

ANALYSE DE LA CROISSANCE D'UNE PRAIRIE NATURELLE NORMANDE AU PRINTEMPS

II - LA DYNAMIQUE D'ABSORPTION DE L'AZOTE ET SON EFFICIENCE

INTRODUCTION

DANS UNE PRÉCÉDENTE NOTE (1) NOUS AVONS ÉTUDIÉ UN PREMIER ASPECT DE LA CROISSANCE D'UNE PRAIRIE NATURELLE NORMANDE AU PRINTEMPS : SA PRODUCTION et la variabilité de celle-ci selon les années, en liaison avec le climat thermique de l'hiver et du printemps et les niveaux de nutrition azotée correspondant à différentes doses d'engrais appliquées en fin d'hiver.

A partir du même essai, nous étudions dans la présente note le comportement de la prairie, au cours de sa croissance de printemps, vis-à-vis de l'absorption de l'azote dans les conditions expérimentales précédemment décrites. Nous insistons plus particulièrement sur les relations entre la croissance et l'absorption d'azote à l'échelle du peuplement prairial.

*par J. Salette,
G. Lemaire
et R. Laissus*

(1) LEMAIRE G., SALETTE J., LAISSUS R., 1982, *Fourrages* n° 91, pp 3-17.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La prairie étudiée et le protocole expérimental, qui permet le suivi d'une courbe de croissance complète depuis le départ en végétation en fin d'hiver jusqu'à la floraison des espèces les plus tardives, ont été décrits en détail dans la note précédente. Les trois doses d'azote comparées (N₀, N₅₀, N₁₀₀) correspondent à des apports respectifs de 0, 50, 100 kg/ha de N sous forme d'ammonitrate, en fin d'hiver (les 17 février 1977, 28 février 1979, 20 février 1980 pour les trois années d'expérimentation étudiées ici). Lors des douze fauches successives réalisées sur les sous-parcelles, un échantillon d'herbe est prélevé pour analyse chimique. Les dates de ces douze coupes successives permettant le tracé de courbes de croissance et de courbes de prélèvement des éléments minéraux sont les suivantes :

— en 1977 : 3, 22, 30 mars ; 5, 13, 26 avril ; 2, 10, 23, 31 mai ; 7, 21 juin ;

— en 1979 : 3, 24 avril ; 3, 7, 14, 22, 28 mai ; 1^{er}, 5, 12, 19 juin ; 10 juillet ;

— en 1980 : 2, 14, 22, 29 avril ; 6, 13, 20, 27 mai ; 3, 10, 17, 24 juin.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. Suivi du prélèvement d'azote pendant la croissance

Dans cette étude, nous avons assimilé au prélèvement d'azote par la plante dans le sol les quantités d'azote présentes dans les parties récoltées lors de chacune des coupes successives effectuées sur les sous-parcelles : ces quantités d'azote sont déterminées par le produit de la production de matière sèche réalisée (M.S./ha) par la teneur en azote (N %) de l'échantillon d'herbe correspondant, prélevé au même instant. Cette assimilation des quantités d'azote absorbées et prélevées par le peuplement aux quantités d'azote exportées par les parties aériennes récoltables n'est qu'une première approximation, justifiée ici par l'existence, en début de croissance et en fin de croissance, de chaumes et de racines de composition peu différente.

Croissance d'une prairie normande :

On peut donc obtenir des courbes qui donnent une image du prélèvement d'azote réalisé au cours de la croissance par le peuplement prairial. Ces courbes $\text{kg N} = f(t)$ (figure 1) ont une pente qui est d'autant plus forte que le niveau d'azote est élevé et, de plus, leur tracé correspond très précisément à celui des courbes de croissance $\text{M.S.} = f'(t)$: toute différence de pente, traduisant des différences de vitesse d'absorption d'azote ou de vitesse de croissance, se retrouve simultanément sur l'une et l'autre de ces deux courbes pour les différentes années étudiées. On constate, parallèlement, que la variabilité observée entre années pour les productions de matière sèche est comparable à celle qui est observée entre années pour les quantités d'azote absorbées dans un intervalle de temps donné.

