

*COMPOSITION MINÉRALE DES MAÏS
RÉCOLTÉS DANS LE FINISTÈRE
(14 ÉLÉMENTS) ⁽¹⁾*

L'ACCROISSEMENT DES SURFACES OCCUPEES PAR LE MAÏS DANS LE FINISTÈRE A ÉTÉ SPECTACULAIRE AU COURS DES DIX DERNIÈRES ANNÉES : 100 HA EN 1964, 4.000 HA EN 1967, 40.000 ha en 1971. Les deux tiers de cette production sont destinés à l'ensilage de la plante entière en vue de l'alimentation des vaches laitières et des bovins à viande, alors que la plus grande partie des surfaces récoltées en grain est ensilée humide en vue de l'alimentation des porcs. Possédant déjà un certain nombre de résultats analytiques sur la composition des foins et herbes récoltés dans ce département, il importait de mieux connaître la composition des maïs dans le but, notamment, de prévoir au mieux les compléments minéraux indispensables (4) (13).

En plus des éléments majeurs : N, P, Ca, Mg, Na, K, S, les micro-éléments suivants ont été dosés : Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Co, soit, au total, quatorze éléments.

(1) Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration de L. LE CORRE pour les prélèvements et l'échantillonnage, de Mlle M. GUILLOU pour les dosages du phosphore, du calcium, du magnésium, du sodium, du potassium, du manganèse, du cuivre et du bore, de Mlle E. MORE pour les dosages du fer, du zinc et du cobalt, de Mlle P. LE GOFF pour les dosages de l'azote et du molybdène, de Mme M. HELIAS pour les dosages du soufre.

I. — COLLECTE DES ECHANTILLONS

Nous nous sommes attachés à analyser des échantillons correspondant bien à ce que consomment les animaux en prélevant dans les silos d'ensilage de plante entière ou de grain humide ou encore dans les lots de « bouchons » de maïs déshydraté. Après broyage à l'ensileuse et fort tassement par couches correspondant chacune au contenu d'une remorque, il est possible, en prélevant sur le front d'un silo-couloir entamé, d'obtenir une quantité d'ensilage reflétant bien la valeur d'une ou de plusieurs parcelles de terre. Nous réunissons toujours, au moins, une dizaine de poignées dans un sac plastique pour le transport au laboratoire en vue de la dessiccation et, éventuellement, de la détermination du taux d'humidité. L'analyse séparée des poignées prélevées a été faite, dans quelques cas, dans le but d'apprécier la dispersion des résultats. Nous avons aussi suivi un même silo à trois ou quatre dates différentes au cours de sa consommation.

La plupart des échantillonnages pris en considération dans ce travail ont été effectués par nos soins, mais un certain nombre d'entre eux ont été prélevés par des techniciens de la Chambre d'Agriculture ou de l'E.D.E. Nous devons les « bouchons compactés » aux techniciens de l'Union des Coopératives U.N.I.C.O.P.A. et, notamment, à ceux des usines de déshydratation de Cast (29-S) et de Pleyber-Christ (29-N).

Caractéristiques des sols des régions prospectées.

Cast est situé dans la région du Porzay, au fond de la baie de Douarnenez, où les sols sont formés sur les schistes briovériens ou phyllades de Saint-Lô. La région de Pleyber-Christ, au sud de Morlaix, est concernée à la fois par des schistes dévoniens et par des granites.

Les ensilages ont été collectés, essentiellement, au centre du département sur schistes carbonifères (région de Châteaulin) et dans le sud-ouest de Quimper sur granulite. L'ensemble de l'étude porte, ainsi, sur quinze communes à sous-sol granitique et sur quinze communes à sous-sol de schiste pour les cent cinquante échantillons des récoltes 1969 et 1970. Voici les caractéristiques principales des sols sur lesquels sont cultivés les maïs dans ces régions : originellement dépourvus de calcaire et très acides, ils sont aujourd'hui neutralisés jusqu'à des pH (H₂O) compris entre 5,8 et 6,3, leur teneur en matière organique est très élevée et comprise entre 4,5 et 6 %

pour des teneurs en argile de 10-12 % sur granites et de 15-20 % sur schistes, l'acide phosphorique extrait à l'acide citrique atteint 200, voire 250 mg/kg, soit un niveau satisfaisant, la potasse échangeable est souvent voisine de 200 mg/kg, soit une teneur normale, la magnésie échangeable comprise entre 70 et 100 mg/kg ne pose généralement pas de problèmes de carence sur végétaux. Les sols granitiques sont nettement carencés en cuivre et en cobalt par comparaison aux sols schisteux qui sont normalement pourvus en ces deux oligoéléments, mais nous verrons que pour le maïs nous n'avons pas mis en évidence, jusqu'à présent, de différences entre les teneurs des échantillons provenant de l'un ou de l'autre de ces deux types de sols.

Variétés cultivées.

Dans ces régions où les conditions climatologiques sont limitées pour la culture du maïs-grain, le choix est forcément restreint aux variétés les plus précoces (groupe I), à savoir INRA-200 et INRA-258 essentiellement, avec un peu d'Anjou 210.

