ÉTUDE DE LA COMPOSITION MINÉRALE DE QUELQUES ESPÈCES FOURRAGÈRES

INFLUENCE DU STADE DE DÉVELOPPEMENT ET DU CYCLE DE VÉGÉTATION

PAR

L. GUÉGUEN

Service de Biochimie et de Nutrition, C. N. R. Z., Jouy-en-Josas (S.-et-O.).

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

I. — Matériel expérimental.

II. — Méthodes d'analyse.

III. — Résultats. Interprétation et discussion.

IV. — Conséquences pratiques pour l'alimentation des animaux.

Résumé et conclusion.

La production intensive de l'herbe, qui résulte de la sélection des espèces botaniques, de la simplification des mélanges de plantes prairiales, de l'adaptation des fumures, permet d'accroître considérablement la masse des fourrages produits par unité de surface (en moyenne la production est doublée, parfois quadruplée). En revanche, l'utilisation de cette herbe, en général consommée jeune, lorsqu'elle est riche en eau et en matières azotées, et produite, en outre, à l'aide d'abondantes fumures, pose de nombreux problèmes aux nutritionnistes : effet laxatif entraînant des pertes de sodium ; excès de potassium et mauvaise assimilation du magnésium ; teneur insuffisante en phosphore et parfois en calcium (graminées) ; rapport phosphocalcique inadéquat (légumineuses).

La composition minérale des plantes fourragères est notamment influencée par les méthodes de production intensive. Différents facteurs de variation peuvent exercer une influence sur cette composition. Parmi

ceux-ci, l'espèce botanique, le stade de développement, le cycle de végétation et la fumure présentent une importance particulière.

L'influence du stade de développement et du cycle de végétation sur la composition minérale des plantes a déjà fait l'objet de nombreux travaux. Cependant peu de recherches ont été menées sur des espèces pures de plantes fourragères. Encore plus rares sont les travaux sur l'évolution de la composition minérale des différentes parties de la plante, qui permettent d'étudier, pour chaque stade de développement, la contribution apportée par les divers organes aux teneurs de la plante entière en éléments minéraux. Citons à ce sujet les travaux de WOODMAN et EVANS (14) relatifs aux luzernes, de BAKER et coll. (1) en 1952 pour ce qui concerne le sainfoin ; nous possédons en revanche très peu de données sur les graminées, excepté quelques valeurs rassemblées par MORRISON (10).

Dans le dessein de combler cette lacune, nous avons dosé systématiquement P, Ca, K, Na, Mg d'une part dans les limbes, les gaines, les tiges et les fleurs de deux graminées, un dactyle et une fétuque, à quatre stades de développement différents, et d'autre part dans les feuilles, les tiges et les fleurs de trois variétés de luzerne (Flamande, Poitou et Provence) récoltées à trois stades différents durant les quatre cycles de végétation de l'année 1957.

Enfin, les proportions relatives (en matière sèche), de chaque partie de la plante ont été déterminées, ce qui permet de calculer les teneurs minérales de la plante entière et de comparer l'évolution de sa composition minérale à celle du rapport feuilles/tiges en particulier.

I. — MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL ET MODE DE TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Deux graminées, un dactyle et une fétuque, semées séparément dans des parcelles du C. N. R. Z., ont reçu une forte fumure azotée au début de leur croissance (environ 80 unités de N pour le dactyle et 40 pour la fétuque) et ont été récoltées durant l'année 1957, aux dates suivantes :

- 9 avril : stade feuillu, pas de tiges.
- 27 avril : stade feuillu, peu de tiges.
- 20 mai : épiaison, ou début floraison.
- 9 juin : pleine floraison.

Deux variétés de luzerne, Poitou et Provence, ont été récoltées dans des parcelles situées à la ferme de la Minière, et une troisième variété, Flamande, dans une parcelle du C. N. R. A. à Versailles.

Les trois stades de prélèvement correspondent à l'apparition des

bourgeons, au début de la floraison et à la pleine floraison. Les dates de prélèvement sont rassemblées dans le tableau suivant :

Cycle	Stade	Luzerne Flamande	Luzernes Poitou et Provence
Premier	Bourgeons Début floraison Pleine floraison	14 mai 4 juin 18 juin	17 mai 7 juin 30 juin
Deuxième	Bourgeons Début floraison Pleine floraison	1 ^{er} juillet 11 juillet 29 juillet	2 juillet 12 juillet 30 juillet
Troisième	Bourgeons Début floraison Pleine floraison	8 août 19 août 2 septembre	9 août 23 août 9 septembre
Quatrième	Bourgeons Début floraison	27 septembre 25 octobre	7 octobre 4 novembre

Les plantes de chaque cycle proviennent des repousses du cycle précédent interrompu au début de la floraison.

Mode de prélèvement et de conservation des échantillons : Après fauchage de la parcelle (surface de 6 m² au minimum) à la motofaucheuse, on prélève un échantillon représentatif de 3 kg environ. La production au m² est calculée en matière fraîche et en matière sèche. Après séparation des feuilles (légumineuses), limbes et gaines (graminées), tiges, fleurs et éventuellement débris et plantes adventices, on calcule leurs proportions relatives en poids de plante fraîche. Puis les échantillons sont séchés au four à circulation d'air (75° C pendant 1 heure, puis 60° C) et les proportions relatives des organes (en matière sèche) sont de nouveau déterminées ⁽¹⁾.

Les échantillons sont finement broyés et conservés en chambre froide (0-2° C).

Ces échantillons ont été étudiés indépendamment par FAUCONNEAU, pour ce qui concerne les acides organiques et les fractions azotées, et par JARRIGE pour les glucides protoplasmiques et membranaires.

II. — MÉTHODES D'ANALYSES UTILISÉES

Toutes les méthodes utilisées ont été longuement expérimentées au préalable et notamment éprouvées quant à la parfaite reproductibilité des analyses effectuées. Les chiffres cités sont les moyennes des résultats d'analyses en double.

Les éléments minéraux étudiés ont été dosés dans le résidu d'une prise d'essai de 500 mg de produit calcinée à 500° C pendant 6 à 8 heures.

⁽¹⁾ Avec la collaboration technique de M^{mes} J. JUNG et V. FRANÇOIS-GOUJON.

