

QUELQUES ASPECTS DE LA FERTILISATION DES PRAIRIES TEMPORAIRES

I. INTRODUCTION

LES MODERNES « CULTURES D'HERBE » QUE SONT LES PRAIRIES TEMPORAIRES NE PEUVENT DONNER ENTIERE SATISFACTION SANS UN MINIMUM DE SOINS :

— Conditions correctes de semis et d'établissement (semis en terre nue, tassement du sol...)

— Utilisation d'espèces et de variétés de bonne potentialité de production.

— Exploitation rationnelle et fertilisation adaptées aux plantes utilisées.

La fertilisation poursuit un triple but :

1 — Remédier au défaut éventuel de fertilité du sol.

2 — Assurer la nutrition minérale de la plante en fonction de ses besoins physiologiques, fonction eux-mêmes du mode d'exploitation de la prairie.

3 — Obtenir un fourrage dont la composition minérale soit en accord avec les besoins des animaux (la valeur alimentaire est surtout sous la dépendance de la saison, du mode d'exploitation, des périodes de repos accordées à la plante entre deux passages du troupeau.

... En définitive obtenir à la fois la quantité et la « qualité ».

par

M. Kerguelen

II. LES BESOINS EN ELEMENTS FERTILISANTS

1° Les éléments fertilisants indispensables

Tous les végétaux doivent trouver dans le sol, avec l'aide éventuelle de la fertilisation, et en quantités suffisantes, les éléments suivants :

— Des *cations* : *Calcium* (Ca++), *Magnésium* (Mg++), *Potassium* (K+), éventuellement *Azote ammoniacal* (NH+) et *Sodium* (Na+)

Des *anions* : *Phosphorique* (PO₄H— ou PO₄H₂—), *Soufre* (SO₄—), *Azote nitrique* (NO₃—), *Chlore* (Cl—), peut-être aussi la *Silice* (SiO₃—)

— D'autres éléments indispensables, mais à très faibles doses ou « oligoéléments » : *Manganèse*, *Cuivre*, *Bore*, *Fer*, *Zinc*, *Molybdène*.

Certains corps sont indispensables à l'animal seulement : *Cobalt*...

2° Exportations apparentes et exportations réelles

L'on doit restituer au sol par la fertilisation au moins les quantités de matières minérales exportées dans les récoltes. L'on doit en outre tenir compte des pertes par les eaux de drainage (lessivage), par « rétrogradation » c'est-à-dire « blocage » sous forme peu assimilable dans le sol...

Le Tableau 1 donne quelques chiffres sur les exportations apparentes, rapportées à 10 T./Ha. de Matière Sèche (sur les totaux annuels, d'après quelques analyses de nos récoltes d'Isneauville - Seine-Maritime).

Le Tableau 2 donne plus de détails, pour des graminées.

Les éléments sont exprimés selon la coutume des Agronomes, en Azote (N), Chaux (CaO), Magnésie (MgO), Soude (Na₂O) et anhydride phosphorique (P₂O₅), Manganèse (Mn) et Cuivre (Cu).

TABLEAU 1. Exportations, Kg/Ha./10T. de M.S.

| Cultures | N. | CaO | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|----------------------------------|-----|-----|------------------|-------------------------------|
| Trèfle violet | 340 | 220 | 340 | 64 |
| Chou (Moëllier blanc) | 245 | 335 | 300 | 70 |
| Ray Grass d'Italie (fauche) | 200 | 113 | 170 | 65 |
| Dactyle (fauche en 1ère coupe) | 195 | 140 | 200 | 50 |
| Ray Grass anglais (Melle pâture) | 240 | 110 | 260 | 70 |

N.B. L'Azote du Trèfle violet est fixé à partir du N. de l'air.

TABLEAU 2. Exportations par coupe, Kg/Ha.

Espèces et souches

| | Dates | T/Ha. M.S. | N | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | Mn | Cu |
|--------------------------------|-------|---------------|-----|-----|-----|------------------|-------------------|-------------------------------|-------|-------|
| Fétuque élevée S.170 1959 | 17-3 | 1,34 | 57 | 13 | 3 | 43 | 4 | 18 | 0,032 | 0,066 |
| | 2-6 | 8,21 | 114 | 73 | 23 | 207 | 93 | 53 | 0,111 | 0,057 |
| | 23-7 | 2,01 | 46 | 23 | 9 | 48 | 6 | 12 | 0,053 | 0,010 |
| | 17-9 | 1,61 | 37 | 19 | 10 | 43 | 11 | 9 | 0,087 | 0,009 |
| Ray Grass Italien Rina 1959 | 19-2 | 0,71 | 26 | 8 | 2 | 32 | 2 | 7 | 0,055 | 0,022 |
| | 2-4 | 1,70 | 68 | 31 | 4 | 82 | 2 | 20 | 0,046 | 0,079 |
| | 16-6 | 7,20 | 63 | 107 | 20 | 220 | 54 | 46 | 0,177 | 0,071 |
| | 17-7 | 1,49 | 34 | 16 | 32 | 28 | 6 | 12 | 0,077 | 0,006 |
| | 15-9 | 0,22 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0,013 | 0,002 |
| Dactyle S.37 | 3-6 | 8,64 | 90 | 62 | 33 | 196 | 50 | 59 | 0,140 | 0,051 |
| | 5-8 | 3,03 | 65 | 36 | 13 | 40 | 22 | 19 | 0,149 | 0,015 |
| | 22-9 | 0,91 | 25 | 15 | 4 | 14 | 15 | 6 | 0,051 | 0,008 |

Les chiffres en italique correspondent à des coupes de fauche, les autres à des pousses pâturées.

Ces quelques données ne constituent que des ordres de grandeur des prélèvements par les récoltes et l'estimation des exportations réelles en éléments fertilisants doit tenir compte des facteurs suivants :

- Restitutions par les déjections en régime de pâturage.
- Pertes par drainage (lessivage).
- Gains et pertes résultant du cycle de l'Azote.

a) Les exportations en prairie pâturée

En principe, une grande partie de la Chaux, de la Potasse et même de l'Azote et de l'Acide Phosphorique revient au sol avec les déjections.

Si l'on estimait les exportations réelles d'après la production de lait ou de viande, l'on pourrait compter, très approximativement :

- pour 10 000 litres de lait : CaO 18 Kgs — K₂O 18 Kgs — P₂O₅ 15 Kgs
- pour 1 000 Kgs de viande : CaO 23 Kgs — K₂O 2,1 Kgs — P₂O₅ 19 Kgs

Cependant, la restitution « utile » est certainement inférieure à la restitution « théorique », calculée d'après les chiffres précédents, ceci en raison

Fertilisation

de la répartition plus ou moins irrégulière des déjections, de la concentration de celles-ci en certains points (aire de traite), des pertes résultant de la circulation des animaux (chemins...).

b) Les pertes par drainage

Les expériences classiques des « cases lysimétriques » indiquent que les pertes par drainage sont généralement négligeables dans le cas de P_2O_5 , faibles pour K_2O , variables, mais souvent élevées pour N et CaO .

Dans le cas des herbages, nous avons très peu de données : l'on peut penser que l'activité des racines de certaines graminées durant l'hiver et leur efficacité exceptionnelle pour l'absorption de l'Azote (T. W. WALKER - 45) réduit ces pertes, mais que la présence d'humus au contraire est susceptible d'accroître la mobilité de CaO et K_2O , donc d'augmenter les pertes.

Ces pertes par drainage varient certainement avec de nombreux facteurs : climat, nature du sol, nature des espèces cultivées, intensité de la nitrification, pH,...

c) Le bilan de l'Azote

La fixation de l'Azote de l'air par les légumineuses serait de l'ordre de 40 à 100 Kg/Ha de N par An, et parfois bien plus élevée (500 Kgs) dans le cas de légumineuses pures en conditions très favorables : T. W. WALKER (45).

Une partie de l'Azote minéral est immobilisée sous forme de matière organique et d'humus, provenant des générations successives de racines, des déjections... : c'est d'ailleurs un des buts des prairies temporaires, considérées comme culture améliorant la structure et la teneur en matière organique des sols.

A l'inverse, les phénomènes de minéralisation tendent à la destruction de cette matière organique (Ammonisation, Nitrification...).

III. PROBLEMES GENERAUX POSES PAR LA FERTILISATION

Les bilans sommaires que nous avons établis définissent un ordre de grandeur de la fertilisation annuelle : Azote 80-150 Unités/An/Hectare — Potasse 100-150, parfois plus, surtout en prairies fauchées — Acide Phosphorique 80-100 Unités — Chaux « assimilable » 100 Kgs/Ha/An au minimum, 400 à 600 dans les sols où le « lessivage » est intense.

Les exportations en *Magnésie*, en *Sodium* posent aussi des problèmes, car les prélèvements des récoltes en ces éléments ne sont pas négligeables.

Supposons les besoins globaux bien établis : la fertilisation se présente alors sous un double aspect, *Sol* et *Plante*.

1° Comment le sol fixe-t-il les éléments fertilisants ? Dans quelles conditions ceux-ci sont-ils restitués au profit de la culture ?

2° Quels sont, à chaque instant, les besoins de la plante ?

Certains éléments sont fixés assez énergiquement par le sol (Acide Phosphorique, Calcium...) et le comportement du Sol conditionne leur mise à la disponibilité des Plantes.

D'autres sont plus « mobiles » et susceptibles de profiter rapidement à la culture après une fumure : leur efficacité est alors conditionnée par une utilisation « physiologique », en fonction des capacités des espèces pour l'absorption de ces éléments, à chaque instant.

D'où :

— Fertilisation *Agronomique*, en fonction des caractéristiques du *Sol*.

— Fertilisation *Physiologique*, en fonction des particularités du développement et de la Physiologie de la *Plante*.

IV. LA FERTILISATION ET LES CONDITIONS DU SOL

1° Etude du Sol

A. La Structure

Une bonne structure du Sol permet à l'eau et à l'air de circuler aisément : l'épaisseur de la couche de structure correcte règle en général la profondeur d'enracinement.

Nous ne nous étendrons pas sur les problèmes de la Physique du Sol (Rétention de l'eau,...) et de la Pédologie : indiquons seulement qu'ils sont bien souvent aussi importants que les problèmes de fertilité chimique.

L'on pourra se référer aux travaux de S. HENIN (20), G. MONNIER (28, 29).

En général, l'examen de la structure oriente le choix des espèces fourragères : Fétuques, Fléoles ou Ray Grass d'Italie sur les sols de Gley (argile blanche peu profonde), Ray Grass d'Italie, Dactyle, Fétuques sur les sols

Fertilisation

Podzoliques (Landes acides, bruyères...) et, en général, Ray Grass d'Italie en culture « pionnier » sur les sols de structure assez défavorable.

Enfin, la connaissance de la structure est déterminante pour le choix des façons culturales : Profondeur de labour, type de labour, époque de travail du sol, nature des façons précédant ou suivant immédiatement le semis. S. HENIN (20), J. PICARD et J. DUTHIL (30).

B. La dynamique des éléments fertilisants

Les colloïdes du sol, argiles et humus, fixent les ions minéraux dont le total représente les « Réserves échangeables », auxquelles il faudrait ajouter l'Azote, l'Acide Phosphorique... libérables par les phénomènes de minéralisation, de destruction de la matière organique.

La capacité de fixation varie avec la nature et les proportions des colloïdes : 10 milliéquivalents pour 100 grammes dans le cas d'une argile « Kaolinite », 100 pour une « Montmorillonite », 300 à 400 pour des « Acides Humiques ».

Un sol sableux retient mal les éléments fertilisants, un sol très argileux ou humifère fixe au contraire beaucoup de Ca, de K, de P₂O₅.

