

Intensification des prairies des marais de l'Ouest

II — Fertilisation et méthodes de diagnostic de la nutrition minérale

Y. Pons¹, G. Lemaire², E. Lafon¹, J. Salette³

La production fourragère doit se quantifier d'une manière qui puisse facilement recouvrir les différents aspects de son utilisation : fauche par ensilage ou foin, affouragement en vert, pâturage sous toutes ses formes. Face à une utilisation par les animaux qui s'exprime en kg de matière sèche (MS) par animal et par jour, l'expression de la croissance de l'herbe en termes de vitesse (kg MS/ha/jour) permet d'établir directement une correspondance en "chargement possible". Cette expression offre l'avantage d'être dynamique, c'est-à-dire de prendre en compte simultanément les variations dans le temps de l'offre (production d'herbe) et de la demande

MOTS CLÉS

Azote, courbe de croissance, diagnostic, facteur limitant, fertilisation, intensification, marais, phosphore, potassium, prairie, prairie permanente.

KEY-WORDS

Diagnosis, fen, fertilization, growth curve, intensification, limiting factor, nitrogen, pasture, permanent pasture, phosphorus, potassium.

AUTEURS

1 : I.N.R.A. - Systèmes Agraires et Développement, Unité I.N.A.-P.G., Domaine expérimental de St-Laurent-de-la-Prée (Charente-Maritime).

2 : I.N.R.A. - Ecophysiologie des plantes fourragères, Lusignan (Haute-Vienne).

3 : I.N.R.A., Station d'Agronomie d'Angers (Maine-et-Loire).

CORRESPONDANCE

Y. Pons, I.N.R.A.-S.A.D., Domaine expérimental, F-17450 St-Laurent-de-la-Prée.

(besoin du troupeau), et d'en prévoir les ajustements par la constitution et l'utilisation des stocks.

Notion d'objectifs et de potentiels de production

Ainsi, pour une période donnée, la production d'une prairie mesurée par sa vitesse de croissance peut être représentée sur une échelle allant de 0 à une valeur maximale représentant la "production potentielle". Celle-ci peut être définie comme "la vitesse de croissance en kg MS/ha/jour obtenue lorsque tous les facteurs du milieu, modifiables par les pratiques agricoles, ont été portés à un niveau non limitant". Cette définition nécessite de préciser les différents facteurs modifiables. On peut en distinguer deux types : les facteurs facilement modifiables dont la mise en œuvre ne nécessite pas d'investissements particuliers (fertilisation N, P et K) et les facteurs difficilement modifiables exigeant des investissements (irrigation, drainage, amendements) plus ou moins lourds.

On pourra ainsi, selon les cas, distinguer :

— un "potentiel pédo-climatique" correspondant à l'optimisation de tous les facteurs modifiables ; il s'agit d'un véritable potentiel physique qui dépend directement du climat (température et rayonnement) et des caractéristiques non modifiables du sol (texture, pente etc.) ;

— des "potentiels facilement accessibles" correspondant à l'optimisation des seuls facteurs du milieu facilement modifiables. La multiplicité de ces potentiels est liée à celle des niveaux d'investissement mis en œuvre ; par exemple, on pourra considérer un potentiel en situation drainée mais non irriguée (ou inversement).

Enfin, lorsque les facteurs facilement modifiables ne sont pas portés à leur optimum, on obtient une "production réelle" qui se situe à un niveau plus ou moins proche du "potentiel" selon l'importance de la déficience du facteur le plus limitant.

Face à ces potentiels, il est nécessaire de faire figurer des *objectifs de production* pour chaque parcelle (ou groupe de parcelles) selon un calendrier d'utilisation. Ils sont définis à partir des objectifs du troupeau et dans le cadre du système fourrager. Le niveau des objectifs de production des parcelles doit être réaliste vis-à-vis des potentiels accessibles dans un milieu donné. Les potentiels tels qu'ils ont été définis précédemment sont soumis à la variabilité climatique entre années et entre lieux. Une analyse de cette variabilité en termes probabiliste est donc absolument indispensable pour leur détermination. La connaissance de ces potentiels et de leur variabilité (SALETTE, 1987) au niveau d'une petite région agricole doit permettre :

— de comparer les "potentiels pédo-climatiques" aux "potentiels facilement accessibles" ; ainsi, on peut estimer la rentabilité économique des techniques qui,

lourdes en investissement, lèvent les facteurs limitants du milieu (drainage, irrigation, etc.) ;

— de situer les objectifs de production par rapport aux “différents potentiels” et à leur variabilité pour en déterminer leur degré de réalisme ;

— de comparer la production réelle obtenue aux “potentiels” afin de juger des causes éventuelles de la non réalisation des objectifs visés. Pour cela, il est nécessaire de mettre en œuvre des outils de diagnostic permettant d’identifier le ou les facteurs facilement modifiables qui ont limité la production.