Après calcination, les cendres sont reprises au bain de sable par 5 cc de HCl pur, évaporés à sec pour insolubiliser la silice. Puis l'hydrolyse est effectuée en reprenant par 3 cc de HNO_3 à 10 p. 100 et en portant à l'ébullition pendant 5 minutes (cette hydrolyse est importante pour le dosage du phosphore). Après filtration on complète à 100 cc avec de l'eau bi-distillée.

Le phosphore est dosé par la méthode de MISSEN, au phosphovanadomolybdate d'ammonium adaptée par la Station d'Agronomie d'Antibes. Pour obtenir la coloration jaune caractéristique, on ajoute 10 cc de la solution précédente à 10 cc de réactif nitrovanadomolybdique (100 cc de molybdate NH_4 à 10 p. 100 + 100 cc de métavanadate de NH_4 à 2,35 g par litre + 67 cc de NO_3H à $d = 1,38$ + eau q. s. p. 500 cc).

L'intensité de la coloration, qui demeure stable durant plusieurs semaines, est mesurée au spectrophotomètre à 430 m μ ; la teneur en P est obtenue par comparaison avec une gamme de solutions étalons contenant de 5 à 30 γ de P par cc.

Le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium sont dosés par spectrophotométrie de flamme, à l'aide du photomètre à flamme « Eppendorf » par passage direct de la solution obtenue après incinération; on établit une comparaison avec des solutions standards contenant l'élément à doser (en général de 10 à 50 γ /cc), en solution pure ou en mélange, compte tenu des principales interférences observées (K sur Na et K sur Mg). Pour les dosages de K dans tous les végétaux et de Ca dans les légumineuses, il est nécessaire de diluer plusieurs fois (5 fois en général) la solution précédemment obtenue à partir des cendres.

Na et K sont dosés dans la flamme air (0,5 kg/cm²)-propane (160 mm d'eau). Ca dans la flamme air (0,5 kg/cm²)-acétylène (560 mm d'eau) et éventuellement oxygène (2 litres/mn). Mg dans la flamme air (0,5 kg/cm²)-hydrogène (800 mm d'eau)-oxygène (2 litres/mn).

III. — RÉSULTATS OBTENUS

1° Le phosphore

Les variations des teneurs en P des organes de la plante sont, parmi les variations des teneurs minérales, celles qui offrent le plus de régularité dans les différents organes (fig. 1).

Les tableaux I et II rassemblent les différentes valeurs de la teneur en P des espèces étudiées.

A. — Composition des différents organes

a) En ce qui concerne les différences entre les diverses parties de la plante, de façon très générale, les limbes (et les gaines pour les graminées)

sont plus riches que les tiges à stade botanique équivalent. Cependant aux stades jeunes, du moins dans le cas des graminées, toutes les parties de la plante sont également riches en P. La différence entre feuilles et tiges s'accroît quand on s'approche de la maturité et est beaucoup plus sensible pour les luzernes que pour les graminées.

b) Le stade de développement (comme l'indique la figure 1) influe de façon très régulière sur la teneur en phosphore, et, pour les deux

FIG. 1. — Évolution de la teneur en phosphore dans le dactyle et la fétuque (en g par kg).

familles étudiées, tous les organes s'appauvrissent considérablement en vieillissant. La teneur en P des limbes des graminées varie beaucoup moins que celle des gaines et des tiges. Par contre l'appauvrissement est comparable pour les feuilles et tiges de luzerne.

Les résultats moins significatifs obtenus pour les luzernes du premier cycle s'expliquent par le fait que les plantes se sont développées très

lentement, et sont donc « âgées » au stade bourgeon ⁽¹⁾. Les inflorescences sont très riches en P, et d'après les études de WILLIAMS (1956) sur les translocations (13) dans la plante, il y aurait un véritable drainage du phosphore de tous les organes vers les fleurs et les graines, ce qui explique également la chute brutale de la teneur en P des feuilles et des tiges dès le début de la floraison.

TABLEAU I

*Évolution de la teneur en phosphore du dactyle et de la fétuque
(en g par kg de produit sec ⁽¹⁾).*

	Limbes	Gaines	Tiges	Fleurs	Plante entière
Dactyle					
9 avril.....	4,52 (3,01)	4,30 (1,45)	—	—	4,46
27 avril.....	3,62 (2,42)	3,26 (1,03)	—	—	3,45
20 mai.....	2,96 (1,23)	1,90 (0,55)	2,10 (0,50)	—	2,29
9 juin.....	2,48 (0,54)	1,50 (0,30)	1,42 (0,57)	3,02 (0,55)	1,96
Fétuque					
9 avril.....	3,90 (2,64)	3,90 (1,25)	—	—	3,89
27 avril.....	3,14 (1,75)	2,74 (1,03)	3,34 (0,26)	—	3,00
20 mai.....	2,62 (0,62)	1,92 (0,68)	2,48 (0,83)	—	2,13
9 juin.....	2,48 (0,23)	1,44 (0,36)	1,72 (0,86)	2,94 (0,47)	1,91

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en P de la plante entière.

⁽¹⁾ En moyenne 95 p. 100 de matière sèche dans le cas des graminées.

L'évolution de la teneur en P dans les différents organes suit les variations de la proportion des constituants protoplasmiques et en particulier des matières azotées.

c) Les variations selon le cycle de végétation sont moins régulières. Pour les trois variétés de luzerne, les teneurs enregistrées au premier cycle sont inférieures à celles obtenues pour les cycles suivants, et ceci pour les deux premiers stades étudiés. Dans le cas de la luzerne Flamanche seulement nous constatons un enrichissement progressif très net de tous les organes jusqu'à la teneur maximum atteinte au 4^e cycle. Pour les deux autres variétés, l'évolution est moins régulière ; cependant les plantes du 2^e et du 4^e cycle sont les plus riches en P. Malgré la légère

⁽¹⁾ Par suite d'une erreur de prélèvement, la luzerne Flamanche du 1^{er} cycle, au stade début floraison, provient d'une parcelle différente située sur un sol voisin mais non identique. Les résultats obtenus (indiqués sur les tableaux) ne sont donc pas comparables aux autres.

