

# Comment déterminer les facteurs limitants d'une prairie au printemps ? Cas des Marais de l'Ouest.

Y. Pons et E. Lafon

**L'**objectif de cette étude est de présenter une démarche permettant d'expliquer les écarts de production entre des parcelles d'éleveur et le potentiel. Dans une première partie nous présenterons les outils et les étapes aboutissant au diagnostic ; nous testerons ensuite la méthode sur un réseau de parcelles d'éleveurs.

## Les outils et la démarche

Le diagnostic repose sur le test de différents modèles et concepts issus des travaux de LEMAIRE (1985), SALETTE et LEMAIRE (1984) et de SALETTE et al. (1983) :

— La croissance de printemps (1<sup>er</sup> cycle) est déterminée par la contrainte climatique dominante qu'est la température. L'alimentation hydrique n'est généralement pas limitante.

— La notion de potentiel (SALETTE 1987), c'est-à-dire la production maximum de matière sèche (MS) élaborée par une prairie lorsque tous les facteurs de produc-

---

### MOTS CLÉS

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

### KEY-WORDS

Diagnosis, fertilization, growth curve, limiting factor, marsh, nitrogen, permanent pasture, phosphorus, potassium

### AUTEURS

INRA-DRSAD Unité INA-PG, Domaine Expérimental de Saint-Laurent-de-la-Prée, F-17450 Fouras

tion sont à leur niveau optimum, permet d'évaluer la production permise par les contraintes pédo-climatiques particulières d'une région. Pour atteindre ce potentiel, il est nécessaire que l'alimentation azotée et minérale ne soit pas limitante. La vitesse de croissance potentielle  $b$  (kg MS/ha/°.jour) est un indicateur de ce potentiel. Elle représente la pente dans le modèle (1) :

(1)  $MS = b(\Sigma T - a)$  où  $MS$  est la matière sèche produite (kg/ha),  $\Sigma T$  la somme des températures moyennes journalières (en °C) depuis le 1/02,  $a$  le départ apparent de végétation. Dans la partie linéaire de la courbe ( $MS$  comprise entre 1,5 et 5 t/ha),  $b$  constitue un paramètre peu variable entre années et types de prairies. Ainsi LEMAIRE (1985), LEMAIRE et al. (1987) trouvent des valeurs de vitesse de croissance potentielle de 10,5 à 14,5 et de 9 à 11,5 kg MS/ha/°.j respectivement pour les fétuques et les prairies naturelles.

Le modèle (2)  $N\% = \alpha(MS)^{-\beta}$  relie la biomasse aérienne récoltable et la teneur en azote du végétal. Les valeurs de  $\alpha$  et de  $\beta$  dépendent de la fertilisation azotée. La réalisation de la vitesse de croissance potentielle exige une nutrition azotée non limitante. Dans ce cas, on a la relation  $N\% = 4,8(MS)^{-0,32}$  (SALETTE et LEMAIRE, 1981 ; LEMAIRE et SALETTE, 1984a ; LEMAIRE et DENOIX, 1987).

SALETTE (1982), SALETTE et al. (1983, 1989), ont étendu cette même relation (2) aux teneurs minérales du fourrage (2') :  $M\% = \alpha'(MS)^{-\beta'}$  ( $M$  peut être P, K, Mg). Mais les valeurs de  $\alpha'$  et  $\beta'$  dépendent de la fertilisation azotée de la prairie. Ces relations ont été utilisées pour le diagnostic minéral par SALETTE et HUCHÉ (1989) et par PONS et LAFON (1989).

La relation (3)  $M\% = b(N\%) + a$  ( $M$  peut être P, K, Mg...) a été illustrée par SALETTE (1982). Elle découle de l'application de la relation (2') successivement à N, P et K. Elle relie linéairement  $M\%$  à  $N\%$  indépendamment de la matière sèche produite et des apports d'azote.

Différents auteurs donnent les valeurs des paramètres des droites de corrélation lorsque le facteur minéral P ou K est en quantité suffisante :

— Pour P, on trouve :

-  $P\% = 0,082 N\% + 0,105$  (SALETTE et al., 1982) ;

-  $P\% = 0,089 N\% + 0,09$  (PONS et LAFON, 1989).

