

NOTE SUR LA TENEUR EN MAGNÉSIE DES PLANTES FOURRAGÈRES

LA PRESENTE ETUDE SE PROPOSE D'EXAMINER LA PLACE DU MAGNESIUM NON SEULEMENT DANS LA COMPOSITION MINERALE DE QUELQUES PLANTES FOURRAGERES, mais aussi de montrer son rôle dans le métabolisme de l'animal qui consomme ces plantes.

LE MAGNESIUM ET LA PLANTE

Le rôle de la magnésie.

La magnésie est un élément minéral important des végétaux. Depuis longtemps on a montré l'existence d'une liaison entre la magnésie et la chlorophylle qui contient 2,7 % de magnésium. Cependant la magnésie intervenant dans la formule de la chlorophylle ne représente qu'environ 10 % de la teneur totale des parties vertes des plantes et son rôle est aussi indispensable aux organismes incolores. C'est dire qu'elle remplit dans la plante diverses fonctions autres que son intervention dans la photosynthèse. On est assez mal renseigné sur son rôle biochimique. Divers auteurs ont pensé qu'elle intervenait dans la formation des glucides, des protéides, des graisses et des vitamines, en particulier du carotène. Il est admis aujourd'hui que le magné-

sium sert d'activateur à plusieurs enzymes impliquées dans le métabolisme du phosphore et que, d'autre part, l'ion Mg^{++} qui a tendance à participer à la formation des hydrates et des complexes joue un rôle important dans le maintien de l'hydratation du cytoplasme.

L'antagonisme potassium-magnésium.

Un aspect important du rôle de la magnésie dans le métabolisme végétal réside dans l'antagonisme qui existe entre K et Mg.

D'après J. RUSSEL, cet antagonisme est particulièrement appréciable lorsque la plante pousse sur un sol contenant peu de magnésium assimilable auquel on ajoute un engrais potassique. L'augmentation de la concentration en potassium de la feuille réduit celle des autres cations et en particulier sa teneur en magnésium peut diminuer, au point d'entraîner une carence en magnésie de la récolte qui est d'autant plus importante que l'apport d'engrais potassique a augmenté le rendement.

Dans certains cas, il semble donc que l'utilisation d'engrais potassique doive être complétée par l'emploi de magnésie assimilable.

Dans une étude récente sur la nutrition cationique du Maïs, A. LOUE a pu mettre en évidence cet antagonisme à partir d'un essai $K \times Ca \times Mg$: les teneurs les plus élevées en Mg ont été obtenues en l'absence de K qui a un effet dépressif sur l'absorption de la magnésie.

G. BARBIER, qui a effectué de nombreux essais sur l'antagonisme physiologique des ions K, Ca, Mg dans la plante a observé également un certain antagonisme entre le calcium et le magnésium, moins marqué que celui de K et Mg. Ce n'est que pour des variations du taux de calcium d'une amplitude supérieure à celle que l'on constate en général dans les sols, sols calcaires mis à part, que l'absorption du magnésium par la plante s'est trouvée notablement modifiée.

L'équilibre qui s'établit chez les graminées entre les principaux cations K, Ca, Mg, a fait l'objet de recherches très approfondies de W. DIJKSHOORN : une augmentation de l'absorption de nitrates entraîne celle des cations et plus particulièrement du potassium s'il se trouve en quantités suffisantes dans le sol.

Quant au remplacement de ces cations l'un par l'autre, il ne se fait que de façon limitée : d'une façon générale, la mobilité de K le favorise dans ces substitutions.

Répartition à l'intérieur de la plante.

Des analyses portant sur des Ray-grass anglais, des Fétuques des prés et des Fétuques élevées coupés huit fois à huit jours d'intervalle, en séparant les feuilles et les tiges, ont montré les différences très nettes qui existent entre les teneurs en Mg de ces deux parties d'une plante.

