

ÉVOLUTION, AU COURS DE L'ANNÉE, DES TENEURS EN AZOTE SOLUBLE DU RAY-GRASS D'ITALIE DE PRINTEMPS

LE RAPPORT ENTRE LA FERTILISATION AZOTÉE ET LA TENEUR EN AZOTE NITRIQUE DU RAY-GRASS D'ITALIE SEMÉ EN PEUPEMENT MONOSPÉCIFIQUE EN MARS OU AVRIL et pâturé précocément a déjà fait l'objet d'une étude (MORÉ et al., 1982). Ces ray-grass d'Italie, observés dans les conditions du Finistère et chez les éleveurs eux-mêmes, sont pâturés à un stade très précoce (en juin puis fin juillet) et reçoivent des doses élevées d'azote (lisier + ammonitrate) puisque les teneurs en matières azotées totales (M.A.T.) ont des moyennes variant, selon les années, entre 20,5 et 22,3 % de la matière sèche et des extrêmes dépassant 30 %. Des corrélations significatives ont été établies entre la teneur en azote nitrique, la fertilisation azotée et la teneur en matières azotées totales.

Si la connaissance de la teneur en azote nitrique est nécessaire en raison des risques d'intoxication des animaux, il est également important, pour avoir une bonne appréciation des Protéines Digestibles dans l'Intestin (système P.D.I.), de connaître la quantité d'azote organique soluble. Cette forme d'azote n'est utilisable par les ruminants que dans la mesure où la ration est suffisamment riche en énergie. Notre propos, ici, est essentiellement de vouloir apporter des éléments sur la variabilité de ces teneurs, de façon à aider les zootechniciens et les éleveurs.

SALETTE et al. (1984) ont étudié l'évolution au cours de la croissance de printemps de la composition azotée de plusieurs variétés de ray-grass d'Italie semées en automne et recevant trois niveaux de fertilisation azotée. Dans nos essais, mis en place à Quimper (Finistère) en 1979, 1982 et 1983, il s'agit de semis de printemps avec une seule variété (Tiara), exploitée uniquement au stade pâture et recevant quatre doses d'azote différentes. Nous développerons les résultats des expériences réalisées en 1983, les plus complètes, qui confirment ceux des années 1979 et 1982.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Trois semis de ray-grass d'Italie diploïde, non alternatif, variété Tiara, ont été effectués au printemps 1983, au champ de Quimper-Kerfily (tableau I).

Ce champ, d'un bon niveau de fertilité (pH : 6,0, Matière Organique : 4,5 %, P_2O_5 extrait par l'acide citrique à 2 % : 0,30 ‰, K_2O échangeable : 0,18 ‰, MgO échangeable : 0,09 ‰), ne reçoit pas d'amendements organiques depuis de nombreuses années. De ce fait, il nécessite l'apport de fortes doses d'engrais azoté minéral pour produire de bonnes récoltes ; quatre doses d'apport ont ainsi été utilisées : 40, 80, 120 et

TABLEAU I
CONDITIONS D'EXPLOITATION DE L'ESSAI

	date de semis	50 % levée	date du 1 ^{er} prélèvement *	dates des coupes simulant la pâture				
				1	2	3	4	5
Semis 1	13/4	25/4	30/5	20/6	8/8	19/9	24/10	5/12
Semis 2	26/4	8/5	13/6	4/7	22/8	3/10	5/12	-
Semis 3	9/5	20/5	20/6	18/7	12/9	17/10	5/12	

* la cadence des prélèvements est hebdomadaire à partir de cette date et jusqu'à la dernière coupe.

160 kg N/ha, sous forme de nitrate d'ammonium (une dose 40 N peut être considérée, pour cette parcelle, comme un témoin sans azote du fait de son faible niveau de production). Ces doses ont été épandues au semis et après chaque coupe, le jour même de la coupe.

Il y a eu cinq exploitations à un stade pâture pour le premier semis et quatre pour les deux autres (tableau I). Entre ces coupes, des prélèvements pour analyse effectués toutes les semaines permettent de suivre l'évolution des teneurs en fonction de l'âge des pousses ou repousses. Il y a eu ainsi 25 prélèvements pour le premier semis, 23 pour le deuxième et 22 pour le troisième. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 28,8 m² ; il n'y a pas de répétition ; l'estimation de la production de matière sèche par hectare est faite par la pesée de surfaces de 1 m².