Les quantités fixées ne déterminent pas la « fertilité », qui dépend surtout de la facilité avec laquelle tel ou tel ion minéral est « détaché » du « Complexe absorbant » : cette énergie de fixation varie avec la nature des colloïdes et la proportion relative de l'élément dans le pouvoir total d'échange.

1. La fixation des cations

Le total des cations fixés (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, H⁺) constitue la « Capacité d'échange en Cations », exprimée généralement en milliéquivalents pour 100 grammes de terre.

L'on mesure plus fréquemment la « Saturation en bases », qui est le rapport

$$\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}}{\text{Capacité d'échange}}$$

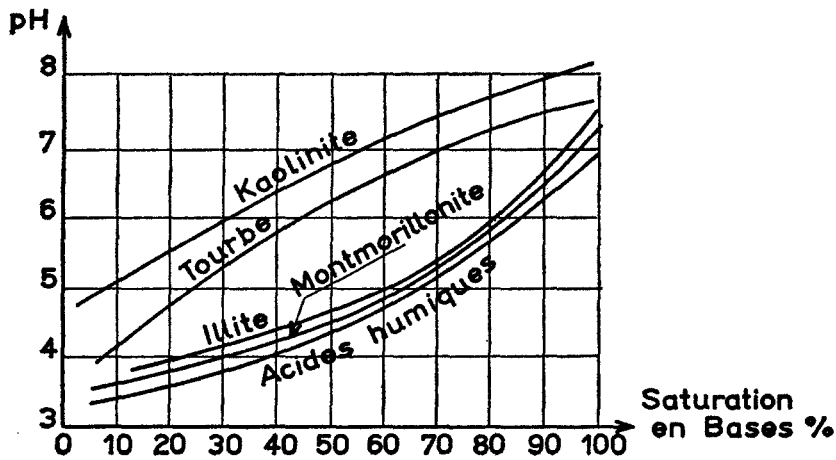
Ce rapport se rapproche de 100 % lorsque l'on va vers la neutralité : le pH est évidemment en relation avec la « Saturation en bases », mais aussi et pour beaucoup avec la nature des colloïdes.

Si l'on étudie un Cation déterminé, Ca⁺⁺ ou K⁺ par exemple, l'on peut dire que son « assimilabilité » dépend de 2 facteurs :

— Son abondance relative (% de complexe absorbant) : plus sa proportion est élevée, plus le cation est cédé facilement.

— A abondance relative constante, sa « mobilité » qui varie essentiellement avec la nature des colloïdes.

Ainsi, A. MEHLICH, cité par L. M. THOMPSON (41) donne pour quelques colloïdes les courbes des pH en fonction de la « saturation en bases », courbes qui traduisent, dans une certaine mesure, la mobilité de l'ion H^+ (plus cette mobilité est grande, plus le pH est faible) : pour une même « Saturation en bases » les Acides Humiques sont les plus acides ; inversement, pour un même pH, les Acides Humiques sont les plus « saturés en bases » (Tableau 3).



Saturation en Bases %

Si l'on s'intéresse au Calcium échangeable, celui-ci serait « assimilable » à partir des saturations suivantes en Ca^{++} :

— 70 % pour des Montmorillonites (C. E. MARSHALL).

— 40 % pour des Kaolinites (C. E. MARSHALL ; I. E. MILES).

— 25 % et moins dans le cas d'Acides Humiques (I. E. MILES ; J. M. HESLEP ; J. C. SHICKLUNA et J. F. DAVIES).

En supposant que l'ion Ca^{++} est le plus abondant après H^+ , ce qui est généralement vérifié, le pH minimal compatible avec une bonne fertilité « Calcique » est de l'ordre de 5,5 pour une Montmorillonite, 6 à 6,5 pour une Kaolinite, 3,6 pour des Acides Humiques.

L'on voit d'après les courbes du Tableau 3 que des sols acides peuvent contenir beaucoup de Calcium s'ils sont riches en humus (Acides Humiques), mais beaucoup moins dans le cas d'humus mal évolués (Tourbes et sols dits à « humus brut »).

Le cas du Potassium est plus complexe : il existe souvent une fraction non échangeable susceptible de libération progressive au profit des cultures.

L'Humus accroît l'« assimilabilité » du Potassium : A. STRASMAN, P. QUIDET et R. BLANCHET (39).

2. La fixation des anions

L'Anion Phosphorique est le plus intéressant.

En présence d'argiles, par exemple dans un sol « minéral », il est fixé par l'intermédiaire du Calcium ou, en pH acides (inférieurs à 5,5) par l'intermédiaire d'hydroxydes de Fer et d'Alumine : cette fixation réduit l'« assimilabilité » de l'Acide Phosphorique qui serait maximale entre pH 6 et 6,8.

Toutefois, en présence d'Acides Humiques (c'est sans doute le cas pour des surfaces fourragères) l'absorption de l'Acide Phosphorique est considérablement diminuée : P_2O_5 est protégé contre la « rétrogradation » en milieux acides, même en présence de fortes quantités de Fer et d'Alumine (G. BARBIER, M. MAROGER et L. GACHON - 5 ; G. BARBIER et M. MAROGER - 6).

La présence d'Acides Humiques accroît donc en principe l'efficacité de la fumure Phosphatée et contrecarre l'influence supposée défavorable des pH acides.

2° Conséquences pratiques

La connaissance du milieu « Sol » nous orientera pour :

- a) *L'utilisation des Amendements*
- b) *La fertilisation phosphatée*

Nous envisagerons la fertilisation Potassique et Azotée surtout d'après les particularités physiologiques des espèces prairiales.

A. Les Amendements

1. Amendements calcaires

La correction du pH de sols nettement acides (pH inférieur à 6) par des Amendements Calcaires se justifie dans les conditions suivantes :

a) Pour corriger une structure déficiente de sols argileux et *pauvres en Humus*, en améliorant parallèlement l'efficacité de la fumure phosphatée.

Cependant, beaucoup de sols (surtout dans les régions d'élevage) ont une bonne structure naturelle et ne nécessitent aucunement des Amendements pour des raisons de structure.

b) Pour activer les phénomènes de Nitrification.

c) Pour aider à la réussite d'espèces censées exigeantes au point de vue pH, comme la Luzerne (pH minimum de 5,5, même 5,3 - Cf. I. E. MILES - 26).

d) Pour compenser une pauvreté éventuelle en Calcium assimilable. Cette carence est *très rare* : d'ailleurs la fertilisation Phosphatée usuelle (Scories, Phosphates naturels, Hyperphosphates, Superphosphates) apporte souvent plus de Calcium que les récoltes n'en exportent — d'autre part, les sols acides sont généralement pauvres en Phosphore et l'on ne manque pas de conseiller de fortes fumures Phosphatées.

Dans la pratique, sauf en ce qui concerne la Luzerne, les prairies temporaires sont très indifférentes au pH du sol, *sous réserve d'une fertilisation N.P.K. suffisante*.

La même constatation est faite par D. COLLIER et L. GACHON (11, 12) dans le cas de prairies permanentes.

En règle générale, l'expérimentation sur des Amendements doit montrer l'action de ceux-ci *en présence d'une fertilisation complète* : P, K d'après la « richesse » du sol, N. *selon la Physiologie de la plante cultivée*, éventuellement Magnésie et Oligoéléments ; très souvent l'effet additionnel de l'Amendement Calcaire est quasiment nul dans ces conditions (A. ASLANDER - 3, D. COLLIER et L. GACHON - 11, 12).

En pratique, nous avons observé des Ray Grass d'Italie ou hybrides, des Fétuques des prés, même des Dactyles aussi bien réussis sur des défriches de bruyères très acides (jusqu'à pH 4,2 et 6,5 % de saturation en Calcium, cas extrême) que sur des sols très calcaires (pH 8,2).

Ces observations ne démontrent d'ailleurs pas une plasticité « spéciale » de ces principales graminées fourragères ou du Trèfle blanc à l'égard du

Fertilisation

facteur pH : la réussite en terres très acides est subordonnée à la présence d'humus dont nous avons vu le rôle favorable (Saturation en bases, « Assimilabilité » supérieure de l'Acide Phosphorique, Structure du Sol...).

D'ailleurs, dans des sols comparables, et moyennant une fertilisation P. K. et N (physiologique) les céréales, comme le blé, réussissent souvent fort bien, aux mêmes pH.

A l'inverse, dans des sols acides de mauvaise structure où l'Amendement Calcaire s'impose avec évidence, nous doutons que le développement des prairies temporaires soit normal, malgré la plasticité supposée des espèces.

Fixons une zone de pH optimum, pour des calculs éventuels de « besoins en Chaux » en vue d'Amendements :

a) pH 4,9 à 5,6 en sols très humifères ou tourbeux, la limite supérieure est seulement fixée pour éviter l'apparition de carences secondaires conditionnées (Manganèse) : Cf. F. B. THOMPSON et F. B. ELLIOTT (42) ; J. C. SCHICKLUNA et J. F. DAVIES (36) ; D. M. DE VRIES et J. KOOPMANS (16).

b) Pour des sols « normaux », de structure naturelle correcte, pH de 5,5 à 6,2 - 6,3 (15).

c) Pour des sols pauvres en matière organique et de structure naturelle déficiente, pH de 6,2 à 7.

Une faible nitrification n'est pas toujours gênante, car la fertilisation azotée physiologique est prévue.

Toutefois, la minéralisation en profondeur des générations anciennes de racines mortes est souhaitable pour éviter la formation précoce de « feutre » et conserver plus longtemps la capacité de production, tout au moins dans le cas de prairies temporaires de longue durée : pour être efficace, l'Amendement Calcaire doit être enfoui lors de la création de la prairie.

Des essais Ecosais, cités par J. REBISCHUNG (33, 34) semblent très démonstratifs à cet égard : l'Amendement enfoui est seul efficace, l'apport en surface est pratiquement inopérant, même nocif lorsqu'il est accompagné de façons superficielles (hersage...) censées faire pénétrer la chaux (34).

Quelle forme d'Amendement Calcaire doit-on utiliser ? En règle générale la moins coûteuse : Calcaire broyé, Marne broyée, Maërl brut, sables de mer calcaires (Trez), ou encore Dolomie broyée si l'on suppose un manque de Magnésie dans le sol.

La dureté des Calcaires importe assez peu, du moment qu'ils sont broyés ou qu'ils ne sont pas en trop gros blocs.

Nous avons signalé que les prairies temporaires supportaient souvent très bien l'acidité des sols, *en présence d'une fertilisation par ailleurs correcte* : rassurons les Zootechniciens, les fourrages obtenus sont généralement de composition minérale normale, avec cependant une légère tendance à une pauvreté en *Phosphore*, parfois en *Magnésium* et en *Cuivre*.

Des études très détaillées à ce sujet ont été effectuées par A. ASLANDER (4), Cf. aussi F. B. THOMPSON et I. L. ELLIOTT (42).

Nous donnerons plus loin quelques exemples (Tableau 4).

2. Les Amendements Humiques

Sous ce vocable d'Amendements Humiques, nous considérerons surtout le Fumier et les Engrais Verts.

L'apport humique pour la création d'une prairie temporaire se justifie lorsqu'il est nécessaire d'activer la vie microbienne du sol ou d'améliorer une structure déficiente :

- Sols pauvres en matière organique (sables, limons fins...).
- Défriches de sols vierges.