Dans les courbes d'absorption d'azote (figure 1) on peut distinguer trois phases qui correspondent aux trois parties de la courbe sigmoïde traduisant la croissance :

— phase lente de début de croissance, durant laquelle se réalise la mise en place de l'appareil foliaire ; l'absorption d'azote est déjà très active ;

— phase de pleine croissance, avec vitesse maximum d'absorption d'azote ;

— phase de ralentissement de la croissance, accompagnée du vieillissement et de la disparition des feuilles émises les premières. Dans le cas de la croissance reproductrice, cette dernière phase de croissance s'accompagne de phénomènes de verse donnant parfois des quantités de M.S. mesurées inférieures aux productions obtenues antérieurement. Les quantités d'azote absorbées sont plus faibles ou beaucoup plus faibles que dans la phase précédente et elles peuvent être nulles.

Le tableau I donne, pour les trois années étudiées, les résultats correspondant aux deux premières phases ainsi décrites. Il est particulièrement intéressant de noter que la quantité d'azote absorbée pour la formation de 100 kg de matière sèche (N/M.S.) est très importante dans le début de croissance ; elle correspond à l'enrichissement des tissus jeunes, cet azote étant ensuite dilué pendant la phase suivante : ceci explique que les chiffres de N/M.S. de la phase de pleine croissance soient plus faibles si on les compare aux teneurs en azote de la plante (N %) observées au même moment.

FIGURE 1

CROISSANCE ET PRÉLEVEMENT D'AZOTE EN FONCTION
DU TEMPS DE REPOUSSE

Prairie permanente, Le Pin-au-Haras (en t/ha de M.S. et kg/ha de N)
Années 1977 et 1979, très différentes au point de vue climatique