Les échantillons sont séchés à l'étuve à 80 °C en respectant rigoureusement les modalités de séchage décrites par LILA M. (1977) : utilisation de la même étuve pour tous les prélèvements, mise à l'étuve des échantillons 4 h 30, au plus, après la coupe (nous avons vérifié, par exemple, qu'une attente de 24 h avant la dessication accroît la teneur en azote soluble dans des proportions de 25 à 40 %). Sur les échantillons secs, les déterminations suivantes sont effectuées :

— *L'azote total* est déterminé par la méthode Kjeldahl après réduction des nitrates par le fer réduit en milieu sulfurique dilué. En effet, lors du dosage de l'azote total par la méthode Kjeldahl classique, les nitrates présents dans un échantillon de végétal ne sont dosés que partiellement. La réduction préalable permet de les doser quantitativement (GUIRAUD G., FARDEAU J.C., 1977).

— *L'azote soluble* (minéral + organique) est dosé dans une solution tampon de pH 6,9, à base de bicarbonate et de phosphate de sodium, méthode utilisée au C.R.Z.V.-I.N.R.A. de Theix (DEMARQUILLY et al., 1978). Dans le filtrat, l'azote soluble total est dosé par la méthode Kjeldahl après réduction des nitrates, comme ci-dessus, et *l'azote nitrique*, par la méthode de Vielemeyer et Seyfarth (1965). *L'azote organique soluble* est obtenu par la différence : azote soluble - azote nitrique.

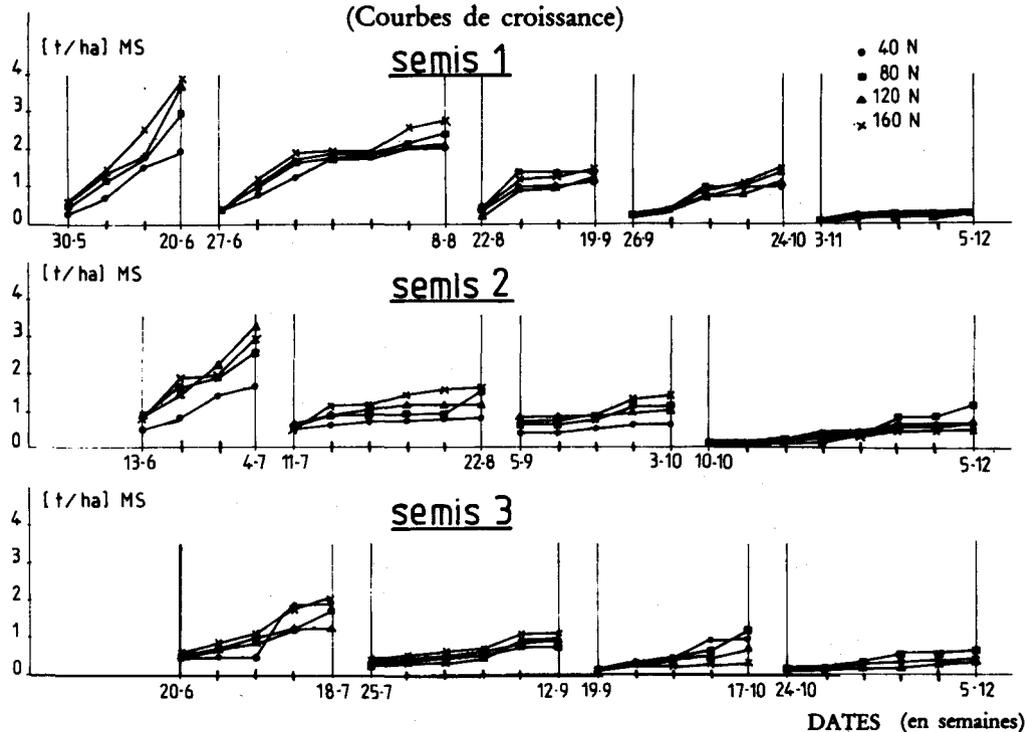
— *L'azote insoluble* est obtenu par la différence : azote total - azote soluble.

RÉSULTATS

1. Production de matière sèche

Les productions en matière sèche, estimées chaque semaine, sont présentées figure 1. Cette figure met en évidence l'intérêt d'un semis précoce, le niveau de production diminuant avec la tardiveté du semis (au

FIGURE 1
ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE
DU RAY-GRASS D'ITALIE, POUR CHAQUE DOSE D'AZOTE,
AU COURS DES DIFFÉRENTES POUSSÉS DE L'ANNÉE
(Courbes de croissance)



premier pâturage notamment, les récoltes de matière sèche sont respectivement de 4 - 3 et 2 t/ha pour les premier, deuxième et troisième semis).

Aux dernières pousses des premier et deuxième semis et dès la deuxième pousse du troisième semis, les fortes doses d'engrais azoté ne fournissent pas de récoltes supérieures à celle de la dose 40 N : un apport de 160 N (480 kg/ha d'ammonitrate), en couverture au semis et après chaque exploitation, entraîne une concentration saline capable de provoquer des brûlures d'organes aériens et souterrains, sans oublier une acidification importante des premiers centimètres du profil (baisse du pH d'une unité dans les 10 premiers centimètres entre la dose 40 N et la dose 160 N). Il apparaît donc que des apports azotés élevés en période estivale sèche sont inutiles, ils ont même des effets négatifs sur le niveau de production à l'automne, surtout pour les semis tardifs ; nous verrons plus loin d'autres conséquences néfastes pour l'éleveur : l'effet sur la teneur en azote nitrique des fourrages.