L'enfouissement d'une forte masse organique à rapport C/N faible, assez riche en Azote, jumelé avec la fertilisation phosphatée et, si nécessaire, des Amendements Calcaires à doses modérées, est une pratique très favorable lorsque l'on désire implanter des cultures sur des défriches de sols tourbeux : Landes, Bruyères, Tourbes acides, sols Podzoliques. (Cf. J. POCHON et H. DE BARJAC - 31).

Dans les cas difficiles, l'implantation avec, si possible, apport de fumier, de Ray Grass d'Italie en culture « pionnier » permet de profiter en 1 ou 2 ans, d'une masse considérable de racines et des déjections du bétail en améliorant à la fois la structure, l'état et la répartition de la matière organique dans le sol.

B. La fertilisation Phosphatée

L'anion Phosphorique est souvent énergiquement retenu par le pouvoir absorbant du sol : la fraction « assimilable » ne représente généralement qu'une petite fraction des « réserves ».

La fertilisation phosphatée vise un double objectif :

- a) élever le niveau de « réserves » en sols pauvres, afin que les libérations annuelles de P₂O₅ « assimilable » couvrent les besoins des récoltes ;

b) en sols correctement « pourvus », entretenir les « réserves » en compensant les quantités de P₂O₅ exportées.

En moyenne, ce sont donc 70 Unités de P₂O₅ par hectare et par an en sols « bien pourvus » à 200-250 en sols « pauvres » qu'il faudra prévoir.

L'acide Phosphorique est peu mobile : il convient donc d'enfouir au labour la fumure phosphatée dite « de fond » et, pour l'entretien, d'apporter dès l'automne les formes dites « insolubles dans l'eau » (Phosphates naturels, Scories, Hyperphosphates...).

L'apport de P₂O₅ sous forme soluble (Superphosphates, éventuellement Phosphate d'Ammoniaque) en fumure de couverture, vers janvier ou février, pour les herbages en place, au semis, lors de la création de la prairie temporaire, améliore le démarrage de la végétation : 30 à 50 Unités/Ha. sont un dosage correct.

Ce P₂O₅ soluble gagnerait à être *localisé* en bandes pour des cultures en lignes, localisation facile quand il s'agit de graminées en production de semences. Cf. R. E. WAGNER (44).

Remarquons enfin que le Superphosphate agit souvent favorablement en sols acides : est-ce à cause de sa solubilité et son action rapide ou de l'apport complémentaire de Soufre (Anion SO₄— —) ?

En résumé, l'on pourra avantageusement combiner une fumure Phosphatée de fond destinée à entretenir ou rehausser le niveau des « réserves » du sol et une fumure de couverture pour améliorer la nutrition de la plante à une saison donnée.

Quelques remarques :

Aucune méthode universelle d'analyse de terre ne permet avec certitude de déterminer le P₂O₅ réellement « assimilable » : en particulier, le test BARBIER-MORGAN donne souvent pour « pauvres » des sols productifs et bien entretenus en fertilisation phosphatée, *surtout dans le cas d'herbages*.

Nous l'avons souvent constaté, confirmant les observations faites par H. HURIEZ, E. PAILLUSSEAU et C. BOUVATTIER (22).

En l'état actuel de nos connaissances, un niveau insuffisant de P₂O₅ « assimilable » serait à déduire surtout d'une réaction positive de la prairie à l'application de fumure phosphatée, soit dans ses rendements, soit dans la richesse en Phosphore d'une espèce donnée, *à un stade de végétation bien précisé*.

Autre remarque : la fumure Phosphatée de couverture agit surtout sur la pousse qui suit immédiatement.

MAC-AULIFFE et Coll. (24), sur Ray Grass d'Italie recevant du Superphosphate avec P. marqué radioactif, note les pourcentages de P. de la plante en provenance de la fumure initiale :

- 28 à 67 % en première coupe.
- 20 à 46 % en 3^e coupe.

Enfin, la présence d'Acides Humiques dans le sol, l'addition de fumier, une bonne vie microbienne, accroissent l'efficacité de la fumure phosphatée.

Pour éviter la « rétrogradation » des Phosphates en sols acides et riches en sesquioxydes (Fer et Alumine), certains Auteurs (A. ASLANDER - 3) recommandent le mélange de Superphosphate au fumier (600 Kgs de Super pour un minimum de 15 Tonnes de Fumier), ou encore de Phosphates naturels au fumier, ou l'apport de fumure Phosphatée sur retournement d'engrais verts.

Dans un autre sens, l'addition de Superphosphates aux litières a été recommandée pour réduire les pertes d'Azote ammoniacal et améliorer l'état sanitaire des étables (mammites).

C. *Eléments divers*

1. *Magnésium, Soufre, Sodium*

Parmi les éléments exportés en quantités non négligeables figurent le *Magnésium*, le *Soufre*, le *Sodium*.

Certains sols pourraient manquer de Magnésium : si la preuve en était évidente, l'utilisation d'Amendement magnésien (1-2 Tonnes/Hectare) sous forme de Dolomie broyée apporterait l'unité de MgO au moindre coût.

S'il s'agissait de sols calcaires, il serait possible d'employer le Nitrate de chaux et de Magnésie, à 8 % de MgO (Unité MgO à 0,26 NF par comparaison avec le Nitrate de Chaux en comptant N. comme l'élément principal).

Le *Sodium* n'est pas en principe un élément indispensable à la plante, mais l'enrichissement des fourrages en Na est souhaitable pour les animaux : l'utilisation de sylvinite, ou mieux de Nitrate de Soude (RADET - 32, 49) est possible.

Certaines espèces absorbent très peu le Sodium et sont toujours pauvres en Na : *Pétuque des prés, Fléole, Luzerne, Trèfle violet*.

Fertilisation

D'autres s'enrichissent facilement en Na : *Trèfle blanc, Dactyle, Ray Grass anglais, Ray Grass d'Italie, Fétuque élevée.*

Nous n'avons qu'assez peu de renseignements sur l'action du *Soufre* : cet élément est important pour les légumineuses et pourrait être un élément « limitant » du rendement dans certains sols « lessivés ». L'on pourrait vérifier si l'apport de plâtre (Sulfate de calcium) agit, ou si le Sulfate de Potasse est supérieur au Chlorure.

2. Oligoéléments

Plusieurs espèces fourragères sont sensibles aux carences de *Manganèse* causées par exemple par des chaulages excessifs (Cf. M. COPPENET - 13, 14) : nous en avons vu un exemple à Quéménéven (Finistère) sur Dactyle.

Notons que les graminées exigent plus de Manganèse « assimilable » que les légumineuses et souffrent les premières de carences éventuelles.

Il y aurait carence possible lorsque les teneurs en Mn tombent au-dessous de 25 mgr. par Kg de matière sèche dans des fourrages verts, et risque pour les bovins au-dessous de 20 mgr. (M. COPPENET - 14).

Sur certains sols lessivés (Podzols, sables, arènes granitiques, Tourbes acides...) la carence en *Cuivre* semble assez fréquente, mais il faut distinguer les espèces sensibles au manque de Cuivre (Trèfle violet), des espèces peu sensibles dont la teneur peut tomber au-dessous des 5 mgr. par Kg de matière sèche considérés comme un minimum pour les bovins, ceci sans que les rendements apparents soient perturbés (beaucoup de graminées).

Le risque de déficit en Cu est accru lorsque, sur un sol pauvre en Cuivre, l'on force les fumures et les rendements.

25 à 40 Kgs de Sulfate de cuivre à l'hectare suffisent à supprimer les carences : cet apport se justifie dans beaucoup de sols Podzoliques, très probablement.

Des accidents résultant d'un excès de *Molybdène* ont été signalés en France (Bassigny) : on peut les combattre par l'apport de Cuivre, car l'excès de Mo. provoque chez l'animal une carence en Cu.

Dans d'autres cas, de petites doses de Molybdène se sont révélées utiles à la réussite de la Luzerne sur certains sols acides : cet élément est en effet indispensable aux légumineuses pour leur fixation d'Azote.

Le *Cobalt* n'est indispensable qu'à l'animal (dans la Vitamine B.12) et, en cas de carence en Co. pourrait être donné directement au bétail.

Le Bore manque rarement pour les espèces fourragères classiques.

Soulignons enfin que la nécessité d'oligoéléments *doit être démontrée expérimentalement* et l'apport sans nécessité serait inutile, sinon dangereux : excès de Cuivre et surtout de Molybdène.

D. Influences du Sol et de la Fertilisation sur la Composition des Fourrages

Nous ne pouvons, en peu de lignes, passer en revue tous les facteurs qui influent sur la composition minérale des fourrages. Donnons seulement quelques indications :

La teneur en Calcium varie surtout *entre espèces* : les légumineuses et beaucoup de plantes « diverses » (Pissenlit - Plantain - Millefeuille - Ombellifères) sont beaucoup plus riches que les graminées, mais la teneur en Ca. de ces dernières tombe rarement au-dessous des 3 gr./Kg de matière sèche (0,30 %) considérés comme un minimum admissible (J. COLEOU - 10).

Pour une espèce déterminée, la teneur en Ca. varie assez peu en fonction du Calcium du Sol ou des stades de végétation, surtout dans le cas des graminées : en pratique, *les carences en Ca.* sont fort rares et semblent sans relation avec le pH des sols. Quelques exemples (% de la M. S.)...

| | | | | |
|-------------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|
| Ray Grass anglais S.24 | Ca=0,31 | P=0,41 | K=3,17 | Croixmare (Sne-Mme) Oct. 56 |
| Dactyle S.37 | Ca=0,31 | P=0,55 | K=3,16 | Croixmare (Sne-Mme) Oct. 56 |
| Ray Grass d'Italie | Ca=0,36 | P=0,64 | K=4,10 | Plouvorn (Finistère) Oct. 56 |
| Fléole « Melle pâture » | Ca=0,31 | P=0,19 | K=1,48 | Isneauville (Sne-Mme) 11-7-58 |
| Glycérie maritime | Ca=0,43 | P=0,20 | K=1,31 | Vases salées (Sne-Mme) |
| id. (Misote) | Ca=0,46 | P=0,21 | K=1,22 | Vases salées (Vendée) 1959 |

Les 4 premiers sols étaient des limons soigneusement amendés et fertilisés, les 2 derniers étaient des sols salés, très riches en CO₃Ca.

Il n'est pas exclu que des graminées pures puissent manquer de Calcium sur des sols particulièrement acides : nous avons observé des teneurs descendant à 0,17 % pour *Agrostis setacea*, 0,20 % pour une Molinie (*Molinia caerulea*) sur Podzol à pH 4,2, mais il ne s'agit pas d'espèces fourragères (les Bruyères étaient riches en Ca.)

De fortes fertilisations Potassiques réduisent la teneur en Ca.

La teneur en Phosphore varie plus nettement en fonction soit de la richesse initiale du Sol en P₂O₅, soit des fertilisations, (en cas de sols pauvres).

Fertilisation

Les légumineuses, sauf la Luzerne, semblent plus riches en Phosphore que les graminées, *du moins quand ces dernières sont épiées.*

Enfin, pour une même graminée, la teneur en Phosphore est maximale en automne, puis au début du printemps, pour décroître à partir du départ de la montaison.

C'est à cette période en effet que l'activité des racines décroît rapidement, dans le cas des graminées à renouvellement annuel (Ray Grass, Fétuques, Fléoles), tandis que la production de matière sèche augmente rapidement : les matières minérales absorbées sont « diluées » et ce phénomène très général est particulièrement marqué sur les teneurs en *Phosphore*, en *Potassium*, en *Cuivre*.

La teneur finale en Phosphore dans un foin sera d'autant plus faible que le sol aura été moins capable de fournir P_2O_5 , que la quantité de P. accumulée par la plante avant et pendant sa montaison sera plus réduite, et que l'on forcera sur la fertilisation azotée (en sols mal pourvus en P_2O_5) sans compensation de fumure en autres éléments.