— Pour K, on trouve :

-  $K\% = 0,71 N\% + 0,64$  (SALETTE et al., 1982) ;

-  $K\% = 0,46 N\% + 1,2$  (PONS et LAFON, 1989) ;

- entre les deux droites d'équation  $K\% = 0,6 N\% + 1,5$  et  $K\% = 0,6 N\% + 1,2$  pour SALETTE et HUCHÉ (1989).

En ce qui concerne P, les valeurs des paramètres sont très proches bien que les études aient été effectuées dans des contextes différents. En revanche, pour K, les relations existent mais les valeurs prises par les paramètres sont plus éloignées. Dans les marais de l'Ouest notamment, PONS et LAFON (1989) trouvent une droite plus basse. Il semble que pour les sols riches en sodium, il soit nécessaire de tenir compte de la teneur en sodium de la plante pour juger de l'état minéral potassique (interaction de K avec Na). Ainsi, en ajoutant la teneur en Na à celle de K par l'intermédiaire des équivalents cationiques on trouve pour Ke (Ke est la somme de K et de l'équivalent électrique de Na) l'équation :  $Ke\% = 0,55 N\% + 1,48$  qui est proche de SALETTE et HUCHÉ (1989).

Pour aboutir au diagnostic, la démarche consiste à :

- 1 : mettre en évidence les écarts de production entre des parcelles d'éleveur et le potentiel,
- 2 : expliquer ces écarts en comparant aux références, successivement et dans l'ordre, les teneurs de l'herbe en N, puis en P et enfin en K.

## **Mise en œuvre dans les marais de l'Ouest**

La figure 1 nous permet d'illustrer la variabilité du milieu et de son utilisation. Les éléments qui caractérisent le milieu au niveau du bassin sont le régime hydraulique et le sol ; pour les parcelles, c'est le mode de drainage. Ainsi, les marais "mouillés" sont soumis aux crues des rivières, les terrains y sont tourbeux et argileux, en général non drainés. En revanche, les marais desséchés sont protégés des eaux par des digues mais les sols peuvent être sodiques et donc très instables ; ils sont parfois drainés par rigoles. La prairie est la production obligatoire lorsque les contraintes hydrauliques ne sont pas maîtrisables ou lorsque le coût d'aménagement est prohibitif.

### **1. Dispositif et protocole expérimental**

Nous avons choisi chez des éleveurs des prairies représentatives d'une large gamme de situations en qui concerne les conditions de milieu (maîtrise de l'excès d'eau, type et comportement des sols), les années climatiques et les états initiaux de la flore (fétuque, prairie naturelle plus ou moins dégradée). Sur ces prairies nous avons créé une gamme d'états de nutrition minérale par deux types d'essais (PONS et al., 1989a) :