L’objet de cet article est de présenter un certain nombre de ces outils de diagnostic et de les appliquer au cas des prairies des Marais de l’Ouest*. Il fait suite à l’article exposant le contexte de la faible production de ces prairies et le dispositif expérimental mis en place pour élaborer les références techniques nécessaires à leur amélioration (PONS et al., 1989, dans ce même numéro de *Fourrages*).

Modèles de croissance potentielle et de nutrition N, P, K

• Climat et potentiel de production

Les travaux réalisés sur diverses espèces fourragères (LEMAIRE et SALETTE, 1981 et 1982) et sur la prairie permanente (LEMAIRE et al., 1982) ont montré que, en l’absence de facteur limitant, la croissance d’une prairie au printemps pouvait être reliée à la température selon une loi : $MS = b (\Sigma T - a)$ avec :

MS : matière sèche élaborée depuis la dernière coupe,

b : vitesse de croissance potentielle en kg MS/ha/°. j,

a : départ apparent de la croissance,

ΣT : somme de températures (moyenne journalière) en base 0°C.

Du fait de la non linéarité de la relation en tout début de croissance, ces auteurs ont proposé d’exprimer la précocité de croissance par la valeur a’ qui représente la somme de température nécessaire pour obtenir une production de 1,5 t MS/ha soit : $a' = T (1,5)$.

La vitesse de croissance potentielle b est indépendante de la date de début de cumul des températures ; elle est insensible aux conditions d’exploitation de la prairie

* Etude réalisée dans le cadre d’un contrat de recherche I.N.R.A. - Région Poitou-Charentes.

à l'automne précédent (LEMAIRE, 1985). Par contre, la précocité de croissance a' dépend de la date de début de cumul des températures. De plus, elle est très sensible aux conditions d'exploitation de la prairie à l'automne, en interaction avec le régime thermique hivernal, qui déterminent l'activité de tallage au cours de l'hiver (CULLETON et LEMAIRE, 1985 ; LEMAIRE et CULLETON, 1989).

Les essais de généralisation de ce modèle (LEMAIRE, 1987) ont confirmé d'une part la stabilité de la valeur de la vitesse de croissance potentielle (b) dans une large gamme de conditions climatiques, indépendamment des espèces et, d'autre part, la plus grande variabilité de la précocité de croissance a' liée au génotype et à l'"état" de la prairie en sortie d'hiver. C'est pourquoi la comparaison entre situations différentes ne peut s'effectuer de façon simple que par rapport au paramètre b du modèle.

• Diagnostic de nutrition azotée

La réalisation de la vitesse de croissance potentielle exige une nutrition azotée non limitante de la prairie. LEMAIRE et SALETTE (1981 ; 1984a) ont montré que, dans ce cas, l'évolution des teneurs en azote de la prairie (N, en %) au cours d'une repousse était liée à la quantité de matière sèche produite :

$$N = 4,8 (MS)^{-0,32}.$$

Cette relation est indépendante du génotype (LEMAIRE et SALETTE, 1984b) et elle est identique pour des repousses de printemps et des repousses d'été (LEMAIRE et DENOIX, 1987). Lorsque la disponibilité en azote dans le milieu est restreinte, la teneur en azote de l'herbe s'écarte significativement de la courbe de référence (figure 1).

Cette deuxième relation a été vérifiée dans un grand nombre de situations et il est possible de l'utiliser directement comme outil de diagnostic de l'état de nutrition azotée d'une prairie.

• Diagnostic de nutrition P et K

SALETTE (1982), SALETTE et al. (1982) ont étendu le modèle de dilution de l'azote aux teneurs en P et K du fourrage. Compte tenu de l'effet d'entraînement de l'azote sur l'absorption de P et de K, les lois de dilution de ces deux éléments dépendent de l'état de nutrition azotée de la prairie. Ainsi, sur les figures 3b et 3c les courbes d'évolution des teneurs en P et K sont représentées pour deux niveaux extrêmes d'apports d'azote. Elles sont issues de références publiées par SALETTE (1982).

Contrairement à l'azote avec lequel on peut obtenir une large gamme de nutrition sur la même prairie, ce qui permet de définir la courbe optimum au-delà de laquelle il y a consommation de "luxe" en azote sans augmentation de croissance,