Les semis s'échelonnent de la fin avril au début de juin alors que la période d'ensilage au stade « grain pâteux dur » (28 à 35 % de matière sèche dans la plante entière) s'étend du 15 septembre à fin octobre. A cette époque, la matière sèche totale provient, grosso modo, pour moitié du grain et pour la moitié du reste de la plante.

II. — METHODES ANALYTIQUES

Les méthodes utilisées pour l'analyse des maïs séchés et broyés au broyeur à marteau avec grille à trous de 1 mm seront rapidement résumées.

Minéralisation.

Elles est réalisée, selon les éléments, soit par voie humide, soit par incinération.

— Par voie humide, grâce au mélange des acides nitrique et perchlorique (DUVAL, 1962) (8) pour les dosages de P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cu. L'azote est dosé par Kjeldahl.

- Par incinération à 500°, pour les dosages de Zn et B, par incinération à 700° pour les dosages de Co et Mo et par incinération à 500° en présence de nitrate de magnésium pour le soufre.

Dosage.

— *Phosphore* : colorimétrie du bleu phosphomolybdique dans les conditions définies par L. DUVAL (1962) (8).

— *Calcium* : complexométrie avec l'indicateur de Patton et Reeder.

— *Magnésium* : colorimétrie au jaune titane.

— *Sodium et potassium* : photométrie à la flamme de butane.

— *Soufre* : turbidimétrie du sulfate de baryum selon la technique employée par Mme G. SIMON à la Station Centrale d'Agronomie de Versailles.

— *Fer* : colorimétrie à l'orthophénanthroline.

— *Manganèse* : colorimétrie de l'ion permanganique après oxydation par le périodate.

— *Zinc* : colorimétrie au zincon après séparation sur résines anioniques (DARTIGUES, 1966) (7).

— *Cuivre* : colorimétrie au 2-2' diquinolyle suivant COPPENET et al. (1954) (3).

— *Bore* : Colorimétrie à la dianthrimide selon J. MAURICE (1965) (12).

— *Molybdène* : colorimétrie au thiocyanate selon L. DUVAL (1971) (9).

— *Cobalt* : colorimétrie au nitroso-R après séparation à l' α -nitroso- β -naphтол, selon E. MORE (1969) (14).

La très forte acidité des ensilages (pH 3,7-3,8) ayant attaqué la toile métallique galvanisée entrant dans la fabrication des clayettes de dessiccation, nous avons eu de très nombreux dosages de fer et de zinc faussés par excès. Cette toile est, depuis, remplacée par une toile en acier inoxydable.

III. — ETUDE DE LA VARIABILITE DES RESULTATS EN FONCTION DE L'ECHANTILLONNAGE

a) Analyse de poignées séparées.

Nous avons dit que nos échantillons étaient constitués par une dizaine de poignées prélevées sur le front d'un silo-couloir en cours de consommation. Chaque poignée pesant environ 200 g, nous avons effectué des analyses séparées de chacune d'elles, prélevées sur le front d'un même silo dont la largeur est, généralement, de 4 à 6 mètres.

Voici quelques résultats :

1) *Ferme de l'E.D.E., à Kerbernès en Plomelin, prélèvements du 23 avril 1971.*

Les teneurs en éléments principaux sont données en 0/00 par rapport à la matière sèche.

	M.S. %	P	Ca	Mg	Na	K
<i>Haut du silo :</i>						
1	33,5	2,56	4,54	1,66	0,29	12,19
2	30,3	2,66	2,29	1,47	0,19	11,89
3	36,3	2,34	1,25	1,01	0,13	10,16
<i>Bas du silo :</i>						
1	32,6	2,50	1,62	1,27	0,21	14,86
2	32,3	2,44	1,91	1,26	0,18	13,65
3	31,5	2,56	2,30	1,22	0,23	14,85

Les matières sèches passant de 30,3 % à 36,3 % et les teneurs en calcium de 1,25 à 4,54 (C.V. = 50 %), les résultats individuels sont inacceptables. Pour le phosphore, les teneurs passent de 2,34 à 2,66 (C.V. = 4,4 %), pour le magnésium, le sodium et le potassium, les résultats sont relativement bien groupés. Il y a lieu de faire remarquer ici que les différences de composition entre le grain et le reste de la plante sont importantes en ce qui concerne Na, Ca et K.

2) *Exploitation de M. LE BLOCH, à Kervescar en Quimper, prélèvements du 23 avril 1971, effectués dans l'épaisseur d'une même couche correspondant au chargement d'une seule journée et d'une même parcelle.*

	M.S. %	P	Ca	Mg	Na	K
<i>De gauche à droite :</i>						
1	33,0	2,95	2,31	1,54	0,20	12,88
2	33,1	2,80	2,18	1,38	0,17	11,05
3	32,0	2,34	1,90	1,19	0,15	10,50
4	31,2	2,38	2,02	1,11	0,17	9,68
5	32,9	2,18	1,57	1,14	0,13	7,84
6	35,9	2,12	2,03	1,11	0,16	9,87

Les variations de la matière sèche sont comparables à celles du silo précédent, mais les variations du calcium sont beaucoup moins fortes, de 1,57 à 2,31 (C.V. = 12,5 %). Le coefficient de variation des teneurs en calcium est, cependant, presque aussi fort que celui qui est calculé à partir des quatre-vingts échantillons de la récolte 1970 (C.V. = 16 à 17 %). Le phosphore donne des variations importantes (de 2,12 à 2,95, C.V. = 14 %) mais le gradient, observé de la gauche à la droite, ne trouve aucune explication.