TABLEAU II
Évolution de la teneur en phosphore de 3 variétés de luzerne (en g par kg de produit sec) (1)

	Flandre			Poitou			Provence		
	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière	Plante entière
1 ^{er} Cycle	2,90 (1,12)	2,12 (1,30)		2,42	2,81 (1,13)	2,09 (1,25)		2,38	2,44
	2,44 (0,83)	1,60 (0,96)	2,74 (0,11)	1,93	2,47 (0,87)	1,74 (0,90)		1,77	2,33
	2,68 (0,74)	1,56 (1,06)	2,74 (0,12)	1,92	2,90 (0,86)	2,72 (1,71)	3,76 (0,27)	2,84	2,30
2 ^e Cycle									
	2,76 (1,05)	2,52 (1,52)		2,57	3,43 (1,32)	2,84 (1,73)		3,05	3,24
	2,54 (0,80)	2,22 (1,38)	3,74 (0,23)	2,41	2,76 (0,75)	2,43 (1,61)		2,36	2,43
3 ^e Cycle	2,89 (0,78)	1,90 (1,23)	3,48 (0,28)	2,29	2,63 (0,55)	1,57 (1,06)	3,81 (0,44)	2,05	2,25
	3,99 (1,91)	2,57 (1,32)		3,23	3,67 (1,62)	1,90 (1,04)		2,66	3,09
4 ^e Cycle	3,12 (1,26)	2,27 (1,30)		2,66	2,76 (1,08)	2,02 (1,12)		2,20	2,22
	2,82 (1,14)	1,73 (0,93)	3,71 (0,20)	2,27	2,36 (0,82)	1,41 (0,79)	3,52 (0,32)	1,93	1,78
4 ^e Cycle	4,09 (2,39)	3,52 (1,46)		3,85	3,14 (1,93)	2,52 (0,97)		2,90	2,69
	3,71 (2,31)	2,67 (1,00)		3,31	2,49	1,45			

(1) Part fournie par chaque organe dans la teneur en P de la plante entière.

(1) En moyenne 92 p. 100 de matière sèche dans le cas des Luzernes.

diminution du taux de P observé au 3^e cycle dans deux variétés, nous n'avons pas constaté la chute brutale du phosphore durant la saison chaude, signalée par de nombreux auteurs. En fait, cette chute du phosphore dans la plante ne serait particulièrement marquée que pendant les périodes de grande sécheresse. Une étude de la composition du dactyle à plusieurs cycles de végétation est également en cours.

B. — Composition de la plante entière

Le stade de développement et le cycle de végétation influent sur la composition minérale de la plante, non seulement par les variations de la teneur en minéraux de chaque organe de la plante, mais surtout par les modifications des rapports en poids de ces organes entre eux. C'est pourquoi, pour permettre de mieux interpréter l'évolution de la composition minérale de la plante entière, nous avons indiqué dans les tableaux de composition, la part absolue apportée par chaque partie de la plante dans la teneur en éléments minéraux de la plante entière (voir fig. 2), compte tenu des proportions relatives de ces organes dans la matière sèche totale de la plante.

Ainsi la diminution du rapport feuilles/tiges, ou mieux du rapport limbes/(Gaines + Tiges), dans le cas des graminées, joue un rôle prépondérant dans la chute du taux de phosphore, et ceci particulièrement chez les graminées. Chez les légumineuses, ce rapport varie beaucoup moins, mais nous avons vu par contre que les différences entre feuilles et tiges sont plus importantes dans cette famille. De même, le fait que les dernières coupes de luzerne soient plus feuillues que les premières (comme l'ont également remarqué WOODMAN et EVANS) tend à accentuer l'accroissement de la teneur en P de la plante entière au cours des derniers cycles.

Les chiffres donnant la répartition par organe du phosphore de la plante montrent que l'apport prépondérant se fait par les tiges pendant les deux premiers cycles, puis par les feuilles pendant les deux derniers. Nous remarquons également que chez les graminées au 4^e stade les fleurs apportent autant ou plus de P que les limbes ou les gaines. Cet apport par les fleurs, moins important pour les luzernes, n'est pas négligeable, et contribue à freiner la chute de la teneur en P à la floraison.

Nous noterons enfin les différences observées entre espèces. Les deux graminées, dactyle et fétuque, diffèrent surtout par leur rapport limbes/tiges, beaucoup plus faible chez la fétuque aux derniers stades. Cependant, comme les tiges de fétuque sont plus riches en P que celles de dactyle, la chute du rapport limbes/tiges n'accroît pas les différences finales de teneurs entre les deux espèces (fig. 2).

Il y a peu de différences entre les trois variétés de luzerne, sinon que la Flamande est la plus riche durant les deux derniers cycles.

Les luzernes étudiées ne sont pas plus riches en P que les graminées.

FIG. 2. — Répartition du phosphore dans le dactyle et la fétuque (en g par kg).

2° Le Calcium

L'étude du calcium dans les plantes, contrairement à celle du phosphore, impose de dissocier les graminées et les légumineuses, d'une part à cause des très fortes différences de teneurs (en moyenne respectivement de 3 et 16 ‰) et d'autre part, comme nous le verrons, à cause des différences d'évolution avec l'âge de la plante.

a) Comme nous le montrent les tableaux III et IV et la figure 3, les feuilles sont toujours plus riches que les tiges en Ca, et la différence est très accentuée dans le cas des luzernes (de 9 ‰ en moyenne dans les tiges à 25 ou 30 ‰ dans les feuilles). De même les limbes des deux graminées sont en moyenne 4 fois plus riches que les tiges et les limbes de la fétuque sont de 2 à 3 fois plus riches que les gaines. Cette différence entre organes est accrue aux derniers stades botaniques. Les fleurs sont relativement pauvres en calcium.

TABLEAU III

*Évolution de la teneur en calcium du dactyle et de la fétuque
(en kg par g de produit sec).*

	Limbes	Gainés	Tiges	Fleurs	Plante entière
Dactyle					
9 avril.....	4,08 (2,72)	3,54 (1,19)	—	—	3,91
27 avril.....	3,86 (2,58)	2,96 (0,94)	—	—	3,52
20 mai.....	3,78 (1,57)	2,32 (0,67)	1,28 (0,31)	—	2,55
9 juin.....	5,50 (1,20)	2,50 (0,50)	1,22 (0,49)	2,38 (0,43)	2,62
Fétuque					
9 avril.....	5,50 (3,72)	2,98 (0,96)	—	—	4,68
27 avril.....	6,54 (3,57)	2,40 (0,90)	2,02 (0,16)	—	4,62
20 mai.....	8,55 (2,03)	2,44 (0,87)	1,62 (0,54)	—	3,44
9 juin.....	9,55 (0,84)	2,98 (0,75)	1,60 (0,80)	3,00 (0,48)	2,86

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Ca de la plante entière.

b) Au cours de leur développement, les feuilles de luzernes, et les limbes des graminées s'enrichissent considérablement en calcium (comme le montre la figure 3), tandis que les tiges (et les gaines pour les graminées) ont des teneurs qui varient peu, ou qui diminuent légèrement. Chez les graminées, malgré l'enrichissement des feuilles, la teneur totale de la plante entière diminue avec l'âge de façon très significative (fig. 3 et 4). En effet, d'une part la chute du rapport F/T joue plus que l'accroissement de la teneur des feuilles, et d'autre part l'apport de calcium par les fleurs au dernier stade est faible.