TABLEAU I

	Mg (% de M.S.)											
	1 ^{re} coupe					2 ^e coupe						
	Feuilles			Tiges			Feuilles			Tiges		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Ray-grass anglais :												
Primevère	0,14	0,24	0,29	0,07	0,12	0,16	0,14	0,22	0,31	0,08	0,13	0,17
Fauche Barenza	0,10	0,17	0,24	0,06	0,09	0,15	0,12	0,22	0,30	0,07	0,12	0,18
Hora (Fauche C.B.) ..	0,11	0,23	0,34	0,07	0,10	0,16	0,24	0,27	0,37	0,08	0,09	0,11
Pâturage Barenza	0,10	0,18	0,24	0,07	0,12	0,17	0,20	0,26	0,35	0,07	0,11	0,14
Fétuque des prés Melle ..	0,10	0,22	0,48	0,07	0,11	0,21	0,14	0,23	0,38	0,08	0,10	0,14
Fétuque élevée S 170 ..	0,09	0,18	0,27	0,07	0,11	0,16	0,14	0,28	0,39	0,07	0,18	0,34

Le tableau précédent fait apparaître entre les valeurs maxima et minima des variations importantes du simple au double.

A l'intérieur d'une même coupe, elles ne semblent pas dépendre de l'âge de la coupe. On notera cependant une teneur plus élevée en Mg pour les prélèvements effectués à la seconde coupe, surtout pour la Fétuque élevée S.170.

Quant à l'évolution de Mg et de K au cours des divers prélèvements, il semble qu'elle soit relativement indépendante. On note cependant pour le Ray-grass anglais Hora, un certain antagonisme de ces deux éléments pour la coupe initiale (K : 5,5 % m.s. ; Mg : 0,11 %) et pour l'avant-dernière coupe (K : 2,0 m.s. ; Mg : 0,34).

feuilles

On sait que le rapport $\frac{\text{feuilles}}{\text{tiges}}$ diminue avec l'âge de la plante. On

tiges

est ainsi conduit à penser que le taux de Mg dans la plante entière a tendance à diminuer ; en fait, cette diminution est plus marquée pour K que pour Mg qui varie de façon assez irrégulière.

Les variations en relation avec l'espèce botanique.

Il est classique de distinguer des espèces à forte capacité d'échange qui, telles les légumineuses, absorbent préférentiellement les ions bivalents, Ca, Mg, et des espèces à faible capacité d'échange, comme sont les graminées qui prélèvent surtout les cations monovalents (K, Na).

Les différentes graminées étudiées plus haut ne se distinguent pas par leur teneur en Mg qui se situe entre 0,09 et 0,34 % M.S. pour les feuilles de la première coupe et entre 0,12 et 0,39 pour celles de la seconde coupe.

D'après W. DIJKSHOORN, le Dactyle, sans précision concernant le type examiné, serait plus riche en Mg et moins en Ca et Na que le Ray-grass anglais qui absorbe Ca et Mg non sélectivement.

Nos dosages sont en contradiction avec de tels résultats en ce qui concerne la teneur en Na.

Nous donnons dans le tableau II quelques indications sur la teneur en Mg de quelques plantes fourragères et prairiales.

Donnons quelques chiffres que nous avons notés dans la littérature :

	Milliéquivalents % M.S.		
	Ca	Mg	K
<i>Festuca rubra</i>	0,25	0,15	0,85
<i>Festuca ovina</i>	0,21	0,15	0,98
<i>Agrostis stolonifera</i>	0,24	0,22	0,98

Ces résultats, obtenus sur sol calcaire, sont donnés dans le Rapport 1964 de la « Scottish Plant Breeding Station ». D'après des analyses réalisées au Grassland Research Institute en 1950, *Poa palustris* serait pauvre en K, assez riche en Ca, riche en P et Mg ; *Poa pratensis* est pauvre en K, Ca et Mg, moyennement riche en P.

