

FERTILISATION ET QUALITÉ DU FOURRAGE (1)

D'UN POINT DE VUE NUTRITIONNEL, LA VALEUR ALIMENTAIRE D'UN FOURRAGE EST CARACTÉRISÉE PAR SA VALEUR NUTRITIVE (VALEUR ÉNERGÉTIQUE QUI DÉPEND DE LA digestibilité de la matière organique, valeur azotée, teneur en minéraux, en vitamines, etc.) et par son ingestibilité, c'est-à-dire par la quantité de matière sèche ingérée par le ruminant à qui le fourrage est offert à volonté. Ces deux paramètres dépendent d'abord de la composition morphologique et de la composition chimique de la plante.

Nous ne traiterons pas ici de l'influence de la fertilisation sur la teneur en minéraux. Le lecteur se reportera à l'excellente revue bibliographique effectuée sur cette question par S. PERIGAUD (*Fourrages* n° 63, 1975). Nous nous bornerons à étudier l'influence sur la valeur énergétique et azotée du fourrage, sur son ingestibilité et, par là, sur les performances animales, en nous limitant au cas des prairies pures. On sait en effet que dans le cas des prairies permanentes à flore complexe, la fertilisation peut modifier la flore et notamment la proportion respective des graminées, légumineuses et plantes diverses et, par là, modifier la qualité du mélange (VOIGTLANDER, 1965). Signalons qu'il existe d'excellentes revues bibliographiques des résultats obtenus à l'étranger sur l'influence de la fertilisation sur la qualité des fourrages (pour l'azote : BLAXTER, 1964 ; RAYMOND et SPEDDING, 1965 ; HOLMES, 1968 ; WHITEHEAD, 1970 ; NOLLER et RHYKERD, 1974 ; et pour P et K, REID et JUNG, 1974).

(1) Exposé présenté lors des Journées ADEPRINA des 19-20-21 octobre, organisées par l'I.N.A. (Paris-Grignon), sur la fertilisation. L'ensemble des exposés fera l'objet d'une publication ultérieure.

EFFET SUR LA COMPOSITION MORPHOLOGIQUE ET LA COMPOSITION CHIMIQUE

Fertilisation azotée.

La fertilisation azotée avance peu ou pas la date de réalisation des stades début épiaison ou floraison et il est donc normal qu'elle modifie très peu la composition morphologique de la plante, notamment sa teneur en feuilles (MINSON et al., 1960; DEMARQUILLY, 1970; HUGUET et GILLET, 1973). Elle a cependant parfois entraîné une augmentation de la proportion de tiges au détriment de celle de feuilles au cours du premier cycle de végétation chez le dactyle (MINSON et al., 1960; HUGUET et GILLET, 1973).

De très nombreux auteurs [cf. revue de BLASER, 1964 et RAHMAN et al., 1960; KERSHAW, 1963; RHYKERD et al., 1966; REID, 1966; AKHLAMOVA, 1966; DEINUM et al., 1968; DEMARQUILLY, 1970 (cf. tableau I); BEHAEGHE et CARLIER, 1973; HUGUET et GILLET, 1973 (cf. tableau 1)] ont montré que la fertilisation azotée diminue la teneur en matière sèche (généralement de 1 à 3 points) et augmente la teneur en azote des graminées, cette dernière pouvant dans certains cas doubler (tableau II). L'augmentation de la teneur en azote est d'autant plus importante que le stade d'exploitation est précoce (figure 1) et que la réponse de la production de matière sèche à la fertilisation azotée est faible. Elle est donc beaucoup plus importante pour les fourrages exploités au stade pâture qu'au stade foin et pour les fourrages d'été ou d'automne que pour les fourrages de printemps. Cette augmentation s'accompagne le plus souvent (cf. revue de LYTTLETON, 1972) mais pas toujours, du moins pour certaines graminées ou dans certaines conditions de milieu (RHYKERD et al., 1966; BEHAEGUE et CARLIER, 1973), d'une augmentation de la proportion d'azote soluble (azote non protéique) et surtout de la teneur en azote nitrique des plantes. C'est ainsi que dans les essais de RAHMAN et al., 1960, l'augmentation de la teneur en azote est expliquée, de un tiers à la presque totalité, par celle de l'azote non protéique. De même, dans les essais de REID (1966), l'augmentation de la teneur en azote observée au-dessus d'une fertilisation de 450 kg d'azote à l'hectare (en cinq épandages d'égale importance par an) sous forme de nitrate de chaux, est expliquée presque entièrement par celle de l'azote nitrique (tableau II). Aussi la teneur en nitrate des fourrages peut-elle, dans ces conditions, dépasser le seuil de toxicité fixé par GRIFFITH (1960) à 0,22 %

N-NO₃ dans la matière sèche, la dose létale 50 % se situant entre 0,6 et 0,8 % de N-NO₃ dans la matière sèche selon WRIGHT et DAVIDSON (1964). Ce seuil de toxicité est deux fois plus élevé environ que la teneur en nitrate optimale dans la plante (0,5 % NO₃, d'après BEHAEGHE et CARLIER, 1973, 0,62 % NO₃ d'après VAN BURG, 1966) pour l'obtention d'une production de matière sèche maximale à l'hectare quand l'azote est apporté sous forme de nitrate. Il correspond donc à une fertilisation azotée qui dépasse l'optimum économique. En outre, l'accumulation de nitrate dans la plante peut être considérablement réduite par l'utilisation d'engrais apportant l'azote sous forme ammoniacale (VAN BURG, 1966 ; AKHLAMOVA, 1966). Une déficience en S, Mn, Mo, Fe, Cu peut aussi accentuer l'accumulation des nitrates dans la plante (WHITEHEAD, 1970).

L'augmentation de la teneur en azote consécutive à la fertilisation azotée est souvent associée à une diminution de la teneur en glucides solubles (cf. revue de SMITH, 1972 ; WAITE, 1958 ; JONES et al., 1961 ; ALBERDA, 1960 ; REID, 1966 ; AKHLAMOVA, 1966 ; HUGUET et GILLET, 1973) (cf. tableaux I et II) qui est parfois divisée par deux. Cette diminution importante résulte du fait que l'élaboration des glucides solubles, limitée par la surface foliaire et la photosynthèse, n'est pas accrue par la fertilisation azotée, alors que leur utilisation, pour la synthèse de matière sèche/hectare entraînée par la fertilisation, l'est.

En revanche, la fertilisation azotée ne diminue pas la teneur en glucides membranaires (cf. revue de BLASER, 1964). La teneur en cellulose brute est même souvent légèrement augmentée (cf. tableau I), l'augmentation étant parfois significative (BEHAEGUE et CARLIER, 1973). Cependant, d'autres auteurs (MARKLEY et al., 1959 ; AKHLAMOVA, 1966) ont parfois observé la tendance inverse.

Fertilisation phosphatée.

La fertilisation phosphatée modifie essentiellement la teneur en P du fourrage. L'augmentation de la teneur en P est surtout importante dans les sols pauvres en phosphore et elle est plus nette chez les légumineuses que chez les graminées. A partir d'une certaine teneur dans la plante, la fertilisation phosphatée a cependant peu d'action sur la teneur en P du fourrage.

