

# modélisation de la croissance et diagnostic de la nutrition azotée d'une prairie

**Gilles LEMAIRE**  
Station d'Ecophysiologie  
des Plantes Fourragères  
INRA - 86600 Lusignan

## potentiel de production et climat au printemps

L'analyse des courbes de croissance obtenues au printemps à *Lusignan* nous avait amené à proposer un modèle prévisionnel de la croissance potentielle à cette période, basé sur une relation linéaire entre la matière sèche élaborée et la somme de températures cumulées depuis la date de la dernière exploitation d'automne :

$MS = b(\sum\theta - a)$ , avec

**b** = vitesse de croissance potentielle exprimée en kg de MS/ha/degé x jour.

**a** = départ apparent en croissance

Du fait de la non linéarité de la croissance en tout début de printemps nous avons proposé d'exprimer la précocité de croissance par la valeur de **a'** qui représente la somme de températures nécessaire pour obtenir une production de 1,5 tonne de MS.ha-1, soit :  $a' = (\sum\theta) 1,5$ .

Ainsi, la croissance potentielle de printemps peut être décrite par sa vitesse **b** et sa précocité **a'**, exprimée en fonction de la température. Un tel modèle, s'il se vérifiait dans une large gamme de conditions climatiques, devrait permettre de déterminer aisément les potentiels de production des différentes espèces et variétés dans les différentes régions.

Pour la *fétuque élevée Ludelle* nous obtenons à *Lusignan* :

$MS = 11,4 (\sum\theta - 763)$

soit une vitesse de croissance **b** de 11,4 kg de MS/ha/degé x jour et une précocité de croissance **a'** de 890 degrés x jours.

Pour la variété *Clarine* à croissance un peu plus précoce nous obtenons une valeur de **b** équivalente et une valeur de **a'** = 800 degrés x jours environ.

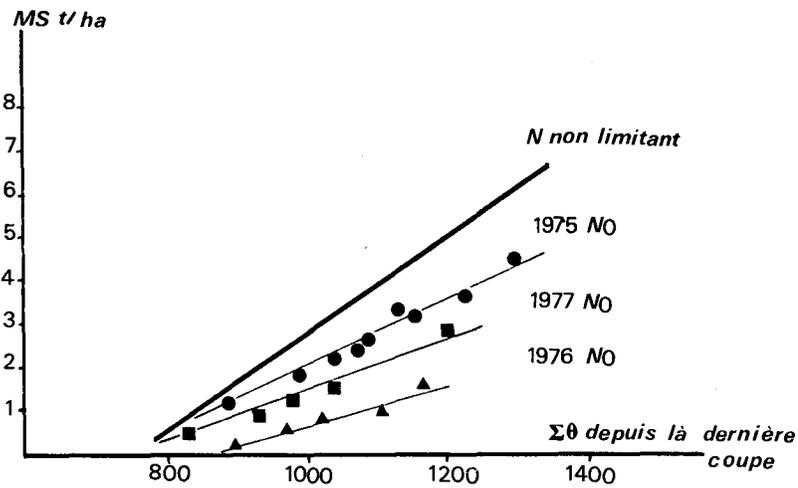


figure 1 - croissance de la fétuque élevée en fonction de la somme de température azote non limitant :

MS Kg/ha =  $11,4(\Sigma\theta - 763)$  ;  $a' = 890$  degrés x jours

sans apport d'azote :