Pour la Fléole des prés, on notait un certain gradient entre les plus jeunes feuilles, les plus vieilles et les tiges. Le potassium est à peu près également réparti, tandis que les plus jeunes feuilles sont plus riches en N et P et les plus vieilles en Ca et Mg.

Ces courtes indications suffisent à montrer les contradictions que l'on note dans les diverses données analytiques compilées. Elles sont dues en partie aux conditions de milieu comme nous le montrons ci-dessous, mais elles résultent également des variations que l'on rencontre dans une même popu-

lation. Les chiffres que nous regroupons d'après D. RATCLIFFE (1965) proviennent du dosage de feuilles de pieds séparés de *Festuca rubra* prélevées le même jour :

En milliéquivalent % g de matière sèche :

Mg varie de	5,7 à 37,1
Ca »	7,1 à 39,2
K »	17,5 à 102,3
Na »	0,7 à 4,9

Ce serait donc Mg et Na dont les valeurs varieraient le plus dans une même population.

TABLEAU II

	Mg (% de M.S.)					
	Année de semis			1 ^{er} cycle		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Ray-grass anglais Melle pâture ..	0,17	0,23	0,33	0,38	0,16	0,26
Ray-grass anglais Melle fauche ...	0,13	0,25	0,37	0,05	0,14	0,24
Dactyle S 37	0,12	0,17	0,24	0,16	0,20	0,24
Dactyle S 143	0,16	0,20	0,28	0,12	0,18	0,24
Fétuque des prés S 215	0,15	0,23	0,35	0,03	0,11	0,17
Fétuque élevée S 170	0,06	0,17	0,32	—	—	—
Fléoles diverses	0,06	0,23	0,38	—	—	—
	Stade feuillu			Epiaison		
Ray-grass d'Italie	0,15	0,21	0,28	0,08	0,16	0,26
Trèfle blanc	0,31	0,36	0,40			
Luzerne du Puits	0,29	0,30	0,31			
Betteraves Rod Otofte :						
Feuilles et collets		0,21				
Racines		0,14				
Choux fourragers Moellier blanc ..		0,20				
Mais fourrager		0,30				
Tournesol début floraison		0,51				
» pleine floraison		0,38				
Avoine		0,10				
Plantain lancéolé		0,28				
Achillée millefeuille		0,28				
Topinambours 4 mois végétation :						
Feuilles		0,50				
Tiges		0,12				
Tubercules		0,05				

Action du milieu.

Cette action n'est pas toujours bien facile à mettre correctement en évidence, d'abord parce que dans une même population végétale, comme nous l'avons vu, des variations importantes existent entre individus, ensuite parce que l'on observe chez certaines espèces (Ray-grass anglais et italien, Fétuque des prés) des variations avec le stade de développement (chute brusque à l'épiaison), enfin parce que les différentes espèces et « variétés » ne réagissent pas de la même façon à des conditions de sol analogues : ainsi au Lautaret, deux plantes que nous avons trouvées côte à côte, *Festuca spadicea* et *Meum athamanticum* ont respectivement des teneurs en Mg de 0,10 et de 0,34 % de matière sèche.

A Isneauville, près de Rouen, nous avons cultivé côte à côte une Luzerne Du Puits et un Sainfoin que nous avons récoltés le même jour en première coupe ; le foin, en % de matière sèche, renfermait en magnésium, pour la Luzerne 0,20, pour le Sainfoin 0,29.

Dans les Causses, le Sainfoin est considéré comme mieux adapté que la Luzerne aux sols dolomitiques.

Les analyses de foin que nous avons faites dans de très nombreuses régions françaises reflètent, dans une certaine mesure, l'influence du milieu, mais aussi de la composition botanique et de la date de la coupe : elles s'échelonnent pour le magnésium entre 0,06 et 0,60 % de matière sèche.