FIGURE 1a : 1977

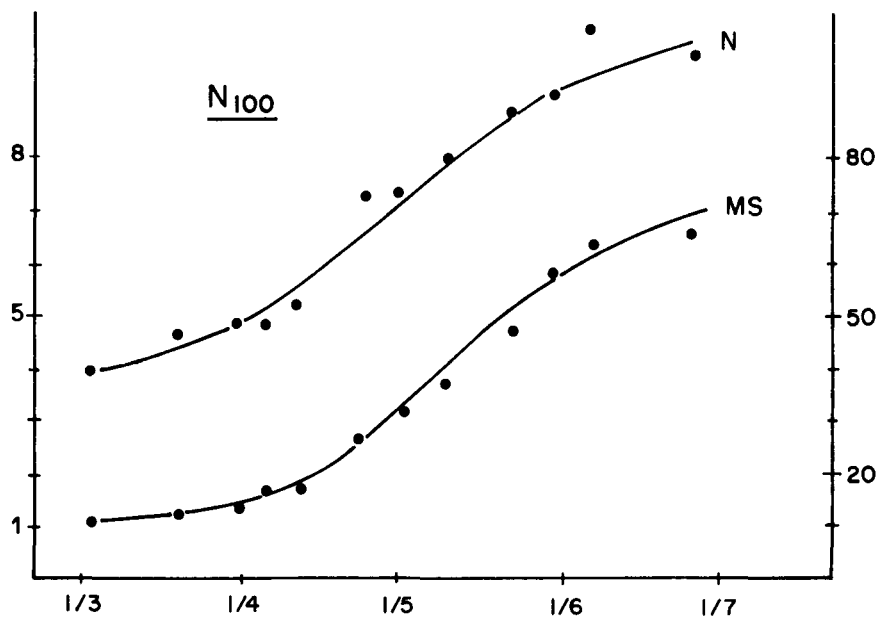
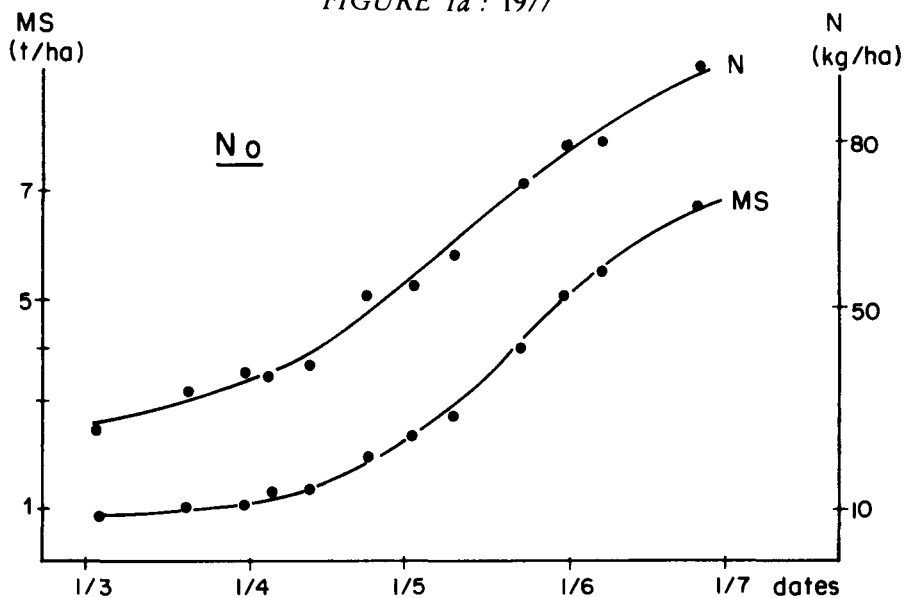
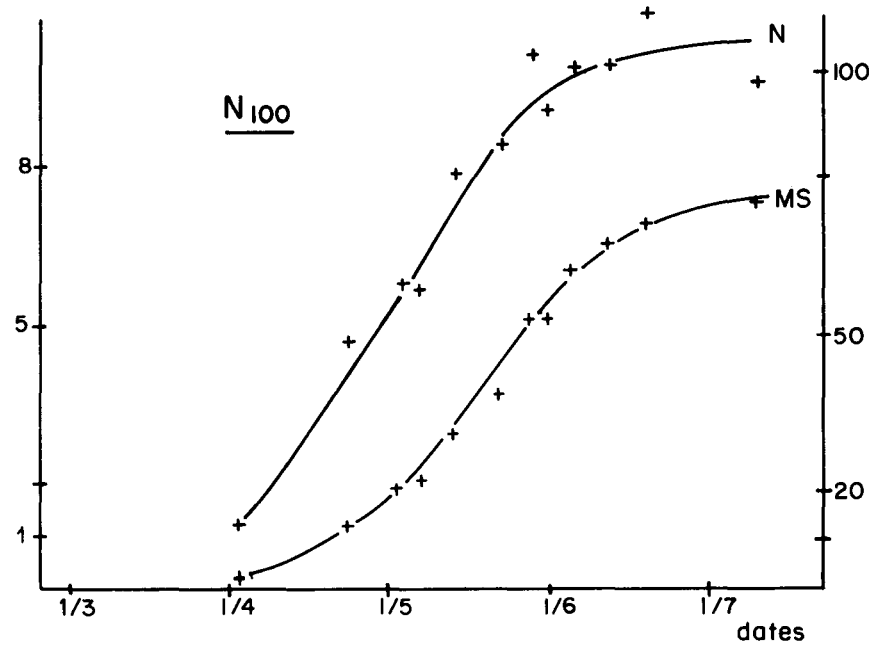
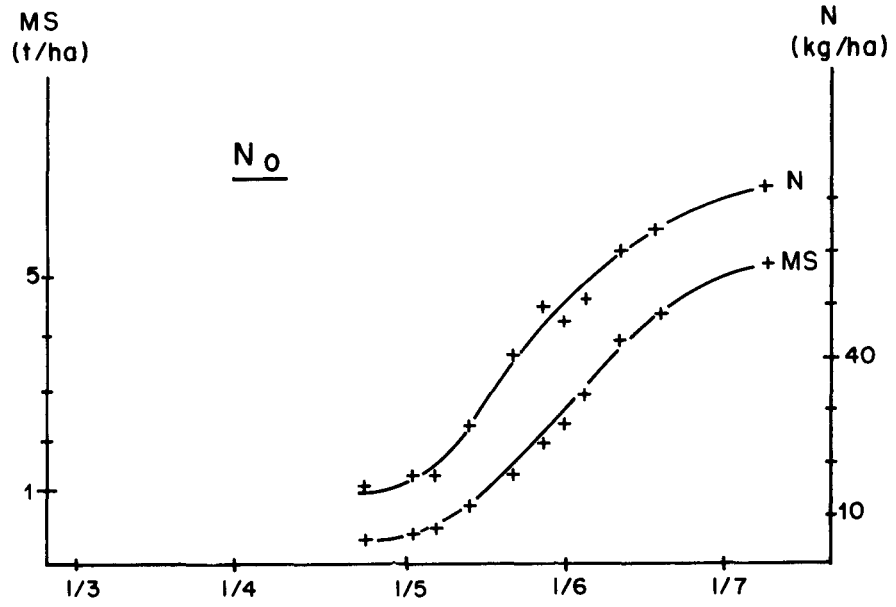