Le phosphore joue un rôle important dans la photosynthèse à cause de son rôle dans les transferts d'énergie. Il y a cependant très peu de données

TABLEAU 1

INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTÉE
SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE, LA DIGESTIBILITÉ
ET L'INGESTIBILITÉ DES FOURRAGES VERTS CHEZ LE MOUTON
(d'après DEMARQUILLY, 1970 ; HUGUET et GILLET, 1973)

Fourrages	Nombre d'échantillons	N par cycle (kg/ha)	Teneur en matière sèche	Teneur en % de la matière sèche			Digestibilité		Matière sèche ingérée (g/kg P ^{0,75})
				Matières azotées	Cellulose brute	Glucides solubles	Matière organique	Matières azotées	
Ray-grass anglais Réveille - 1967 :									
1 ^{er} cycle	7	40	17,9 ≠ - 2,1**	10,4 ≠ + 2,1**	26,8 ≠ + 1,7		72,3 ≠ - 0,9	53,1 ≠ + 8,6**	73,6 ≠ + 0,7
	7	80	15,8	12,5	28,5		71,4	61,7	74,3
2 ^e cycle	7	40	20,5 ≠ - 0,5	9,1 ≠ + 0,6	26,7 ≠ + 0,2		69,4 ≠ - 0,2	54,2 ≠ + 4,0	73,2 ≠ + 5,2**
	7	80	20,0	10,5	26,9		69,2	58,2	78,4
3 ^e cycle	6	40	14,0 ≠ + 0,8	16,4 ≠ - 1,1	24,4 ≠ + 0,5		75,1 ≠ - 0,4	68,2 ≠ - 0,4	65,6 ≠ - 1,9
	6	80	14,8	15,3	24,9		74,7	67,2	63,7
Ray-grass anglais Melle Pâture - 1967 :									
2 ^e cycle	4	50	21,5 ≠ - 3,0*	13,3 ≠ + 1,7	23,7 ≠ + 0,4	13,0 ≠ - 1,3	76,2 ≠ + 0,4	65,6 ≠ + 2,5	74,0 ≠ + 3,5
		100	18,5	15,0	24,1	11,7	76,6	68,1	77,5
Prairie permanente - 1968 :									
2 ^e cycle	4	40	18,5 ≠ - 3,3*	13,2 ≠ + 4,3*	26,8 ≠ + 0,2		69,2 ≠ + 2,8*	64,4 ≠ + 8,7*	71,2 ≠ - 6,4
	4	120	15,2	17,5	27,0		72,0	73,1	64,8
3 ^e cycle	4	40	13,6 ≠ - 1,6*	18,3 ≠ + 2,0**	20,5 ≠ + 3,2***		75,3 ≠ + 0,6	73,9 ≠ + 1,2	63,6 ≠ - 9,7**
	4	120	12,0	20,3	23,7		75,9	75,1	53,9

Ray-grass d'Italie Tiara 1971 :									
1 ^{er} cycle	10	30	21,7 ≠ - 3,6	7,6 ≠ + 5,5	26,3 ≠ + 1,6	20,6 ≠ - 9,7	66,9 ≠ + 1,5	59,1 ≠ + 8,2	58,0 ≠ + 5,2
	10	100	18,1	13,1	27,9	10,9	68,4	67,3	63,2
2 ^o cycle	5	30	24,9 ≠ - 2,6	8,6 ≠ + 2,9	28,4 ≠ + 1,6	14,5 ≠ - 4,3	63,7 ≠ + 2,6	51,5 ≠ + 11,5	61,9 ≠ - 6,1
	5	100	22,3	11,5	30,0	10,2	61,1	63,0	55,8
Ray-grass d'Italie Tiara 1972 :									
1 ^{er} cycle	6	40	19,4 ≠ - 2,1	8,3 ≠ + 2,8	22,8 ≠ + 2,0	25,3 ≠ - 7,5	70,1 ≠ + 2,1	49,1 ≠ + 15,1	60,2 ≠ + 5,9
	6	120	17,3	11,1	24,8	17,8	72,2	64,2	67,1
2 ^o cycle	3	40	24,5 ≠ - 1,6	7,8 ≠ + 2,3	23,6 ≠ + 3,5	17,7 ≠ - 4,6	63,7 ≠ - 2,6	51,5 ≠ + 11,5	58,1 ≠ + 4,6
	3	120	22,9	10,1	27,1	13,1	61,1	63,0	62,7
Dactyle Daprimé - 1971 :									
2 ^o cycle	4	40	22,0 ≠ - 2,2	12,4 ≠ + 3,7	30,6 ≠ - 0,9		64,2 ≠ + 1,7	67,2 ≠ + 3,1	56,2 ≠ - 1,2
	4	80	19,8	16,1	29,6		65,9	70,3	55,0
Dactyle Daprimé - 1972 :									
1 ^{er} cycle	4	40	22,6 ≠ - 3,9	10,1 ≠ + 2,1	26,7 ≠ + 2,6	13,6 ≠ - 5,5	69,9 ≠ - 3,0	61,5 ≠ + 3,6	69,6 ≠ - 14,9
	4	120	18,7	12,2	29,3	8,1	66,9	65,1	54,7
2 ^o cycle	2	40	30,7 ≠ - 0,4	8,5 ≠ + 1,4	26,9 ≠ + 2,3	13,4 ≠ - 3,8	66,2 ≠ - 1,5	54,0 ≠ + 1,3	68,2 ≠ - 4,6
	2	120	30,3	9,9	29,2	9,6	64,7	55,3	63,6
Moyenne	66	30 à 50	20,3 ≠ - 2,1	10,8 ≠ + 2,6	25,8 ≠ + 1,3	18,1 ≠ - 6,2	69,6 ≠ 0	59,0 ≠ + 6,5	65,5 ≠ - 0,3
	66	80 à 120	18,2	13,4	27,1	11,9	69,6	65,5	65,2

TABLEAU II

INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTÉE SUR LA TENEUR EN AZOTE
(ET SES CONSTITUANTS)
ET EN GLUCIDES SOLUBLES DES FOURRAGES

I. — Essai sur ray-grass anglais-fléole : moyenne sur cinq coupes par an, l'azote (nitrate de chaux) étant épandu en cinq doses égales avant chaque coupe. La prairie a reçu en outre 112 kg de K_2O /ha avant chaque coupe en même temps que l'azote et 52 kg de P_2O_5 /ha en début avril et dans le milieu de l'été.

(d'après REID, 1966)

	Fertilisation azotée (N kg/ha/an)								
	0	112	224	336	448	560	673	785	897
Teneur du fourrage en :									
N (% M.S.)	2,27	2,40	2,59	2,85	3,30	3,20	3,54	3,54	3,74
N- NO_3 (% M.S.)	0,011	0,019	0,035	0,084	0,254	0,313	0,408	0,492	0,531
N- NO_3 (% N total)	0,5	0,8	1,4	3,0	7,7	9,8	11,5	13,9	14,2
Glucides solubles (% M.S.)	14,6	14,9	13,0	12,2	10,6	10,3	8,8	8,7	8,2

II. — Essai sur un deuxième cycle de ray-grass d'Italie. Composition du fourrage vingt jours après la fertilisation effectuée sous forme de sulfate d'ammoniaque ou de nitrate de soude.