A la Chapelle-Bayvel (Eure), M. E. JOUIS et Mlle LECACHEUX ont obtenu, par application d'engrais magnésiens, une augmentation très faible de la teneur en Mg % de matière sèche du foin récolté.

Dans les collines d'Ecosse, D. RATCLIFFE a procédé à une expérimentation méthodique portant sur un certain nombre de graminées recevant une fertilisation PK et NPK. Dans le tableau suivant, nous donnons quelques indications sur l'évolution du taux de Mg (en milliéquivalents % M.S.) sous l'action de ces deux modes de fertilisation.

Quelles conclusions déduire des chiffres précédents ?

— la teneur particulièrement élevée en Mg d'*Agrostis tenuis*, par ailleurs relativement pauvre en K, et de *Poa trivialis* ;

— l'augmentation de la teneur en Mg avec la fertilisation PK. Sauf pour *Festuca ovina*, la fertilisation NPK n'accroît guère cette teneur ;

— la diminution du taux de potassium qui est corrélative à l'accroissement du pourcentage en Mg.

	<i>Témoin</i>	<i>P K</i>	<i>N P K</i>
<i>Agrostis stolonifera</i>	13,6	27,5	26,3
<i>Agrostis tenuis</i>	30,7	55,0	41,5
<i>Festuca rubra</i>	12,4	17,2	18,1
<i>Festuca ovina</i>	12,9	17,6	30,6
<i>Poa pratensis</i> ssp. <i>subcaerulea</i>	13,6	30,6	30,1
<i>Poa trivialis</i>	37,9	68,7	49,0
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	13,6	36,0	22,6

Mais ce qu'il faut retenir, c'est le comportement physiologique de chaque espèce par rapport au milieu et à la fertilisation. C'est ce qui rend si difficile la biologie en général.

Rappelons pour terminer que dans l'expérimentation précitée de A. LOUE sur la fertilisation du Maïs, la teneur en Mg des feuilles et des tiges à maturité varie entre 0,115 à 0,22 % de matière sèche pour les doses maximales d'engrais magnésiens.

LE MAGNESIUM ET L'ANIMAL

Le magnésium, qui intervient dans la physiologie végétale, joue également un rôle important chez l'animal. Le magnésium intervient dans le poids du bétail à raison de 0,02 à 0,05 %.

Le lait renferme environ 0,120 g de magnésium par litre.

On admet un certain antagonisme entre Ca et Mg dont l'excès peut déterminer des pertes de Ca. Inversement, après plusieurs jours, l'absence complète de Mg dans l'alimentation peut entraîner des convulsions, puis la mort.

D'après L. GUEGUEN, qui a fait récemment le point sur cette question ici même, pour couvrir les besoins des animaux la ration doit contenir normalement environ 1,5 g de magnésium par kg de matière sèche. Cette quantité représente, pour un animal de 500 kg consommant une quinzaine de kg de foin, une absorption de 20 à 25 g de magnésium par jour.

On indique également, à la suite d'expérimentations sur les veaux au Michigan, des besoins de 0,06 % de magnésium dans leur ration.

Il ne s'agit là que d'ordre de grandeur. Malgré cette relative imprécision, on estimait empiriquement il y a quelques années que l'apport d'engrais accroissant le taux de Mg de l'herbe, rendait les bovins plus résistants à la fièvre aphteuse.

Mais c'est plus particulièrement vis-à-vis de la tétanie d'herbage qu'une thérapeutique faisant intervenir le magnésium a été préconisée.

Magnésium et tétanie d'herbage.

Nous rappellerons tout d'abord des recherches déjà anciennes (1957) réalisées en Hollande par A. KAMP et M. t'HART. Ces auteurs ont pensé qu'il y avait une corrélation entre la tétanie d'herbage et le déséquilibre des cations dans les rations et ils ont proposé comme critère de ce déséquilibre

le rapport $\frac{K}{Ca + Mg}$ (exprimé en milliéquivalent) des fourrages. Ce

rapport doit être inférieur à 1,8 ; lorsqu'il s'élève, on observerait quelques cas de tétanie mais ces cas atteindraient 5 % du bétail pour une valeur de 2,2 et jusqu'à 17 % pour une valeur supérieure à 3.