3) *Exploitation de M. J. RANNOU, à Langalet en Châteauneuf-du-Faou, prélèvements du 14 avril 1971.*

	P	Ca	Mg	Na	K
<i>Haut :</i>					
1	2,46	2,51	2,00	0,12	8,70
2	2,64	2,47	1,65	0,11	8,28
<i>Bas :</i>					
1	2,44	2,23	1,93	0,13	9,28
2	2,56	2,14	1,45	0,12	9,43

Les résultats sont assez voisins pour le phosphore et déjà plus éloignés pour le calcium.

4) *Silo-taupinière de M. J. BLOUET, à Penc'bleuniou, en Lothey, prélèvements du 3 mai 1971.*

	M.S. %	P	Ca	Mg	Na	K
<i>Gauche :</i>						
1	31,7	2,11	2,02	1,26	0,17	10,67
2	30,3	2,23	2,09	1,20	0,17	11,56
3	27,0	2,18	2,73	1,45	0,23	13,67
<i>Droite :</i>						
1	31,2	2,44	2,20	1,37	0,21	12,70
2	30,0	2,39	1,87	1,18	0,18	11,01
3	31,7	2,46	1,87	1,27	0,17	11,19

Les écarts sont importants pour la matière sèche, relativement faibles pour le phosphore (2,11 à 2,46, C.V. = 6,5 %) et toujours plus importants pour le calcium (1,87 à 2,73, C.V. = 15 %).

b) *Variations dans le temps pour un même silo.*

Dans ce cas, chaque analyse a été faite sur des échantillons constitués par dix poignées prélevées sur le front d'un même silo, mais à un ou deux mois d'intervalle, au cours de sa consommation (ferme de l'E.D.E., à Kerbernès).

<i>Premier silo :</i>	P 1		P 2		P 3	
	10 déc. 1969		27 janvier 70		23 février 70	
	<i>gauche</i>	<i>droite</i>	<i>gauche</i>	<i>droite</i>	<i>gauche</i>	<i>droite</i>
P (0/00)	2,05	2,15	1,91	2,14	2,02	2,10
Ca (0/00)	3,82	2,70	4,50	2,64	2,86	2,78
Mg (0/00)	1,42	1,40	1,59	1,48	1,24	1,29
Na (0/00)	0,095	0,060	0,096	0,053	0,057	0,066
K (0/00)	9,55	9,69	9,34	9,21	9,50	10,17
Mn (p.p.m.)	29	25	26	23	25	29
Cu (p.p.m.)	2,7	2,9	3,7	3,07	2,9	3,2

Les teneurs en phosphore sont toutes très comparables alors que deux chiffres de calcium sont nettement au-dessus des autres. Les résultats concernant Mg, K, Mn et Cu sont très comparables.

<i>Deuxième silo :</i>	<i>P 1</i>		<i>P 2</i>		<i>P 3</i>		<i>P 4</i>	
	27-1-70		23-2-70		10-4-70		25-5-70	
					<i>haut</i>	<i>bas</i>		
P (0/00)	2,15	2,07	2,23	1,90	1,90			
Ca (0/00)	3,03	2,70	2,00	2,30	2,35			
Mg (0/00)	1,31	1,21	1,01	1,40	0,90			
Na (0/00)	0,083	0,13	0,068	0,085	0,085			
K (0/00)	11,15	9,63	11,58	10,92	8,85			
Mn (p.p.m.)	44	35	46	28	29			
Cu (p.p.m.)	3,9	2,9	4,5	2,3	2,0			

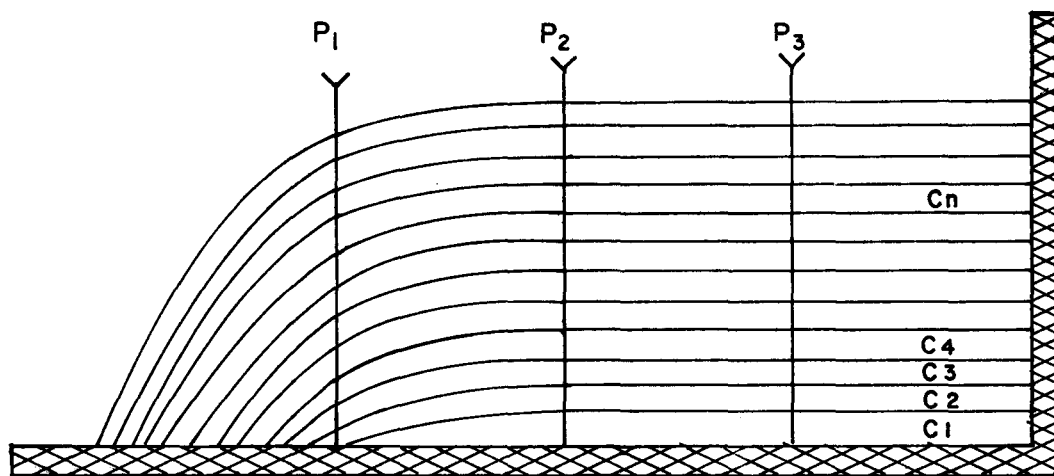
Les variations des teneurs en phosphore sont, ici, très acceptables pour des prélèvements effectués à un mois ou deux d'intervalle. Le calcium donne toujours lieu à des écarts importants puisque les extrêmes sont 2,30 et 3,03. Les résultats des dosages de Mg, K, Mn et Cu donnent lieu, pour ce silo, à des écarts plus importants que dans le premier cas.