(d'après NOWAKOWSKI, 1962)

N (kg/ha)	Sulfate d' NH_4		Nitrate de soude		
	0	63	125	63	125
Teneur du fourrage en :					
N (% M.S.)	2,68	4,04	5,15	3,62	5,08
N soluble (% M.S.)	0,24	0,57	1,10	0,55	1,15
N soluble (% N total)	9,0	14,0	21,4	15,2	22,7
Glucides solubles (% N)	19,0	12,6	9,9	15,6	10,3

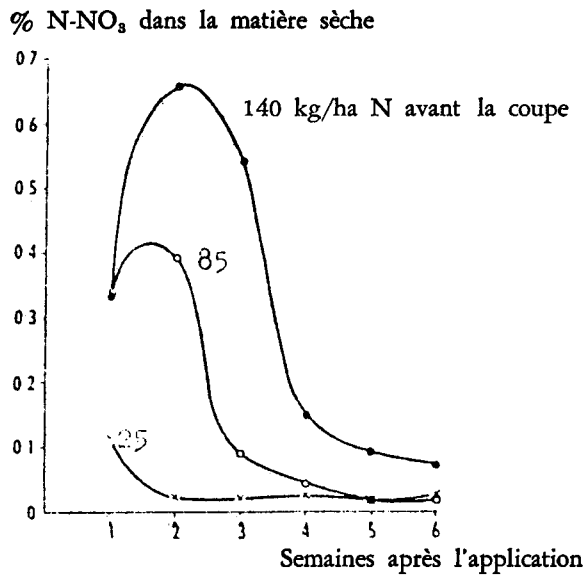
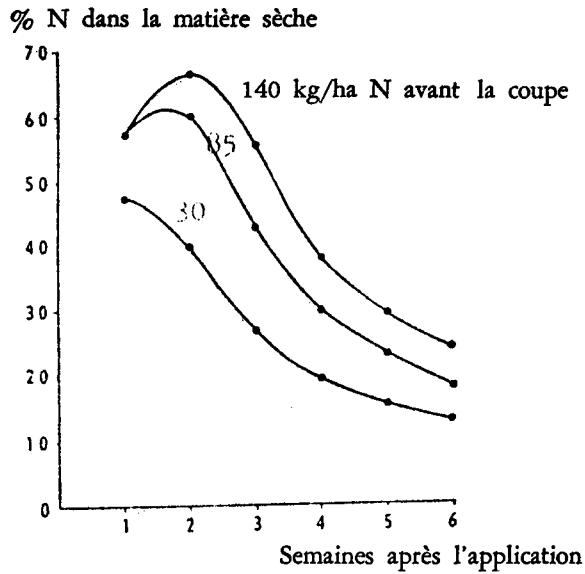
sur la teneur en P des fourrages ou autres plantes à laquelle la photosynthèse est maximale. En revanche, plusieurs études ont montré qu'une déficience en P réduirait la respiration (cf. revue de BROWN et ASHLEY, 1974).

En moyenne, la fertilisation phosphatée a cependant peu d'effet sur la composition de la matière organique des fourrages bien que certaines études aient montré qu'une déficience en P pouvait réduire la teneur en protéines de certaines plantes (tomates, épinards, orge). Dans les prairies à flore mixte, la fertilisation phosphatée a parfois augmenté la teneur en N et Ca du fourrage parce qu'elle a augmenté le pourcentage des légumineuses.

Fertilisation potassique.

La fertilisation potassique modifie non seulement la composition minérale des fourrages (augmentation de la teneur en K et diminution des teneurs

FIGURE 1
INFLUENCE DE TROIS DOSES D'AZOTE
SUR LA TENEUR EN AZOTE FÉCAL ET EN AZOTE NITRIQUE
D'UN RAY-GRASS D'ITALIE
échantillonné toutes les semaines pendant les six semaines suivant la fertilisation
(d'après WILMAN, 1965)



en Na, Ca, Mg, etc.), mais elle peut modifier aussi la composition des glucides solubles et des matières azotées.

Le potassium est en effet abondant dans les cellules et organes jeunes et joue un rôle important dans le métabolisme de la plante. Une déficience en K réduit la photosynthèse et stimule la respiration nocturne (cf. revue de BROWN et ASHLEY, 1974) ; dans les conditions de culture, la photosynthèse n'a pas encore atteint son maximum quand la teneur en K des feuilles est de 2,5 %.

Il résulte de cette action du potassium sur le métabolisme de la plante qu'une déficience en K entraîne généralement une diminution des glucides les plus complexes et une accumulation des sucres les plus simples. Au niveau des glucides solubles totaux, la fertilisation potassique peut soit les diminuer, soit les augmenter. C'est ainsi que HOLT et HILST (1969, cités par BROWN et ASHLEY, 1974) trouvent plus de glucides solubles dans du paturin ayant reçu peu de K par comparaison à celui en ayant reçu beaucoup. En revanche, dans des cultures en pots de ray-grass d'Italie, NOWAKOWSKI (1971) trouve l'inverse (tableau III). D'après MacLEOD (1965), l'action de K serait différente suivant la fertilisation azotée reçue par le fourrage.

TABLEAU III

EFFET DE L'AZOTE, DU POTASSIUM ET DU SODIUM
SUR LE RENDEMENT ET LA TENEUR EN GLUCIDES SOLUBLES
D'UNE DEUXIÈME COUPE DE RAY-GRASS D'ITALIE

(d'après NOWAKOWSKI, 1971)

Fertilisants employés (en p.p.m. par poids de sol)			Rendement en matière sèche (g/pot)	Glucides solubles (en % M.S.)	Azote protéique (en % azote total)
N	K	Na			
40	0	0	3,94	25,1	
40	120	0	4,37	25,2	
40	120	70	4,23	26,2	
160	0	0	6,19	8,7	77,9
160	120	0	9,92	20,5	88,1
160	120	70	10,84	25,7	90,7

La quasi-totalité des auteurs sont d'accord sur le fait que la fertilisation potassique diminue la proportion d'azote soluble (amines, amides, acides aminés libres) et augmente la teneur en azote insoluble, c'est-à-dire en azote protéique (cf. par exemple les tableaux III et IV). En revanche, les opinions sont beaucoup plus divergentes en ce qui concerne l'action de K sur la teneur en nitrate des fourrages ; certains auteurs trouvent que la fertilisation potassique diminue la teneur en nitrate (NOWAKOWSKI, 1971 ; PUJA et al., 1974) alors que d'autres ne lui trouvent aucune action.

TABLEAU IV
INFLUENCE DE LA FERTILISATION POTASSIQUE
SUR LA PROPORTION D'AZOTE PROTÉIQUE
CHEZ UNE DEUXIÈME COUPE DE RAY-GRASS D'ITALIE
ayant reçu 125 kg/ha N sous forme d'ammonitrate
(d'après NOWAKOWSKI, 1964)

K avant la première coupe (kg/ha)	0	100	200
Rendement en matière sèche (t)	2,60	2,85	3,30
% K	0,80	0,96	1,29
% N	2,30	2,31	2,29
N protéique (% N total)	71,1	74,6	76,8
N-NO ₃ (% N total)	4,0	4,0	4,5

NOWAKOWSKI signale cependant qu'à partir d'une teneur de 1,60 % dans la matière sèche, le potassium a peu d'effet sur la proportion d'azote protéique.

Par ailleurs, l'augmentation de la fertilisation potassique modifierait la composition des acides organiques de la plante ; elle diminuerait les teneurs en acides malique et citrique et augmenterait celle en acide malonique. On ignore cependant quelle peut être la signification nutritionnelle pour l'animal d'un tel changement (REID et JUNG, 1974).

EFFET SUR LA VALEUR NUTRITIVE

a) Digestibilité de la matière organique et valeur énergétique.

Fertilisation azotée :

La fertilisation azotée ne modifie pas en moyenne la digestibilité de la matière organique des graminées, comme le montrent clairement les résultats

qualité du fourrage

de soixante-six comparaisons effectuées en France par DEMARQUILLY (1970) et HUGUET et GILLET (1973) (tableau I et figure 2). Ces résultats confirment ceux obtenus sur des fourrages verts de dactyle et de ray-grass par MINSON et al. (1960) ou de sorgho par REID et al. (1964), et sur des foins par de nombreux chercheurs américains (cf. revue de BLASER, 1964). Dans certains cas, à certains stades ou cycles et sur certains fourrages, la fertilisation peut cependant avoir une action sur la digestibilité de la matière organique mais celle-ci reste très limitée, les modifications de la digestibilité restant comprises entre + 2,8 et - 3,0 points (cf. tableau 1). De même, dans les essais américains passés en revue par DEMARQUILLY (1970), les modifications de la digestibilité de la matière sèche des foins étaient restées comprises entre - 5,2 et + 5,7 points.