Nous avons calculé le rapport précédent pour un grand nombre des fourrages que nous avons récoltés dans diverses régions. Il est exceptionnel que nous trouvions des valeurs supérieures à 1,8.

Les quelques valeurs comprises entre 1,8 et 2,2 correspondaient à des feuilles de Ray-grass anglais (type foin C.B.) ou à quelques Dactyles : dans tous les cas la teneur en Mg était très faible.

Le critère analytique précédent a donné lieu à de nombreuses discussions sur son intérêt. Des travaux plus récents ont montré qu'en fait la tétanie d'herbage n'apparaissait au printemps qu'à la suite d'un ensemble de conditions dont l'alimentation hivernale, la température à la mise à l'herbe, etc...

Nous n'avons fait allusion au rapport $\frac{K}{Ca + Mg}$ que parce que son

étude a donné lieu à un certain nombre d'observations concernant certains cultivars fourragers, notamment de la part de J.B. COOPER. Pour étudier les différences interspécifiques entre des Ray-grass anglais, des cultures expé-

riméntales étaient entreprises sur trois sols différents par leur teneur en Ca (pH variant de 5,1 à 6,2). Pour chacun des types de Ray-grass anglais exa-

minés, l'auteur calculait le rapport $\frac{K}{Ca + Mg}$ considéré comme facteur

d'hypomagnésémie. Des différences importantes, portant surtout sur la teneur en K, étaient observées pour ces trois sols ; les écarts entre les divers types sont particulièrement marqués sur le sol pauvre en Ca.

Aussi bien eu égard à la teneur en K qu'en utilisant le rapport tétanique, il ne semble pas que l'on puisse établir une classification : l'ordre diffère d'un sol à un autre. Certains types se retrouvent en tête du classement pour leur richesse en K.

Nous avons tenté une classification analogue à partir du rapport $\frac{K}{Ca + Mg}$ pour la première coupe fauche d'un essai G.N.I.S. près de Bernay.

L'ordre de 1961 n'était pas celui de 1962 ; aussi bien en 1961 qu'en 1962, la teneur du Ray-grass Raidor était la plus faible et celle de Melle fauche la plus élevée. En bref, l'équilibre ionique varie pour chaque type avec les conditions écologiques.

Dans l'expérimentation précitée réalisée en Ecosse par D. RATCLIFFE, le rapport $\frac{K}{Ca + Mg}$ était inférieur à 2,3 pour *Agrostis stolonifera*, *Poa*

pratensis et *Festuca ovina*, inférieur à 1,8 pour *Poa trivialis*, *Agrostis tenuis*, et supérieur à 2,8 pour *Anthoxanthum odoratum*, *Festuca rubra*. L'apport d'engrais phosphopotassiques réduit ce rapport au-dessous de 1,8 pour ces deux dernières espèces.

Le déséquilibre cationique n'est pas le seul facteur qui expliquerait les accidents de tétanie.

VERDEYEN et BROUWER se sont particulièrement attachés à l'examen des relations entre anions et cations ; W. DIJKSHOORN insiste également sur cet aspect du problème.

Pour J. LADRAT, P. LARVOR et M. BROCHART, dont l'étude a paru dans *Fourrages*, la tétanie d'herbage apparaît particulièrement au moment de la mise en herbe dans certaines conditions climatiques (froid et pluie) qu'ils ont définies.

Plus récemment, MM ADMONT et MAUDIN ont complété pour le Nord et le Pas-de-Calais les observations précédentes. Au moment de la mise à l'herbe, l'alimentation du bétail est déséquilibrée : richesse trop élevée en N d'une herbe dont la valeur énergétique est faible.