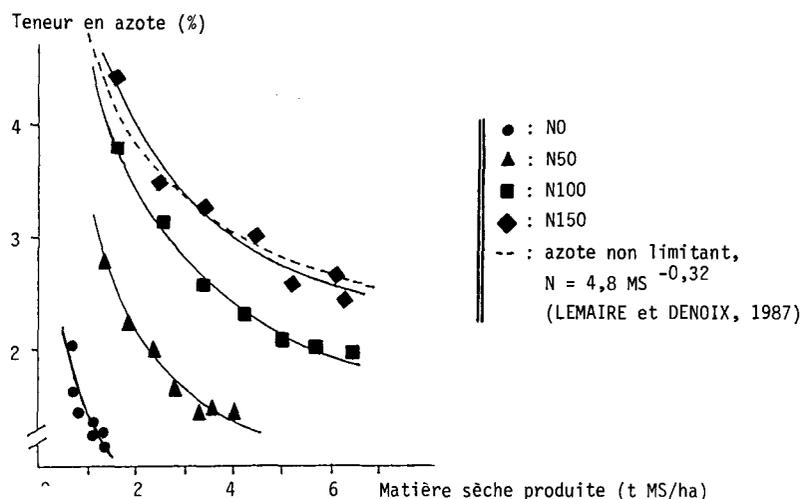


FIGURE 1 : Evolution de la teneur en azote en fonction de la matière sèche produite.

FIGURE 1 : Evolution of N-contents according to dry matter production.

les courbes relatives à P et K ont été obtenues uniquement dans des sols largement pourvus. Des études complémentaires dans des sols appauvris en P et (ou) en K sont en cours afin d'estimer avec plus de précision la courbe optimum pour ces deux éléments. Le risque de consommation de luxe en P est faible et, de ce fait, les courbes proposées doivent pouvoir être plus aisément généralisables que pour K. Pour cet élément, si on peut diagnostiquer d'éventuelles consommations de luxe (la teneur en potassium de l'herbe croît sans augmentation de matière sèche), il est nécessaire d'élaborer des courbes de références régionales du fait du rôle de certains cations pouvant se substituer ou accompagner le potassium (cas des sols salés et sodiques). Ceci pourrait amener à une révision en légère baisse des courbes proposées. Nous insistons sur ce point pour que le lecteur considère ces courbes comme un indicateur en valeur relative permettant de classer les situations les unes par rapport aux autres.

Exemple de mise en œuvre des diagnostics : cas des prairies des Marais de l'Ouest

• Contexte de l'étude

Situés sur la côte atlantique entre la Vilaine au Nord et la Gironde au Sud, les Marais de l'Ouest s'étendent sur 250 000 ha environ. Ils résultent du comble-

ment d'un golfe marin par les alluvions fluvio-marines argileuses. La prairie est la production obligatoire lorsque les contraintes hydrauliques ne sont pas maîtrisables ou lorsque le coût d'aménagement est prohibitif. C'est le cas, d'une part, des marais "mouillés" qui sont soumis aux crues des rivières (sols tourbeux et argileux) et, d'autre part, des marais desséchés lorsque les sols sont sodiques et donc instables.

Le suivi d'exploitations d'élevage a permis d'estimer entre 2 et 4 t MS/ha la production annuelle moyenne des prairies de la région. Or, les essais fourragers mis en œuvre au domaine expérimental de Saint-Laurent-de-la-Prée montrent qu'on peut produire 7 à 9 t MS/ha d'herbe grâce à la maîtrise de l'excès d'eau en hiver, associée aux différentes techniques d'intensification (JEANNIN et al., 1973). La seule pratique d'intensification des prairies par les éleveurs se borne à l'apport d'azote, considérant a priori que ces sols d'origine alluviale sont riches en P et K.

L'objectif de l'étude est d'expliquer les écarts de production entre des parcelles d'éleveurs dans des conditions variées de milieu et le potentiel pédo-climatique. Nous nous sommes limités à l'étude de la première repousse de printemps avant que la sécheresse ne soit un facteur limitant la production.

• Dispositif expérimental

Les essais ont été implantés sur des parcelles d'éleveur, dans une large gamme de conditions de milieu (maîtrise de l'excès d'eau, type et comportement des sols, années climatiques) et d'états initiaux de la flore (fétuque, prairies naturelles plus ou moins dégradées) (PONS et al., 1989). Sur ces parcelles deux types d'essais ont été réalisés :

— des essais "fertilisation azotée" comportant chacun trois traitements : un témoin avec N_0 , une dose N_1 égale à celle mise par l'agriculteur, et une dose élevée N_2 de 1,5 à 2 fois N_1 . Les dates de prélèvements d'herbe pour l'estimation de la quantité de matière sèche (4 répétitions de 1 m² (10 m × 0,10 m) par date) sont celles d'utilisation par l'éleveur (pâturage ou fauche selon les cas). En 1985, 1986, 1987 ont été suivies respectivement 10, 11 et 14 parcelles ;

— des mesures de vitesse de croissance potentielle sur des prairies à flore non dégradée. Ces petites parcelles fertilisées de telle sorte que N, P, K ne soient pas limitants sont mises en défens au printemps, de manière à effectuer 1 prélèvement constitué de 8 répétitions de 0,5 m² (5 m × 0,10 m) par semaine, à partir de 1,5 jusqu'à 4-5 t MS/ha. En 1986 et en 1987, 7 et 8 essais ont été réalisés.