Il n'est pas étonnant que la fumure azotée modifie peu la digestibilité de la matière organique des graminées malgré l'augmentation de la teneur en matières azotées qu'elle entraîne puisque celle-ci est compensée par une diminution de la teneur en glucides solubles, éléments entièrement digestibles, et est souvent accompagnée par une légère augmentation de la teneur en cellulose brute.

Dans certains cas, la fertilisation azotée peut cependant modifier la digestibilité des fourrages. Elle peut, par exemple, diminuer la digestibilité d'une prairie de graminées-trèfle blanc en réduisant le pourcentage de trèfle blanc dans le mélange. La digestibilité du trèfle blanc est en effet plus élevée et diminue beaucoup moins vite avec l'âge que celle des graminées (HARKESS, 1963). En revanche, elle peut, en augmentant leur teneur en azote, augmenter la digestibilité de la matière organique de certaines graminées tropicales, généralement pauvres en azote, et dont la teneur en azote à des stades tardifs de végétation est souvent insuffisante pour assurer une activité normale des micro-organismes du rumen (SMITH, 1962 ; CHENOST, résultats non publiés).

La fertilisation azotée ne modifiant pas la digestibilité de la matière organique, il doit en être de même pour la valeur énergétique nette. Cela a d'ailleurs été confirmé par des études en chambres respiratoires (BLAXTER et al., 1971) et directement à partir des gains de lipides et de protéines réalisés par des agneaux en croissance (THOMSON, 1964).

Fertilisation phosphatée et potassique :

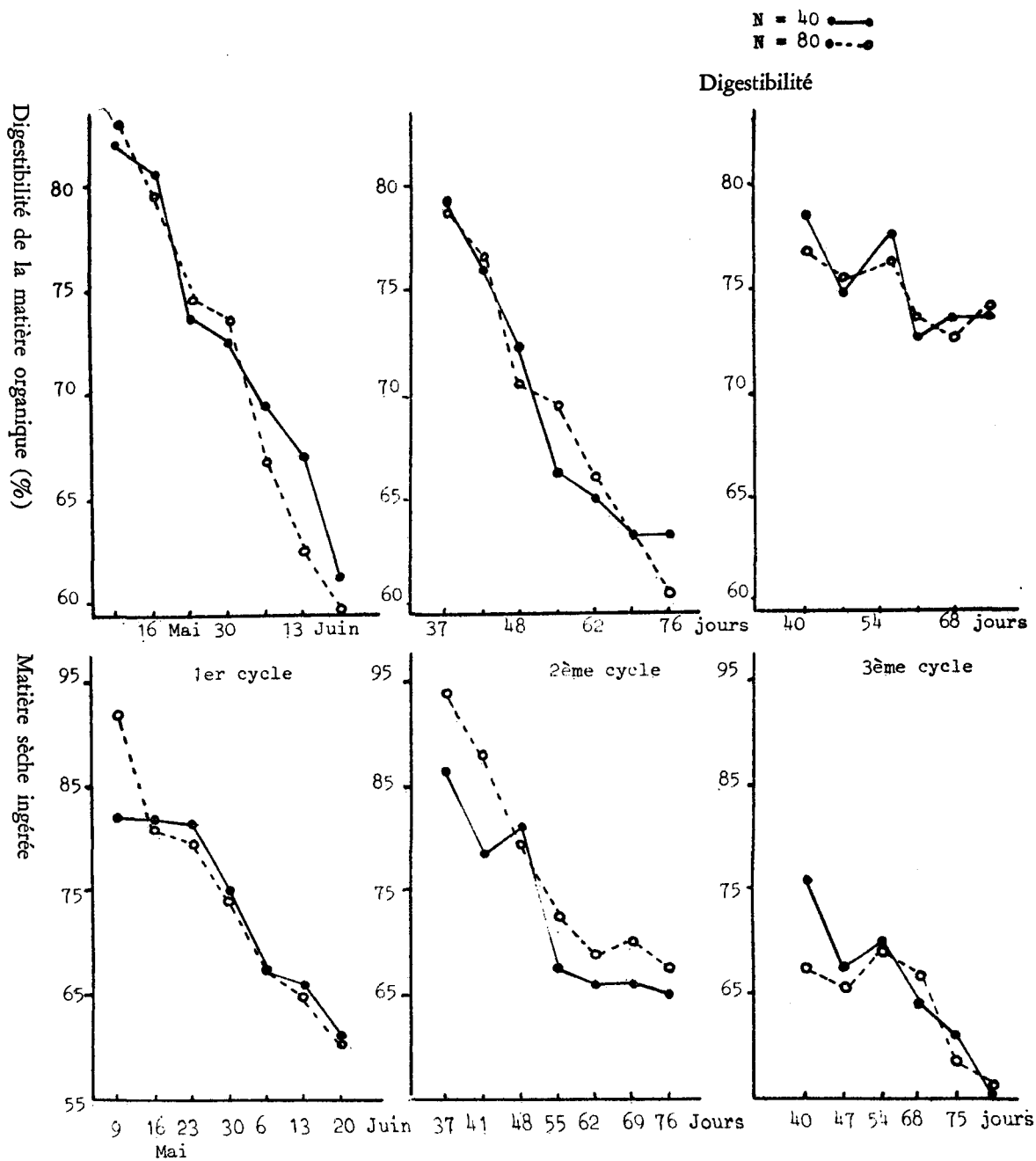
Dans les essais de WEIR et al. (1958), après avoir distribué à des moutons et à des bœufs de la luzerne cultivée sur un sol très carencé en phosphore et ayant reçu des doses croissantes d'engrais phosphatés, aucune influence de la teneur en phosphore de la luzerne n'a pu être notée sur sa digestibilité dès que la teneur en P est supérieure à 0,15 %. Dans les essais de BROWN et APGAR (1969), la digestibilité de la fléole reste de même inchangée quand sa teneur en P est modifiée de 0,20 à 0,38 % par la fertilisation phosphatée.

Il n'y a pas non plus de différences de digestibilité entre des foins de fétuque élevée ayant reçu 0, 56, 168 et 504 kg d'azote, 420 kg de K ou 220 kg de P à l'hectare (REID et JUNG, 1965). De même, MARTZ et al. (1971) n'ont trouvé aucune différence dans la digestibilité, l'ingestibilité et la production de lait 4 % chez des vaches laitières recevant des foins de dactyle ayant reçu une fertilisation en P, PK, PN et NPK. On peut donc conclure de ces essais que la fertilisation phosphatée et potassique ne modifie ni la digestibilité de la matière organique, ni la valeur énergétique des fourrages, du moins quand les fourrages sont comparés à âge égal.

FIGURE 2

ÉVOLUTION COMPARÉE
 AU COURS DES PREMIER, DEUXIÈME ET TROISIÈME CYCLES DE VÉGÉTATION
 DE LA DIGESTIBILITÉ ET DE LA QUANTITÉ INGÉRÉE
 DE DEUX RAY-GRASS ANGLAIS RÉVEILLE

ayant reçu à chaque exploitation 40 ou 80 unités d'azote à l'hectare (Le Pin, 1967)



Il est en effet important de souligner que la fertilisation, et notamment la fertilisation azotée, en augmentant la vitesse de croissance de l'herbe et sa production à l'unité de surface, permet d'exploiter les fourrages à un stade où à un âge plus précoce, c'est-à-dire en définitive d'exploiter des fourrages plus digestibles parce que plus jeunes.

b) Digestibilité des matières azotées et valeur azotée des fourrages.