Ces observations expliquent très bien le fait que des fourrages de prairies naturelles très dégradées sur sols pauvres sont souvent riches en minéraux, à *des stades feuillus* : les quantités d'éléments en jeu dans les récoltes sont très faibles, alors que dans une prairie plus productive, surtout au stade épiaison, elles seront tellement « diluées » que les fourrages sembleront carencés.

Le Tableau 4 donne lieu à quelques observations : les échantillons 8 et 11 sont des foins de la Lande de Lessay (Manche). Le foin n° 8 (Prairie naturelle) est de composition normale (mais de faible rendement) ; le foin n° 11 (Prairie temporaire) est carencé en Phosphore et en Cuivre : il est probable que la fertilisation Phosphatée, les possibilités de cession de P_2O_5 et de Cu. par le sol n'ont pas été suffisantes pour les rendements exigés de la prairie temporaire.

Les échantillons 1 et 2 sont des pousses feuillues de Ray Grass d'Italie établi sur défriches de bruyères, mais avec forte fertilisation : ils semblent normaux, bien que le n° 2 soit moins pourvu en Ca. que le n° 1 (sol exceptionnellement acide).

Les Ray Grass d'Italie *Rina* 3 et 4 permettent la comparaison, à stade de végétation équivalent, d'une plante obtenue sur sol exceptionnellement riche en P_2O_5 (3) et sur sol apparemment pauvre (4).

Le Ray Grass d'Italie n° 5, à l'épiaison, manque de P., sur sol « pauvre ». 65

La teneur limite, d'après J. COLEOU (10) serait de l'ordre de 0,20 % pour les bovins les moins exigeants.

Enfin, les échantillons 9 et 10 correspondent à des foins de prairies naturelles de la Zone témoin de Scignac (Finistère) : tous les foins analysés (10) étaient pauvres en Phosphore (sols acides et très négligés), bien pourvus en Calcium (l'échantillon n° 10 était le plus pauvre).

TABLEAU 4
Analyses de Fourrages et Analyses de terres
Fourrages

| Dates de récolte | 21-9 | 28-8 | 9-3 | 10-3 | 20-5 | 16-10 | Oct. | Jn | Jn 57 | | Jn 59 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|
| n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| <i>Composition % M.S.</i> | | | | | | | | | | | |
| Matières azotées totales | 17,3 | 23,3 | 25,0 | 23,9 | 13,7 | 20,7 | 15,9 | 7,6 | 7,3 | 7,3 | 8,5 |
| Cellulose brute | 26,1 | 23,4 | 17,0 | 17,2 | 21,1 | 24,2 | 25,1 | 32,0 | 32,5 | 32,5 | 31,4 |
| Calcium (Ca) | 0,70 | 0,57 | 0,84 | 0,73 | 0,65 | 1,10 | 0,73 | 0,58 | 0,60 | 0,37 | 0,82 |
| Magnésium (Mg) | 0,15 | 0,21 | 0,36 | 0,19 | 0,16 | 0,17 | 0,37 | 0,17 | 0,22 | 0,20 | 0,14 |
| Potassium (K) | 2,66 | 3,20 | 3,39 | 3,28 | 2,40 | 1,78 | 0,57 | 1,80 | 0,67 | 1,26 | 1,08 |
| Sodium (Na) | 0,18 | 0,45 | 0,27 | 0,18 | 0,21 | 0,75 | 0,24 | 0,09 | 0,32 | 0,25 | 0,59 |
| Phosphore (P) | 0,39 | 0,30 | 0,52 | 0,34 | 0,18 | 0,33 | 0,46 | 0,20 | 0,13 | 0,15 | 0,17 |
| <i>Oligoéléments mg/Kg MS</i> | | | | | | | | | | | |
| Manganèse (en Mn) | 150 | 86 | 57 | 117 | | 25 | | 165 | | | 65 |
| Cuivre (en Cu) | 7 | 10 | 32 | 50 | | 14 | | 7 | | | 3 |

Analyses des terres correspondantes

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tranche de sol cms | 0-15 | 0-15 | 0-10 | 0-7 | 0-7 | 0-15 | 0-7 | 0-15 |
| pH eau | 5,3 | 4,2 | 6,8 | 5,2 | 5,3 | 7,5 | 5,1 | 5,1 |
| pH KCl | 4,4 | 3,9 | 6,3 | 4,5 | 4,8 | 6,8 | 4,4 | 4,4 |
| Azote % | 0,45 | 0,41 | 0,44 | 0,38 | 0,38 | 0,23 | 0,92 | 0,21 |
| CO ₃ Ca % | | | | | | 0,6 | | |
| <i>Eléments « assimilables » Barbier-Morgan (mg/Kg)</i> | | | | | | | | |
| K ₂ O | 188 | 72 | 49 | 85 | 40 | 19 | | 19 |
| P ₂ O ₅ | 5 | 8 | 60 | 12 | 5 | 7 | | 8 |
| <i>Eléments échangeables. mg/Kg</i> | | | | | | | | |
| CaO | 1221 | 690 | 9380 | 2610 | 3010 | 4278 | 2002 | |
| MgO | 350 | 191 | | 160 | 565 | 105 | 245 | |
| K ₂ O | 442 | 138 | 238 | 228 | 193 | | 157 | |
| Saturation en bases % | 50 | 25 | 97 | 68 | | 86 | 21 | |
| Saturation en Ca % | 30 | 7 | 78 | 36 | 53 | 76 | 18 | |

Fertilisation

- 1 — Ray Grass d'Italie *Rina*. Stade feuillu. Brasparts (Finistère). 1958
- 2 — Ray Grass hybride *Io*. Feuillu. Brasparts (Finistère). Défriches de bruyères
- 3 — Ray Grass d'Italie *Rina*. Premier Cycle. Le Pin au Haras (Orne) 1959
- 4 — Ray Grass d'Italie *Rina*. Premier Cycle. Le Pin au Haras (Orne) 1959
- 5 — Ray Grass d'Italie *Rina*. Début épiaison. Le Pin au Haras (Orne) 1958
- 6 — Ray Grass d'Italie *Mayenne*, 3^e Cycle feuillu. Isneauville (Sne Mme) 1958
- 7 — Prairie naturelle, pousse feuillue. Loguivy-Plougras (Côtes-du-Nord) — sur Gley Podzolique (granulite) : *Fétuque ovine* dominante + Flouve, Plantain....
- 8 — Foin de prairie naturelle dégradée (*Agrostis canina*) Lande de Lessay (Manche)
- 9 et 10 — Foins de prairies naturelles très dégradées. Scignac (Finistère)
- 11 — Prairie temporaire (Mélange). Foin. Lande de Lessay (Manche)

Les fortes teneurs en *Manganèse* correspondent souvent à des sols acides car l'augmentation du pH entraîne généralement une diminution de l'« assimilabilité » de cet élément.

Dans des cas d'acidité extrême correspondant à une *toxicité* du Mn, les teneurs peuvent dépasser 1000-2000 mg de Mn/Kg de matière sèche : les légumineuses sont particulièrement sensibles à ces accidents, les graminées fort peu. Cf. M. P. LOHNIS (23).

A l'inverse, dans des conditions favorisant la carence en Mn, les graminées sont les premières affectées dans leurs rendements : les légumineuses contenant moins de Mn, il est probable que les accidents sur le bétail par manque de Mn sont à craindre sur les sols à la limite de la carence et les prairies à dominance de légumineuses. Ce n'est là qu'une hypothèse.

La teneur en *Cuivre* des fourrages varie beaucoup : elle semble maximale pour les graminées en début de premier cycle ; enfin les légumineuses paraissent souvent plus riches en Cu, en moyenne.

Nous n'avons que peu de renseignements sur les autres éléments : l'on pourrait se référer par exemple à F. C. RUSSELL (35), R. D. WILLIAMS (47).

V. FERTILISATION ET PHYSIOLOGIE DE LA PLANTE

1° Généralités

S'il convient de veiller au maintien ou à l'acquisition d'une fertilité potentielle du sol, c'est-à-dire à son aptitude à libérer, à partir de ses « réserves », une quantité suffisante de certains éléments « assimilables », par hectare et

par an, l'on peut se demander s'il n'est pas plus efficace de nourrir la plante en fonction de l'intensité de ses besoins, de ses capacités d'absorption à chaque instant, ceci pour des éléments fertilisants susceptibles de parvenir rapidement au niveau des racines.

Cette fertilisation « Physiologique » a fait ses preuves pour la fumure azotée du Blé (dite « fertilisation fractionnée » ou « Système COIC »), en permettant notamment l'obtention de hauts rendements, avec des variétés dites « exigeantes » sur des sols considérés comme « peu fertiles » et jadis déclarés « inaptes » à la culture de cette céréale.

Il semble bien qu'il puisse en être de même pour les problèmes de fertilisation de nos espèces fourragères, spécialement des graminées.

Le fractionnement des apports d'engrais devra s'adapter aux rythmes d'activité des racines : ils varieront donc selon l'espèce, la variété et le régime d'exploitation.

Il est bon tout d'abord de rappeler 2 aspects de l'activité des racines :

- *Les variations selon les saisons.*
- *Les modalités de l'absorption des ions en solution.*

2° Le rythme d'activité des racines des principales graminées prairiales

D'après les études de A. TROUGHTON (43) et les observations variées dont nous disposons, nous représentons très schématiquement le rythme d'activité des racines de quelques graminées (Tableau 5).

Il s'agit de l'activité des racines à l'état « naturel », mettons sous une exploitation à fauche ou à graines.

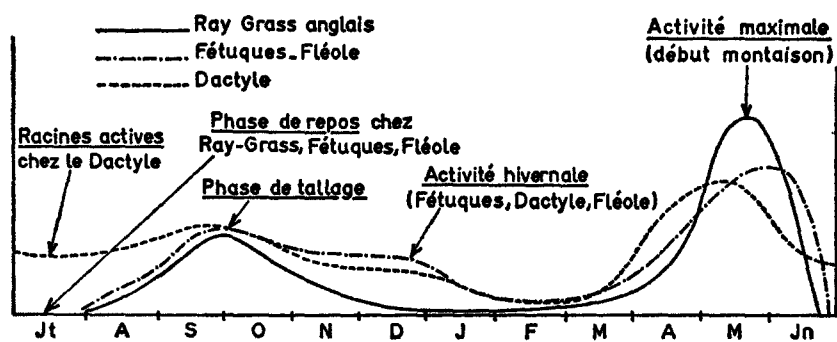


TABLEAU 5. *Activité des racines de quelques graminées*

Fertilisation

Il appartient à l'expérimentation de préciser ces courbes ou des portions de celles-ci.

Pour une variété donnée et un cycle de végétation, l'activité des racines pourrait se mesurer comme la dérivée de la courbe des exportations mesurées dans un essai de coupes échelonnées, par exemple, et pour un élément minéral qui se localise surtout dans la partie aérienne (K, Na, Si...).

Un essai de Ray Grass d'Italie, entrepris au Domaine expérimental du Vieux Pin (Orne) par J. REBISCHUNG, R. LAISSUS et J. GARAUDEAUX, pour des coupes échelonnées sur le premier cycle de végétation entre le 23 mars et le 9 mai, permet de retracer l'allure de l'activité des racines pour l'absorption du Potassium, en l'exprimant naturellement en Kgs/Ha/Jour de K₂O pour chacune des périodes séparant 2 dates de coupes successives.

Cette courbe figure au Tableau 6.