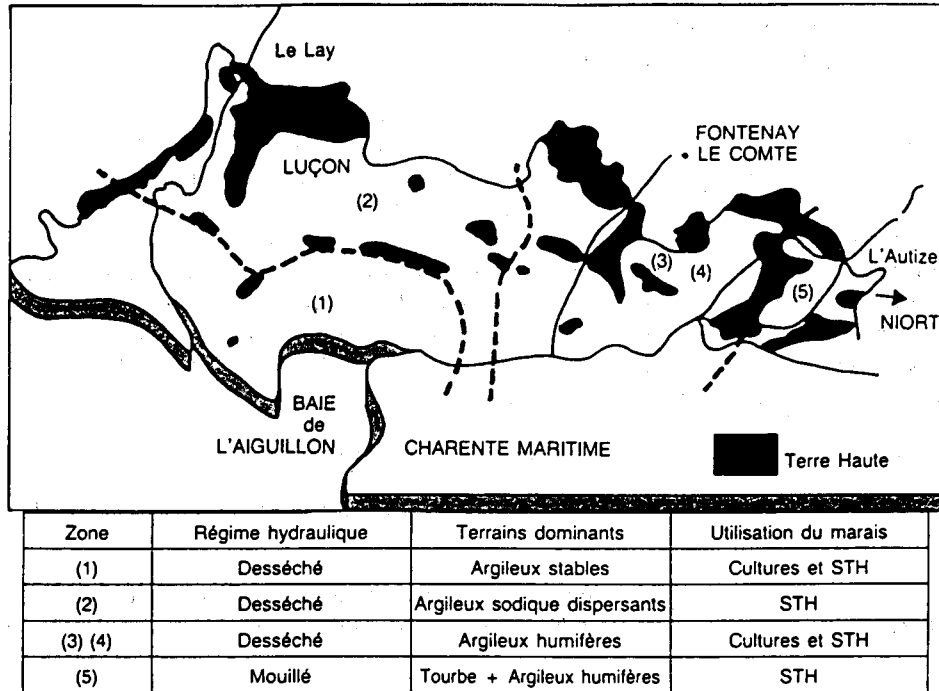


FIGURE 1 : Caractéristiques essentielles des 5 zones du Marais Poitevin

FIGURE 1 : Essential characteristics of the 5 zones of the Marais Poitevin

— Essais fertilisation azotée comportant chacun trois traitements : un témoin N0, une dose égale à celle mise par l'exploitant N1, et une dose élevée N2. On a associé une fertilisation minérale complémentaire en P et/ou K selon les types de réponse à la fertilisation azotée.

— Essais vitesse de croissance potentielle où les apports de N, P et K ne sont pas limitants (vérification a posteriori).

## 2. Constat : vitesses de croissance potentielle et écarts entre le fourrage récoltable par l'éleveur et le potentiel

Les valeurs des vitesses de croissance potentielle sont élevées et comparables aux références publiées (tableau 1). Il n'y a pas d'effet marquant du type de prairies ni du milieu (PONS et al., 1989b). En revanche, les écarts entre la production réalisée et le potentiel sont forts à très forts (40 à 75 %).

Type de marais	Type de prairie	Année	Vitesses de croissance		
			potentiel (a)	éleveur (b)	écart (%) $\frac{b-a}{a}$
Desséché	Prairie naturelle	1986	11,1	6,4	- 42
		1987	10,1	5,6	- 45
	Fétuque	1986	13,8	6,5	- 53
		1987	12,5	7,5	- 40
Mouillé	Prairie naturelle	1986	13,9	5,2	- 63
		1987	10,9	5,5	- 50
	Fétuque	1986	14,9	3,6	- 76
		1987	15,8	4,0	- 75
Référence fétuque LEMAIRE (1985)			12,4 ± 1,8		

TABLEAU 1 : Vitesses de croissance au printemps selon les milieux, les types de prairies et leur conduite (en kg/ha/° .jour)

TABLE 1 : Growth rates in Spring according to environment, grassland type and management (kg/ha/° .day)

### 3. Diagnostic

- Cet écart est-il dû à la nutrition azotée ?

La figure 2 illustre l'évolution simultanée de la matière sèche de l'herbe et de sa teneur en azote en fonction de doses croissantes d'azote. Dans le cas où N est limitant, la courbe d'équation  $N\% = 4,8(MS)^{-0,32}$  sépare les situations où N est limitant de celles où N est suffisant. Dans le cas où un autre élément minéral est limitant, il n'y a aucun effet de doses croissantes d'azote sur la production de matière sèche.

- Cet écart est-il dû à la nutrition phosphorique ?

La figure 3 montre l'évolution simultanée des teneurs en N et P de l'herbe. Si P est en quantité suffisante, les points (N, P) évoluent autour de la droite de régression  $P\% = 0,089 N\% + 0,09$  avec l'accroissement de matière sèche (flèche 1) ; l'apport de N fait évoluer les points vers la zone que l'on a appelé "limite", proche de la zone d'insuffisance. Par contre, si P est insuffisant, les points représentatifs (N, P) se trouvent au dessous de la droite ; un apport d'azote fait évoluer les points correspondants horizontalement en s'éloignant de la courbe de référence. Un apport de P ou de P-K, associé à une dose élevée d'azote fait évoluer respective-

ment la situation perpendiculairement à la direction de la droite ; un apport de K n'a aucun effet. Dans le cas où P est limite sans apport de N, l'insuffisance en P augmente avec les doses d'azote.