Digestibilité des matières azotées et valeur azotée des fourrages :

Confirmant de très nombreux travaux antérieurs (cf. revue de BLASER, 1964), les résultats présentés au tableau I montrent que la fertilisation azotée, en augmentant la teneur en matières azotées des graminées, augmente aussi la digestibilité des matières azotées et, par là, la teneur en matières azotées digestibles des graminées. Cela est normal puisque la digestibilité des matières azotées ou la teneur en matières azotées digestibles (M.A.D. en %) des fourrages verts sont étroitement liées à leur teneur en matières azotées (M.A.T. en %) comme le montre la relation suivante obtenue par DEMARQUILLY et WEISS pour 693 échantillons de fourrages verts de graminées :

$$\text{M.A.D.} = 0,9294 \text{ M.A.T.} - 3,52 \quad r = 0,994$$

Cependant, distribués seuls, les fourrages riches en constituants non protéiques (azote soluble) ont souvent une valeur azotée réelle, jugée par la quantité d'acides aminés absorbée dans l'intestin grêle, qui est bien inférieure à leur teneur en M.A.D. Ce peut être le cas des graminées exploitées à un stade jeune après avoir reçu une forte fumure azotée qui les a enrichies en azote non protéique et a diminué simultanément leur teneur en glucides solubles. Elles peuvent, de ce fait, avoir une valeur azotée réelle inférieure à celle des graminées correspondantes moins fertilisées et, par là, moins riches en M.A.D. mais d'une composition mieux équilibrée, comme le montrent les résultats de BEEVER et THOMSON rapportés par ARMSTRONG (1973) (tableau V).

En effet, avec les fourrages riches en azote non protéique, la formation d'ammoniac dans le rumen est souvent bien supérieure à la capacité de protéosynthèse des micro-organismes du rumen, d'autant que celle-ci est alors limitée par une quantité d'éléments énergétiques (glucides solubles) insuffisante. Une partie de l'ammoniac passe dans le sang à travers la paroi du rumen et est excrétée sous forme d'urée dans l'urine. Les pertes d'azote urinaire peuvent alors être importantes. Ces résultats sont confirmés par ceux de BLAXTER et al. (1971). Ces auteurs, étudiant des fourrages ayant reçu 248, 301, 532 ou 589 kg d'azote/ha/an, observent que la rétention azotée chez le mouton en croissance n'est pas affectée par la fertilisation, la majeure partie de l'azote additionnel des fourrages hautement fertilisés étant excrétée dans l'urine. Ces résultats ont été retrouvés dans notre laboratoire par

vraisemblablement plus de même quand les animaux reçoivent en plus de la ration de fourrages des aliments qui apportent une source d'énergie rapidement disponible (céréales, pulpes sèches...). Dans ce cas, l'utilisation de l'ammoniac et par suite la valeur azotée réelle des fourrages riches en azote soluble doivent être considérablement accrues. Quoi qu'il en soit, l'augmentation de la teneur en matières azotées digestibles n'est intéressante que pour les animaux à besoins azotés élevés. Dans le cas contraire, l'excès de matières azotées peut être néfaste et peut notamment diminuer la fécondité des vaches laitières (BROCHARD, 1971).

TABLEAU V

INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTÉE
SUR LA VALEUR AZOTÉE RÉELLE DU RAY-GRASS ANGLAIS S.23
DISTRIBUÉ SANS COMPLÉMENTATION A DES MOUTONS

(d'après BEEVER et THOMSON, cités par ARMSTRONG, 1973)

	Fertilisation élevée	Fertilisation faible
Teneur en azote du fourrage (% de la matière sèche)	2,9	1,8
Digestibilité de l'azote	77,2	67,4
Azote ingéré (g/jour)	25,5	15,1
Azote entrant dans l'intestin grêle (g/jour)	21,6	22,1
Azote absorbé dans l'intestin grêle :		
— en g/jour	13,5	15,4
— en g/g d'azote ingéré	0,53	1,02

TABLEAU VI

INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTÉE
SUR LA QUANTITÉ D'AZOTE EXCRÉTÉE DANS L'URINE
ET SUR LA QUANTITÉ D'AZOTE RETENUE CHEZ DES MOUTONS

recevant un troisième cycle de dactyle ayant reçu après la fauche du deuxième cycle 33,5 ou 100 unités d'azote/hectare. Etude après six semaines de repousses

(E. GRENET. Résultats non publiés)

N (kg/ha)	Azote ingéré (g/jour)	Azote fécal		Azote urinaire		Azote retenu	
		g/jour	% N ingéré	g/jour	% N ingéré	g/jour	% N ingéré
33,5	27,6	9,3	33,6	13,6	49,1	4,7	17,2
100,0	29,7	9,1	30,5	20,4	68,8	0,2	0,6

Diminuant la proportion d'azote soluble et augmentant la proportion d'azote protéique, la fertilisation potassique devrait améliorer la valeur azotée « réelle » des fourrages mais aucune donnée expérimentale ne permet de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

EFFET SUR LA QUANTITÉ INGÉRÉE

L'influence de la fertilisation azotée sur la quantité ingérée a été beaucoup moins étudiée que celle sur la digestibilité. Comme l'ont souligné RAYMOND et SPEDDING (1965), des conclusions erronées sur cette influence ont parfois été tirées par suite : soit de la confusion entre la quantité ingérée et l'appétibilité ou la préférence marquée par les animaux entre plusieurs fourrages offerts simultanément en libre choix (cafétéria), soit de la tendance à interpréter en termes de quantité ingérée certaines données de composition chimique mais sans tester ces conclusions sur animaux. C'est ainsi que la fertilisation azotée a été supposée diminuer la quantité ingérée parce qu'elle réduisait la teneur en glucides solubles (PLICÉ, 1951), alors qu'IVINS (1951) concluait de ses essais de « cafétéria » qu'elle augmentait la quantité ingérée.

Dans les essais réalisés en France (DEMARQUILLY, 1970 ; HUGUET et GILLET, 1973, cf. tableau I et figure 2), la fertilisation azotée n'a en moyenne pas modifié la quantité ingérée par le mouton. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus à l'étranger sur moutons ou sur bovins pour des fourrages verts (HOLMES et LANG, 1963 ; REID et al., 1964), des fourrages déshydratés (BLAXTER et al., 1971) ou des foins (CAMERON, 1966 et 1967 ; REID et JUNG, 1965 ; REID et al., 1966). Dans les essais de REID et al. (1966), les foins fertilisés avec du sulfate d'ammoniac ont cependant été ingérés en plus faibles quantités que ceux ayant reçu la même dose d'azote mais sous forme de nitrate de soude, d'ammonitrate ou d'urée... En outre, quand REID et al. (1966) offrirent, en libre choix, les foins aux moutons, ceux-ci délaissèrent presque entièrement les foins ayant reçu les fumures azotées les plus élevées au profit des foins sans azote ou ayant reçu seulement une fumure phosphatée.

Les résultats rapportés au tableau I montrent cependant que la fertilisation azotée peut, dans certains cas, modifier la quantité de fourrages ingérée ; cette dernière a parfois été augmentée (au maximum de 10 %) ou diminuée (au maximum de 20 %). Ces modifications, quand elles existent, sont diffi-

cilement explicables car indépendantes de la nature des fourrages étudiés, du numéro du cycle et des modifications parallèles de la digestibilité et de la composition chimique. Dans le cas de la prairie permanente, on ignore en outre si la baisse de quantité ingérée entraînée par la fertilisation résulte ou non d'une modification de la flore de la prairie. Quoi qu'il en soit, il semble que la fertilisation azotée puisse parfois modifier la quantité ingérée, les modifications étant souvent nettement plus importantes que celles de la digestibilité et indépendantes de celles-ci.

Les résultats obtenus par WEIR et al. (1958), BROWN et APGAR (1969), MARTZ et al. (1971), REID et JUNG (1965) et MARTEN (1969) permettent de même de conclure que les fertilisations phosphatée et potassique n'ont pas d'influence sur la quantité d'herbe ingérée.