2. Évolution des teneurs en différentes formes d'azote

Les figures 2, 3 et 4 donnent, pour chaque date de semis et pour les quatre doses d'azote, l'évolution au cours de l'année des teneurs en azote nitrique, azote organique soluble, azote insoluble et du rapport azote organique soluble/azote total. La figure 5 représente, pour le semis 1, la distribution des trois formes d'azote pour les premiers et derniers prélèvements de chaque pousse, selon les doses d'engrais azoté.

— Azote nitrique

En ce qui concerne le semis 1, les teneurs en azote nitrique restent faibles pour les deux premières pousses avec les trois doses d'azote : 40, 80 et 120 N ; avec 160 N elles atteignent des valeurs notables pour les premiers prélèvements, dépassant le seuil de 0,5 % le 27 juin. L'augmentation des teneurs, déjà sensible lors de la troisième pousse, devient très importante pour la quatrième : le 26 septembre on note des valeurs supérieures à 0,5 %, même pour 40 N. Les deux premiers prélèvements de la cinquième pousse sont toujours très riches en nitrates et il faut attendre le 21 novembre pour que les teneurs soient inférieures à 0,5 % quelle que soit la fertilisation azotée.

FIGURE 2
ÉVOLUTION AU COURS DE L'ANNÉE
ET POUR CHAQUE DOSE D'AZOTE
DES TENEURS EN N NITRIQUE, N SOLUBLE ORGANIQUE,
N INSOLUBLE ET DU RAPPORT N SOLUBLE
ORGANIQUE/N TOTAL DU RAY-GRASS D'ITALIE - SEMIS 1.