A chaque date de prélèvement et pour chaque traitement, un échantillon moyen était constitué pour analyser les teneurs en minéraux.

Sur les 4 parcelles A10, A30, G20, F202, les deux types d'essai ont été réalisés simultanément. Ces situations seront essentiellement utilisées pour illustrer la démarche de diagnostic.

Sur les autres parcelles, ont été mis en place soit des essais fertilisation azotée, soit des mesures de vitesse de croissance. Ces lieux serviront de comparaison ou d'extrapolation pour les résultats.

• Résultats

— La vitesse de croissance potentielle

Les valeurs des vitesses de croissance sont présentées dans le tableau 1. Elles sont élevées et proches de celles présentées par LEMAIRE (1985 et 1987), aussi bien pour la fétuque que pour la prairie naturelle. On note un léger effet année : les valeurs sont plus élevées en 1986 qu'en 1987 (seuil de signification $\alpha = 0,10$). Les vitesses de croissance des fétuques sont plus élevées que celles des prairies naturelles, de façon très significative en 1986 ($\alpha = 0,01$), et non significative en 1987.

Conditions de milieu			Type de prairies		Vitesse de croissance	
hydraulique	sol (*)	niveau nappe (cm)	(**)	% bonnes graminées	1986	1987
Marais desséché						
- drains	A(S)	80	F	95	16,5	12,9
	A(i)	25	F	97	14,5	-
- rigoles	A(i)	20	F	98	15,1	10,6
	A(I)	15	F	67	13,8	10,6
	A(I)	20	PN1	43	11,1	10,1
	A(i)	12	PN1	62	11,8	10,2
Marais mouillé						
aucun aménagement	T(S)	40	PN1	38	13,1	10,9
	T(S)	40	F	100	14,9	15,8
Références						
- Fétuque		LEMAIRE (1985)		12,4 ± 1,8		
- Prairies naturelles		LEMAIRE (1987)		7,5 à 11,5		
(*) = A : Argileux ; T : Tourbeux ; (S) : Stable ; (I) : Instable ; (i) : intermédiaire						
(**) = F : Fétuque ; PN1 : Prairie naturelle correcte						

TABLEAU 1 : Vitesse de croissance potentielle (kg MS/ha/°.j) selon les conditions de milieu et les états initiaux des prairies.

TABLE 1 : Potential growth-rate (kg DM/ha/°.day), according to environmental conditions and initial states of pastures.

La vitesse de croissance potentielle permet de distinguer entre les fétuques et les prairies naturelles mais ne permet pas de mettre en évidence des différences liées à la flore des prairies naturelles ni à la maîtrise de l'excès d'eau en hiver. Ce dernier point serait à vérifier dans des conditions hivernales plus humides que celles expérimentées lors des années 1986 et 1987.

— Production potentielle et production réalisée

Les figures 2a et 2b montrent les productions obtenues respectivement lors de mesures des vitesses de croissance potentielle et dans les essais fertilisation azotée (parcelles A10, A30, G20, F202).

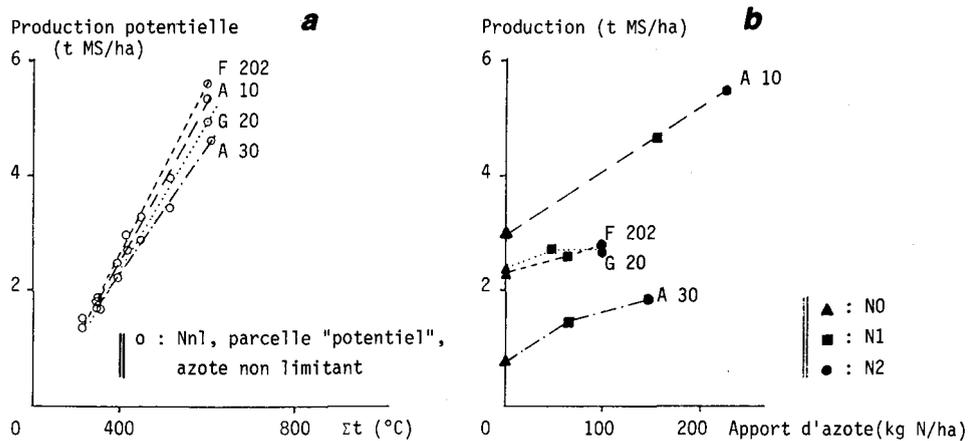


FIGURE 2 : Production de matière sèche (parcelles A10, A30, G20, F202) : a) production potentielle (vitesse de croissance) ; b) courbe de réponse à l'azote.

FIGURE 2 : Dry matter production (plots A10, A30, G20, F202) : a) potential production (growth rate), b) response curve to nitrogen.

