensives ; la notion de région et de sol perd, dans ces conditions, de son importance (S. PERIGAUD, 1972).

Simone PERIGAUD, J. BELLANGER et M. LAMAND,
*Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires,
Theix (Puy-de-Dôme).*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- BARSHAD I. : « Molybdenum of pasture plants in relation to toxicity to cattle », *Soil Sc.*, 1948, 66, 187-195.
- BELLANGER J., PINTA M. et al. : *Spectrométrie d'absorption atomique. Application à l'analyse chimique*, Ed. Masson, 1971, 519-539.
- DARTIGUES A. : « Les déficiences en zinc chez les végétaux et leurs causes », *Ann. Agron.*, 1964, 15 (6), 667-691.
- DUVAL L. : « Le dosage du molybdène dans les végétaux. Examen de divers procédés de détermination. Mise au point d'une méthode colorimétrique au Thiocyanate », *Ann. Agron.*, 1971, 22 (1), 127-147.

- FLEMING G.A., MURPHY W.E. : « The uptake of some major and trace elements by grasses as affected by season and stage of maturity », *J. of Brit. Grassl. Soc.*, 1968, 23, 2, 174-185.
- GAWECKI K.C., ILECKI J.H., PONIAKIEWSKA T.J. : « Content of trace elements in forage crops in relation to the stage of development of the plants, the method of gathering and storage ». *Final report period 1963-1968, College of Agric., Poznan, 1968*
- HARTMANS J. : « The detection of copper deficiency and other trace element deficiencies under field conditions. Trace element metabolism in animals », *Proc. Int. Symp., Aberdeen, 1969*, Ed. Mills, Livingstone, Edimbourg et Londres 1970, 441-447.
- KERGUELEN M. : « Valeur minérale de l'herbe (oligo-éléments). Influence du sol et de la fumure sur composition minérale ». *Fourrages*, 1962, 10, 63-70.
- KUBOTA J., LAZAR V.A., BEESON K. : « The relationship of soils to molybdenum toxicity of cattle in Nevada », *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 1961, 25, 227-232.
- LAMAND M. : « Dosage du sélénium dans les produits biologiques et mélanges minéraux alimentaires », *Ann. Falsif.*, 1969, 4-12.
- LAMAND M. : « Expansion de la myopathie en France en liaison avec la carence en sélénium des fourrages », *C.R. Ac. Agric.*, 1970, 56, 604-610.
- LAMAND M. : « Causes, conséquences biochimiques, pathologiques et prophylaxie des carences en oligo-éléments chez les ruminants », *Alim. et la Vie*, 1971, 59, 2, 154-172.
- LAMAND M., PERIGAUD S., BELLANGER J. (1973) : « Enquête sur la fréquence et la répartition des carences en oligo-éléments en France », *Cahiers de Médecine vétérinaire* (à paraître).
- LAMAND M., PERIGAUD S., BELLANGER J. : « Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France. Eléments d'enquête recueillis. I. Dans la pratique vétérinaire », *Ann. Rech. Vét.*, 1973, 3 (à paraître).
- LE RICHE H.H. : « Molybdenum in the lower Lias of England and Wales in relation to the incidence of teart », *J. Soil Sc.*, 1959, 10, 133-136.
- MITCHELL R.L. : « Trace elements in Scottish Soils », *Proc. Nutr. Soc.*, 1960, 19, 148-154.
- PATIL B.D., JONES D.I.H., HUGUES R. : « Wool characteristics as an indicator of nutritive attributes in herbage varieties », *Nature*, London, 1969, 5210, 1072-1073.
- PERIGAUD S. : « Liaisons carentielles entre sols, végétaux et animaux », *Ann. Nutr. Alim.*, 1972, 26, B 327-B 378.
- UNDERWOOD E.J. : *Trace elements in human and animal nutrition*, 1971, Ac. Press, New York, Londres, 543.