En revanche chez les légumineuses, où la diminution du rapport F/T est moindre, la teneur globale en Ca varie peu avec l'âge, ou parfois s'accroît légèrement.

Notons également que l'évolution de certains acides organiques, en

particulier l'acide citrique, dans les divers organes de la plante, est parallèle à l'évolution du Ca (FAUCONNEAU, 1959).

TABLEAU IV

*Évolution de la teneur en calcium de deux variétés de luzerne
(en g par kg de produit sec).*

	Luzernes							
	Poitou				Flamande			
	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière
1^{er} Cycle								
Bourgeons	25,65 (10,32)	7,17 (4,28)		14,60	24,3 (9,41)	7,1 (4,35)		13,76
Début floraison	31,10 (10,96)	8,91 (5,72)		16,68	40,6 (13,80)	10,9 (6,76)		20,56
Pleine floraison	28,80 (8,59)	8,17 (5,14)	7,83 (0,57)	14,39	34,8 (9,56)	7,6 (5,19)	9,4 (0,39)	15,14
2^e Cycle								
Bourgeons	22,20 (8,52)	6,87 (4,10)		12,71	24,3 (9,27)	7,6 (4,57)		13,84
Début floraison	26,52 (7,23)	5,87 (3,99)		11,13	28,6 (9,03)	6,6 (4,11)		13,14
Pleine floraison	31,30 (6,56)	6,87 (4,63)	7,83 (0,91)	12,10	34,0 (9,14)	9,1 (5,91)	9,4 (0,76)	15,81
3^e Cycle								
Bourgeons	23,04 (10,16)	8,17 (4,40)		14,65	22,3 (10,67)	11,9 (6,12)		16,79
Début floraison	28,91 (11,29)	8,04 (4,45)		15,74	27,6 (11,14)	10,8 (6,20)		17,34
Pleine floraison	32,26 (11,16)	9,56 (5,38)	12,26 (1,12)	17,66	29,3 (11,89)	8,6 (4,64)	7,0 (0,38)	16,91
4^e Cycle								
Bourgeons	16,43 (10,10)	8,26 (3,18)		13,28	20,4 (11,90)	12,6 (5,25)		17,15
Début floraison	17,61	8,20			23,4 (14,58)	11,7 (4,40)		18,98
Pleine floraison								

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Calcium de la plante entière.

c) Le cycle de végétation influe sur la teneur en Ca des feuilles de luzerne. Par contre les tiges des derniers cycles semblent un peu plus riches en Ca. Ainsi, malgré la diminution de la proportion des tiges aux derniers cycles, la part qu'elles fournissent dans la teneur totale de la plante est assez constante. Au contraire, la part fournie par les feuilles s'accroît de façon assez nette, et il en résulte que les luzernes des derniers cycles sont un peu plus riches en Ca que celles des premiers.

d) Dans la même famille, il existe des différences entre les deux espèces de graminées. En effet les limbes et les tiges de la fétuque sont

beaucoup plus riches en Ca que ceux du dactyle. Cependant, comme la fétuque est beaucoup moins feuillue que le dactyle aux derniers stades, la teneur en Ca de la fétuque n'est que faiblement supérieure à celle du dactyle (fig. 4).

La luzerne Flamande est un peu plus riche en Ca que la luzerne du Poitou.

FIG. 3. — Évolution de la teneur en calcium dans le dactyle et la fétuque (en g par kg).

Production de P et de Ca à l'unité de surface. Dans le but de tenir compte non pas seulement de la richesse du fourrage en P et Ca, mais aussi du rendement à l'unité de surface, nous avons mesuré la production en poids de M. S. au m² de chacune des luzernes prélevées, puis calculé la production de P et de Ca en g par m². Nous constatons (ta-

bleau XI) que, de façon générale, le but recherché, à savoir la récolte maximum de matière sèche et de phosphore (donc de matières azotées), est atteint dès le début de la floraison, et peut-être même avant l'apparition des premières fleurs.

FIG. 4. — Répartition du calcium dans le dactyle et la fétuque (en g par kg).

3^o Le Potassium

Pour toutes les plantes étudiées, les variations de la teneur en K sont comparables, et sont dues à une diminution systématique de la teneur de tous les organes avec l'âge.

Les tableaux V et VI rassemblent les résultats obtenus.

a) Les limbes des graminées sont en général un peu plus riches que les gaines et les tiges. Au contraire, les tiges de légumineuses sont beaucoup plus riches que les feuilles, à tous les stades pour la luzerne du Poitou, au premier stade seulement pour la Flamande. Les fleurs des graminées sont pauvres en K, tandis que celles des légumineuses sont riches par rapport aux autres organes.

TABLEAU V

Évolution de la teneur en potassium du dactyle et de la fétuque (en g par kg de produit sec).

	Limbes	Gainés	Tiges	Fleurs	Plante entière
Dactyle					
9 avril.....	35,70 (23,80)	37,00 (12,47)	—	—	36,28
27 avril.....	30,75 (20,54)	28,00 (8,87)	—	—	29,41
20 mai.....	20,50 (8,54)	16,25 (4,70)	15,25 (3,67)	—	16,91
9 juin.....	25,00 (5,45)	18,50 (3,72)	10,20 (4,08)	12,50 (2,27)	15,52
Fétuque					
9 avril.....	32,75 (22,17)	32,75 (10,54)	—	—	32,71
27 avril.....	31,75 (17,33)	26,8 (10,07)	27,7 (2,16)	—	29,56
20 mai.....	23,50 (5,59)	21,9 (7,77)	25,8 (8,61)	—	21,97
9 juin.....	25,00 (2,20)	21,9 (5,52)	21,9 (10,95)	9,50 (1,51)	20,18

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en K de la plante entière.

b) En vieillissant, les graminées s'appauvrissent très nettement en K, surtout par l'importante diminution de teneur de leurs tiges. En effet les limbes et les gaines ont tendance à s'enrichir légèrement à la floraison, mais ceci ne peut compenser l'effet dû à la chute du rapport F/T.