FIGURE 1b : 1979



absorption et
efficience de l'azote

TABLEAU I
CROISSANCE ET PRÉLÈVEMENT D'AZOTE
POUR LES TROIS ANNÉES ÉTUDIÉES
COMPARAISON DE DEUX PHASES DISTINCTES :
LE DÉBUT DE CROISSANCE (d)
ET LA PLEINE CROISSANCE (p)
Prairie permanente, Le Pin-au-Haras

- 1) croissance exprimée en matière sèche en kg par ha et par jour (M.S./j)
 2) prélèvement d'azote en kg d'azote par ha et par jour (N/j)
 3) quantité d'azote absorbée pour la formation de 100 kg de M.S. (N/M.S.)
 pendant la période de croissance correspondante

		Début de croissance (d)			Pleine croissance (p)		
		MS/j	N/j	N/MS	MS/j	N/j	N/MS
<u>1977</u>	N 0	4.2	0.4	9.5	51	0.7	1.4
	N 50	8.4	0.4	4.1	71	1.0	1.4
	N 100	14.7	0.8	5.4	96	1.5	1.5
d : 3 mars/22 mars p : 13 avril/10 mai							
<u>1979</u>	N 0	16	0.6	3.5	71	1.4	1.9
	N 50	35	1.3	3.4	114	1.4	1.2
	N 100	48	1.7	3.5	128	1.9	1.5
d : 3 avril/24 avril p : 3 mai/28 mai							
<u>1980</u>	N 0	11	0.3	2.3	55	1.3	2.3
	N 50	45	0.9	1.9	81	1.4	1.8
	N 100	69	1.7	1.9	104	1.7	1.7
d : 2 avril/14 avril p : 14 avril/6 mai							

2. Efficience de l'azote sur la production

L'efficience de l'azote apporté est assez faible dans la prairie étudiée en raison de la forte contribution de l'azote du sol (parcelle N₀) au printemps, caractéristique d'une bonne prairie naturelle [la teneur en azote organique est élevée et représente 7 000 kg/ha de N sur 30 cm d'épaisseur du sol en surface].

En plus de l'effet essentiel de l'azote sur l'avancement du départ en croissance en fin d'hiver, se traduisant par des gains de temps notables et une possibilité de mise à l'herbe plus précoce lorsque les conditions de portance des sols le permettent (cf. article du n° 91 de *Fourrages*), nous pensons utile de caractériser l'efficience de l'azote sous deux aspects complémentaires : l'effet sur la vitesse de croissance et le coefficient apparent d'utilisation.

2.1. Effet sur la vitesse de croissance

Nous avons défini précédemment la vitesse de croissance potentielle par rapport à un niveau de nutrition azotée non limitante, ici N₁₀₀ (SALETTE et LEMAIRE, 1982) et nous l'avons caractérisée dans la première partie de cette étude par référence au modèle de croissance en fonction des sommes de température.

Pour le niveau N₀ nous obtenons une seule équation, valable pour les trois années étudiées (figure 2), ce qui montre une faible variation de la dynamique d'azote du sol avec le climat de l'année, contrairement à ce que l'on observe dans d'autres milieux, par exemple dans les prairies semées de Lusignan.

Pour le niveau N₀ nous obtenons, pour les trois années, la même équation de production de matière sèche en fonction des sommes de températures cumulées depuis le 1^{er} janvier :