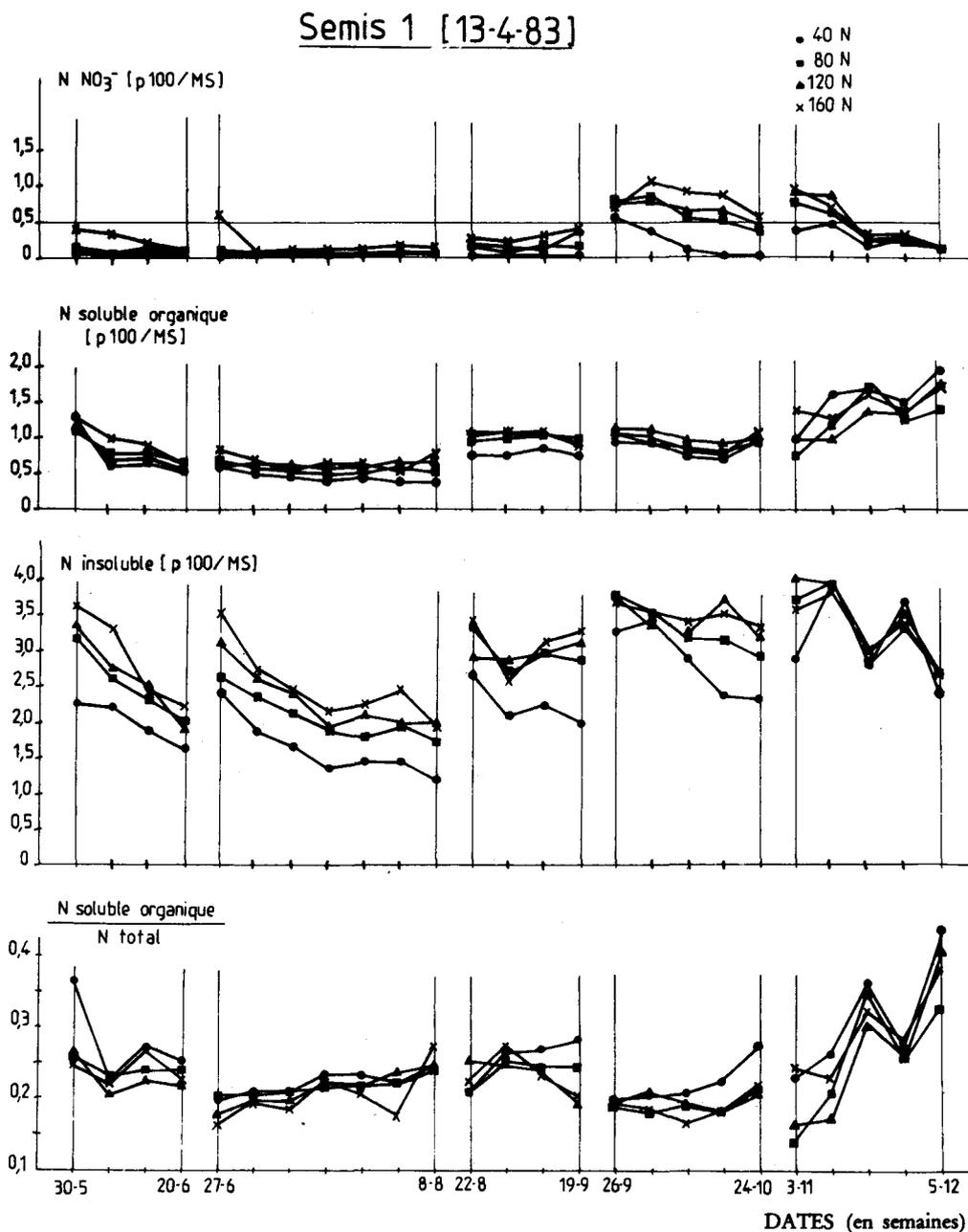


FIGURE 3
ÉVOLUTION AU COURS DE L'ANNÉE
ET POUR CHAQUE DOSE D'AZOTE
DES TENEURS EN N NITRIQUE, N SOLUBLE ORGANIQUE,
N INSOLUBLE ET DU RAPPORT N SOLUBLE
ORGANIQUE/N TOTAL DU RAY-GRASS D'ITALIE - SEMIS 2.