Tous les organes des deux variétés de luzerne (sauf les tiges de luzerne du Poitou où les variations sont irrégulières) s'appauvrissent en K en vieillissant. Cependant, comme les tiges, dont la proportion augmente, sont plus riches que les feuilles, et que l'apport par les fleurs n'est pas négligeable, nous observons une tendance générale très nette vers un minimum de la teneur au 2^e stade et un enrichissement au 3^e.

c) L'influence du cycle est peu marquée. Cependant les plantes jeunes des derniers cycles sont en général les mieux pourvues en K.

d) Il existe des différences considérables entre familles, espèces et variétés. Tout d'abord, comme l'a également remarqué MAUME en 1948 (7),

il semble que les graminées soient plus riches en K que les luzernes, cette différence s'atténuant à la floraison. La fétuque est plus riche que le dactyle aux derniers stades, plus pauvre aux premiers (fig. 5) et l'amplitude de la diminution de la teneur en K est bien plus prononcée chez le dactyle (perte de 21 g de K par kg au lieu de 12 g pour la fétuque). D'autre part les tiges de fétuque sont près de deux fois plus riches en K que celles de dactyle.

TABLEAU VI

*Évolution de la teneur en potassium de deux variétés de luzerne
(en g par kg de produit sec).*

	Luzernes							
	Poitou				Flamande			
	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière
1^{er} Cycle								
Bourgeons	20,0 (8,04)	23,0 (13,75)		21,8	12,5 (4,84)	15,0 (9,19)		14,0
Début floraison	16,3 (5,74)	19,0 (12,20)		17,9	7,8 (2,65)	7,0 (4,34)	16,5 (6,66)	7,6
Pleine floraison	16,6 (4,95)	30,0 (18,86)	17,9 (1,20)	24,1	11,5 (3,16)	12,2 (8,34)	16,5 (6,67)	12,2
2^e Cycle								
Bourgeons	21,4 (8,21)	24,6 (15,01)		23,2	14,7 (5,61)	16,1 (9,69)		15,3
Début floraison	19,6 (5,34)	21,0 (13,94)		19,3	12,9 (4,07)	13,2 (8,21)		12,3
Pleine floraison	14,3 (2,99)	27,0 (18,20)	21,0 (2,44)	23,6	12,5 (3,36)	12,5 (8,12)	17,2 (1,40)	12,9
3^e Cycle								
Bourgeons	22,0 (9,70)	20,0 (10,99)		20,7	17,1 (8,18)	21,5 (11,07)		19,2
Début floraison	19,4 (7,58)	23,2 (12,84)		20,4	12,5 (5,04)	16,8 (9,65)		14,7
Pleine floraison	14,0 (4,84)	20,0 (11,25)	20,8 (1,90)	18,0	12,6 (5,11)	11,6 (6,25)	19,6 (1,08)	12,4
4^e Cycle								
Bourgeons	25,0 (15,37)	27,2 (10,47)		25,8	17,2 (10,04)	20,4 (8,49)		18,5
Début floraison	17,6	20,8			16,0 (9,97)	14,8 (5,57)		15,5
Pleine floraison								

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Potassium de la plante entière.

Enfin la luzerne du Poitou est considérablement plus riche en K que la luzerne Flamande.

Cependant ces différences ne sont valables que pour les plantes étudiées, car le sol et la fumure jouent un rôle considérable, et les essais réalisés par STEWART et HOLMES (1953) montrent que de fortes fumures potassiques peuvent quadrupler la teneur en K des plantes.

Notons enfin que les différences observées entre le dactyle et la fétuque pourraient s'expliquer par des différences de vitesse de croissance. Le dactyle abondamment fumé a fourni un rendement très élevé (hauteur de 1 m 10 à la floraison), et il se serait donc produit une « dilution » du potassium en particulier, et peut-être du calcium.

FIG. 5. — Évolution des teneurs en sodium et en potassium dans le dactyle et la fétuque (en g par kg).

4° Le Sodium

Nous trouvons ici les différences les plus frappantes entre espèces et variétés. Les résultats sont groupés dans les tableaux VII et VIII.

a) Dans les deux familles, les feuilles sont légèrement plus riches que les tiges. Les fleurs sont en général pauvres en Na.

b) Les variations avec le stade de développement sont assez irrégulières pour les teneurs en Na des organes des légumineuses. Cependant les feuilles et tiges du 3^e stade sont en général plus riches, et la teneur en Na de la plante entière, après avoir diminué au 2^e stade, s'accroît à la floraison. Cet enrichissement en Na des légumineuses a également été constaté par THOMAS et coll. (12) en 1952.

TABLEAU VII

*Évolution de la teneur en sodium du dactyle et de la fétuque
(en g par kg de produit sec).*

	Limbes	Gaines	Tiges	Fleurs	Plante entière
Dactyle					
9 avril.....	4,25 (2,83)	5,50 (2,52)	—	—	5,35
27 avril.....	5,12 (3,42)	4,60 (1,46)	—	—	4,88
20 mai.....	7,77 (3,24)	6,45 (1,86)	5,57 (1,34)	—	6,44
9 juin.....	6,47 (1,41)	4,72 (0,95)	3,10 (1,24)	0,54 (0,10)	3,70
Fétuque					
9 avril.....	0,11 (0,07)	0,14 (0,06)	—	—	0,13
27 avril.....	0,15 (0,08)	0,12 (0,04)	0,09 (0,007)	—	0,13
20 mai.....	0,12 (0,03)	0,15 (0,05)	0,13 (0,04)	—	0,12
9 juin.....	0,18 (0,016)	0,09 (0,02)	0,10 (0,02)	0,10 (0,016)	0,12

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Na de la plante entière.