L'activité des racines est maximale, semble-t-il, au début de la phase de montaison rapide (hauteur de l'épi dans le brin-mâitre entre 8,5 et 11,8 cms lors du maximum d'activité).

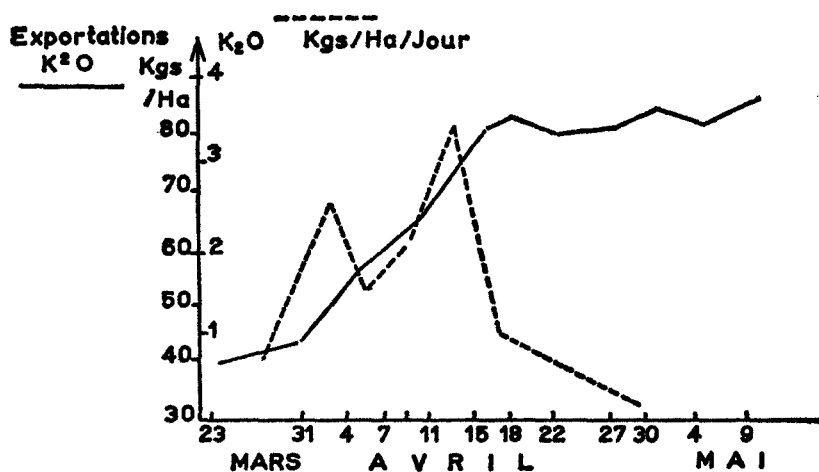


TABLEAU 6. Absorption de K₂O par un Ray Grass d'Italie en premier Cycle (J. REBISCHUNG, R. LAISSUS et J. GARAUDEAUX)

Elle décroît très rapidement, pour le cas d'une graminée à renouvellement annuel des racines : Ray Grass, Fétuque, Fléole.

Bref, les racines des graminées présentent des maxima d'activité :

1) En période active de la phase végétative et du début de la phase reproductive (montaison).

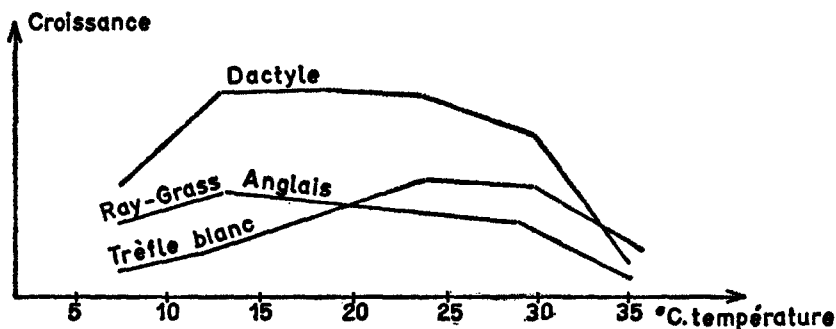
En phase de « tallage » l'activité des racines est marquée en septembre et octobre pour le *Ray Grass anglais*, tout l'été et l'automne pour le *Dactyle*, en automne jusqu'en début janvier pour la *Fléole*, les *Fétuques* (surtout la *Fétuque élevée*) et les *Dactyles*.

2) L'activité « normale » est totalement modifiée par l'exploitation de la graminée au début de la montaison : la suppression de l'inhibition des ébauches d'épis sur les bourgeons de tallage induit le développement précoce de ces derniers, avec transfert rapide de l'activité racinaire vers les nouvelles talles.

On peut concevoir que, dans des conditions optimales d'utilisation, elle demeure étale tout au long de l'année, si l'humidité et la température du sol sont favorables.

Nous avons surtout examiné le cas des graminées ; signalons les conditions de températures optimales pour la croissance pour diverses espèces, telles que les exposent les travaux de K. J. MITCHELL (27).

Les courbes du Tableau 7 montrent un maximum vers 15-18° C. pour le *Ray Grass anglais*, entre 15 et 25° C. pour le *Dactyle*, vers 25-30° C. pour le *Trèfle blanc* qui est donc plus exigeant en chaleur, donc plus tardif.



3° L'absorption des ions en solution

Les modalités de l'absorption des cations par les racines ont été étudiées et chiffrées par M. DRAKE, J. VENGRIS et W. G. COLBY (17) et traduites en notion de « *capacité d'échange pour les cations* », exprimée généralement en milliéquivalents (m.eq.) pour 100 grammes de matière sèche des racines.

Voici quelques indications :

— La capacité d'échange est une constante, pour une espèce, une variété et un type de fertilisation donné : en particulier, il semble que l'Azote Nitrique augmente ce pouvoir d'échange (Mme D. BLANC - 7).

— L'on peut, en gros, distinguer 2 catégories d'espèces :

a) *Les espèces à forte capacité d'échange* (Dicotylédones et en particulier les légumineuses), avec les caractéristiques suivantes :

— Absorption préférentielle des ions bivalents : Calcium et Magnésium.

— Absorption moindre des ions monovalents : Potassium et Sodium.

Ce sont donc des espèces naturellement assez riches en Ca, et Mg, mais qui demandent un niveau assez élevé de fertilité potassique du sol.

b) *Les espèces à faible capacité d'échange* où figure la majorité des graminées, avec les caractéristiques suivantes :

— Absorption assez faible des ions bivalents, Ca et Mg : ce sont des espèces assez pauvres en ces éléments.

— Absorption préférentielle et facile des ions monovalents, K, en particulier.

— Plus la capacité d'échange est faible, plus la plante est apte à se développer en milieux pauvres en Potasse et compétitrice pour cet élément par rapport à des espèces de capacité d'échange plus élevée.

A titre indicatif, voici quelques valeurs mesurées, par B. GRAY, M. DRAKE et W. G. COLBY (19), et Mme BLANC-AICARD (Laboratoire d'Agronomie).

| <i>Espèces et Variétés</i> | <i>Capacité d'échange</i> | <i>Auteurs</i> |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Dactyle | 25,6 | DRAKE, VENGRIS et COLBY |
| Dactyle <i>Aries</i> | 28,5 | Mme BLANC-AICARD |
| Dactyle <i>Taurus</i> | 36,5 | » |
| Dactyle <i>Germinal</i> | 26,9 | » |
| Dactyle <i>Floréal</i> | 22,9 | » |
| Dactyle <i>Prairial</i> | 25,0 | » |

| | | |
|--------------------------------|------|-------------------------|
| Ray Grass anglais | | |
| Ray Grass <i>Primevère</i> | 27,4 | » |
| Ray Grass <i>Trianon</i> | 21,8 | » |
| Ray Grass d'Italie <i>Rina</i> | 24,3 | » |
| Fléole <i>Maintenon</i> | 20,4 | » |
| Fléole <i>Pécora</i> | 32,0 | » |
| Fétuque élevée | 30,4 | DRAKE, VENGRIS et COLBY |
| <i>Agrostis tenuis</i> | 16,3 | » |
| Blé | 9,0 | » |
| Avoine | 22,8 | » |
| Trèfle blanc « <i>Ladino</i> » | 43,4 | » |
| Trèfle violet, Luzerne | 48. | » |

Notons les différences variétales parfois importantes.

Divers Auteurs ont tiré les conséquences de ces comportements pour les espèces en association.

Ainsi, les Graminées, à faible capacité d'échange, en association avec des Légumineuses, concurrencent ces dernières pour l'absorption du Potassium : cette action dépressive est d'autant plus marquée que la différence des capacités d'échange est plus grande et le sol moins pourvu en Potasse « assimilable ».

Ce phénomène, déjà mis en évidence par BLASER et BRADY (9) a été étudié plus en détails par B. GRAY, M. DRAKE et W. G. COLBY (19) sur un plan expérimental, puis T. WALSH, J. KILROY et P. M. MAC-DONNELL (46), et chiffré par R. L. SMITH et A. WALLACE (40).

4° La fertilisation potassique

La fertilisation potassique est le plus souvent calculée d'après les exportations présumées des récoltes, estimation corrigée selon la nature du Sol et sa richesse en K₂O « assimilable » : environ 100-150 Unités par An/Ha pour des surfaces intensives pâturées ; 150-250 pour des prairies temporaires de fauche qui ne recevraient ni fumier, ni purin.

C'est là un aspect « agronomique » que nous pourrions modifier quelque peu pour lui donner un aspect « physiologique ».

Que se passe-t-il en effet dans une association Graminée-Légumineuse ?

1° Les Graminées entrent en activité plus précocement que les Légumineuses (K J. MITCHELL - 27) et, dans le cas de coupe à fauche en premier cycle (Juin par exemple), sont susceptibles d'exporter la fumure potassique généralement prévue pour l'année entière.

Fertilisation

2° Lorsque les conditions de chaleur et d'humidité suffisent pour une croissance active de la Légumineuse, le sol aura perdu une grande partie de sa Potasse « assimilable », prélevée par la fauche (cas de sols peu ou moyennement pourvus en K₂O), et la Légumineuse se trouvera en compétition avec la graminée : celle-ci sera particulièrement marquée dans le cas d'une espèce à racines pluriannuelles (*Dactyle*), ou à croissance estivale active (*Fétuque élevée*), beaucoup moins avec un *Ray Grass anglais* qui souffre des chaleurs de l'été (Tableau 7) et manifeste un repos racinaire très net.

Il est bien connu par exemple que le *Trèfle blanc* a du mal à concurrencer un *Dactyle*, mais qu'il envahit facilement un *Ray Grass anglais*, une *Fétuque des prés* ou une *Fléole*.

Le Tableau 8 donne quelques chiffres d'exportations en éléments fertilisants d'un *Dactyle S.143* associé avec une Luzerne *F.D.100* (Culture en lignes alternées), à notre terrain expérimental d'Isneauville.

| Mode d'exploitation | Dates | M.S., T/Ha | Exportations, kg/Hectare | | | | |
|---------------------|-------|------------|--------------------------|-----|------------------|-------------------|-------------------------------|
| | | | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ |
| | 1959 | | | | | | |
| Fauche | 10-6 | 1,88 L | 65 | 23 | 19 | 5 | 10 |
| | | 6,63 D | 68 | 2 | 208 | 12 | 39 |
| Pâturage | 11-7 | 0,98 L | 25 | 4 | 22 | 4 | 7 |
| | | 0,90 D | 12 | 2 | 23 | 10 | 8 |
| Pâturage | 8-9 | 1,15 L | 35 | 5 | 10 | 10 | 7 |
| | | 2,44 D | 36 | 9 | 39 | 40 | 13 |

D = Dactyle L = Luzerne

TABLEAU 8. Exportations d'une association Luzerne-Dactyle

Précisons que la fertilisation apportée comprenait en Kg/Ha P₂O₅ 96 — K₂O 216 (février) — N 150, dont 70 en février (Nitrate de Chaux).

Il s'agissait par ailleurs d'un sol et sous-sol pauvres en K₂O.

Cet exemple n'est pas tout à fait valable : les racines de la Graminée et de la Luzerne ne sont pas au même niveau et le Dactyle se contente d'intercepter les fertilisations Potassiques — C'est dire quelle est l'importance de l'enfouissement de la fumure de fond P-K lors de la création de telles associations avec Luzerne.

Le terme de « compétition pour la Potasse » serait plus exact dans le cas d'associations Graminée + Trèfle blanc ou Trèfle violet.

Quoi qu'il en soit, l'on pourrait recommander le fractionnement de la fumure potassique :

— 80 à 200 unités en fumure de fond.

— 40 à 50 unités supplémentaires après l'épiaison de la graminée, vers fin mai - début juin : ce supplément profitera aux légumineuses en remédiant à un épuisement possible du sol par la graminée.