$$(1) \quad \text{M.S.} = 0,0072 (\Sigma \theta - 385)$$

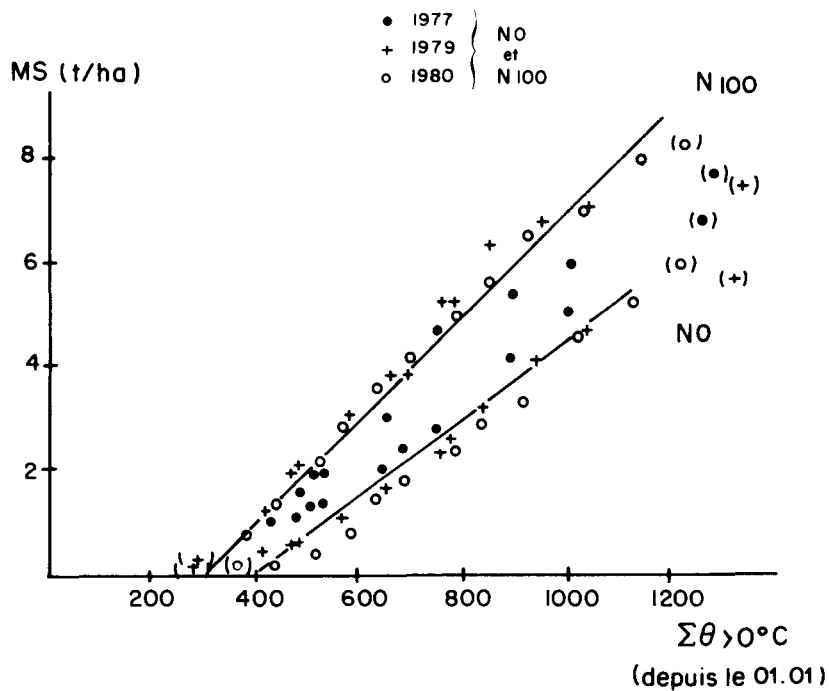
Pour le niveau N₁₀₀, nous avons dans les mêmes conditions ($r = 0,98$) :

$$(2) \quad \text{M.S.} = 0,0100 (\Sigma \theta - 294)$$

FIGURE 2

EFFET DE L'AZOTE SUR LA VITESSE DE CROISSANCE :
 RELATION ENTRE LA CROISSANCE ET LES SOMMES
 DE TEMPÉRATURES POUR DEUX NIVEAUX D'AZOTE
 ET TROIS ANNÉES D'EXPÉRIMENTATION (1977-1979-1980)
 Prairie permanente, Le Pin-au-Haras (en t/ha de M.S. et températures
 journalières moyennes, cumulées depuis le 1^{er} janvier)

(.) : points non pris en compte :
 — récolte précoce aux ciseaux
 — verse en fin de croissance



La comparaison des vitesses de croissance correspondant aux deux extrêmes de nutrition azotée est particulièrement intéressante :

— pour N_{100} : 10 kg/ha de M.S. par degré.jour,

— pour N_0 : 7,2 kg/ha de M.S. par degré.jour ; N_0 représentant la fourniture d'azote par la seule minéralisation de la fraction organique du sol.

La minéralisation de l'azote organique du sol est donc très importante dans ce type de prairie puisqu'elle assure 72 % du besoin en azote représenté par l'expression du potentiel de croissance permis par le climat (N_{100}).

Pour la dose d'azote N_{50} , la variabilité de la vitesse de croissance observée entre années reste très faible : 8 kg/ha de M.S. par degré.jour en 1977, 9 kg en 1979 et 1980.

Il est assez remarquable de constater cette faible variabilité interannuelle des vitesses de croissance en fonction des sommes de températures, pour un niveau donné de fertilisation azotée. Ceci confirme pour la prairie permanente la stabilité du milieu vis-à-vis des interactions entre le climat et la dynamique de l'azote.

2.2. Coefficient apparent d'utilisation de l'azote apporté

Ce coefficient se définit, entre deux doses N_1 et N_2 , par le rapport de la différence entre les quantités d'azote exportées dans la récolte à la différence entre les doses d'azote apportées :

$$\frac{(N \text{ exp})_2 - (N \text{ exp})_1}{N_2 - N_1} \times 100 ;$$

il représente la pente de la courbe $N (\text{exporté}) = f (\text{dose } N \text{ apporté})$.