Deux cas se présentent (figure 2b) : l'apport d'azote provoque soit une augmentation de la matière sèche (A30, A10), soit une absence de réponse (G20, F202). Dans le premier cas, on peut en déduire que l'azote était limitant ; cependant, la dose la plus élevée (N₂) n'a pas permis d'atteindre le potentiel, notamment en A10. Par contre dans le deuxième cas, l'absence de réponse signifie qu'un autre facteur que N était limitant. Les causes des écarts entre les parcelles N₂ et les parcelles "potentiel pédo-climatique" peuvent être dues soit à une insuffisance de nutrition azotée (N₂ < N_{n1} : azote non limitant), soit à des limitations de la nutrition P ou K.

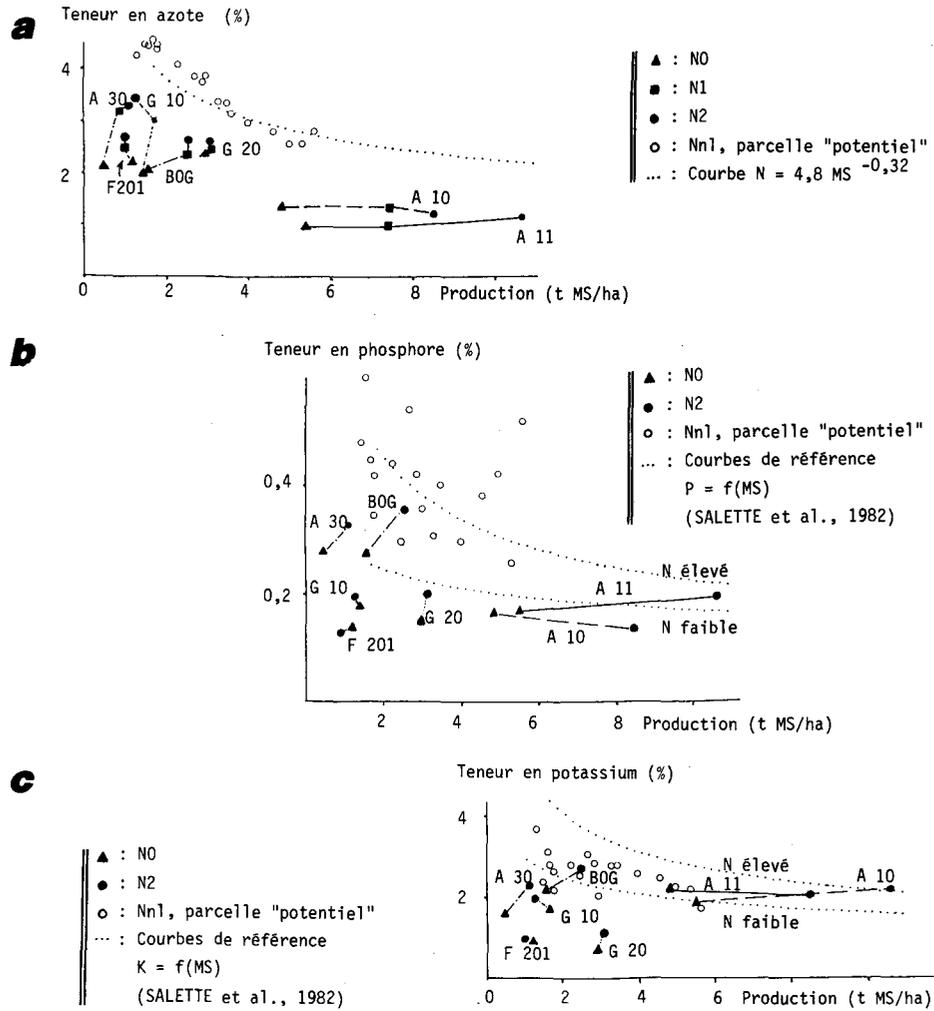


FIGURE 3 : En fonction de la production de matière sèche, évolution des teneurs a) en azote, b) en phosphore, c) en potassium.

FIGURE 3 : Evolution, according to dry matter production, of mineral contents : a) nitrogen, b) phosphorus, c) potassium.

— Diagnostic du niveau de nutrition azotée

Lorsqu'il y a réponse de la production de matière sèche à la fertilisation azotée (figure 3a), la teneur en azote croît si la coupe est précoce (parcelle B0G), elle est

constante si la coupe est tardive (parcelles A10, A11). Par contre, quand il n'y a pas de réponse à l'azote, sa teneur peut augmenter très fortement (G10 et A30) ou faiblement (G20, F201).

Dans tous les cas, l'augmentation de la dose d'azote rapproche les points de la courbe de référence $N = f(MS)$ "azote non limitant" mais sans l'atteindre ; ceci montre a posteriori que la dose N_2 des essais fertilisation azotée était insuffisante pour atteindre le potentiel. Par contre, les points qui correspondent aux parcelles "potentiel" se situent sur, et même au-delà de la courbe de référence, ce qui confirme a posteriori que la dose utilisée N_{n1} était effectivement non limitante.