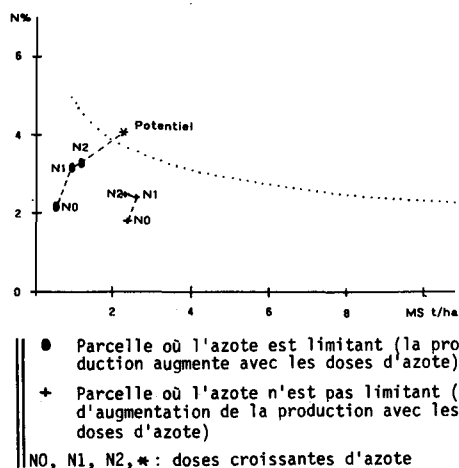


Figure 2

FIGURE 2 : Teneur en azote et matière sèche produite. En pointillés, la courbe limite "azote non limitant" :  $N = 4,8 MS^{-0,32}$

FIGURE 2 : Nitrogen content and dry matter yield. Dotted line : curve for "non-limiting N",  $N = 4,8 MS^{-0,32}$

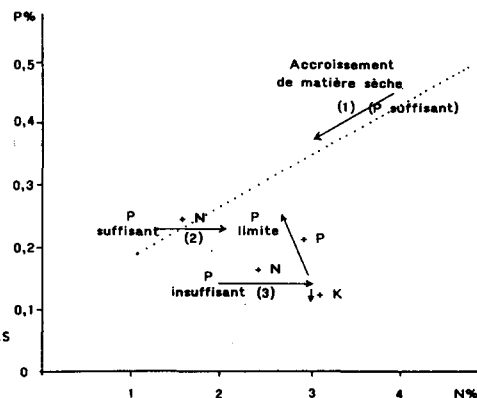


Figure 3

FIGURE 3 : Evolution des teneurs en phosphore et en azote de l'herbe selon 1) le degré de croissance, 2) la fertilisation azotée, 3) l'apport de N, P, K dans le cas où P est insuffisant. En pointillés : droite de régression  $P\% = 0,089 N\% + 0,09$  (P suffisant).

FIGURE 3 : Evolution of nitrogen and phosphorus contents of grass according to 1) growth stage, 2) nitrogen fertilization, 3) N, P and K application in case of inadequate P supply. Dotted line : regression line,  $P\% = 0,089 N\% + 0,09$  (adequate P supply).

### • Cet écart est-il dû à la nutrition potassique ?

Le même raisonnement et les mêmes constatations sont faites pour K. Ainsi, lorsqu'il est en quantité suffisante, l'évolution simultanée des teneurs en N et K se fait autour de la droite  $K\% = 0,46N\% + 1,2$ .

## Discussion et conclusion

Lorsque le facteur minéral M est en quantité suffisante, les résultats présentés ci-dessus confirment les lois proposées par SALETTE et al (1983). Lorsque le facteur

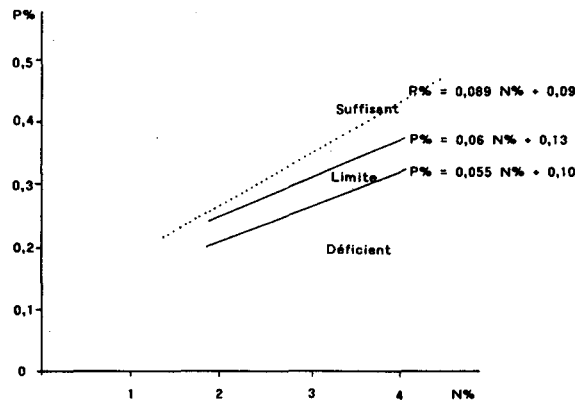


FIGURE 4 : Etats de nutrition phosphorique et teneurs en P et en N de l'herbe (cas des Marais de l'Ouest)