Les feuilles de graminées ont une faible tendance à s'enrichir en Na en se développant, tandis que les tiges s'appauvrissent. La teneur en Na de la plante entière diminue légèrement.

c) A stade botanique équivalent, les plantes des deux derniers cycles sont les plus riches en Na. Le tableau VIII montre d'autre part que le plus grand apport de sodium se fait par les tiges durant les deux premiers cycles, puis par les feuilles (comme pour l'apport de phosphore).

d) Il existe des différences très marquées entre espèces de graminées, quant à la teneur en Na de la plante entière. Ainsi le dactyle est en moyenne 30 fois plus riche que la fétuque (voir fig. 5).

Enfin, il importe de noter les variations du rapport K/Na et les différences importantes entre espèces et variétés. Le rapport K/Na diminue quand la plante vieillit, surtout par la diminution de la teneur en K, et aussi, parfois, par l'accroissement de la teneur en Na. Il est

curieux de constater que le rapport K/Na moyen est de 6 pour le dactyle (passant de 7 à 4) contre 200 pour la fétuque (passant de 250 à 170).

De même le rapport K/Na moyen pour la luzerne Flamande est de 10 (de 14 à 8) contre 36 pour la luzerne du Poitou (de 38 à 30) et plus de 50 pour la luzerne de Provence (résultats non mentionnés sur les tableaux).

TABLEAU VIII

*Évolution de la teneur en sodium de deux variétés de luzerne
(en g par kg de produit sec).*

	Luzernes							
	Poitou				Flamande			
	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière
1^{er} Cycle								
Bourgeons	0,70 (0,28)	0,48 (0,29)		0,57	1,15 (0,44)	1,05 (0,64)		1,08
Début floraison.....	0,65 (0,23)	0,50 (0,32)		0,55	1,40 (0,48)	1,50 (0,93)	0,15 (0,06)	1,47
Pleine floraison	0,58 (0,17)	0,80 (0,50)	0,70 (0,05)	0,72	0,98 (0,27)	1,05 (0,71)	0,15 (0,06)	1,04
2^e Cycle								
Bourgeons	0,82 (0,31)	0,52 (0,32)		0,63	1,10 (0,42)	0,98 (0,59)		1,01
Début floraison	0,80 (0,22)	0,40 (0,26)		0,48	1,30 (0,41)	1,03 (0,64)		1,05
Pleine floraison	0,66 (0,14)	0,46 (0,31)	1,10 (0,13)	0,58	1,52 (0,41)	1,60 (1,04)	0,29 (0,02)	1,57
3^e Cycle								
Bourgeons	1,22 (0,54)	0,30 (0,16)		0,70	1,48 (0,71)	1,38 (0,71)		1,42
Début floraison	0,80 (0,31)	0,25 (0,14)		0,45	1,44 (0,58)	1,36 (0,78)		1,36
Pleine floraison.....	0,90 (0,31)	0,70 (0,39)	0,10 (0,09)	0,79	1,90 (0,77)	1,70 (0,92)	0,62 (0,03)	1,72
4^e Cycle								
Bourgeons	0,72 (0,44)	0,58 (0,22)		0,66	1,32 (0,77)	1,54 (0,64)		1,41
Début floraison	0,92	1,04			1,80 (1,12)	1,96 (0,74)		1,86
Pleine floraison								

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Sodium de la plante entière.

Il existerait donc, en particulier entre espèces de graminées, des différences considérables dans les teneurs en alcalins. Cependant, sachant que le sol et la fumure peuvent influencer considérablement sur la teneur des plantes en ces éléments, il est indispensable de poursuivre les recherches en ce sens, sur d'autres types de sol et avec des fumures variables.

5° Le Magnésium

L'évolution du magnésium dans la plante est en général liée à celle du calcium, mais l'amplitude des variations est bien plus faible.

a) Les tableaux IX et X nous montrent que pour toutes les espèces étudiées les feuilles sont plus riches en Mg que les autres organes. Les fleurs sont relativement riches en Mg.

TABLEAU IX

Évolution de la teneur en magnésium du dactyle et de la fétuque (en g par kg de produit sec).

	Limbes	Gainés	Tiges	Fleurs	Plante entière
Dactyle					
9 avril.....	2,94 (1,96)	1,50 (0,50)	—	—	2,46
27 avril.....	2,55 (1,70)	2,28 (0,72)	—	—	2,42
20 mai.....	2,44 (1,02)	1,84 (0,53)	1,64 (0,39)	—	1,94
9 juin.....	2,71 (0,59)	1,80 (0,38)	1,16 (0,46)	1,45 (0,26)	1,60
Fétuque					
9 avril.....	2,46 (1,66)	2,28 (0,73)	—	—	2,39
27 avril.....	2,44 (1,33)	1,50 (0,50)	1,60 (0,13)	—	2,05
20 mai.....	2,18 (0,52)	1,25 (0,44)	1,40 (0,47)	—	1,43
9 juin.....	2,37 (0,21)	1,30 (0,33)	1,21 (0,60)	1,26 (0,20)	1,34

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Magnésium de la plante entière.

b) Suivant le stade botanique, les feuilles ont des teneurs assez constantes en Mg, surtout chez les légumineuses. Les limbes et les gainés de graminées s'enrichissent faiblement à la floraison. Par contre, les tiges s'appauvrissent régulièrement en vieillissant, et en conséquence, la plante entière s'appauvrit également.

c) Nous constatons en outre que les plantes des deux derniers cycles sont en général plus riches que celles des deux premiers.

d) Les légumineuses que nous avons étudiées ne sont pas plus riches en Mg que les graminées, contrairement aux constatations faites par THOMAS et coll. en 1952, qui trouvent des teneurs plus fortes pour les légumineuses. Notons cependant que les plantes des deux familles proviennent de sols différents, et que ces différences n'ont donc qu'une valeur relative.

Dans les taux de Mg de la plante, une faible part (environ 15%) revient au magnésium de la chlorophylle.