— *Diagnostic de la nutrition phosphatée*

Lorsque la production de matière sèche augmente avec l'apport d'azote (figure 3b), les valeurs (MS, teneur en P) encadrent ou sont proches des courbes de référence P non limitant ; la teneur en P est soit constante si la coupe est tardive (A10, A11), soit croissante si la coupe est précoce (BOG, A30). Ceci confirme l'effet d'entraînement de N sur les teneurs en P.

Par contre, lorsqu'il n'y a pas de réponse à l'azote, les teneurs en P sont significativement inférieures à celles correspondant aux courbes de référence. La distance des points aux courbes est un indice de la déficience en P. On peut donc vérifier l'hypothèse que la non réponse à l'azote des parcelles G20, G10, F20 est due à une insuffisance en phosphore.

— *Diagnostic de la nutrition potassique*

La figure 3c permet de classer les parcelles en trois groupes :

— les parcelles A10 et A11 (fétuque élevée) sont caractérisées par une nutrition K optimum (points proches des courbes de référence) ;

— les parcelles A30 et BOG présentent des teneurs en K sub-optimales et une réponse modérée à N ;

— les parcelles G10, G20 et F20 présentent une forte déficience en K et une absence de réponse à N. La possibilité d'une surestimation des courbes de référence, du fait de la non prise en compte d'absorption de sodium par les plantes s'ajoutant à celle du potassium (cas de sols riches en Na), peut nous amener à tempérer notre jugement en valeur absolue quant à l'insuffisance en K, mais le *classement* des parcelles n'en serait pas modifié. Une adaptation aux sols salés des références utilisées serait nécessaire.

— *Validation du diagnostic par l'expérimentation : effet d'un apport P-K*

Pour valider les hypothèses d'insuffisance en P et K, nous avons mis en place sur la parcelle G20 un essai phospho-potassique comportant les traitements (P_{120} ,

apport de 120 kg P₂O₅/ha), (K₂₅₀) et (P₁₂₀ + K₂₅₀), appliqués sur la partie la plus fortement azotée, N₂.

Les apports de P et de P-K :

— augmentent très fortement la production de MS qui se rapproche très sensiblement du potentiel (figure 4a) ;

— élèvent légèrement les teneurs en azote, les points (MS, teneur en N) se rapprochent de la courbe de référence N non limitant (figure 4b) ;

— augmentent de façon importante la teneur en P du fourrage. Les points (MS, teneur en P) sont dans les ordres de grandeur des références P non limitant (figure 4c).

L'apport de K seul a un effet faible sur la production ; il agit peu sur les teneurs en N (figure 4b). Par contre, il augmente la teneur en K du fourrage (figure 4d).

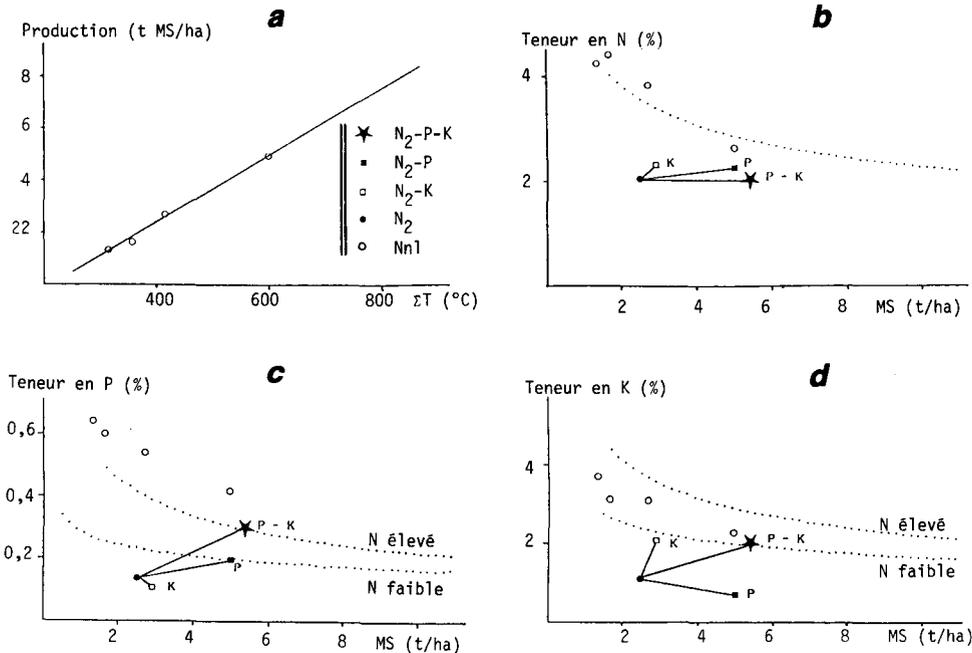


FIGURE 4 : Effet de la fumure phospho-potassique (parcelle G20) sur la production de matière sèche (a), et les teneurs en azote (b), en phosphore (c) et en potassium (d).