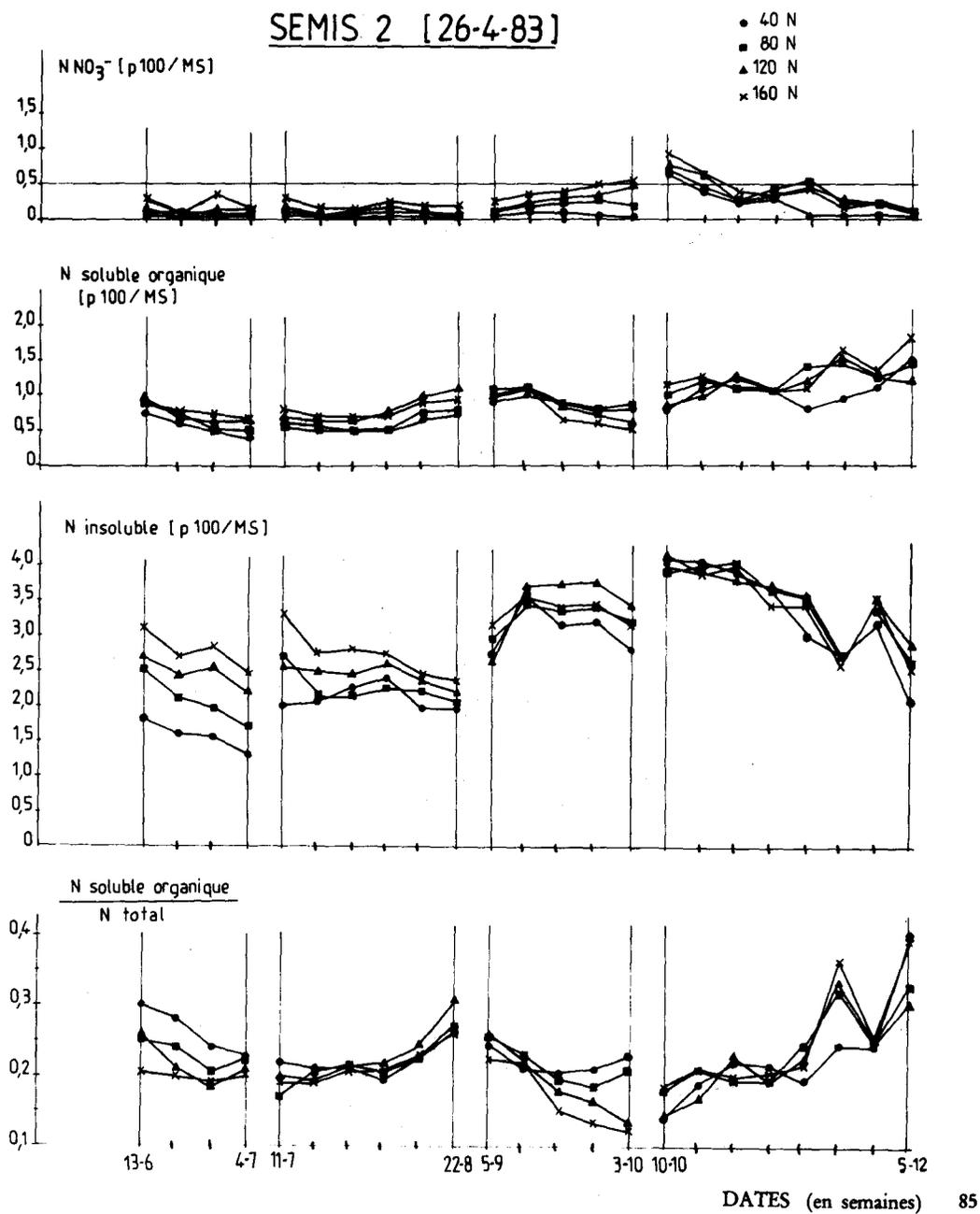


FIGURE 4
ÉVOLUTION AU COURS DE L'ANNÉE
ET POUR CHAQUE DOSE D'AZOTE
DES TENEURS EN N NITRIQUE, N SOLUBLE ORGANIQUE,
N INSOLUBLE ET DU RAPPORT N SOLUBLE
ORGANIQUE/N TOTAL DU RAY-GRASS D'ITALIE - SEMIS 3.

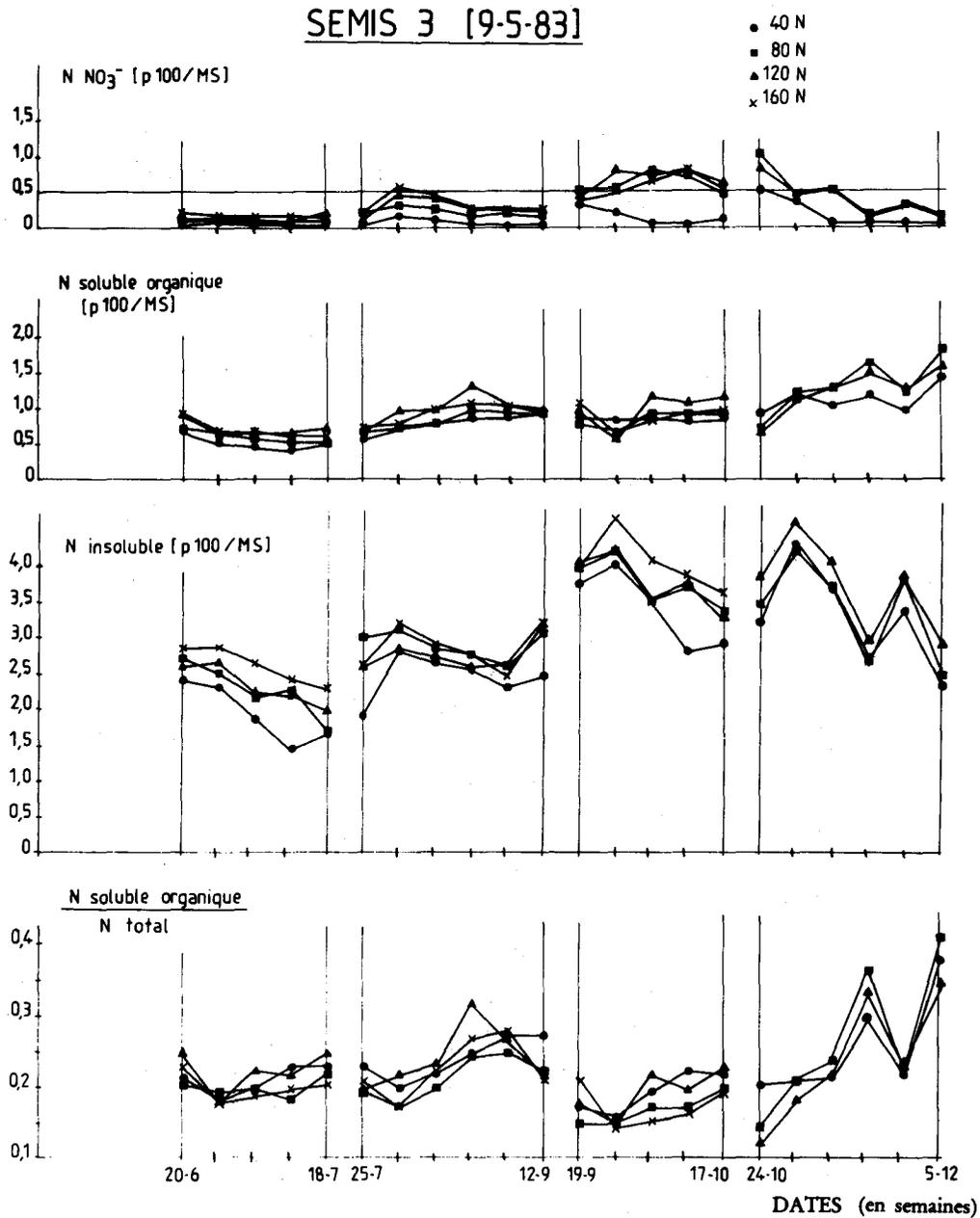
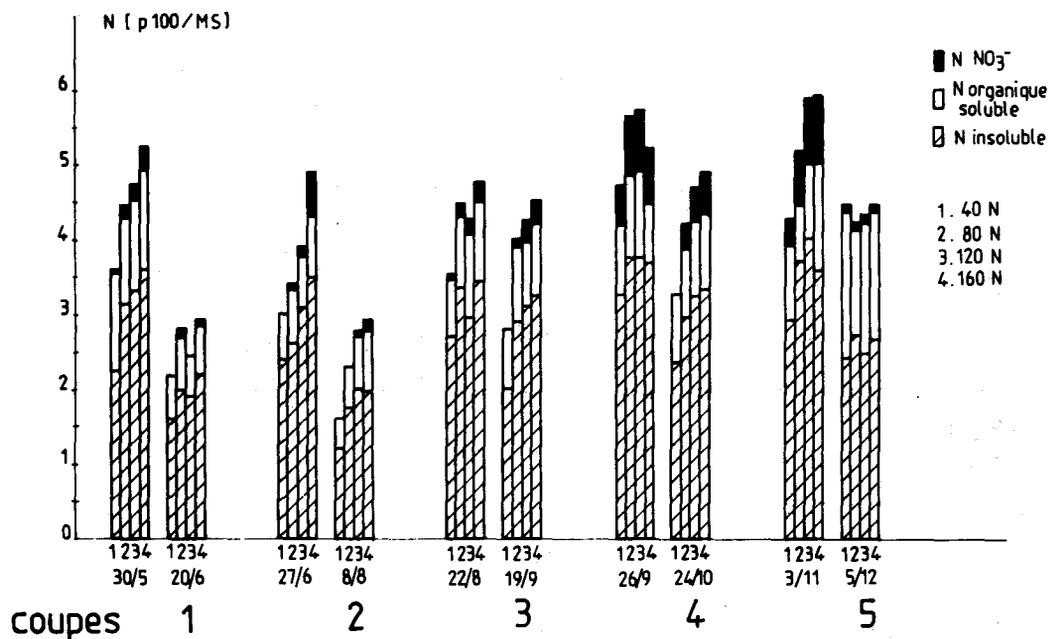