INFLUENCE SUR LA PRODUCTION ANIMALE

Ne modifiant généralement pas, ni la digestibilité, ni la quantité ingérée, la fertilisation ne doit pas changer les performances individuelles (sauf par suite d'ennuis sanitaires par excès de nitrate dans les plantes, par exemple, ou par induction de carence en oligoéléments, Cu, Zn, etc.) et dans ces conditions la production animale à l'unité de surface devrait être proportionnelle à l'augmentation de la production de matière sèche entraînée par la fertilisation. En réalité, dans la majorité des situations, le problème est beaucoup plus complexe, notamment pour la fertilisation azotée dont nous envisageons uniquement le cas puisque c'est elle qui permet l'augmentation la plus importante de la quantité de matière sèche produite à l'hectare.

Cas du pâturage.

En augmentant la quantité d'herbe par unité de surface, la fertilisation azotée peut entraîner une augmentation de la quantité ingérée, qui est parfois limitée, du moins à certaines périodes (été), par une quantité insuffisante d'herbe mise à la disposition de l'animal. Elle entraîne donc de ce fait une augmentation de la production animale tant individuelle qu'à l'hectare et cela sans modification du chargement par hectare. Ce cas mis à part et en se plaçant dans des conditions de pâturage normales, c'est-à-dire quand la quantité d'herbe mise à la disposition des animaux est toujours légèrement supérieure à celle qu'ils peuvent ingérer, la fertilisation ne modifie pas les performances individuelles et elle n'augmente la production animale à l'hectare que dans la

mesure où le chargement à l'hectare augmente parallèlement à la quantité de matière sèche produite à l'hectare. La production animale à l'hectare varie donc comme le nombre de journées de pâturage par hectare et par an, comme le montrent les résultats obtenus par BERANGER (résultats non publiés) au Pin-au-Haras, en Normandie (tableau VII).

A partir de ces résultats, on peut estimer qu'entre 0 et 300 à 400 kg d'azote par hectare et par an, chaque kilo d'azote permet en moyenne une journée de pâturage de gros bovin supplémentaire et l'obtention d'un peu plus de 1 kg de gain de poids vif supplémentaire à l'hectare. Ces chiffres sont légèrement supérieurs à ceux tirés par HOLMES (1968) de sa revue bibliographique des expérimentations anglaises (0,7 journée de pâturage et 0,7-0,8 kg de poids vif par kg d'azote pour une fertilisation de 300 kg/ha d'azote) et du même ordre que ceux correspondant à une fertilisation de

TABLEAU VII
INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTÉE
SUR LE NOMBRE DE JOURS DE PATURAGE, LE CHARGEMENT,
LE GAIN DE POIDS VIF PAR ANIMAL ET PAR HECTARE
Le Pin-au-Haras (Normandie) (BERANGER. Résultats non publiés)

Prairie	Fumure azotée (N kg/ha/an)	Chargement (nombre de bœufs/ha) (1)	Nombre de journées de pâturage à l'hectare	Gain de poids vif (kg)		Bœufs finis (%) (2)
				par animal	par hectare	
Fétuque des prés (1965-66-67)	80	2,8 (100)	470 (100)	0,993	498 (100)	95,8
	180	3,7 (132)	620 (132)	1,114	721 (148)	96,7
	280	4,3 (153)	711 (151)	1,016	754 (151)	87,0
Ray-grass anglais (1967-68-69-70)	200	5,1 (100)	915 (100)	0,908	905 (100)	84,6
	300	5,7 (112)	992 (108)	0,931	1.027 (113)	88,8
	400	6,3 (123)	1.080 (118)	0,916	1.104 (122)	90,9

(1) Le chargement a été adapté à la quantité d'herbe présente pour avoir la même pression de pâturage (même quantité offerte par animal) quelle que soit la fumure azotée.

(2) Pourcentage de bœufs ayant atteint un état d'engraissement suffisant pour être abattus après la période d'engraissement au pâturage.

200 kg/ha d'azote. Ces différences résultent peut-être du fait que les animaux engraisés au pâturage en Grande-Bretagne sont plus jeunes (20 au lieu de 30-36 mois) et plus légers au départ (350 à 380 kg au lieu de 420-470 kg) qu'en France. Ils doivent donc avoir une potentialité de croissance plus faible du moins en l'absence de complémentation énergétique de l'herbe. En outre, ingérant moins, le chargement à l'hectare doit être plus élevé pour la même pression de pâturage, ce qui augmente le pourcentage d'herbe perdue parce que souillée par les bouses ou piétinée.

Pour des fertilisations plus élevées, la réponse à l'azote devient bien inférieure d'une part parce que la plante répond plus faiblement à l'azote, d'autre part parce que l'augmentation du chargement pour maintenir la même pression de pâturage entraîne une augmentation importante des refus (bouses, piétinement). La quantité d'herbe réellement utilisable à l'hectare augmente donc peu ou pas et celle disponible par animal diminue. En conséquence, la production animale par hectare n'augmente plus et les performances individuelles diminuent comme l'ont bien montré ALDER et al. (1967) pour des fertilisations passant de 376 à 753 kg/ha de N. La fertilisation optimale des prairies pâturées par des bovins à l'engrais semble donc se situer entre 200 et 350 kg/ha/an de N suivant les conditions de milieu (disponibilité en eau pour la plante notamment) et le type d'animal employé.

Dans le cas du pâturage par des vaches laitières, les expérimentations sur l'influence de la fertilisation azotée sont peu nombreuses. D'après HOLMES (1968), la production laitière répond mieux à la fertilisation azotée des prairies que la production de viande pour des raisons qui restent à préciser. La réponse à la fertilisation resterait linéaire (1,05 journée de pâturage et 15 kg de lait/kg d'azote) jusqu'aux environs de 450 kg d'azote par hectare et par an, sans diminution des performances laitières individuelles mais peut-être au détriment du gain de poids vif des vaches. Quoi qu'il en soit, la réponse de la production laitière à la fertilisation doit dépendre essentiellement de la réponse de la plante à l'azote et, par là, de l'espèce végétale utilisée et des conditions de milieu (pluviométrie, température, longueur de la période de croissance de l'herbe, etc.).

Cas des fourrages conservés.

Dans le cas de la fenaison, le facteur essentiel de la vitesse de dessiccation est, toutes choses égales par ailleurs (lieu, date, conditions climatiques...),

la quantité d'eau à évaporer par unité de surface qui est le produit de la quantité d'herbe verte par sa teneur en humidité. La fertilisation azotée augmente ces deux composantes, ce qui accroît l'importance de la diminution de la digestibilité par suite de la respiration et surtout du risque de lessivage par la pluie ; ce risque est souvent accru parce que la fertilisation avance la date de la récolte des premières coupes vers des périodes plus pluvieuses. Le fait que la fenaison soit rendue beaucoup plus difficile par la fertilisation azotée explique que la fumure azotée reçue par les prairies de fauche françaises n'augmente que très lentement, bien plus lentement que celle reçue par les céréales ou les plantes sarclées. Quand l'intensification de la production fourragère devient une nécessité, l'agriculteur se tourne donc vers d'autres méthodes de conservation, l'ensilage notamment, bien que la fertilisation azotée pose dans ce cas aussi des problèmes.