FIGURE 4 : Effect of P-K fertilization (plot G20) on : a) dry matter yield, b) N contents, c) P contents, d) K contents.

Discussion

La mesure des vitesses de croissance avec N, P, K non limitants permet de situer le potentiel pédo-climatique de la région. Dans le cas des Marais de l'Ouest, malgré les conditions de milieu difficiles et contraignantes entraînées par l'excès d'eau, la production potentielle est élevée et semblable à celle d'autres régions réputées plus favorables.

La production réelle de la parcelle de l'agriculteur, obtenue avec la dose d'azote N_1 que l'on a encadrée par une dose élevée N_2 et un témoin N_0 , met en évidence un écart plus ou moins grand avec le potentiel pédo-climatique. Les courbes de dilution de l'azote montrent que *dans tous les cas*, la dose N_2 était insuffisante pour atteindre la croissance potentielle. Il est important de rappeler ici qu'il s'agit d'une dose de 1,5 à 2 fois la dose apportée par l'éleveur. Ceci nous donne une idée de la marge possible d'augmentation de la production. Cependant, ces courbes révèlent aussi que, dans certaines parcelles, il devait exister un facteur limitant autre que N et qui en réduisait l'efficacité.

La distance des points aux courbes de dilution P et K amène à formuler l'hypothèse que des déficiences en ces deux éléments pourraient être suspectées et responsables de l'absence de réponse à l'azote.

L'essai complémentaire d'apport P et K a permis très rapidement de valider les hypothèses émises lors des diagnostics. Il est important de rappeler ici que ces sols de marais étaient réputés être riches en P et K. Ceci met en évidence l'intérêt d'une telle démarche peu coûteuse et moins lourde à mettre en œuvre qu'une campagne d'analyses de terre, dont les interprétations sont loin d'être évidentes dans ces types de sol et pour des prairies permanentes.

Il s'agit là de la démarche à suivre dont les différentes étapes doivent être impérativement respectées :

- 1 : comparaison de la croissance réelle à la croissance potentielle ;
- 2 : diagnostic du niveau de nutrition azotée ;
- 3 : diagnostics des niveaux de nutrition P puis K qui sont sous la dépendance du niveau N. Ainsi peut-on hiérarchiser l'importance des facteurs limitants les uns par rapport aux autres.

Cet ensemble de résultats a valeur d'exemple de méthodologie. Les outils de diagnostic peuvent être progressivement affinés, notamment en ce qui concerne K. Pour cet élément, une étude des interactions avec les autres cations est nécessaire, particulièrement dans le cas des sols salés. Ces recherches sont en cours, mais les résultats ne devraient pas modifier fondamentalement le sens de la démarche.

Conclusion

Cet exemple correspond à la mise en œuvre, en vraie grandeur, d'une démarche d'analyse de situations agronomiques de la prairie dans une région naturelle. Ainsi, avec les outils de diagnostic disponibles, une analyse rapide du niveau de production des prairies et des teneurs en N, P, K correspondantes a permis de formuler, en 2 années, une série d'hypothèses qui ont pu être vérifiées par une expérimentation légère. Cette vérification n'a été entreprise que comme fourniture de preuve. Elle peut ne pas être indispensable dans d'autres situations. Les techniciens de terrain peuvent d'ores et déjà dans leur région mettre en pratique cette démarche légère : ils peuvent utiliser les courbes de références figurant dans cet article directement pour le diagnostic pour la courbe de dilution de l'azote, comme outil de classement dans le cas du phosphore et de la potasse. Une mise en commun périodique des résultats entre les régions devrait permettre d'affiner, si besoin était, les références, et de faire émerger au niveau de la recherche des facteurs limitants non pris en compte jusqu'à ce jour.

Accepté pour publication, le 20 octobre 1989.

Remerciements

Les auteurs remercient A. BOURGEOIS, L. HUCHÉ et P. MORLON pour leur lecture critique et attentive de cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CULLETON N., LEMAIRE G. (1985) : "Early closing in autumn gives early grazing in spring", *Irish Meteorological Bulletin*.
- JEANNIN B., DAMOUR L., GARREAU J., LAFON E. (1973) : "La prairie et la mise en valeur des marais de l'Ouest", *Bull. Tech., Min. Agric.*, 281, 491-498.
- LEMAIRE G. (1985) : *Cinétique de croissance d'un peuplement de féruque pendant l'hiver et le printemps. Effet des facteurs climatiques*, thèse doctorat d'état, Université de Caen.
- LEMAIRE G. (1987) : "Synthèse des résultats et conclusions", *Production des prairies au printemps : prévisions et diagnostics - une nouvelle approche à développer*, A.F.P.F. Ministère de l'Agriculture, DGER, 69-73.
- LEMAIRE G., CULLETON N. (1989) : "Effect of nitrogen applied after the last cut in autumn on a tall fescue sward. I— Analysis of morphogenesis during winter and subsequent growth in spring", *Agronomie*, 9 (3), 241-249.