(Voir figure page 61.)

IV. — RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSION

Les quelques études préalables que nous venons de citer, nous permettent de penser qu'au niveau de l'éleveur un échantillon d'ensilage, prélevé à la main sur le front d'un silo déjà nettement entamé, fournira des résultats analytiques valables pour ce silo. Au cours du chargement, chaque couche correspondant à chaque remorque se trouve très fortement tassée et disposée sensiblement comme sur le graphique.

Les résultats analytiques avec les extrêmes, l'écart-type et le coefficient de variation sont donnés en quatre tableaux correspondant à vingt-deux ensilages et treize « bouchons » de la récolte 1969 et à quarante-huit ensilages et quarante « bouchons » de la récolte 1970.



COUPE D'UN SILO-COULOIR

P_1, P_2, P_3 : fronts d'attaque et de prélèvement des échantillons.
 C_1, C_2, C_3, C_n : courbes correspondant chacune au contenu d'une remorque de maïs haché.

TABLEAU I
QUARANTE-HUIT ENSILAGES DE LA RECOLTE 1970
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	<i>Extrêmes</i>	<i>Moyenne</i>	<i>C.V. %</i>
M.A.T.	72,5 - 106,2	85,62 ± 8,75	10,2
Cendres	27,8 - 49,1	38,5 ± 4,64	12,0
Phosphore (P)	1,63 - 2,87	2,32 ± 0,28	12,0
Calcium (Ca)	1,29 - 2,85	2,15 ± 0,36	16,8
Magnésium (Mg)	0,82 - 1,59	1,19 ± 0,19	16,1
Sodium (Na)	0,12 - 0,48	0,23 ± 0,07	31,2
Potassium (K)	6,52 - 16,45	11,48 ± 1,95	17,0
Soufre (S)	0,87 - 1,40	1,09 ± 0,13	11,8

Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m.)

Fer (Fe)		(*)	
Manganèse (Mn)	14,4 - 63,6	37,4 ± 11,8	31,7
Zinc (Zn)		(*)	
Cuivre (Cu)	2,84 - 7,50	4,58 ± 0,86	18,7
Bore (B)	2,26 - 3,47	2,74 ± 0,25	9,3
Molybdène (Mo)	0,11 - 0,52	0,24 ± 0,086	35,8
Cobalt (Co)	0,01 - 0,067	0,032 ± 0,015	46,0

(*) La très forte acidité de l'ensilage (pH 3,7 à 3,8) ayant attaqué le grillage galvanisé entrant dans la fabrication du matériel de dessiccation, les dosages de fer et de zinc ont été faussés par excès.

TABLEAU II
QUARANTE MAIS DESHYDRATES DE LA RECOLTE 1970
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	<i>Extrêmes</i>	<i>Moyenne</i>	<i>C.V. %</i>
M.A.T.	70,6 - 100,0	84,75 ± 7,43	8,78
Cendres	33,1 - 47,6	40,3 ± 4,05	10,0
Phosphore (P)	1,23 - 2,74	2,37 ± 0,29	12,2
Calcium (Ca)	1,51 - 3,13	2,17 ± 0,38	17,3
Magnésium (Mg)	0,77 - 1,53	1,09 ± 0,16	14,8
Sodium (Na)	0,13 - 0,36	0,22 ± 0,05	21,9
Potassium (K)	6,31 - 14,42	11,46 ± 1,75	15,3
Soufre (S)	1,11 - 4,33	2,13 ± 0,78	36,0

Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m.)

Fer (Fe)	72,0 - 209,0	126,0 ± 34,0	27,0
Manganèse (Mn)	16,7 - 61,6	35,2 ± 11,7	33,3
Zinc (Zn)	15,7 - 34,4	25,8 ± 4,5	17,0
Cuivre (Cu)	3,35 - 7,63	4,73 ± 0,87	18,3
Bore (B)	1,84 - 3,18	2,54 ± 0,25	10,0
Molybdène (Mo)	0,14 - 0,66	0,27 ± 0,12	44,0
Cobalt (Co)	0,015 - 0,07	0,031 ± 0,014	45,0

TABLEAU III
VINGT-DEUX ENSILAGES DE LA RECOLTE 1969
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	Extrêmes		Moyenne		C.V. %
Phosphore (P)	1,33	- 2,34	2,02	± 0,19	9,4
Calcium (Ca)	1,92	- 3,34	2,43	± 0,39	16,0
Magnésium (Mg)	0,90	- 1,74	1,18	± 0,31	26,5
Sodium (Na)	0,07	- 0,22	0,12	± 0,036	30,0
Potassium (K)	6,37	- 14,30	11,23	± 1,93	17,1

Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m.)