FIGURE 5
DISTRIBUTION DES TROIS FORMES D'AZOTE : N NITRIQUE,
N ORGANIQUE SOLUBLE, N INSOLUBLE,
POUR LES PREMIERS ET DERNIERS PRÉLÈVEMENTS
DE CHAQUE POUSSE
EN FONCTION DE LA DOSE D'AZOTE - SEMIS 1.



Pour les semis 2 et 3, on peut faire des observations semblables avec cependant des teneurs plus élevées dès la deuxième pousse.

Pour un semis donné, on peut constater que la liaison entre la teneur en azote nitrique, N (NO₃), et la teneur en azote total, N (t), est fonction de la pousse, ce qui traduit un effet saisonnier.

*Teneurs en azote
 du ray-grass d'Italie*

Pour le semis 1, par exemple, on obtient :

1 ^{re} pousse : N (NO ₃) = 0,102 N (t) - 0,237	r = 0,84	***
2 ^e pousse : N (NO ₃) = 0,125 N (t) - 0,279	r = 0,76	***
3 ^e pousse : N (NO ₃) = 0,168 N (t) - 0,493	r = 0,90	***
4 ^e pousse : N (NO ₃) = 0,366 N (t) - 1,178	r = 0,94	***
5 ^e pousse : N (NO ₃) = 0,379 N (t) - 1,533	r = 0,82	***

La relation entre ces deux paramètres est également liée au niveau de fertilisation azotée ; pour le semis 1, on obtient :

40 N : N (NO ₃) = 0,109 N (t) - 0,257	r = 0,80	***
80 N : N (NO ₃) = 0,205 N (t) - 0,554	r = 0,89	***
120 N : N (NO ₃) = 0,239 N (t) - 0,694	r = 0,86	***
160 N : N (NO ₃) = 0,249 N (t) - 0,712	r = 0,82	***

On peut remarquer que les pentes des droites sont sensiblement différentes de celles données par SALETTE et al. (1984) mais il est difficile de comparer les deux essais car les plantes ne sont pas au même stade physiologique.

— Azote organique soluble

Les teneurs en azote organique soluble diminuent avec la croissance du ray-grass pour la première pousse, elles sont assez constantes ensuite, puis s'accroissent au cours de la dernière pousse.

En valeur absolue, le taux d'azote organique soluble est voisin ou inférieur à 1 % de N pour les premières pousses, il atteint 1,5 % de N en novembre.