- LEMAIRE G., DENOIX A. (1987) : "Croissance estivale en matière sèche de peuplements de fétuque élevée et de dactyle dans l'Ouest de la France. I — Etude en conditions de nutrition azotée et d'alimentation hydrique non limitante", *Agronomie*, 7 (6), 373-380.
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1981) : "Analyse de l'influence de la température sur la croissance de printemps de graminées fourragères", *C.R. Acad. Sc. Paris*, 292, 843-846.
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1982) : "The effects of temperature and fertilizer nitrogen on the growth of two forage grasses in spring", *Grass and Forage Sci.*, 37, 3, 191-198.
- LEMAIRE G., SALETTE J., LAISSUS R. (1982) : "Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps, I — : production en cours de croissance et sa variabilité", *Fourrages*, 91, 3-16.
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1984a) : "Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères, I, Etude de l'effet du milieu", *Agronomie*, 4 (5), 423-440.
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1984b) : "Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères, II, Etude de la variabilité entre génotypes", *Agronomie*, 4 (5), 431-436.
- PONS Y., CAPILLON A., DAMOUR L., LAFON E. (1989) : "Conception d'une expérimentation multi-locale sur l'intensification des prairies dans un milieu diversifié. Cas des Marais de l'Ouest", *Fourrages*, 120.
- SALETTE J. (1982) : "The role of fertilizers in improving herbage quality and optimization of its utilisation", *Proc. 12th Congress Int. Potash Institute Bern*, 117-144.
- SALETTE J. (1987) : "Mieux expliquer les variabilités dans la production d'herbe : intérêt et applications du concept de potentiel de production", *Production des prairies au printemps*, A.F.P.F., ministère de l'agriculture, DGER, 3-11.
- SALETTE J., LEMAIRES G., ROBICHET J. (1982) : "Nitrogen and mineral uptake during regrowth of pure grass swards", *proc. 9th Gen. Meet. of E.G.F.*, Reading. Ed. British Grassland Society, 165-170.

RÉSUMÉ

Pour apprécier la marge de progrès possible pour la production des prairies des marais de l'Ouest de la France, le potentiel de production pédo-climatique a été déterminé pour la première repousse de printemps. Il est élevé et semblable à celui d'autres régions réputées plus favorables (vitesse de croissance potentielle de l'herbe : 10 à 15 kg MS/ha/°.j).

Pour expliquer les écarts entre la production obtenue par les éleveurs avec une fertilisation azotée de 50-80 kg N/ha et le potentiel, les courbes de dilution qui relient les teneurs en N, P, K à la matière sèche produite ont été utilisées.

La courbe de dilution de l'azote (N non limitant) montre que :

* dans tous les cas, la dose utilisée par l'éleveur est très insuffisante ; même multipliée par 1,5 à 2, elle ne permet pas d'atteindre le potentiel ;

* dans certaines parcelles, l'insuffisance minérale en P et en K a été identifiée par la distance des points aux courbes de dilution P et K. Un essai complémentaire le confirme.

Les techniciens de terrain peuvent mettre en œuvre dès aujourd'hui cette démarche légère par la mesure des productions et des teneurs en éléments minéraux de l'herbe. Les courbes de dilution N, P, K seront des outils de diagnostic et de classement par rapport à l'insuffisance minérale.

SUMMARY

Pasture intensification in the fens of western France. II - Fertilization and methods of mineral nutrition diagnosis

In the fens of western France, the productivity of pastures is generally low. In order to evaluate the possible progress, the pedo-climatic production potential of the first Spring re-growth was determined. It is high and similar to that of other regions, reputed to be more favourable. The potential growth-rate of grass is between 10 and 15 kg DM/ha/°.day.

In order to explain the differences between the production obtained by farmers with levels of nitrogen fertilizers of 50-80 kg N/ha and the potential production, we have utilized the dilution curves of N, P, K, which link the contents of these elements to the dry matter produced.

The dilution of nitrogen (non-limiting N) shows that :

— in every case, the rate used by the farmers is quite insufficient ; even when multiplied by 1,5 to 2, the potential is not reached ;

— in certain plots, there is a limitation of the efficiency of N by another factor. The deviations from the P and K dilution curves suggest that there is a deficiency in these minerals. This is confirmed by a complementary experiment.

The advisory people working in the region can henceforth make use of this easy method, consisting in measuring the yields and mineral contents of the herbage. The dilution curves of N, P, K can be used for the diagnosis of mineral shortages and the evaluation of the fields according to them.