*absorption et
efficacité de l'azote*

Il se calcule usuellement pour une coupe effectuée à la même date, pour N_1 et N_2 , et, dans ce cas, il est plus faible pendant la période de début de croissance, plus élevé pendant la phase de pleine croissance et

TABLEAU II
COEFFICIENT D'UTILISATION APPARENT
DE L'AZOTE APPORTÉ (CALCULÉ POUR N₁₀₀ PAR RAPPORT
A N₀) À DIFFÉRENTES PHASES DE LA CROISSANCE
ET POUR LES TROIS DERNIÈRES ANNÉES ÉTUDIÉES
 Prairie permanente, Le Pin-au-Haras

dates	début de croissance		pleine croissance			fin de croissance
	3 mars 77	22 mars 77	24 avril 77	2 mai 77	10 mai 77	31 mai 77
3 avril 79	24 avril 79	3 mai 79	14 mai 79	28 mai 79	12 juin 79	
2 avril 80	14 avril 80	22 avril 80	29 avril 80	6 mai 80	27 mai 80	
1977	18.9	26.7	32.9	43.6	48.1	18.0
1979	9.8	34.0	44.3	54.5	58.6	45.6
1980	31.4	48.2	60.0	62.2	57.3	37.5

diminue en fin de croissance. Le tableau II donne quelques valeurs de ce coefficient, calculé à différentes dates, pour chacune des trois années étudiées et entre les niveaux N₀ et N₁₀₀.

On peut également, et ceci est plus logique compte tenu des conditions d'exploitation d'une prairie, calculer les coefficients d'utilisation pour une même production de matière sèche et non pour une même date : le tableau III donne les résultats pour une exploitation de type pâture (1,2 t/ha de M.S.) et pour une exploitation de type ensilage (4 t/ha de M.S.). Les coefficients d'utilisation de l'azote ainsi calculés sont très inférieurs à ceux calculés pour une même date ; associés au calcul des reliquats d'azote non

Croissance d'une prairie normande :

TABLEAU III
UTILISATION DE L'AZOTE, POUR DEUX ANNÉES
DIFFÉRENTES, CALCULÉE POUR DES PRODUCTIONS DE
1, 2 ET 4 t DE M.S. SOIT, RESPECTIVEMENT, POUR
UNE EXPLOITATION AU STADE PÂTURE OU ENSILAGE
 Prairie permanente, Le Pin-au-Haras

		1977			1979		
		0	50	100	0	50	100
récolte à 1,2 t MS.ha ⁻¹	Date	10 avril	3 avril	25 mars	16 mai	1 mai	25 avril
	N %	2.90	3.27	4.03	2.42	3.08	3.90
	N kg.ha ⁻¹	35	39	48	29	37	47
	Reliquat N non utilisé	-	11	52	-	13	53
	Coefficient apparent d'utilisation (%)		8 %	18 %	16 %	20 %	
		13 %		18 %			
récolte à 4 t MS.ha ⁻¹	Date	21 mai	14 mai	3 mai	10 juin	29 mai	22 mai
	N %	1.78	2.09	2.45	1.50	2.03	2.30
	N kg.ha ⁻¹	71	83	98	60	81	92
	Reliquat N non utilisé	-	-	2	-	-	8
	Coefficient apparent d'utilisation (%)		22 %	30 %	42 %	22 %	
		27 %		32 %			

utilisé, ils montrent bien la très bonne fourniture d'azote par le sol dans les parcelles N₀, et confirment l'excellente valeur de la prairie étudiée.

3. Essai de modélisation des quantités d'azote absorbé et discussion

absorption et
efficience de l'azote Nous avons utilisé ici la référence non plus au temps de repousse mais à la croissance elle-même, caractérisée par l'accumulation progressive de matière sèche formée à l'hectare.

L'étude de l'évolution des teneurs en azote de l'herbe récoltée tout au long de la croissance permet de mettre en évidence une loi de dilution (SALETTE et LFMAIRE, 1981) et d'en déduire que l'azote exporté (en kg/ha) par les parties récoltées peut s'exprimer par une équation de la forme :

$$(3) \quad N = \alpha (M.S.)^{1 - \beta}$$

Cette équation est applicable dans le domaine où la loi de dilution s'applique elle-même, c'est-à-dire en excluant les stades très jeunes de la repousse et parfois les stades très avancés de la fin de croissance (cf. § 1). La figure 3 donne la courbe N absorbé = f (croissance) ; pour la raison exposée ci-dessus, nous avons exclu, pour les croissances avec N₁₀₀, le premier point chaque année et, pour les croissances N₀, les trois premiers points en 1979 et 1980. Les équations obtenues sont respectivement (N exprimé en kg/HA) :

$$\begin{aligned} \text{pour } N_0 & : N = 30,6 (M.S.)^{0,521} & : r = 0,96 \\ \text{pour } N_{100} & : N = 47,1 (M.S.)^{0,434} & : r = 0,98 \end{aligned}$$