FIGURE 4 : Phosphorus supply and N and K contents of grass (Marshlands of Western France)

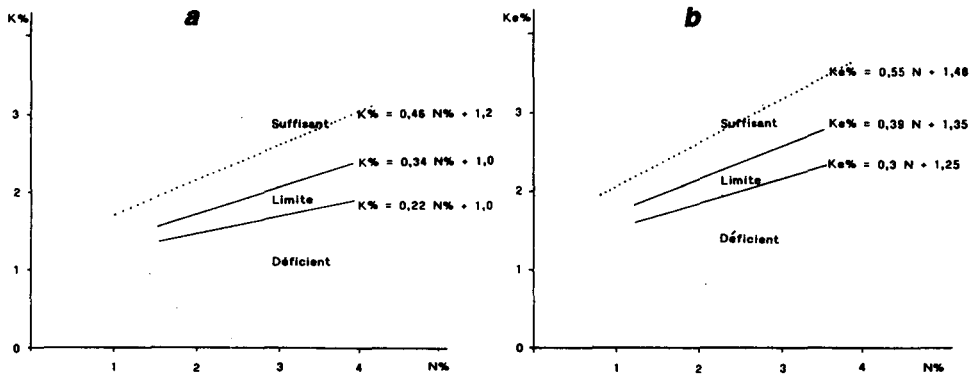


FIGURE 5 : Dans les Marais de l'Ouest, a) états de nutrition potassique et teneurs en K et N de l'herbe, b) états de nutrition d'“équivalents potassiques” (Ke, voir texte) et teneurs en Ke et N de l'herbe

FIGURE 5 : Case of the marshlands of Western France, a) Potassium nutrition and K and N contents of grass, b) “Potassium equivalent” nutrition (Ke) and Ke and N contents of grass

minéral M est en quantité insuffisante, les points n'obéissent plus aux relations et ont tendance à s'éloigner de la relation de référence en passant progressivement d'une zone de suffisance à une zone d'insuffisance de plus en plus prononcée. La grande gamme d'états minéraux créée dans les essais permet d'élaborer des normes qui précisent graphiquement les zones “P, K suffisant”, “P, K limite”, “P, K insuffisant” (figures 4 et 5). La notion de seuil paraît mal adaptée à cette progressivité. C'est pourquoi nous parlons de zone limite. Pour K (figure 5a), compte-tenu de

l'interaction avec le sodium, nous proposons cette distinction uniquement pour les marais de l'Ouest. Pour les sols riches en Na, il semble nécessaire de tenir compte de la teneur en sodium de la plante pour juger de l'état minéral potassique (interaction de K avec Na). Ainsi, en ajoutant la teneur en Na à celle de K par l'intermédiaire des équivalents cationiques (figure 5b) on obtient une zonation du plan proche de celle de SALETTE et HUCHÉ publiée dans ce même n° de *Fourrages*.

En conclusion :

— malgré des conditions variées de milieu, les vitesses de croissance potentielle sont voisines et élevées par rapport aux références publiées (LEMAIRE, 1985) ;

— lorsqu'on associe des essais "fertilisation azotée" à des mesures de vitesse de croissance potentielle, on se donne les moyens d'identifier les conditions et/ou les facteurs limitants en établissant des références ;

— l'utilisation des lois reliant les teneurs en azote avec la matière sèche d'une part et avec P et K d'autre part permet d'interpréter les valeurs obtenues dans les diverses situations expérimentales.

*La démarche de diagnostic des insuffisances minérales* doit suivre impérativement les différentes étapes :

— comparaison de la croissance réelle à la croissance potentielle ;

— diagnostic du niveau de nutrition N ;

— diagnostic des niveaux de nutrition P puis K qui sont sous la dépendance du niveau de nutrition azotée.

Le diagnostic des insuffisances minérales peut se traduire par une grille dichotomique dont les nœuds successifs sont la matière sèche produite, les teneurs en N, P et K et dont les choix sont la suffisance ou l'insuffisance des productions et des teneurs minérales.