On observe généralement un accroissement des teneurs avec la fertilisation azotée bien que la forte dose ne provoque pas systématiquement une teneur supérieure à celle des autres doses.

— *Azote insoluble*

Cette forme d'azote présente les taux les plus élevés au début de la dernière pousse : entre 1,5 et 2,5 % en juin et juillet, jusqu'à 4 % ultérieurement. Pour le troisième semis, les teneurs dépassent 4 % en novembre, époque où la croissance est très ralentie. Il est bien connu, chez les diverses graminées fourragères, que les pâturages les plus riches en matières azotées sont les derniers de l'année (SIMON J.C. et al., 1983).

La forte dose d'engrais azoté provoque généralement le plus fort taux d'azote insoluble au cours des premières pousses puis, au cours de la croissance, on observe une nette tendance à la dilution. On remarque (figure 5) que la teneur d'azote insoluble augmente avec la dose d'azote jusqu'aux doses 2 ou 3.

— *Rapport « azote organique soluble/azote total »*

Ce rapport, élément important pour les zootechniciens, est le plus souvent compris entre 0,15 et 0,25 mais il atteint ou dépasse 0,35 en fin d'année les 21 novembre et 5 décembre.

Il est généralement constant ou en faible augmentation au cours d'une même pousse mais il s'accroît de façon très nette en fin d'année. Nos valeurs sont généralement plus faibles que celles observées par SALETTE et al., en période hivernale et printanière ; sans doute en raison d'une variation saisonnière importante, ce rapport étant plus élevé en périodes froides. Pour des dates voisines (mai), les valeurs observées sont du même ordre de grandeur (0,30 environ).

Dans notre expérience, la fertilisation azotée n'augmente pas le rapport, cependant en 1979 nous avons obtenu un accroissement significatif entre le témoin 0 N et la première dose d'azote 60 N, les différences entre 60, 120 et 180 N n'étant pas significatives. Pour SALETTE et al., aussi, « le rapport « N soluble/N total » ne dépend pas significativement de la dose d'engrais azoté ».

DISCUSSION

1. Variations saisonnières des différentes formes d'azote

Les figures 2, 3 et 4 mettent en évidence :

— pour les nitrates, un pic à l'automne ; il s'explique par une absorption importante par la plante, dès les premières pluies, des nitrates accumulés dans le sol en période estivale sèche ; la transformation des nitrates en protéines dans la plante est ralentie en raison de la diminution de la température et du rayonnement (MEISSONNIER E., MATHIEU J. et MAUPETIT P.) ;

— pour le rapport « azote soluble organique/azote total », un palier de la fin du printemps à la mi-automne et une augmentation en fin d'année qui peut s'expliquer par une diminution de la protéosynthèse en relation avec les facteurs climatiques, comme précédemment.

2. Effet d'un accident climatique

Pour les trois dates de semis, l'examen des graphiques fait apparaître d'importantes variations de l'azote insoluble et du rapport « azote soluble/azote total », lors de la dernière pousse. On note en effet, les 21 novembre et 5 décembre :

- une chute des teneurs en azote insoluble,
- une augmentation brutale du rapport N soluble/N total,
- une légère augmentation de l'azote soluble.

Ces variations semblent en relation avec de brusques modifications climatiques : alternances de périodes froides, avec gelées, et de périodes douces comme le montre le tableau II.

Les prélèvements des 21 novembre et 5 décembre ont lieu au cours de périodes de froid (avec gelées marquées, températures voisines de celles rencontrées habituellement en janvier à Quimper), entrecoupées par six jours anormalement doux pour la saison (températures proches des normales de mi-mai). Les variations observées sur les teneurs en azote soluble et surtout en azote insoluble de la plante semblent donc en relation avec les

TABLEAU II
TEMPÉRATURES MOYENNES ET MINIMALES
DE LA DERNIÈRE POUSSE
 (Relevées sous abri au poste météorologique)

période	du 15/11 au 24/11	du 25/11 au 30/11	du 1/12 au 5/12
température moyenne	5,3	12,6	4,1
moyenne des minima	0,3	11,6	- 2,0
Nombre de jours de gelée	< 0° C	7	0
	< - 2° C	3	0
	< - 4° C	0	0

gelées, ce qui confirme une observation faite par SALETTE qui signale des écarts importants de teneurs, au printemps, « probablement » liés aux gelées.

L'explication que nous proposons est la suivante : les températures au niveau du couvert végétal, qui sont encore inférieures d'environ 2 °C à celles relevées sous abri (tableau II), provoquent :

- un arrêt de l'absorption d'azote (teneur en azote nitrique stable),
- un arrêt de la protéosynthèse (croissance très faible ou nulle),
- des protéolyses entraînant un léger accroissement de l'azote soluble,
- un éclatement des cellules, sur des plantes non endurcies, suivi par un lessivage des sucs cellulaires lors des dégels successifs, provoquant une chute du taux d'azote insoluble.