Ce fractionnement a déjà été préconisé par R. E. BLASER et N. E. BRADY (9) ; T. WALSH, J. KILROY et P. M. MAC-DONNELL (46).

Dans le cas d'une graminée pure, l'on pourrait, sans grand dommage pour les rendements, laisser le sol s'appauvrir en K_2O , puisque ces espèces peuvent profiter de la Potasse jusqu'à un degré poussé d'épuisement des réserves du Sol : il faudra cependant restituer la Potasse lors du retournement de l'herbage, pour des espèces plus exigeantes (par exemple Pommes de terre, Choux ou Betteraves).

Ne négligeons pas par ailleurs la possibilité de maintenir dans le gazon une proportion de Trèfle blanc suffisante : une fertilisation potassique assez élevée s'impose.

5° La fertilisation azotée

A. Origine de l'Azote

Distinguons 3 origines possibles de l'Azote minéral :

- 1) L'Azote provenant de la minéralisation de la matière organique.
- 2) L'Azote fixé par les nodosités des légumineuses et partiellement transférable aux Graminées.
- 3) L'Azote apportée sous forme minérale par la fumure.

1) L'Azote provenant de la minéralisation des matières organiques

L'Azote venant du sol peut être mesuré par une culture pure de graminées ne recevant pas de fumure azotée minérale.

On l'estime en général à 30 Kgs/Ha./An par unité pour mille d'Azote de la matière organique dans la couche 0-25 cm du sol, correspondant à une masse de 3 000 Tonnes de terre à l'hectare, ceci pour un taux moyen de minéralisation de l'humus de 1 %.

En définitive, la quantité d'Azote fournie par le sol varie selon la richesse en N. organique, les conditions de minéralisation, influencées par l'état de la matière organique, la vie microbienne, l'humidité, la température et surtout l'aération : le tassement du sol en prairie pâturée réduit cette minéralisation et favorise l'accumulation de matière organique en sol de prairie.

2) Le transfert d'Azote de la Légumineuse à la Graminée

La fixation de l'Azote de l'air par les bactéries des nodosités des légumineuses et le transfert d'une partie de cet Azote au profit des Graminées est un phénomène important.

Plusieurs conditions sont nécessaires :

— L'Azote utile provient de nodules décadents : dans le Trèfle blanc, les nodules se renouvellent toutes les 3 semaines environ en période de croissance.

— Ces nodules doivent être repris par la minéralisation.

— Les racines des Graminées et des Légumineuses associées doivent se situer sur un même plan : ainsi, une Luzerne adulte ne libère que très peu d'Azote au profit d'un Dactyle qui justifie alors une fertilisation azotée normale ; le Trèfle blanc et le Trèfle violet libèrent de l'Azote de manière plus efficace pour les Graminées.

Les études expérimentales les plus complètes sur ce sujet ont été réalisées en Nouvelle-Zélande par T. W. WALKER (45) et voici quelques-unes de ses conclusions :

Les exportations d'Azote par les parties aériennes des Graminées peuvent s'écrire : $N_g = a N_s + b N_l + c N_e$, avec

N_g = Azote de la Graminée.

N_s = Azote du Sol et a = coefficient en relation avec la minéralisation : $a N_s$ est l'Azote fourni par le Sol.

N_l = Azote de la Légumineuse, $b N_l$ est l'Azote transféré de la Légumineuse à la Graminée.

N_e = Azote de la Fumure minérale.

T. W. WALKER donne l'équation suivante : $N_g = 36 + 0,65 N_l + 0,69 N_e$ ceci dans les conditions de l'expérience et pour une association Ray-Grass anglais + *Trèfle blanc*, donc en résumé :

2/3 de l'Azote de la fertilisation se retrouve dans les parties aériennes des Graminées ; le reste se retrouverait dans les racines et les collets si bien que les Graminées sont exceptionnellement efficaces pour récupérer l'Azote minéral (jusqu'à 400 Kgs/Ha. d'après WALKER).

Il y a par ailleurs transfert d'Azote de la Légumineuse à la Graminée de l'ordre des 2/3 du rendement apparent en Azote de la Légumineuse.

Cette participation diminue évidemment avec le niveau de fertilisation azotée et les éléments de l'exploitation et de la fumure qui réduisent la proportion de la Légumineuse dans le gazon.

En définitive, ce transfert est de l'ordre de 40 à 100 Unités d'Azote dans les conditions de la pratique, tandis que la fixation d'Azote par un Trèfle blanc pur atteindrait jusqu'à 500 Kgs/Ha. pour une production de 15 T/Ha. de matière sèche, sous les conditions exceptionnelles de la Nouvelle-Zélande (L. GACHON - 18 ; T. E. WILLIAMS - 48).

3) *L'Azote de la fumure*

L'Azote fixé par la légumineuse n'est efficace qu'en période de croissance active de cette dernière et lorsque les conditions de minéralisation de la matière organique sont optimales, c'est-à-dire à la belle saison.

Cette libération d'Azote n'est généralement pas synchronisée avec les besoins physiologiques propres d'une graminée associée, qui sont souvent à leur maximum en fin d'automne et en début de printemps : c'est un facteur déterminant pour prévoir une fertilisation azotée minérale.

Deux conceptions s'affrontent :

— L'École Néozélandaise et Danoise qui insiste sur la fixation d'Azote par la légumineuse (solutions de production extensive ou semi extensive permises, engrais azotés coûteux...), et prévoit donc de favoriser surtout *les légumineuses*.

— L'École Hollandaise et Belge qui préfère une très grande intensivité basée sur l'application de très fortes doses d'Azote et favorise donc surtout *les Graminées*.

Prenons le juste milieu : utiliser des doses assez importantes d'Azote selon la physiologie des Graminées, mais veiller toutefois à maintenir la Légumineuse à un pourcentage satisfaisant dans le gazon (1/3 environ).

B. Le fractionnement de la fumure azotée

1. *Considérations générales*

Plutôt que de donner des « recettes de cuisine » pour l'application de la fumure azotée, essayons de justifier les méthodes actuellement proposées.

Fertilisation

Le fractionnement de la fumure azotée s'inspirera du rythme normal d'activité des racines, pour chaque espèce, chaque variété et chaque mode d'exploitation, ainsi que du rythme correspondant des exportations en Azote.

Suivre le rythme d'activité des racines, c'est s'adapter aux particularités physiologiques de la plante et l'on peut distinguer les stades critiques suivants :

— *La phase de tallage* : l'activité est maximale de fin août à octobre (sous réserves de conditions pluviométriques favorables), pour les Ray Grass anglais, et se maintient jusqu'en fin décembre dans le cas des autres espèces du moins sous climats assez maritimes).

— *L'initiation des ébauches d'épis* (Stade A.) : il semble qu'un apport d'Azote à ce stade soit susceptible de réduire la régression des talles les plus jeunes, sous l'effet inhibiteur des talles les plus développées.

Cet apport hivernal se justifiera surtout dans le cas des espèces dont les racines conservent une certaine activité (*Dactyles, Fétuques, Fléoles*).

— *La phase de début de montaison* qui coïncide avec le maximum d'activité des racines au printemps.

Ces divers stades correspondent au premier cycle de végétation (cycle reproductif) : d'une bonne alimentation de la plante et de son exploitation rationnelle à ce cycle dépendent pour une grande part les niveaux de production des autres cycles, donc la production totale.

Si nous examinons le 2^e cycle, notons les points suivants :

— Le *Dactyle* garde des racines actives après l'épiaison et justifie alors d'apports d'Azote pour la repousse d'été.

— Les autres espèces ne seront bien enracinées en Juin ou Juillet que dans la mesure où elles auront été exploitées au début de leur montaison en premier Cycle — Sinon, il faut s'attendre à une période de repos, variable selon la sécheresse, et en relation avec un nouveau cycle de tallage (espèces à racines *annuelles*).

L'activité des racines se traduit par des rythmes d'exportation d'Azote, variables selon les espèces, les variétés et le mode d'utilisation.

Voici quelques observations faites par J. REBISCHUNG et P. JACQUARD sur des coupes échelonnées.

| Ray Grass Anglais 3.24 | | Dactyle Linné | | Ray Grass d'Italie | |
|------------------------|-----|---------------|----|--------------------|----|
| 1955 | | 1955 | | 1959 | |
| Dates | N. | Dates | N. | Dates | N. |
| 23-4 | 24 | 26-4 | 63 | 23-3 | 45 |
| 28-4 | 31 | 29-4 | 78 | 11-4 | 53 |
| 3-5 | 58 | 11-5 | 91 | 22-4 | 64 |
| 4-6 | 105 | 1-6 | 70 | 4-5 | 50 |

Exportations d'Azote, kilogs à l'hectare

Ce tableau semble montrer qu'il existe trois types de graminées

a) *les Ray Grass anglais* qui, en début de végétation, partent en général avec de faibles réserves azotées (20-25 Kgs/Ha.) telles que l'on en peut escompter de la nitrification hivernale : ils profiteront bien d'apports tardifs d'Azote (mars ou même avril), tels qu'ils sont de coutume dans le cas des prairies permanentes ;

b) *les Dactyles, Fétuques et Fléoles*

au départ de la végétation, la masse d'Azote en jeu à l'hectare est beaucoup plus élevée, de l'ordre de 60 Kgs : la plante réclame des apports d'Azote assez importants à la fin de l'automne ou en hiver.

Elles conservent d'ailleurs souvent leurs racines en activité en période froide et profitent d'épandages très précoces (décembre-janvier) ;

c) *le Ray Grass d'Italie* est de comportement intermédiaire.

Mais le rythme des exportations d'Azote varie grandement selon le mode d'exploitation appliqué.

Voici un exemple donné par J. REBISCHUNG et P. JACQUARD pour un Ray Grass anglais *Trianon* (1958)

| Dates | Régime Pâturage | | Dates | Régime Fauche | |
|-------|-----------------|------------|-------|---------------|------------|
| | M.S. T./Ha. | N. Kgs/Ha. | | M.S. T./Ha. | N. Kgs/Ha. |
| 28-5 | 6,85 | 142 | 1-7 | 11,35 | 103 |
| 8-7 | 2,60 | 72 | 28-8 | 3,05 | 94 |
| 28-8 | 3,05 | 67 | 18-11 | 0,09 | 2 |
| 16-10 | 1,44 | 36 | | | |
| | 13,94 | 317 | | 14,49 | 199 |

M.S. = Matière Sèche

Rythmes comparés d'exportations d'Azote selon les régimes d'exploitation

Fertilisation

Les déjections, en régime « pâture », restituent de l'Azote : cependant, nous voyons que les rythmes de fertilisation azotée ne pourront être identiques pour les 2 types d'exploitation.

Des apports d'Azote plus importants en été et en automne seront valorisés en régime « pâture » (à moins que l'on compte sur une légumineuse).

Enfin, le fractionnement de l'Azote minéral variera selon les conditions de climats et de sols.

— *Sous climat continental*, les épandages prévus en hivers seront avancés vers l'automne ou retardés jusque vers le début du printemps.

— *Sous climats maritimes* à hivers très pluvieux, un apport d'Azote important (60-70 Unités) en décembre ou janvier sera fractionné avec avantage en 2 épandages à 15 jours d'intervalle, surtout dans le cas d'Azote nitrique.

— *En sols sableux ou filtrants*, le type de fractionnement précédent sera également très recommandé.

2. Quelques exemples

Dans le Tableau 9, nous figurons, très schématiquement, ce que pourraient être les modes de fractionnement de l'engrais azoté, pour un *Dactyle* et un *Ray Grass anglais*, exploités soit avec une fauche normale, soit avec une première pâture (ou coupe) au début de la montée (épis à 6-10 cm du plateau de tallage).