TABLEAU X

*Évolution de la teneur en magnésium de deux variétés de luzerne
(en g par kg de produit sec).*

	Luzernes							
	Poitou				Flamande			
	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière	Feuilles	Tiges	Fleurs	Plante entière
1 ^{er} Cycle								
Bourgeons	1,73 (0,69)	1,15 (0,69)		1,38	1,61 (0,62)	1,01 (0,62)		1,24
Début floraison	1,51 (0,52)	1,00 (0,64)		1,17	1,91 (0,65)	0,97 (0,60)		1,25
Pleine floraison	1,56 (0,46)	1,53 (0,96)	1,15 (0,08)	1,50	1,72 (0,47)	0,86 (0,59)	1,15	1,06
2 ^e Cycle								
Bourgeons	2,00 (0,77)	1,47 (0,89)		1,66	1,98 (0,75)	1,12 (0,67)		1,42
Début floraison	2,13 (0,58)	1,02 (0,68)		1,26	1,98 (0,62)	0,90 (0,56)		1,18
Pleine floraison	1,73 (0,36)	0,91 (0,61)	1,20 (0,14)	1,11	1,95 (0,52)	1,05 (0,68)	1,24	1,20
3 ^e Cycle								
Bourgeons	2,06 (0,91)	0,93 (0,51)		1,42	1,91 (0,91)	1,72 (0,88)		1,79
Début floraison	1,90 (0,74)	1,12 (0,62)		1,36	1,87 (0,75)	1,38 (0,79)		1,54
Pleine floraison	1,64 (0,57)	1,02 (0,57)	1,07 (0,10)	1,24	1,80 (0,73)	1,12 (0,60)	1,16 (0,06)	1,39
4 ^e Cycle								
Bourgeons	1,73 (1,06)	1,35 (0,52)		1,58	1,72 (1,00)	1,83 (0,76)		1,76
Début floraison	1,38	1,20			1,68 (1,04)	1,42 (0,53)		1,57
Pleine floraison								

() Part fournie par chaque organe dans la teneur en Magnésium de la plante entière.

IV. — CONSÉQUENCES PRATIQUES POUR L'ALIMENTATION DES ANIMAUX

Les conclusions que nous pouvons tirer d'une telle étude ne peuvent être étendues à la production fourragère en général. En effet, de très nombreux facteurs interviennent dans la modification de la composition minérale des plantes, et dans le cadre restreint de cette étude nous n'avons considéré qu'un type de sol et un type de climat.

1^o Phosphore

En comparant les teneurs ⁽¹⁾ en P des plantes étudiées aux besoins d'une vache laitière de 600 kg, nous constatons que les graminées très jeunes couvrent les besoins en P d'une production de plus de 30 kg de lait, et la luzerne au stade bourgeons ceux d'une production de 20 kg de lait (selon les normes exprimées en g par kg de M. S., citées par JARRIGE en 1956). En revanche, tous ces fourrages récoltés à la pleine floraison ne permettent plus de couvrir que les besoins d'une production de 5 à 10 kg de lait. Puisque la teneur en P des plantes est étroitement liée à la valeur du rapport F/T, il est nécessaire, afin de récolter le maximum du phosphore de la plante, de déterminer le stade d'utilisation le plus précoce possible compatible avec un bon rendement et une pérennité satisfaisante, de récolter convenablement la plante sans perte de feuilles, et enfin d'utiliser rationnellement les dernières coupes d'automne, très feuillues et riches en P.

Notons par ailleurs que le taux d'azote de la plante évolue dans le même sens que le taux de P. Un fourrage riche en P possède donc une bonne valeur nutritive.

TABLEAU XI

Production de matière sèche, de P, et de Ca en g par m².

	Flandre			Poitou			Provence	
	M. S.	P	Ca	M. S.	P	Ca	M. S.	P
1^{er} Cycle								
Bourgeons	583	1,41	8,02	507	1,21	7,40	392	0,95
Début floraison				622	1,10	10,37	500	1,16
Pleine floraison	926	1,78	14,02	617	1,75	8,82	492	1,13
2^e Cycle								
Bourgeons	437	1,12	6,05	416	1,27	5,20	379	1,23
Début floraison	503	1,21	6,61	484	1,14	5,39	359	0,87
Pleine floraison	639	1,46	10,10	537	1,10	6,50	379	0,85
3^e Cycle								
Bourgeons	212	0,68	3,56	233	0,62	3,41	236	0,73
Début floraison	424	1,13	7,35	324	0,71	5,10	295	0,95
Pleine floraison				307	0,59	5,42	226	0,40
4^e Cycle								
Bourgeons	133	0,51	2,28	137	0,40	1,82	125	0,34
Exportations annuelles pour 4 coupes au stade de bourgeons en g par m²								
		3,72	20,31		3,50	17,92		3,25

(1) Pour comparer les besoins, exprimés en g par kg de matière sèche de la ration, aux chiffres donnant la composition des fourrages étudiés, en g par kg de matière brute séchée, il convient de majorer ces derniers de 5 p. 100 en moyenne pour les teneurs des graminées et de 8 p. 100 pour les légumineuses.

Nous constatons que, pour les espèces étudiées, l'accroissement de la proportion des légumineuses dans le fourrage n'est pas favorable à son enrichissement en P.

2° Calcium

Les plus fortes productions laitières ne demandent pas plus de 6 g de Ca par kg de matière sèche de la ration.

Si les fourrages composés seulement de graminées en pleine floraison ne peuvent couvrir que les besoins en Ca d'une production laitière de 10 à 15 kg de lait, les fourrages mixtes, ou les légumineuses seules à tous les stades de développement, fournissent en revanche un gros excès de calcium, qui peut constituer un facteur défavorable pour l'utilisation du phosphore. Nous pouvons constater, autre coïncidence heureuse, que les stades feuillus correspondent aux plus fortes teneurs en P et aux plus faibles teneurs en Ca, et le rapport Ca/P s'accroît avec l'âge de la plante.

3° Potassium

Les fourrages contiennent des quantités de K largement excédentaires, même pour les vaches laitières fortes productrices. Ceci peut, selon certaines théories (BROUWER, 1956) être nuisible à l'animal en favorisant l'apparition de la tétanie d'herbage.

Malheureusement, du point de vue agronomique, la teneur en K des plantes ne peut être diminuée, car les applications nécessaires d'engrais potassiques ont un effet très net sur l'enrichissement des plantes. En outre, McKNAUGHT (9) signale, en accord avec GERWIG et AHLGREN, (5) que les meilleures conditions de rendement sont réalisées pour des teneurs de 18 ‰ de K dans les légumineuses et de 16 ‰ dans les graminées. Une faible teneur en K des plantes serait donc incompatible avec un rendement satisfaisant.

4° Sodium

Les besoins d'une vache laitière moyenne productrice sont couverts par une ration contenant de 2 à 3 g de Na par kg de matière sèche. Par contre, au pâturage, pour une consommation d'herbe jeune, les besoins s'élèveraient à 6 g de Na par kg de matière sèche (FAUCONNEAU et JARRIGE, 1957). Selon nos résultats, et comme l'a également constaté BOSCH (2) en 1957, les fourrages sont toujours trop pauvres en sodium.