L'examen des courbes obtenues (figure 3) montre l'importance de l'absorption d'azote en début de croissance : 30,6 kg/ha de N pour N₀, et 47,1 kg/ha de N pour N₁₀₀, quantités qui correspondent à l'obtention de la première tonne de matière sèche (M.S. = 1). Ceci est à rapprocher du coefficient N/M.S. calculé dans le tableau 1 qui met en évidence la dilution progressive de l'azote au cours de la croissance du peuplement.

L'équation (3) montre bien qu'au cours de la repousse l'absorption d'azote (ou son exportation) est bien liée à la croissance par une liaison d'allométrie :

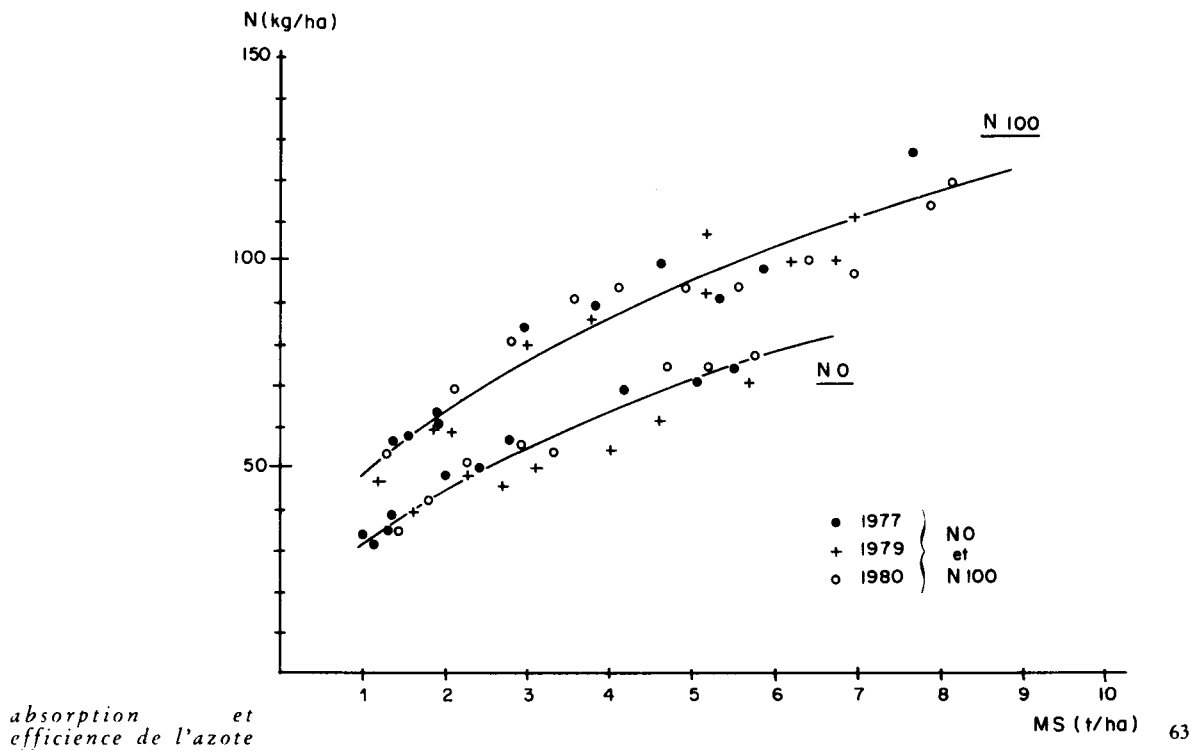
α représente, pour le niveau d'azote non limitant N₁₀₀, les « besoins » en azote au début de la repousse : 47,1 kg de N doivent être absorbés pour que la première tonne de M.S. récoltable puisse être élaborée.

β , compris entre 0 et 1, représente le coefficient de dilution de l'azote en cours de croissance.