Fer (Fe)	113,0	- 178,0	147,0	± 20,0	13,6
Manganèse (Mn)	12,3	- 35,3	25,7	± 6,4	24,9
Zinc (Zn)					
Cuivre (Cu)	2,66	- 5,93	4,35	± 0,83	19,1
Molybdène (Mo)	0,06	- 0,31	0,18	± 0,079	43,8
Cobalt (Co)	0,025	- 0,06	0,038	± 0,008	21,0

TABLEAU IV
TREIZE MAIS DESHYDRATES DE LA RECOLTE 1969
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	Extrêmes		Moyenne		C.V. %
Phosphore (P)	1,53	- 2,20	1,94	± 0,21	10,8
Calcium (Ca)	1,52	- 3,49	2,24	± 0,45	20,1
Magnésium (Mg)	0,76	- 1,38	1,05	± 0,21	20,0
Sodium (Na)	0,09	- 0,38	0,17	± 0,11	64,7
Potassium (K)	9,52	- 16,78	12,54	± 1,90	15,1

Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m.)

Fer (Fe)	110,0	- 240,0	168,0	± 41,0	24,4
Manganèse (Mn)	18,8	- 51,6	28,6	± 9,2	32,1
Zinc (Zn)	17,0	- 28,4	21,8	± 3,4	15,6
Cuivre (Cu)	2,85	- 6,14	5,25	± 0,80	15,2
Molybdène (Mo)	0,15	- 0,60	0,33	± 0,13	39,4
Cobalt (Co)	0,02	- 0,075	0,038	± 0,014	35,8

DISCUSSION DES RESULTATS

Comparaison des maïs ensilés et des maïs déshydratés.

La seule différence, apparaissant nettement à l'examen des tableaux I et II, porte sur la teneur en soufre : 1,09 0/00 dans les ensilages contre 2,13 0/00 dans les bouchons. Cet accroissement de teneur en soufre, voisin de 1 g/kg, ne peut provenir que des impuretés contenues dans les fuels servant de combustible à la déshydrateuse. Une partie de ce soufre est présent sous forme d'acide sulfurique libre puisque la suspension de poudre de bouchon dans l'eau accuse un pH de 5,4 contre 5,8 à la suspension d'une poudre de maïs frais desséché à l'étuve.

Cette acidification est relativement faible puisqu'elle ne correspond qu'à 1 à 2 g CaCO₃ par kg de matière sèche alors qu'un ensilage, dont le pH est de 3,7-3,8 exige 30 à 40 g CaCO₃ par kg de matière sèche pour être neutralisé jusqu'à pH = 7.

Comparaison des récoltes 1969 et 1970.

Le nombre des analyses n'est pas le même chaque année et ne permet pas, de ce fait, des comparaisons très précises, mais nous noterons cependant :

- une richesse en phosphore meilleure en 1970, alors que la richesse en calcium est un peu moins bonne ;
- des teneurs en manganèse et en sodium supérieures en 1970 mais, pour ce dernier élément, nous savons qu'il y a des difficultés analytiques.

Nous devons poursuivre ces analyses en 1971 et 1972 de manière à voir l'influence éventuelle des conditions de chaque année sur la composition minérale.

Examen des coefficients de variation.

Nous basant sur la récolte 1970, nous voyons que les coefficients de variation sont de l'ordre de 12 à 15 % pour les cendres, le phosphore, le calcium, le magnésium, le potassium et le soufre, alors qu'ils ne sont que de 8,8 et 10 % seulement pour l'azote. Parmi les macroéléments, c'est le sodium qui présente les C.V. les plus élevés avec 22 et 31 %.

Chez les oligoéléments, nous avons :

- B avec un C.V. de 10 %,
- Zn et Cu avec des C.V. voisins de 18 %,
- Fe et Mn avec des C.V. voisins de 30 %,
- Mo et Co avec des C.V. voisins de 45 %.

Il est intéressant de comparer ces coefficients de variation avec ceux d'autres analyses de fourrages récoltés dans le même département sur des sols analogues. Le calcul a été fait, par exemple, pour cent cinquante foins récoltés au cours de l'enquête sur la stérilité bovine poursuivie par la Maison de l'Elevage du Finistère entre 1964 et 1966. Nous avons choisi les foins, plutôt que les herbes au stade pâture, pour éviter les écarts de stade physiologique. Nous avons aussi éliminé le calcium susceptible d'être faussé par la présence d'une petite proportion de légumineuses et le sodium car certains foins ont été salés. Il s'agit, dans la plupart des cas, de foins de ray-grass d'Italie.

C.V. des résultats analytiques pour cent cinquante foins de graminées

phosphore	18,2 %
magnésium	13,3 %
potassium	24,0 %
manganèse	40,7 %
cuivre	30,2 %
molybdène	55,5 %

Les variations des résultats analytiques concernant les foins sont donc systématiquement plus élevées que celles des maïs, le magnésium excepté. Ceci s'explique probablement, en partie, par le fait que ces ray-grass ne sont pas récoltés exactement au même stade et aussi par le fait qu'ils ont pu subir des conditions de fanage différentes. Le stade d'ensilage d'un maïs est beaucoup mieux défini et nous verrons, plus loin, que la liaison sol-plante est beaucoup plus étroite dans le cas des ray-grass.