Ces méthodes et démarches sont simples. Elles peuvent être appliquées par les organismes de développement agricole et ainsi contribuer à élaborer un référentiel d'interprétation des teneurs minérales de l'herbe.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.,  
"La prairie permanente : typologie et diagnostic",  
les 25 et 26 avril 1990.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LEMAIRE G. (1985) : *Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque pendant l'hiver et le printemps. Effets des facteurs climatiques*, thèse doctorat d'état, Université de Caen.
- LEMAIRE G. (1987) : "Modélisation de la croissance et diagnostic de la nutrition azotée d'une prairie", *Production des prairies au printemps : prévisions et diagnostics - une nouvelle approche à développer*, Min. Agric., DGER, 60 p.
- 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. (1984) : "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., 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.
- PONS Y., LAFON E. (1989) : "Rendement des prairies dans les Marais de l'Ouest. Diagnostic des insuffisances minérales", *Proc. XVIth Intern. Grassl. Cong.*, Nice, pp 5-6.
- PONS Y., CAPILLON A., DAMOUR L., LAFON E. (1989a) : "Intensification des prairies dans les Marais de l'Ouest. I. Conception d'une expérimentation multilocale dans un milieu diversifié", *Fourrages*, 120, 351-366.
- PONS Y., LEMAIRES G., LAFON E., SALETTE J. (1989b) : "Intensification des prairies dans les Marais de l'Ouest. II. Nutrition N, P, K et production : méthodes de diagnostic", *Fourrages*, 120, 367-381.
- SALETTE J. (1982) : "The role of fertilizers in improving herbage quality and optimization of its utilisation", *Proc. 12th Cong. Intern. Potash Institute Bern*, 117-144.
- SALETTE J. (1987) : "Mieux expliquer les variabilités dans la production d'herbe : intérêt et application du concept de potentiel de production", *Production des prairies au printemps : prévisions et diagnostics - une nouvelle approche à développer*, Min. Agric., DGER, 60 p.
- SALETTE J. et LEMAIRES G. (1981) : "Sur la variation de la teneur en azote des graminées fourragères pendant leur croissance : formulation d'une loi de dilution", *C.R. Acad. Sc. Paris*, 292, 875-878.
- SALETTE J., LEMAIRES G. et ROBICHET J. (1983) : *Relations spécifiques entre teneurs en azote et minéraux, et degré de croissance des repousses de graminées fourragères*, Séminaire d'étude sur la physiologie de la plante entière, Chambon du Lac, Département d'agronomie INRA.
- SALETTE J., HUCHÉ L. (1989) : "The diagnosis of grassland mineral nutrient status through herbage analysis", *Proc. XVIth Intern. Grassl. Cong.*, Nice, pp 65-67.
- SALETTE J., HUCHÉ, L. et LEMAIRES G. (1989) : "Modelling nitrogen and mineral nutrient uptake by a grass sward : short term studies during the sward growth", *Proc. XVIth Intern. Grassl. Cong.*, Nice, pp 61-62.

### RÉSUMÉ

Une méthode simple permet de déterminer les facteurs limitants minéraux d'une prairie au printemps. Elle consiste à comparer des parcelles d'éleveurs à des parcelles au "potentiel" (N, P, K non limitants) en ce qui concerne la production de fourrage récoltable et les teneurs minérales du fourrage.

Les relations qui existent entre les teneurs en azote et la matière sèche d'une part, et P, K d'autre part, constituent un référentiel permettant d'interpréter les diverses valeurs obtenues.

Les normes qui ont permis d'interpréter les valeurs trouvées dans les prairies des Marais de l'Ouest sont présentées.

### SUMMARY

#### *Determination of the limiting factors of a pasture in Spring. Case of the marshlands in Western France*

A simple method is described for the determination of the limiting mineral factors of a pasture in Spring. It consists in comparing the plots of farmers with other plots, deemed at their "potential" (i. e. with non-limiting N, P and K), as regards the amount of available forage and the mineral contents of this forage.

The relationships between N contents and dry matter on the one hand, and P and K on the other hand, are used as references against which the various values observed may be interpreted.

The norms are given which have been set up for the interpretation of the values observed in the marshlands of Western France