L'animal voit son poids diminuer et ce seront surtout les fortes laitières qui seront atteintes, particulièrement les adultes à leur troisième veau, les vaches vélées du deuxième au quatrième mois, celles qui ont fait antérieurement une fièvre de lait, une acidose ou une fièvre vitulaire.

Il n'est pas possible de dire si l'hypomagnésémie doit être considérée comme la cause de la tétanie d'herbage ou si la faiblesse du taux de magnésie dans le sang est un phénomène lié. Il n'en est pas moins vrai que l'on obtient de bons résultats par injection à l'animal d'une solution de chlorure de magnésium et de calcium.

CONCLUSIONS

Dans l'exposé précédent, nous nous sommes efforcés de montrer de quelle importance était la magnésie pour la physiologie de la plante et la santé de l'animal.

1° *Pour ce qui est de la plante*, l'antagonisme entre K et Mg domine dans une certaine mesure l'équilibre cationique du métabolisme végétal. Pourtant, dans certains cas, une fumure phospho-potassique avait provoqué un accroissement sensible du taux de Mg dans un certain nombre de graminées prairiales.

D'une façon générale, une telle fumure est de nature à favoriser le développement de légumineuses au sein de la prairie ; étant donné leur richesse particulière en Mg (0,20 à 0,40 % Mg), on peut ainsi augmenter notablement le taux de Mg dans l'herbe.

12 Encore faut-il que la plante trouve dans le sol un niveau magnésien suffisant, soit naturellement, soit par apport d'engrais.

T e n e u r e n M g

Ce niveau est élevé dans les sols dolomitiques de la Lozère ; il est faible pour les sols granitiques de l'Aubrac, notablement plus important en Viadème où l'apport de scories est habituel. En Haute-Normandie, un certain nombre de sols du Pays de Caux, plus ou moins riches en CO_2Ca , sont bien pourvus en magnésie ; il en est de même des sols d'alluvions modernes des bords de Seine.

Par contre, des sols de limons, à pH voisin de 5, sont pauvres.

Si l'on considère le test Morgan comme correspondant à la magnésie facilement utilisable par les plantes, la réserve de ces sols de limon serait de l'ordre de 750 kg/ha.

Des récoltes de foin d'une dizaine de tonnes par an sont en mesure d'épuiser cette réserve en une trentaine d'années. La fertilisation magnésienne peut se poser là où se réalise une agriculture intensive, d'autant qu'aux exportations s'ajoutent des pertes par lessivage.

Rappelons que le fumier renferme 2 % de magnésie et les scories Thomas de 2 à 5 %. Le sulfate de magnésie a une action très rapide ; les amendements magnésiens sont efficaces, mais à plus longue échéance.

2° *Pour ce qui est de l'animal*, nous avons vu l'importance des précautions à prendre lors de la mise à l'herbe correspondant à un changement brutal de régime. A cette époque, le pourcentage des légumineuses riches en MgO est peu important et l'alimentation carencée en cet élément.

Si un certain équilibre doit être recherché entre graminées et légumineuses assurant entre autre un meilleur approvisionnement en Mg, insistons sur *l'intérêt de l'apport de pierre à lécher* au bétail pâturant.