Nous devons nous demander, à présent, si les différences de C.V. entre éléments ne proviennent pas uniquement de la méthode de dosage elle-même.

de maïs analysé à douze reprises, soit trois fois dans quatre séries différentes et pour un même opérateur (test de répétabilité). Il est important de ne pas se contenter de calculer la variation d'une même série de dosages puisque chacune d'entre elles apporte son erreur propre de gamme-étalon et de tarage d'appareil. Nous avons choisi quatre séries différentes parce que chaque groupe d'une quarantaine de maïs a été analysé en quatre séries.

Ce travail a été fait en réalité sur deux échantillons, mais nous donnons ci-dessous le C.V. le plus fort.

C.V. d'un même échantillon de maïs (douze dosages)

P	2,7 %	Fe	6,0 %
Ca	6,0 %	Mn	8,5 %
Mg	7,6 %	Zn	3,6 %
Na	7,0 %	Cu	11,0 %
K	3,3 %	B	2,2 %
S	7,2 %	Mo	14,0 %
		Co	10,0 %

Eléments majeurs : Les C.V. sont particulièrement faibles pour P et K, mais plus élevés et assez voisins les uns des autres pour les autres éléments. On peut en conclure que la véritable variation de ces minéraux est sensiblement la même pour tous les macroéléments, le sodium mis à part. Cet élément conservera, en effet, une très grande variabilité.

Microéléments : Les dosages de Zn et B sont particulièrement reproductibles alors que les C.V. dépassent 10 % pour Cu, Mo et Co.

La véritable variation des teneurs en oligoéléments du maïs sera, en définitive, assez semblable à celle des macroéléments pour Zn, Cu et B, mais plus forte pour Mn et Fe, et encore beaucoup plus forte pour Mo et Co (tableaux I et II).

Comparaison avec des résultats d'autres régions :

Dans le tableau V, nous mettons en regard de nos résultats ceux de MAGNY pour la région de Pau (11), ceux cités par ANDRIEU, BERANGER, CROSSET-PERROTIN, etc. pour diverses régions françaises (1) et ceux donnés par le National Research Council (N.C.R.).

TABLEAU V
COMPARAISON MINÉRALE DE MAÏS, PLANTES ENTIÈRES,
DE DIVERSES PROVENANCES
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	I.N.R.A. Quimper (Finistère)		MAGNY (région de Pau)		I.N.R.A. (C.N.R.Z., Theix)		N.R.C.
P	2,35	(1,23- 2,87)	1,60	- 2,70	2,20	- 3,00	2,30
Ca	2,15	(1,29- 3,13)	2,00	- 4,40	3,60	- 4,70	3,30
Mg	1,20	(0,77- 1,59)	1,50	- 3,60	1,50	- 1,80	2,40
Na	0,23	(0,12- 0,48)	0,30	- 0,90	0,06	- 0,26	0,30
K	11,50	(6,31- 16,45)	9,90	- 16,40			11,50
S	1,10	(0,87- 1,40)	0,70	- 2,20	1,60	- 1,90	1,10
<i>Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m)</i>							
Fe	126	(72 -209)	81	- 239			200
Mn	37,0	(14,4 - 63,6)	26	- 93	50	- 69	50
Zn	25,8	(15,7 - 34,4)			22	- 27	20
Cu	4,65	(2,84- 7,63)	2,30	- 12,4	5,8	- 6,9	10
B	2,70	(1,84- 3,47)					
Mo	0,25	(0,11- 0,66)					
Co	0,032	(0,01- 0,07)	0,02	- 0,11			0,09

Les teneurs en phosphore trouvées dans le Finistère sont assez voisines de celles données par les autres auteurs mais, par contre, les teneurs en calcium et magnésium y sont nettement inférieures. Il en est de même du manganèse alors que les teneurs en cobalt sont tout à fait identiques à celles de MAGNY. Les richesses en zinc et cuivre semblent très comparables pour toutes les régions.

Influence de la nature du sol :

Nous savons que les sols granitiques et gréseux de Bretagne occidentale sont fortement carencés en cuivre et cobalt et nous avons montré que la teneur des ray-grass cultivés sur ces sols était nettement inférieure, pour ces deux oligoéléments, à celle des ray-grass venus sur les sols schisteux qui, eux, sont normalement pourvus en cuivre et cobalt (5) (6). En ce qui concerne le maïs, il ne semble pas y avoir de liaison aussi nette et les moyens des teneurs en cuivre et cobalt sont très voisines quelle que soit l'origine géologique des sols. Au cours des années à venir, nous poursuivrons néanmoins ces recherches.

Pour les autres éléments (P, Mg, Ca, Mn, Zn notamment), des travaux en cours nous permettront d'étudier la liaison sol-plante, grâce à des prélèvements ponctuels de couches arables et de plantes entières de maïs.

Comparaison de la composition minérale du maïs à celle d'autres plantes fourragères :

Le tableau VI met en parallèle la composition moyenne des maïs finis-tériens avec celle des foins et herbes de ray-grass, avec celle des légumineuses et, enfin, avec les besoins des ruminants les plus exigeants.