Dans le cas des *Ray Grass anglais*, les apports d'Azote seraient ainsi répartis :

— forte dose au printemps, correspondant à la période de forte activité des racines dans le mois qui suit (apport en mars)

— apports d'été seulement en régime pâture, en fin d'été pour la repousse de septembre-octobre (phase de tallage).

Dans le cas des *Dactyles*

— 2 apports en fin d'automne et en hiver (30 + 30 unités par exemple) le premier après le dernier pâturage de la saison précédente (novembre ou décembre), le 2^e vers le Stade A.

— Un apport complémentaire de printemps (30 unités) si l'on compte effectuer une coupe à fauche.

— Des épandages d'été sous climats pluvieux (ou années humides).

Les *Fétuques* et les *Fléoles* recevront un type de fertilisation « Dactyle » de l'automne au printemps.

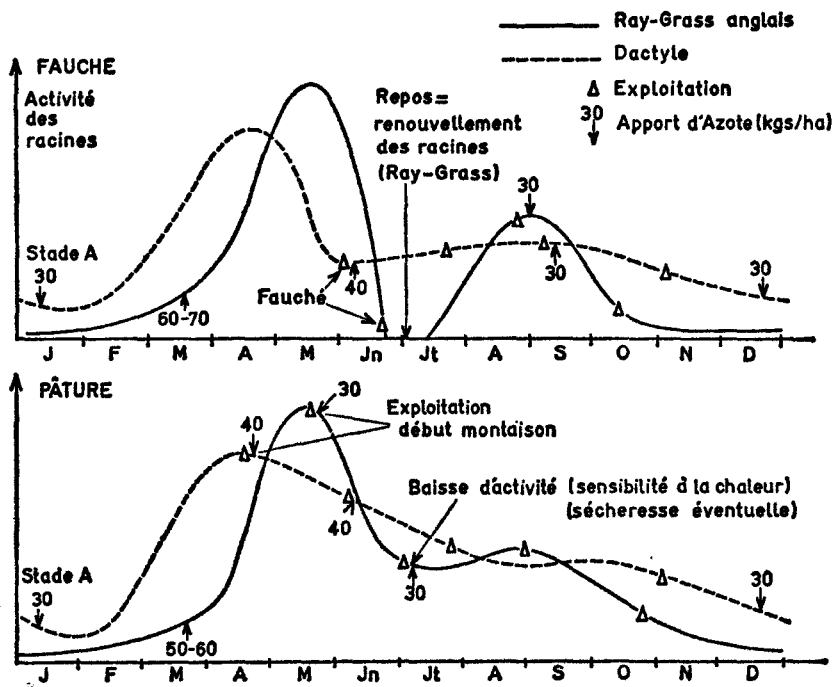


TABLEAU 9

Les *Fétuques* et particulièrement la *Fétuque élevée* justifient des apports d'Azote en été, surtout si elles ont été exploitées correctement en premier cycle (début de la montaison).

Les *Fléoles* par contre manifestent une période marquée de repos en été et il serait inefficace, voire nuisible à la limite, de les gaver d'Azote.

Les exemples du Tableau 9 correspondent sensiblement à un Dactyle *demi-précoce* et à un Ray Grass anglais *demi-tardif* : les périodes d'application des engrais azotés doivent évidemment être modifiées en fonction des précocités des variétés.

Fertilisation

Ainsi un *Dactyle précoce*, type *Germinal* ou *Aries* justifie un premier apport important d'Azote dès la fin-décembre. Un *Ray Grass anglais tardif* recevra encore avec profit l'Azote de printemps jusqu'en avril (par exemple le type « *Rvp. Melle pâture* »).

C. Doses annuelles

Quelle dose totale d'Azote peut-on prévoir, sans dépasser le « seuil de rentabilité » ? Elle serait indéterminée, en tout cas, très élevée.

70 à 80 Unités/Ha/An constituent une dose très moyenne, correcte pour des *Ray Grass anglais* et des *Fléoles* avec une participation très active du Trèfle blanc dans le rendement final.

Les *Dactyles*, le *Ray Grass d'Italie*, les *Fétuques* (et spécialement la *Fétuque élevée*) supportent aisément des doses annuelles de 120 à 160 Unités qui semblent même une moyenne chez les bons exploitants.

Enfin des doses aussi élevées que 200 à 250 Unités sont atteintes chez plusieurs agriculteurs, sous climats très maritimes, mais elles restent assez exceptionnelles.

Plus que sur la dose totale, il faut insister sur le fractionnement judicieux de celle-ci et surtout sur la nécessité d'une *exploitation rationnelle* de la prairie temporaire.

D. Les formes d'Azote

Quelle forme d'Azote utiliser ? Les réponses sont diverses et souvent les expériences sont contradictoires.

Le choix découle de considérations *techniques* et *économiques*.

a) Considérations techniques

L'Azote *nitrique*, c'est-à-dire le Nitrate de Chaux et le Nitrate de Soude serait recommandé dans les cas suivants :

— Nécessité d'une action *précise* et *rapide* : apports à des stades précis de végétation (Stade A par exemple)...

— *En périodes froides et en périodes sèches*.

— *En sols acides* ou du moins dans certains sols où l'on peut supposer que la nitrification est réduite (vieux herbages, sols lourds)...

L'Azote ammoniacal, Sulfate d'Ammoniaque et Urée s'utiliseraient dans les conditions suivantes :

— *En périodes de nitrification active*.

— Lorsqu'il n'est pas nécessaire d'agir de manière précise, mais qu'il s'agit seulement de fournir à la plante des « provisions » pour une période assez étalée.

— Dans des sols qui nitrifient bien : en sols acides, il faut prohiber le *Sulfate d'Ammoniaque* acidifiant, à moins que l'on apporte conjointement des amendements calcaires — l'on pourra très bien utiliser le Nitrate d'Ammoniaque.

Remarquons que l'ion NH_4^+ peut être absorbé directement par des graminées comme le *Dactyle*, surtout en présence d'un excès d'Azote nitrique NO_3^- — (Mme D. BLANC - 7).

Parfois le Sulfate d'Ammoniaque se révèle supérieur au Nitrate d'Ammoniaque : il faudrait vérifier si le sol ne manque pas de *Soufre*, auquel cas le superphosphate serait supérieur aux Scories par exemple, et l'apport de plâtre (Sulfate de chaux) marquerait un effet positif.

b) *Considérations économiques*

— La forme *Nitrique* est généralement plus coûteuse et, pour beaucoup d'épandages, le Nitrate d'Ammoniaque constitue un bon compromis entre les 2 formes.

— Cependant, le coût doit céder devant l'efficacité, lorsque l'Azote Nitrique permet :

— Une action *précise*, parfois nécessaire (épandages au Stade A...)

— *L'obtention d'Unités fourragères hors de saison*, tard, vers l'hiver ou très tôt au printemps : l'on économise ainsi des U.F. de foin, d'ensilage ou d'aliments concentrés, beaucoup plus coûteuses que les U.F. de pâturage.

La possibilité d'obtention de repousse en période sèche ne doit pas non plus être négligée.

VI. CONCLUSIONS

La solution des problèmes de fertilisation dépend surtout d'une bonne connaissance des facteurs « *Sol* » et « *Plante* ».

Une conception valable de la fertilisation doit respecter en priorité quelques règles qui découlent simplement de la *logique* et du *bon sens* : apporter de l'Azote lorsque le végétal cultivé dispose de racines actives — enfouir la fumure de fond pour favoriser un enracinement profond...

Fertilisation

Ces règles s'appliquent également aux expérimentations — d'abord, *savoir ce que l'on fertilise* : d'où l'inanité des essais *sur prairies naturelles*.

En effet, à supposer que, *sur chaque parcelle* d'un essai de fumure, l'on ait précisé la composition botanique, ce qui est très souhaitable, les formules variées de fertilisation ne manqueraient pas de faire évoluer les gazons, favorisant, les unes les graminées, les autres les légumineuses... si bien qu'en très peu de temps, l'on ne saurait prétendre fertiliser le même matériel végétal — C'est dire l'impossibilité de généraliser les conclusions des essais sur herbages naturels.

D'autres règles sont simplement la conséquence d'une meilleure connaissance de la *physiologie* des espèces fourragères.

Elles nous amènent parfois à quelques « anticipations » en matière de fertilisation, disons plutôt des suggestions fondées sur des connaissances plus précises : fractionnement de la fumure potassique ou azotée...

Un problème *capital* dans les expérimentations de fertilisation est le suivant : Dans un sol, et à un instant donné, le ou les éléments qui conditionnent le rendement (éléments limitants) est-il l'Azote, la Potasse... le Soufre, ou même tel ou tel oligoélément ?

Or, *certains facteurs ont souvent des conséquences indirectes* et mal contrôlées : c'est par exemple le cas du pH du sol.

Celui-ci agit-il par la *nitrification*, en conditionnant l'« assimilabilité » de certains éléments (P₂O₅, Mn, B, Mo), la *structure du sol*, la teneur en *Calcium*... en notant que des sols acides, par exemple, peuvent être tout simplement des sols podzoliques, donc « lessivés », et appauvris en éléments fertilisants : la liaison « pauvreté du sol » — acidité n'est parfois qu'une corrélation *statistique*.

Les observations prouvent que l'on peut très bien, sans modifier un pH supposé défavorable, assurer une nutrition correcte du végétal et obtenir des rendements élevés, sous réserve de certaines conditions de sol (structure, nature des colloïdes) et de fertilisation (1,9,33) : ceci explique la large gamme de pH dans laquelle l'on observe de bons rendements (4,2 — 8,2 pour des Ray Grass d'Italie par exemple).

La réaction souvent favorable d'un amendement calcaire sur un sol acide ne permet nullement de préjuger les éléments fertilisants qui sont intervenus : Azote de la nitrification, K₂O et P₂O₅ libérés des « réserves », amélioration de la structure du sol, limitation des quantités de Mn et Al actifs, toxiques

en excès ? — l'effet favorable est souvent reproduit, sans amendement, en utilisant des engrais azotés, phosphatés ou potassiques *lorsque ceux-ci sont les véritables éléments « limitants » du rendement.*

Le problème est essentiel à résoudre et A. J. ANDERSON y insiste (1) : « Une meilleure connaissance des facteurs de base intervenant dans la réaction de la végétation à une fumure permet souvent d'obtenir le même résultat, à moindre coût, mais d'une autre manière » et cet Auteur donne quelques exemples. « L'utilisation de *Molybdène* à la place de la *Chaux* ou du *Plâtre* au lieu de *Superphosphate* est judicieux là où les réponses au chaulage ou à l'apport de Superphosphate sont dues respectivement au Molybdène ou au Soufre » (observations faites en Australie) ; « le pelletage des graines de légumineuses avec quelques kilogs de chaux est parfois suffisant pour induire la formation des nodosités en sols acides, avec le même effet que l'apport de une Tonne de chaux à l'hectare » (effet de localisation).

C'est poser là tout le problème des expérimentations de fertilisation : doivent-elles être grossières, en étudiant des facteurs à effets multiples *non contrôlables* ou rechercher au contraire quels sont les véritables éléments limitant du rendement, en ajoutant le facteur « Physiologie » de la plante cultivée ? Nous penchons vers la 2^e solution.

C'est souligner les nombreuses expérimentations qui restent à réaliser pour compléter nos connaissances encore imparfaites.

RESUME

Pour fertiliser rationnellement une prairie, l'on doit tenir compte des facteurs suivants :

- Quantités d'éléments fertilisants exportés pour définir un ordre de grandeur des restitutions nécessaires.
- Comportement des ions dans le Sol.
- Besoins de la plante cultivée, en fonction de sa physiologie propre.