Croissance d'une prairie normande :

FIGURE 3
RELATION ENTRE LES QUANTITÉS D'AZOTE PRÉLEVÉES
ET LA CROISSANCE AU COURS DE LA REPOUSSE
DE PRINTEMPS POUR DEUX NIVEAUX D'AZOTE
 Prairie permanente, Le Pin-au-Haras (en kg/ha de N et t/ha de M.S.)

La quantité d'azote exportée, pour une production de M.S. donnée, est indépendante de l'année.



Avec le niveau d'azote non limitant, nous retrouvons la constance de comportement de la prairie quelle que soit l'année et la même équation, c'est-à-dire les mêmes coefficients α et β rendant compte des phénomènes observés. Ceci confirme bien que l'on peut rapprocher, par une relation unique (équation 3) indépendante des conditions climatiques, le potentiel de croissance et les besoins en azote.

Ce résultat avait déjà été acquis sur prairie monospécifique de graminées à Lusignan (SALETTE et LEMAIRE, 1982) pour le niveau d'azote non limitant.

Dans le cas de la prairie naturelle étudiée ici, il est remarquable que la stabilité entre années s'observe également pour les niveaux de nutrition azotée plus faibles N_0 et N_{50} (comme signalé ci-dessus § 2.1).

La contribution de l'azote du sol et la succession des cycles réorganisation-minéralisation de l'azote compliquent cependant le problème, notamment en déterminant les périodes pendant lesquelles l'azote minéral est plus ou moins disponible pour la plante. Ceci entraîne une plus ou moins bonne régularité des phénomènes observés, à la fois pendant la durée de la croissance et entre années.

4. Conclusions

Cette étude souligne d'une part les bonnes potentialités de la prairie naturelle étudiée et d'autre part sa relative régularité de fonctionnement, les différences inter-annuelles souvent importantes pouvant être expliquées par le climat thermique de l'hiver et de la fin du printemps.

Nous avons uniquement analysé ici les apports d'azote de fin d'hiver ; dans ces conditions, la date d'apport de l'azote peut prendre toute son importance. Rappelons que, dans les régions à hiver doux, les apports d'azote à l'automne peuvent être particulièrement valorisés en raison de leur action sur la mise en place et le maintien pendant tout l'hiver d'un appareil foliaire photosynthétiquement actif.

L'analyse des courbes $N = f(M.S.)$ montre qu'il y a un amortissement des besoins en azote tout au long de la croissance : α représente la quantité d'azote nécessaire à la production de la première tonne de M.S. ;

Croissance d'une prairie normande :

les tonnes suivantes nécessitent une quantité d'azote moindre et de plus en plus faible, ce que traduit le coefficient β . Une conséquence pratique particulièrement importante est que tout régime à exploitations fréquentes est plus exigeant en azote.

Enfin, il faut poser la question du devenir des reliquats d'azote minéral non utilisés lors d'exploitations précoces de type pâturage : les conditions de leur valorisation dans les repousses ultérieures seront abordées dans une autre étude.

J. SALETTE*, G. LEMAIRE*, R. LAISSUS** (1)

avec la collaboration technique
*de D. LECONTE**, F. HERNANDEZ*,*
J. ROBICHET, M. SIGOGNE*.*

* I.N.R.A., Laboratoire d'Agronomie de la prairie Angers-Lusignan,
Station d'Agronomie d'Angers, Beaucouzé, (Maine-et-Loire).

** I.N.R.A., Domaine expérimental fourrager, Le Pin-au-Haras, (Orme).

(1) Ces travaux de recherches sur l'azote ont été financés par un contrat de la Commission des Communautés Européennes sur l'azote et les protéines dans l'herbe de la prairie, (Contrat n° 405/2/2146)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

G. LEMAIRE, J. SALETTE et R. LAISSUS (1982) : « Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps. I. La production et sa variabilité », *Fourrages*, n° 91, 3-17.

J. SALETTE et G. LEMAIRE (1981) : « Sur la variation de la teneur en azote de graminées fourragères pendant leur croissance : formulation d'une loi de dilution » *C.R. Acad. Sc. Paris*, 292, 875-878.

J. SALETTE et G. LEMAIRE (1982) : « Approche des relations croissance, climat, azote : cas de la croissance de peuplements de graminées fourragères en fin d'hiver », Département d'Agronomie, *Séminaire de Vichy*, C.R. réunion, 16-18 mars 1982, 90-99, Publ. INRA, 170 p.