Augmentant la teneur en matières azotées et diminuant les teneurs en glucides solubles et en matière sèche des fourrages, la fertilisation azotée diminue l'aptitude des plantes à l'ensilage et rend nécessaire l'addition de conservateurs efficaces. Grâce à l'addition d'un conservateur, la qualité de conservation est bonne mais subsiste le problème des pertes sous forme de jus qui peuvent représenter 10 à 15 % de la matière sèche ensilée pour des fourrages récoltés à 15 % de matière sèche, ce qui est souvent le cas quand ils ont reçu une fertilisation azotée importante (100 à 150 kg/ha de N avant le premier cycle) et lorsqu'ils sont exploités à un stade précoce (un peu avant ou dès l'apparition des premiers épis). Un préfanage amenant leur teneur en matière sèche au-dessus de 22-24 % est alors souhaitable quand l'organisation du chantier de récolte et les conditions climatiques le permettent. Le préfanage implique cependant encore le recours à un conservateur, à moins qu'il n'ait amené la teneur en matière sèche du fourrage vers 33-35 %, teneur minimale pour inhiber complètement la fermentation butyrique. A défaut de préfanage, il est aussi possible d'ajouter, lors de la préparation de l'ensilage, des produits pompant les jus tels que la pulpe déshydratée (DULPHY, 1976).

Dans le cas de la déshydratation, les pertes de matière sèche dues à la récolte et au séchage sont très faibles et indépendantes de la production de matière sèche à l'unité de surface. La déshydratation augmente par ailleurs la valeur azotée réelle des fourrages en diminuant considérablement la solubilité des protéines dans le rumen (BEEVER et THOMSON, 1973). Dans ces conditions, la fertilisation azotée des graminées est très intéressante.

78 Certes, elle entraîne une augmentation du coût de séchage par suite de

l'augmentation de la teneur en eau du fourrage, mais cela est très largement compensé par l'augmentation de la production de matière sèche et de la teneur en matières azotées digestibles du fourrage récolté.

CONCLUSION

Ne modifiant pas ou peu la valeur alimentaire des fourrages, la fertilisation s'avère très bénéfique dans la mesure où il est possible d'utiliser correctement le supplément de production de matière sèche obtenu. L'augmentation de la production fourragère à l'unité de surface s'accompagne en effet presque toujours d'un accroissement des difficultés de récolte (verse) et de conservation et, par là, d'une augmentation des pertes, tout au moins avec les techniques traditionnelles de récolte (fenaison). Ceci explique, au moins en partie, l'intérêt suscité dans toutes les zones herbagères par la déshydratation il y a quelques années, par l'ensilage actuellement. Pour ce dernier, une fertilisation azotée importante implique cependant le recours à des conservateurs efficaces si on veut être assuré de la réussite.

La fertilisation est pleinement justifiée pour les prairies pâturées pour lesquelles elle augmente relativement peu les pertes à condition que les dates d'exploitation par le pâturage soient déterminées par la quantité d'herbe présente à l'hectare et que le chargement animal soit adapté à cette quantité d'herbe présente.

La fertilisation azotée présente en outre l'avantage d'augmenter la teneur en matière azotée des graminées, notamment quand elles sont exploitées à un stade précoce, c'est-à-dire pâturées. Cette augmentation de la teneur en azote des graminées ne doit cependant pas être le but de la fertilisation azotée. Ce dernier doit rester surtout l'augmentation de la production de matière sèche et cela pour plusieurs raisons : 1° le facteur limitant de la production animale pour des graminées, même pures, pâturées toutes les quatre à six semaines est toujours la valeur énergétique et non la teneur en matières azotées. Une teneur en matières azotées de 15-16 % (qui est souvent dépassée avec des graminées feuillues) couvre largement les besoins azotés des animaux en croissance et en engraissement et ceux d'une vache laitière produisant 20 kg de lait par jour. La quantité d'azote ingérée est donc assez souvent en excès et il y a plutôt gaspillage qu'insuffisance d'azote ; 2° l'augmentation de la teneur en azote par la fertilisation est obtenue en partie par celle de l'azote soluble et de l'azote nitrique. Elle n'implique donc pas forcément une augmentation de la valeur

azotée réelle du fourrage, du moins en l'absence d'aliment concentré énergétique distribué en supplément du fourrage. La teneur en nitrate des fourrages peut en outre atteindre et dépasser le seuil de toxicité pour des fertilisations azotées élevées dépassant le niveau de fumure permettant déjà une production de matière sèche maximale.

L'optimum de la fertilisation azotée semble donc se situer suivant les conditions de milieu, l'année, l'espèce fourragère et le type de production animale envisagé entre 200 et 350 kg/ha/an de N. N'oublions pas enfin qu'un des intérêts de la fertilisation azotée, à condition qu'elle soit correctement modulée, est de mieux répartir la production fourragère au cours de l'année. Cette possibilité est importante dans les zones herbagères d'élevage dont toutes les surfaces ne sont pas fauchables et où on recherche plus une bonne répartition de l'herbe au cours de la saison du pâturage qu'une augmentation importante de la production totale annuelle des prairies.

C. DEMARQUILLY,
Laboratoire des Aliments,
I.N.R.A.-C.R.Z.V. de Theix, 63110 Beaumont.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ALDER F.E., COWLISHAW S.J., NEWTON J.E., CHAMBERS D.T. (1967) : « Effects of level of nitrogen fertilizer on beef production from grazed perennial rye grass and white clover pastures », *J. Brit. Grassl. Soc.*, 22, 194-203.
- AKHLAMOVA N.M. (1966) : « Effect of mineral fertilizer on the composition of nitrogenous compounds and carbohydrates in meadow grasses », *Proc. 10th Intern. Grassl. Congr.*, pp. 258-262.
- ALBERDA Th. (1960) : « The effect of nitrate nutrition on carbohydrate content in lolium perenne », *Proc. 8th Inter. Grassl. Congr.*, pp. 612-617.
- ARMSTRONG D.G. (1973) : « Factors affecting the protein value of fresh and conserved feeds », *5th Gen. Meeting European Grassl. Fed.*, Uppsala.
- BEEVER D.E., THOMSON D.J. (1973) : Résultats non publiés cités par ARMSTRONG, 1973.
- BEHAEGHE T.J. et CARLIER L.A. (1973) : « Influence of nitrogen levels on quality and yield of herbage under mowing and grazing conditions », *5th Gen. Meeting of European Grassl. Fed.*, Uppsala.
- BERANGER C. : Résultats non publiés.
- BLASER R.E. (1964) : « Symposium on forage utilization : effects of fertility levels and stage of maturity on forage nutritive value », *J. Animal Sci.*, 23, 246-253.
- BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., DEWEY P.J.S., DAVIDSON J., DENERLEY H., GUNN J.B. (1971) : « Effects of nitrogenous fertilizer on the nutritive value of artificially dried grass », *J. Agric. Sci.*, 76, 307-319.
- BROCHART M. (1971) : « Pathologie de la stérilité liée à la nutrition », *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 113, 3-8.