TABLEAU VI
COMPOSITION MINERALE DU MAIS ET D'AUTRES FOURRAGES
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	Maïs	Ray-grass		Légumineuses		Objectifs bovins
		Foins	Herbes			
M.A.T. ...	85	75 - 80	160 - 180	150	- 200	
Cendres ..	40	70 - 80	100	100		
P	2,35	2,3 - 2,5	3,6 - 4,0	3,0	- 4,0	4,0 - 5,0
Ca	2,15	5,5 - 6,0	6,0	15	- 20	5,0 - 6,0
Mg	1,20	1,30	1,1 - 1,5	2,0	- 3,0	2,0
Na	0,23	2,00	1,8 - 2,4	2,0	- 5,0	2,0
K	11,50	15 - 18	32	15	- 20	
S	1,10	1,5 - 3,0	2,0 - 3,0	2,0	- 3,0	2,0

Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m)

Fe	125	150	150			
Mn	35	120	120	20 - 50	50 - 60	
Zn	25	20	30	20 - 30	50 - 60	
Cu	4,6	4,0	6,0	5 - 10	10 - 20	
B	2,7	5,0	5,0	25 - 40		
Mo	0,25	0,80	1,10	0,15 - 1,20		
Co	0,032	0,15	0,05 - 0,10	0,05 - 0,15	0,10 - 0,50	
		(1)	(2) (3)			

(1) Les foins sont toujours plus ou moins souillés par de la terre qui fausse le résultat par excès.

(2) Chiffre moyen pour les ray-grass provenant de sols pauvres en cobalt.

(3) Chiffre moyen pour les ray-grass provenant de sols normalement pourvus en

La lecture de ce tableau nous permet de voir que le maïs est le moins riche en P, Ca, Mg, Na, S ; pour le calcium, il est dix fois moins riche qu'une légumineuse ; pour le sodium, il est dix fois moins riche que le ray-grass.

Dans le domaine des oligoéléments, il est moins riche en Mn, Co et Mo, mais présente sensiblement les mêmes teneurs que les autres fourrages en Fe, Zn et Cu.

V. — COMPOSITION DES GRAINS

Les analyses ont porté sur quinze échantillons prélevés dans les silos où le grain a été ensilé humide, soit entre 35 et 40 % d'eau.

TABLEAU VII
COMPOSITION DES GRAINS DE MAIS

	<i>Extrêmes</i>	<i>Moyenne</i>
Cendres	15,0 - 25,0	17,5
Phosphore (P)	3,21 - 3,68	3,5
Calcium (Ca)	0,07 - 0,38	0,19
Magnésium (Mg)	0,99 - 1,30	1,13
Sodium (Na)	0,005 - 0,017	0,0085
Potassium (K)	3,00 - 4,76	3,77
Soufre (S)	0,99 - 1,30	1,13
<i>Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m)</i>		
Fer (Fe)	46 - 116	82
Manganèse (Mn)	5,4 - 12,9	8,3
Zinc (Zn)	22,0 - 33,8	28,3
Cuivre (Cu)	1,9 - 2,85	2,36
Molybdène (Mo)	0,07 - 0,52	0,25
Cobalt (Co)	0,004 - 0,039	0,015

Le tableau VII nous indique que le grain de maïs est nettement plus riche en phosphore que la plante entière alors qu'il est extrêmement pauvre en calcium et en sodium ; les teneurs en soufre sont tout à fait comparables.

Dans le domaine des oligoéléments, le grain est moins riche que le reste de la plante en Mn, Cu, Co, mais présente des teneurs analogues en Zn et Mo. Comparons maintenant (tableau VIII) ces résultats à ceux qui sont cités ou obtenus par certains auteurs (16) (10) (2) (15). Les teneurs en P, Mg, K, S sont sensiblement les mêmes et il en est de même du zinc. Les teneurs en manganèse sont généralement inférieures à 10 p.p.m., celles de cuivre inférieures à 5 p.p.m.

Nos résultats de cobalt sont en accord avec ceux donnés par le N.R.C. Nos résultats de sodium concordent avec ceux de ROUTCHENKO et SOYER, de HEDIN et DUVAL, mais pas avec certains résultats américains.

Nos teneurs en calcium sont faibles par rapport à celles données par le N.C.R. et par ROUTCHENKO et SOYER, mais sont comparables à celles données par BERGER. Enfin, remarquons aussi que nos teneurs en fer sont nettement plus fortes que celles des autres auteurs.