Nous avons passé en revue ces différents aspects :

- Aspect « Sol » ou aspect Agronomique, pour traiter surtout la question des amendements et de la fumurée phosphatée.

— Aspect « Plante » ou aspect « Physiologique » pour définir avec le maximum de précision les modalités de la fertilisation potassique et surtout azotée.

Nous avons enfin donné quelques compléments sur le problème des oligoéléments et sur les influences possibles du Sol et de la Fertilisation sur la composition minérale des fourrages.

M. KERGUELEN

Laboratoire des Plantes Fourragères. Rouen

BIBLIOGRAPHIE

(1) ANDERSON (A. J.) : *Effects of fertilizer treatments on pasture growth.* (Effets des fumures sur la pousse des pâturages). 7th. Intern. Grassl. Congress. 800-804 : 1956.

(2) ARNON (D. I.) : *Recent advances in the study of essential micronutrients for green plants.* (Progrès récents dans l'étude des oligoéléments essentiels pour les végétaux chlorophylliens). 8^e Congrès Intern. Botanique. Paris, Sect. II, 73-80 : 1954.

(3) ASLANDER (A.) : *Standard fertilization and liming as factors in maintaining soil productivity.* (Fertilisation « Standard » et chaulage comparés en tant que facteurs de maintien de la productivité du sol). Soil Sc. 74, 3, 181-196 : 1952.

(4) ASLANDER (A.) : *Standard fertilization and the quality of crops.* (Fertilisation « Standard » et qualité des récoltes). Soil Sc. 74, 6, 431-442 : 1952.

(5) BARBIER (G.), MAROGER (M.), GACHON (L.) : *Acide Phosphorique et Humus.* Ann. Agron. 3, 317-333 : 1951.

(6) BARBIER (G.), MAROGER (M.) : *Action antagoniste des anions humiques à l'égard de l'absorption de P₂O₅ par l'hydroxyde ferrique.* Ann. Agron. 5, 527-528 : 1951.

(7) BLANC (Mme D.) : *Contribution à l'étude de la nutrition azotée en Culture sur sable.* Ann. Phys. Vég. 9-1, 49-70 : 1958.

(8) BLANCHET (R.) : *Actions directes et indirectes de la matière organique humifiée sur la nutrition des végétaux vasculaires.* Ann. Agron. 9, 4, 499-533 : 1958.

(9) BLASER (R. E.), BRADY (N. C.) : *Nutrient competition in plant associations.* (Compétition pour les substances nutritives dans les associations végétales). Agron. J. 42, 126-135 : 1950.

(10) COLEOU (J.) : *Minéraux, Vitamines, Antibiotiques dans l'alimentation de la vache laitière.* Revue de l'élevage, n° Sp. 87-106 : 1957.

(11) COLLIER (D.), GACHON (L.), ROBELIN (M.) : *Action des amendements et fumures sur les rendements et la composition chimique des prairies de fauche en divers terroirs du Massif Central.* Ann. Agron. 6, 1060-1064 : 1956.

(12) COLLIER (D.), GACHON (L.) : *Essais de fertilisation sur prairies permanentes fauchées en Auvergne et Forez.* Ann. Agron. 6, 867-902 : 1957.

(13) COPPENET (M.) : *En Bretagne, deux oligoéléments d'importance.* Bull. Techn. Inf. 106, 154-163 : 1956.

(14) COPPENET (M.) : *Le Manganèse dans les sols de Bretagne et ses relations avec la croissance des végétaux.* Ann. Agron. 2, 155-218 : 1959.

F e r t i l i s a t i o n

(15) COPPENET (M.) : *Les caractères des sols granitiques de Bretagne.* Bull. Assoc. Fr. Etude du Sol, 1, 1-25 : 1959.

(16) DE VRIES (D. M.), KOOPMANS (J.) : *Het verband tussen de hoedanigheidsgraad van grasland en stanplaatsfactoren.* (Relations entre l'indice de qualité des herbages et les conditions du milieu). C.I.L.O. Wageningen, p. 21-37 : 1949.

(17) DRAKE (M.), VENGRIS (J.), COLBY (W. G.) : *Cation-exchange capacity of Plant-roots.* (Capacité d'échange en cations des racines). Soil Sc. 12, 2, 139-147 : 1951.

(18) GACHON (L.) : *La fumure azotée des productions fourragères.* Bull. Assoc. Fr. Etude du Sol, 2 : 1958.

(19) GRAY (B.), DRAKE (M.), COLBY (W. G.) : (L'absorption compétitive du Potassium par les diverses espèces végétales d'une association Graminées-Légumineuses, considérée comme fonction de la capacité d'échange cationique des racines). Proc. Soil. Sc. Amer. 17, 235 : 1953.

(20) HENIN (S.) : *Pédologie et fertilisation.* Bull. Techn. Inf., 81, 463-468 : 1953.

(21) HESLEP (J. M.) : *A study of the infertility of two acid soils.* (Etude sur le manque de productivité de 2 sols acides). Soil Sc. 72, 1, 67-80 : 1951.

(22) HURIEZ (M.), PAILLUSSEAU (E.), BOUVATTIER (C.) : *Etude des terres de prairies en Loire-Inférieure : conséquences des fumures habituellement pratiquées.* Ann. Agron. 4, 583-588 : 1955.

(23) LOHNIS (M. P.) : *Influence of Magnesium on the uptake of Manganese.* (Influence du Magnésium sur l'absorption du Manganèse). 8^e Congr. Intern. Bot. Paris. Sect. II : 1954.

(24) MAC-AULIFFE (C.) et Coll. : *Utilization by plants of Phosphorus in farm manure.* (Utilisation par les plantes du Phosphore dans le fumier). Soil Sc. 66, 2, 179-195 : 1949.

(25) MARSHALL (C. E.) : *Ionization of Calcium from soil colloids and its bearing on soil-plant relationships.* (Ionisation du Calcium des colloïdes du sol : ses conséquences pour les relations entre la plante et le sol). Soil Sc. 65, 1, 57-68 : 1948.

(26) MILES (I. E.) : *Available calcium supply in poorly buffered soils.* (La fourniture de Calcium assimilable dans des sols peu tamponnés). Soil Sc. 65, 1, 97-102 : 1948.

- (27) MITCHELL (K. J.) : *The influence of light and temperature on the growth of pasture species.* (L'influence de la lumière et de la température sur la croissance des espèces prairiales). Proc. 7th. Intern. Grassland Congress, 58-69 : 1956.
- (28) MONNIER (G.) : *Influence des prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon.* C. R. Acad. Agric. France, 4, 227-230 : 1957.
- (29) MONNIER (G.) : *Etude de quelques problèmes posés par l'utilisation des prairies dans l'amélioration des propriétés physiques du sol.* Bull. Assoc. Fr. Etude du Sol, 7, 364-370 : 1958.
- (30) PICARD (J.), DUTHIL (J.) : *Essais de rénovation des marais de l'Ouest.* Bull. Techn. Inf. 130, 289-303 : 1958.
- (31) POCHON (J.) et DE BARJAC (H.) : *Traité de microbiologie du Sol. Applications agronomiques.* Dunod. Paris, 685 p. : 1958.
- (32) RADET (E.) : *Rôle du Sodium dans la fertilisation des prairies temporaires.* Bull. Assoc. Fr. Etude du Sol, 6, 300-307 : 1956.
- (33) REBISCHUNG (J.) : *L'établissement des prairies.* Bull. Techn. Inf. 115, 785-793 : 1956.
- (34) REBISCHUNG (J.) : *Aspects de la fumure des prairies.* Bull. Tech. Inf. 115, 901-913 : 1956.
- (35) RUSSELL (F. C.) : *Minerals in pasture, deficiencies and excesses in relation to animal health.* (Les minéraux dans l'herbe de prairie, déficiences et excès en relation avec la santé des animaux). Imp. Bureau Animal Nutrition, n° 15, 91 p. : 1944.
- (36) SCHICKLUNA (J. C.), DAVIS (J. F.) : *The chemical characteristics and effect of calcium carbonate on the Manganese status of five organic soils.* (Les caractéristiques chimiques et l'effet du carbonate de chaux sur le comportement du manganèse de 5 sols acides riches en humus). Mich. Agric. Exp. Sta. quart. Bull. 34, 303-319 : 1952.
- (37) SCHMEHL (W. R.), PEECH (M.), BRADFIELD (R.) : *Causes of poor growth of plants on acid soils and beneficial effects of liming : I. Evaluation of factors responsible for acid-soil injury.* (Raisons de la mauvaise croissance des plantes sur les sols acides et des effets bénéfiques du chaulage : I. Evaluation des facteurs responsables de l'effet nocif de l'acidité du sol). Soil Sc. 70, 5, 393-410 : 1950.
- (38) SCHMEHL (W. R.), PEECH (M.), BRADFIELD (R.) : *Influence of soil acidity on absorption of Calcium by Alfalfa as revealed by radiocalcium.*

(Influence de l'acidité du sol sur l'absorption du Calcium par la Luzerne, détectée par l'utilisation du Calcium marqué). *Soil Sc.*, 73, 1, 11-21 : 1952.

(39) STRASMAN (A.), QUIDET (P.), BLANCHET (R.) : *Dynamique du Potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes*. *Ann. Agron.*, 9, 5, 637-661 : 1958.

(40) SMITH (R. L.), WALLACE (A.) : *Cation-exchange capacity of roots and its relation to Calcium and Potassium content of plants*. (Relation de la capacité d'échange en cations des racines avec les teneurs en Calcium et en Potassium des plantes). *Soil Sc.*, 81, 2, 97-110 : 1956.

(41) THOMPSON (L. M.) : *Soils and soil fertility*. (Les sols et la fertilité). Mc. Graw Hill, New York, 448 p. : 1957.

(42) THOMPSON (F. B.), ELLIOTT (I. L.) : *The development of Waikato peat Soils*. (L'évolution des sols tourbeux du secteur de Waikato - Nouvelle-Zélande). *N. Z. J. Sc. Techn. A.* 31, 6, 1-16 : 1950.

(43) TROUGHTON (A.) : *The underground organs of herbage grasses*. (Les organes souterrains des graminées prairiales). Commonwealth Bureau Past. Field Crops, Bull. 44 : 1957.

(44) WAGNER (R. E.) : *Pasture establishment with special reference to band seeding*. (Etablissement de la prairie, notamment dans le cas des semis en ligne). Proc. 7th. Intern. Grassl. Congress. N. Z., 107-115 : 1956.

(45) WALKER (T. W.) : *Nitrogen and herbage production*. (Azote et production prairiale). Proc. 7th. Intern. Grassl. Congress. N. Z., 157-167 : 1956.

(46) WALSH (T.), KILROY (J.), MAC-DONNELL (P. M.) : (Quelques aspects de la fumure potassique des pâturages). *J. Dep. Agric. Dublin.* 54 : 1957.

(47) WILLIAMS (R. D.) : *The effects of deficiencies of several trace elements on Timothy (Phleum pratense L.) grown in solution culture*. (Les effets de déficiences en quelques oligoéléments sur la Fléole — Phleum pratense L. — cultivée en solutions nutritives). *Plant and Soil*, III, n° 3, 257-266 : 1951.

(48) WILLIAMS (T. E.) : *Nitrogen manuring and the Grass-Legume ratio*. (Fertilisation azotée et rapport Graminées-Légumineuses). 6th. Intern. Grassl. Congress. U.S.A., 800-804 : 1952.

(49) X. : *Equilibre minéral des fourrages et fertilisation*. *Ann. Agron.*, 5, 600-602 : 1950.