Bien que le problème de l'apport de sodium dans l'alimentation soit facile à résoudre, les différences de teneurs enregistrées entre espèces de graminées permettraient, en agissant sur la composition botanique du fourrage, d'accroître considérablement sa teneur en sodium. Ainsi, le choix des espèces riches en Na pourrait permettre d'améliorer le rapport K/Na toujours trop élevé dans les fourrages.

5^o Magnésium

Les besoins en magnésium sont mal connus. Des teneurs de 1 à 2 g de Mg par kg de matière sèche de la ration semblent cependant suffisantes pour couvrir les besoins d'une vache laitière moyenne productrice. Les fourrages sont en général suffisamment pourvus en Mg et nous savons d'autre part que les accidents tétaniques sont plus liés à des hypomagnésiémies secondaires, dues à des troubles métaboliques, qu'à une carence magnésienne des fourrages.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Dans le cadre limité de cette étude, nous avons pu mettre en évidence l'évolution générale des teneurs en macro-éléments minéraux dans deux espèces de graminées (fétuque et dactyle) et dans trois variétés de luzerne (Flamande, Poitou, Provence) suivant le stade de développement de la plante et son cycle de végétation. Les deux graminées ont été récoltées à quatre stades de développement différents, et les trois luzernes à trois stades différents durant les quatre cycles de végétation de l'année 1957. Après séparation des limbes, gaines (ou feuilles seulement pour les luzernes), tiges et fleurs, nous avons dosé systématiquement dans tous les organes, le phosphore (par une méthode colorimétrique au vanadate), le calcium, le potassium, le sodium et le magnésium (par spectrophotométrie de flamme).

— Les feuilles, riches en constituants protoplasmiques (matières azotées, composés phosphorés, magnésium, calcium) ont des teneurs plus élevées que les autres organes en éléments minéraux, et en particulier en phosphore, calcium et magnésium. Cet écart s'accroît au cours du développement de la plante.

— Tous les organes des plantes s'appauvrissent en éléments minéraux en vieillissant, mis à part les feuilles, qui s'enrichissent considérablement en Ca. De même les feuilles et les tiges de luzerne s'enrichissent faiblement en Na. Au cours du développement la composition des feuilles varie moins que celle des autres organes.

— Les variations de la composition minérale de la plante entière sont étroitement liées à l'évolution du rapport feuilles/tiges, surtout dans le cas des graminées (par suite des différences de composition entre ces organes et des variations de leurs proportions relatives). Toutes les plantes étudiées s'appauvrissent en éléments minéraux en vieillissant, mis à part les luzernes qui gardent une teneur relativement constante en Ca et s'enrichissent faiblement en Na.

— Il existe des différences considérables entre familles, espèces et

variétés. Ainsi, si les légumineuses, fait bien connu, sont en moyenne 4 fois plus riches que les graminées en Ca, elles sont par contre plus pauvres en K. Pour les deux familles, les teneurs en P sont comparables.

Le dactyle est en moyenne 30 fois plus riche en Na que la fétuque étudiée, et le rapport K/Na varie de 6 en moyenne pour le dactyle à 200 pour la fétuque. Il faut cependant se garder de généraliser cette constatation à toutes les conditions de sol et de fumure.

— Les plantes des derniers cycles de végétation sont les plus riches en éléments minéraux. Par contre le calcul des productions de matière sèche et d'éléments minéraux par unité de surface nous montre que les rendements de ces derniers cycles sont très faibles.

Pour assurer l'apport minéral optimum dans la ration des animaux, il est nécessaire de récolter un fourrage jeune (riche en éléments minéraux et possédant l'équilibre phosphocalcique le plus favorable), sans perdre les feuilles (organes les plus riches), d'équilibrer la composition botanique du fourrage en évitant une trop grande proportion de légumineuses (trop riches en calcium), en choisissant les graminées (le dactyle pour le sodium) et de ne pas négliger les dernières coupes (riches en phosphore en particulier). Le meilleur compromis entre le rendement du fourrage et sa valeur alimentaire est réalisé au début de la floraison (légumineuses) ou à l'épiaison (graminées).

Reçu pour publication le 7 mars 1959.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BAKER (C. J. L.), HEIMBERG (M.), ALDERMAN (G.), EDEN (A.). — *J. Agric. Sci.*, **42**, 382, 1952.
- (2) BOSCH (M. S.). — Conf. Europ. des Herbages, p. 206, 1954.
- (3) DU TOIT (P. J.), MALAN (A. I.), GROENEWALD (J. W.). — *Onderstepoort J. Vet. Sci. and animal Industr.*, **2**, 565, 1934.
- (4) FAUCONNEAU (G.), JARRIGE (R.). — *Bull. Techn. d'Inform.*, **118**, 1957.
- (5) GERWIG (J. L.), AHLGREN (G. H.). — *Agron. Journ.*, **50**, 291-94, 1958.
- (6) JARRIGE (R.). — *Bull. Techn. d'Inform. (H. S.)*, 1956.
- (7) MAUME (L.). — *Bull. Techn. d'Inform.*, n° 35, 1948.
- (8) MAYNARD (L. A.), LOOSLI (J. K.). — *Animal Nutrition*, 1956.
- (9) MCKNAUGHT (K. J.). — *N. Z. J. Agric. Res.*, **1**, 148-182.
- (10) MORRISON (F. B.). — « Feeds and Feeding » Morrison pub. Co, 1954.
- (11) RUSSEL (F. C.). — Imp. Bureau of Anim. Nutrition (Technical commun. n° 15), 56-62, Rowet Institute, Aberdeen.
- (12) THOMAS (B.), THOMPSON (V. A.), OYENUGA (V. A.), ARMSTRONG (R. H.). — *J. Exp. Agric.*, **20**, 10, 1952.
- (13) WILLIAMS (R. F.). — *Ann. Rev. Biochem.*, **6**, 25, 1956.
- (14) WOODMAN (H. E.), EVANS (R. E.). — *J. Agric. Sci.*, **25**, 578, 1935.

I. N. R. A.
BIBLIOTHEQUE UO 3590S
DOMAINE DE CROUILLÉ
63039
CLERMONT-FD CEDEX 2

Le Directeur-Gérant : B. LACLAVERIE.