TABLEAU VIII
COMPOSITION MINÉRALE DE GRAINS DE MAIS
DE DIVERSES PROVENANCES
(en grammes par kg de matière sèche) (0/00)

	<i>Quimper Finistère (29)</i>	<i>ROUTCHENKO Neuillac (17)</i>	<i>HEDIN Isneauville (76)</i>	<i>Cité par BERGER (U.S.A.)</i>	<i>N.R.C.</i>
P	3,50	2,6 à 4,0	3,0	3,1 à 4,3	3,20
Ca	0,19	0,35	0,07	0,15 à 0,28	0,30
Mg	1,13	1,0 à 1,3	0,9	1,2 à 1,6	1,70
Na	0,0085	0,008 à 0,026	0,09	0,03 à 0,40	0,10
K	3,77	3,0 à 4,0	3,6	3,3 à 4,0	3,50
S	1,13	0,7 à 1,0		1,4	1,20

Oligoéléments (en milligrammes par kg de matière sèche) (p.p.m)

Fe	82	18 à 28		22 à 36	30
Mn	8,3		22,7	5 à 10	6,0
Zn	28,3	4 à 8		20	19,6
Cu	2,36		2,8	1,5 à 6,3	2,85
Mo	0,25	0,16 à 1,0			
Co	0,015			0,008 à 0,18	0,011

CONCLUSIONS

Il est possible d'obtenir un échantillon d'ensilage de maïs, plante entière, représentant bien la valeur du silo, en prélevant sur le front d'attaque une dizaine de poignées d'ensilage. La finesse de hachage, réalisée par les ensileuses courantes et le fort tassement que subit la matière, permettent de comprendre la validité de ce mode de prélèvement. On peut, éventuellement, repérer les zones correspondant à la quantité mise en silo au cours d'une même journée par les bandes de teinte brunâtre produites par un contact prolongé à l'air libre ; ces zones peuvent permettre de distinguer les récoltes provenant de parcelles différentes.

Les résultats des dosages des éléments minéraux indispensables aux animaux domestiques permettent de connaître le niveau de chacun de ceux-ci ainsi que l'importance des variations pour des maïs récoltés dans le même département et pour des régions où les sols et le climat présentent une bonne unité. A partir de ces résultats, il sera possible de mieux apprécier l'importance de la complémentation minérale nécessaire.

C'est seulement après analyse des ensilages et des grains des récoltes 1971 et 1972 que nous pourrons connaître l'amplitude des écarts possibles entre les récoltes de plusieurs années différentes.

M. COPPENET,

Station d'Agronomie, I.N.R.A. 29 S - Quimper.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) ANDRIEU J., BERANGER C., CROSSET-PERROTIN M., etc. (1970) : *Le document technique de la S.C.P.A.*, n° 5, « Le maïs-fourrage ».
- (2) BERGER J. (1962) : *Maize production and the manuring of maize*, un volume de 315 pages, édité par le Centre d'Etude de l'Azote, 5, Geneva, imprimé à Zurich.
- (3) COPPENET M., DUCET G., CALVEZ J., BATS J. (1954) : « Microsondage colorimétrique du cuivre dans les végétaux par la 2-2' diquinoléine », *Ann. Agron.*, 4, 597-600.
- (4) COPPENET M. (1969) : « Rappel des problèmes spécifiques de fertilisation en Bretagne. Carences sur plantes. Composition minérale des fourrages produits dans le Finistère », *Fourrages*, revue de l'A.F.P.F., n° 40, 107-121.
- (5) COPPENET M. (1970) : « Les oligoéléments en France ; exemples de problèmes régionaux : le Massif Armoricaïn », *Ann. Agron.*, 21, 587-601.
- (6) COPPENET M., MORE E., LE CORRE L., LE MAO M. (1972) : « Variations de la teneur en cobalt des ray-grass. Etude de techniques d'enrichissement », *Ann. Agron.* (sous presse).
- (7) DARTIGUES A. (1966) : « Application d'une technique simple pour le dosage chimique du zinc dans les sols et les végétaux », *Ann. Agron.*, 17, (1), 75-89.
- (8) DUVAL L. (1962) : « Dosage céruléomolybdique de l'acide phosphorique dans les sols, les végétaux et les engrais », *Ann. Agron.*, 13, (5), 469-482.
- (9) DUVAL L. (1971) : « Le dosage du molybdène dans les végétaux. Examen des divers procédés de détermination. Mise au point d'une méthode colorimétrique.
- (10) HEDIN L., DUVAL E. (1970) : « Note sur la composition alimentaire et minérale du maïs-fourrage », *Fourrages*, revue de l'A.F.P.F., n° 43, 75-80.
- (11) MAGNY (1970) : *Les Cahiers du maïs*, rédigés par BARLOY J., E.N.S.A., Rennes, édités par « Les Engrais de France », Paris.
- (12) MAURICE J. et TROCME S. (1965) : « Observations sur le bore dans le sol et dans les plantes. I. Notes analytiques », *Ann. Agron.*, 16, (3), 287-299.
- (13) MESSAGER J.-L. (1970) : *Alimentation et fertilité des vaches laitières*, plaquette de 100 p., Maison de l'Élevage du Finistère, 32, rue de Brest, 29 S-Quimper.
- (14) MORE E. (1969) : « Sur le microdosage colorimétrique du cobalt dans les végétaux : interférence du fer, contamination par la terre », *Ann. Agron.*, 20, 527-538.
- (15) N.R.C., cité par MOAL J. (1966) : « Le maïs dans l'alimentation des porcs et des volailles », *L'Alimentation et la vie*, 54, n° 4-5-6, 118-140.
- (16) ROUTCHENKO W. et SOYER J.-P. (1971) : « Sur les causes de la germination sur plante des grains immatures de maïs. Résultats préliminaires », *Ann. Agron.*, 22, (2), 241-255.