- BROWN R.H., ASHLEY D.A. (1974) : « Fertilizer effects on photosynthesis, organic reserves and regrowth mechanisms of forages », *Forage fertilization*.
- CAMERON C.D.T. (1966) : « The effects of nitrogen fertilizer application rates to grass on forage yields, body weight gains, feed utilization, and vitamin A status of steers », *Can. J. Animal Sci.*, 46, 19-24.
- CAMERON C.D.T. (1967) : « Intake and digestibility of nitrogen fertilized grass hay by wethers », *Can. J. Animal Sci.*, 47, 123-125.
- DEINUM B., VAN ES A.J.H., VAN SOEST P.J. (1968) : « Climate, nitrogen and grass. - II. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on vivo digestibility of grass and the prediction of these effects from some chemical procedures », *Neth. J. Agric. Sci.*, 16, 217-223.
- DEMARQUILLY C. (1970) : « Influence de la fertilisation azotée sur la valeur alimentaire des fourrages verts », *Ann. Zootech.*, 19, 423-437.
- DULPHY J.-P. (1976) : « Utilisation par les vaches laitières des ensilages d'herbe enrichis en pulpes de betteraves déshydratées », *Bull. Techn. C.R.Z.V. I.N.R.A. de Theix*, 25, 25-31
- GRIFFITH G. ap. (1960) : « The nitrate nitrogen content of herbage. - II. Effect of different levels of application of sulfate of ammonia on the nitrate content of herbage », *J. Sci. Food Agric.*, 11, 626-629.
- HARKESS R.C. (1963) : « Studies in herbage digestibility », *J. Brit. Grassl. Soc.*, 18, 62-68.
- HEGARTY M.P., PETERSON P.J. (1972) : « Free amino acids, bound amino acids, amines and ureides », in *Chemistry and Biochemistry of herbage*, Academic Press London and New York, vol. 1, pp. 1-62.
- HOLMES J.-C., LANG R.W. (1963) : « Effects of fertilizer nitrogen and herbage dry matter content on herbage intake and digestibility in bullocks », *Animal Prod.*, 5, 17-26.
- HOLMES W. (1968) : « The use of nitrogen in the management of pasture for cattle », *Herbage Abstr.*, 38, 265-277.
- HUGUET L., GILLET M. (1973) : « The influence of nitrogen fertilizer and autumn management on the quality of green herbage », *5th Gen. Meeting of European Grassl. Fed.*, Uppsala.
- IVINS J.D. (1952) : « The relative palatability of herbage plants », *J. Brit. Grassl. Soc.*, 7, 43-54.
- JONES D.I.H., GRIFFITH G. ap., WALTERS R.J.K. (1961) : « The effect of nitrogen fertilizer on the water soluble carbohydrate content of perennial rye grass and cocksfoot », *J. Brit. Grassl. Soc.*, 16, 272-275.

- KERSHAW E.S. (1963) : « The crude protein and nitrate nitrogen relationship in S.22 in response to nitrogen and potash fertilizer treatments », *J. Brit. Grassl. Soc.*, 18, 323-327.
- LYTTLETON J.W. (1972) : « Proteins and nucleic acids », in *Chemistry and Biochemistry of Herbage*, Academic Press London and New York, vol. 1, pp. 63-105.
- MCLEOD L.B. (1965) : « Effect of nitrogen and potassium fertilization on the yield, regrowth, and carbohydrate content of storage organs of alfalfa and grasses », *Agron. J.*, 57, 345-350.
- MARKLEY R.A., CASON J.L., BAUMGARDT B.R. (1959) : « Effect of nitrogen fertilization or urea supplementation upon digestibility of grass hays », *J. Dairy Sci.*, 42 144-152.
- MARTEN G.C. (1970) : « Measurement and significance of forage palatability », *Nat. Conf. Forage Qual. Eval. Util.*, Lincoln, Nebr., p. D 1-D 55.
- MARTZ F.A., PADGITT D.D., BROWN J.R., HILDEBRAND E.S., MARSHALL R.T. (1971) : « Relation of protein utilization in dairy cattle to soil fertility », *J. Dairy Sci.*, 54, 662-666.
- MINSON D.J., RAYMOND W.F., HARRIS C.E. (1960) : « Studies on the digestibility of herbage. - 8. The digestibility of S.37 cocksfoot, S.23 rye grass and S.24 rye grass », *J. Brit. Grassl. Soc.*, 15, 174-180.
- NOLLER C.H., RHYKERD C.L. (1974) : « Relationship of nitrogen fertilization and chemical composition of forage to animal health and performance », *Forage fertilization*, pp. 363-394.
- NOWAKOWSKI T.Z. (1962) : « Effects of nitrogen fertilizers on total nitrogen, soluble nitrogen and soluble carbohydrate content of grass », *J. Agric. Sci.*, 59, 387-392.
- NOWAKOWSKI T.Z. (1964) : « Mineral fertilization and organic composition of herbage ». *Le potassium et la qualité des produits agricoles, 7th Congr. Intern. Potash Institute*, pp. 63-73.
- NOWAKOWSKI T.Z. (1971) : « Effects of potassium and sodium on the contents of soluble carbohydrates and nitrogenous compounds in grass ». In *Potassium in Biochemistry and Physiology, 8th Congr. Intern. Potash Institute*, pp. 45-49.
- PERIGAUD S. (1975) : « Influence de la fertilisation sur la composition minérale des fourrages. Conséquences zootechniques », *Fourrages*, n° 63, 107-125.
- PLICE M.J. (1951) : « Sugar versus the intuitive choice of foods by livestock », *Agron. J.*, 43, 341-342.
- PUJIA I., ERDELY ST-KAIN I., SZANTO AI. (1974) : « Nitrogen metabolism in some fodder plants », *XII^e Intern. Grassl. Congr.*, part. II, 479-488.

- RAYMAN H., McDONALD P., SIMSON K. (1960) : « The effects of nitrogen and potassium fertilizers on the mineral status of perennial rye grass », *J. Sci. Food Agric.*, 11, 422-428.
- RAYMOND W.F., SPEDDING C.R.W. (1965) : « Nitrogenous fertilizers and the feed value of grass », *Proc. 1st Gen. Meeting European Grassl. Fed.*, Wageningen, pp. 151-160.
- REID D. (1966) : « The response of herbage yields and quality to a wide range of nitrogen application rates », *Proc. 10th Intern. Grassl. Congr.*, pp. 209-213.
- REID R.L., CLARK B., JUNG G.A. (1964) : « Studies with sudan grass. - II. Nutritive evaluation by *in vitro* and *in vivo* methods », *Agron. J.*, 56, 537-542.
- REID R.L., JUNG G.A. (1965) : « Influence of fertilizer treatment on the intake, digestibility and palatability of tall fescue hay », *J. Animal Sci.*, 24, 615-625.
- REID R.L., JUNG G.A., MURRAY S.J. (1966) : « Nitrogen fertilization in relation to the palatability and nutritive value of orchard grass », *J. Animal Sci.*, 25, 636-645.
- RHYKERD C.L., DILLON J.E., NOLLER C.H., BURNS J.C. (1966) : « The influence of nitrogen fertilization and drying method on yield and chemical composition of *dactylis glomerata*, *bromus inermis* and *phleum pratense* », *Proc. 10th Intern. Grassl. Congr.*, pp. 214-218.
- SMITH D. (1972) : « The non structural carbohydrates », in *Chemistry and Biochemistry of herbages*, Academic Press London and New York, col. 1, 105-155.
- THOMSON D.J. (1964) : Exp. in progress, *Grassl. Research Inst. Hurley*, 16, 67-68.
- VAN BURG P.F.J. (1966) : « Nitrate as an indicator of the nitrogen nutrition of grass », *Proc. 10th Intern. Grassl. Congr.* pp. 267-272.
- VOIGTLANDER G. (1965) : « Nitrogen fertilization and yield of permanent grassland », *Proc. 1st Gen. Meeting European Grassl. Fed.*, Wageningen, pp. 93-104.
- WAITE R. (1958) : « The water carbohydrates of grasses. - IV. The effect of different levels of fertilizer treatments », *J. Sci. Food Agric.*, 9, 39-43.
- WEIR W.C., RENDING V.V., ITTNER N.R. (1958) : « Evaluation of lamb and steer feeding tests of alfalfa hay of varying phosphorus content », *J. Animal Sci.*, 17, 113-123.
- WHITEHEAD D.C. (1970) : « The role of nitrogen in grassland productivity », *Bulletin 48 : Commonwealth Bureau of Pastures and Field crops*.
- WILMAN D. (1965) : « The effect of nitrogenous fertilizer on the rate of growth of italian rye grass », *J. Br. Grassl. Soc.*, 20, 248-254.
- WRIGHT M.J., DAVIDSON K.L. (1964) : « Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals », *Advan. Agro.*, 16, 197-247.