L. HEDIN et Mlle E. DUVAL,

I.N.R.A., Rouen.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) ADMONT et NAUDIN : « Enquête sur la tétanie d'herbages de printemps dans le Nord et le Pas-de-Calais, en 1965 », *C.R. Académie d'Agriculture*, séance du 25 juin 1966, pp. 902-914.
- (2) ALTEN F. et DOEHRING W. (1955) : « Le problème de la tétanie d'herbage », *Revue de la Potasse*, section 19, 10^e suite, 5 p.
- (3) ALTEN F. (1958) : « Contribution à l'étiologie de la tétanie des herbages », *Revue de la Potasse*, section 19, 13^e suite, 3 p.
- (4) BARBIER G. (1936) : « Contribution à l'étude de la nutrition minérale de la plante en fonction de la composition chimique du milieu », *Ann. Agron.*, pp. 568-586.
- (5) COOPER J.B. : « Interspecific differences in nutrient uptake and assimilation », Welsh Plant Breeding Station, annual report, 1960.
- (6) DIJKSHOORN W. : « The balance of uptake, utilization and accumulation of major elements in grass.
- (7) GROOT H. de (1964) : « Contre la tétanie d'herbage. L'alimentation en magnésium du bétail au pâturage », résumé traduit par H. Charriaut.
- (8) GROOT H. de (1965) : « La teneur en magnésium du sol et des plantes », *Revue de l'Élevage*, n° 3, XX^e année, p. 59.
- (9) GUEGUEN L. (1962) : « Composition minérale de l'herbe », *Fourrages*, n° 10.
- (10) HEDIN L., KERGUELEN M. (1959-1960) : « Recherches sur la production fourragère au Lautaret et son amélioration », *Bull. de la Fédération d'Économie Alpine*, n° 10, pp. 733-830.
- (11) HEDIN L., KERGUELEN M. (1961-1962) : « Le problème de la productivité fourragère en Haute-Auvergne », *Bull. de la Fédération Française d'Économie Montagnarde*, pp. 221-258.
- (12) HEDIN L., KERGUELEN M. (1962-1963) : « Le problème fourrager en Lozère », *Bull. de la Fédération Française d'Économie Montagnarde*, n° 13, pp. 1621-1666.
- (13) HEDIN L., HANGARD Et., DUVAL E. (Mlle) (1963) : « Les fourrages de la Seine-Maritime. Analyse et utilisation », *Revue des Sociétés Savantes de Haute-Normandie*, Sciences n° 29, 108 p.
- (14) JACOB A. (1961) : « La magnésium », traduit de l'allemand par H. Charriaut. Ed. Dangles, 243 p.

- (15) JOUIS Edg. (1960) : *Rapport annuel des travaux effectués par la Station Agronomique de Rouen.*
- (16) KERGUELEN M. (1960) : « Aspects des variations de la composition de quelques fourrages en fonction des espèces, des stades de végétation, des conditions du sol et de fertilisation », *Ann. Amélior. des Plantes*, 2, pp. 177-236.
- (17) LADRAT J., LARVOR P., BROCHART M. (1960) : « A propos de la tétanie d'herbage », *Fourrages*, n° 2, pp. 57-78.
- (18) LARVOR P. (1962) : « Tétanie d'herbage et fièvre vitulaire dans leurs rapports avec l'intensification fourragère », *Fourrages*, n° 10, pp. 29-37.
- (19) LARVOR P., GUEGUEN L. (1963) : « Composition chimique de l'herbe et tétanie d'herbage », *Ann. Zootechn.*, 12, pp. 39-52.
- (20) LOUE A. (1965) : Nouvelles observations sur la nutrition minérale du Maïs, à partir d'un essai $K \times Ca \times Mg$, $3 \times 3 \times 3$, sur sol particulièrement pauvre en bases échangeables », *Public. Soc. Comm. Potasses d'Alsace.*
- (21) RATCLIFFE D. : « Aspects of the mineral nutrition of hill pasture grasses. Record 1965 », *Scottish Plant Breeding Station*, pp. 151-162.
- (22) RUSSEL E.J. (1950) : « Soil conditions and plant growth », 8^e édition, Longmans, Green and Co, London, 635 p.
- (23) VOISIN A. (1964) : Rapport non publié. Cours à l'Université de La Havane.
- (24) WALSH T. (1963) : « Recherches sur le rôle du potassium dans l'agriculture en Irlande », *Revue de la Potasse*, Section 16, 27^e suite, 11 p.