3. Conséquences pratiques

Comme nous l'avons signalé plus haut, les forts apports d'azote en période estivale sont à éviter : non seulement les effets sur le niveau de production à l'automne peuvent être négatifs mais surtout les fourrages

risquent de devenir toxiques pour les animaux en raison de leur teneur trop élevée en nitrates (accidents effectivement observés à l'automne 1983, dans le Finistère, chez des éleveurs ayant pratiqué une trop forte fumure azotée). Rappelons que les normes fixées par des auteurs hollandais sont :

- teneur en N nitrique inférieure à 0,25 ou 0,35 % en cas de distribution à volonté ;
- teneur comprise entre 0,35 et 0,7 % pour une distribution rationnée en trois repas par jour au moins ;
- teneur supérieure à 0,7 % : suppression de la ration.

La variation saisonnière d'azote organique soluble, en particulier l'augmentation de fin d'année, doit être prise en compte par l'éleveur pour ajuster le niveau énergétique des rations distribuées afin que le ruminant utilise au mieux cette forme d'azote.

CONCLUSION

La quantité de matière sèche fournie par une culture de ray-grass d'Italie de printemps non alternatif, ne produisant que des feuilles, est d'autant plus importante que le semis est plus précoce, grâce à une coupe supplémentaire et à un niveau de productivité supérieur. L'effet positif de la fertilisation azotée se manifeste surtout pour les premières pousses.

La teneur en azote nitrique reste faible au printemps et en été, elle n'atteint des niveaux élevés, supérieurs à 0,5 % qu'à l'automne, en liaison avec la recrudescence des précipitations et la baisse de l'activité photosynthétique. Cette teneur dépend beaucoup de la fertilisation azotée et décroît avec l'âge de la plante.

Les teneurs en azote organique soluble et en azote insoluble augmentent généralement avec la fertilisation azotée mais la forte dose d'azote ne provoque pas systématiquement une teneur supérieure à celle des autres doses. Ces teneurs évoluent de façon semblable au cours de l'année, les valeurs les plus élevées étant observées en fin d'été et à l'automne.

Le rapport « N organique soluble/N total » est généralement compris entre 0,15 et 0,25. Il ne dépend pas de la dose d'engrais azoté. Un changement climatique brutal peut l'affecter en fin d'année comme nous le constatons dans nos essais, le froid provoquant une nette hausse du rapport (valeurs supérieures à 0,40, le 5 décembre).

E. MORÉ et J.C. SIMON,
I.N.R.A. Agronomie, Quimper (Finistère).

LISTE DE MOTS-CLÉS

Accident climatique, azote insoluble, azote nitrique, azote organique soluble, azote total, composition chimique de la plante, fertilisation azotée, fourrage, gramineae, *Lolium multiflorum*, ray-grass d'Italie, variations saisonnières.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DEMARQUILLY C., ANDRIEU J. et SAUVANT D. (1978) : « Composition et valeur nutritive des aliments », *Alimentation des Ruminants*, I.N.R.A. Publ., 469-518.

GUIRAUD G. et FARDEAU J.C. (1977) : « Dosage par la méthode Kjeldahl des nitrates contenus dans les sols et les végétaux », *Ann. Agron.*, 28, 3, 329-333.

LILA M. (1977) : « Influence des modalités de séchage sur la mesure de la teneur des fourrages en éléments azotés et glucidiques, conséquences lors des récoltes d'essais en champs », *Ann. Amélior. Plantes*, 27, 4, 465-475.

MEISSONIER E., MATHIEU J. et MAUPETTT P. (1977) : « Les nitrates dans l'alimentation des ruminants », *Perspectives agricoles*, 10, 62-74.

MORÉ E., COPPENET M., LE CORRE L. et SCOUARNEC P. (1982) : « Sur la teneur en azote nitrique du ray-grass d'Italie au stade du pâturage », *Fourrages*, 89, 49-61.

- SALETTE J., LEMAIRE G., ROBICHET J. et HUGUET L. (1984) : « Teneurs en azote soluble du ray-grass d'Italie semé en automne : évolution au cours de la croissance de printemps », *Fourrages*, 97, 3-16.
- SIMON J.C., LE CORRE L. et COPPENET M. (1983) : « Essai comparatif de dix graminées fourragères dont six cultivars de bromes dans le Finistère - Production, valeur alimentaire, composition minérale », *Fourrages*, 93, 85-108.
- VIELEMEYER H. et SEYFARTH P. (1965) : « Contribution to nitrate determination in plants, and some preliminary results », *Albrecht. Thaer. Arch.*, 9, 813-822.