1975. MS =  $7,7(\Sigma\theta - 720)$  ;  $a' = 915$

1976. MS =  $4,8(\Sigma\theta - 873)$  ;  $a' = 1185$

1977. MS =  $5,7(\Sigma\theta - 740)$  ;  $a' = 1003$

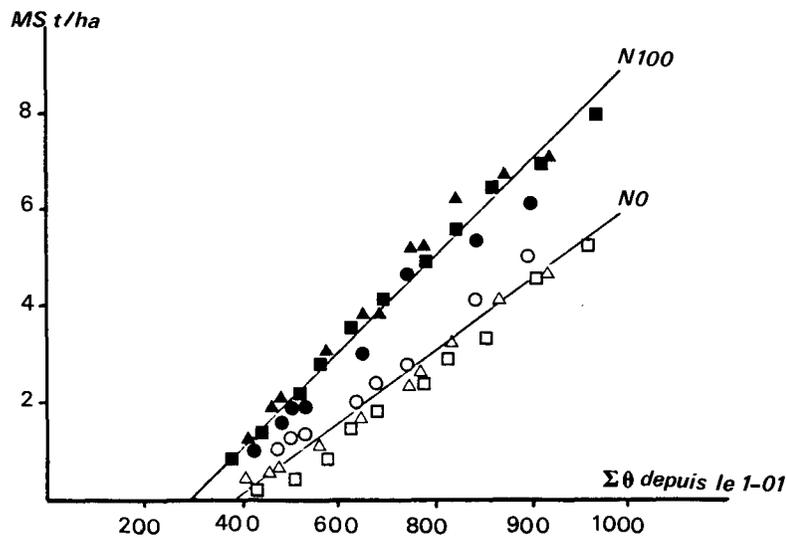


figure 2 - relation entre la croissance d'une prairie permanente au Pin au Haras et les sommes de température pour deux niveaux de fertilisation azotée :

(● ○) 1977 ; (▲ △) 1979 ; (■ □) 1980

N 100 - MS Kg/ha =  $10,0(\Sigma\theta - 294)$

N 0 - MS Kg/ha =  $7,2(\Sigma\theta - 385)$

Dans les conditions de *Lusignan*, nous avons également montré qu'il était indispensable de comptabiliser les températures depuis la date de dernière coupe d'automne pour déterminer avec le maximum de précision la précocité de croissance  $a'$ . Ceci s'explique par le fait qu'en situation d'hiver doux il n'y a pas d'arrêt de végétation pendant l'hiver. Le même modèle de croissance a pu être également appliqué à une prairie permanente au *domaine INRA du Pin au Haras*. Dans cette situation le cumul des températures à partir du 1er janvier est suffisant :

$$MS = 10,0 (\Sigma\theta - 294)$$

soit une vitesse de croissance  $b$  de 10 kg de MS/ha/degré x jour et une précocité de croissance  $a'$  de 440 degrés x jours après le 1er janvier.

Bien entendu, un tel modèle décrivant la croissance potentielle nécessite pour être vérifié que le niveau de nutrition azotée ne soit pas limitant. En cas de déficience de la nutrition azotée, les paramètres  $b$  et  $a'$  du modèle sont affectés proportionnellement à l'importance du déficit de nutrition azotée. A *Lusignan*, les parcelles ne recevant pas d'azote au printemps montrent une grande variabilité de croissance à la fois en termes de précocité et en termes de vitesse (*figure 1*). Ainsi, l'effet du manque d'azote peut être estimé par comparaison avec la croissance potentielle à azote non limitant. On constate que la fourniture d'azote par le sol a été très variable selon les années ce qui a conduit à des vitesses et des précocités de croissance très différentes. Ainsi, la production de 1,5 t de MS n'a été retardée que de 25 degrés x jours en 1977 alors que l'écart est de près de 300 degrés x jours en 1976.

Au *Pin au Haras* sur prairie permanente, nous constatons au contraire une grande stabilité de la fourniture d'azote par le sol sur les parcelles non fertilisées (*figure 2*)  $MS = 7,2 (\Sigma\theta - 385)$  soit une vitesse de croissance  $b$  de 7,2 kg de MS/ha/degré x jour (réduction de 28% par rapport au potentiel) et une précocité de croissance  $a'$  de 590 degrés x jours, ce qui correspond à un retard de croissance de 150 degrés x jours par rapport à la croissance potentielle (soit 18 jours avec une température moyenne de 8°C). Pour pouvoir utiliser de tels modèles de croissance à des fins prévisionnelles ou à des fins de diagnostic de situations réelles il est nécessaire :

- ◇ de vérifier la pertinence du modèle dans une gamme de situations plus large,
- ◇ de pouvoir s'assurer que le niveau de nutrition azotée était bien non limitant pour la détermination de la croissance potentielle.

## **relation entre croissance en matière sèche et prélèvements d'azote**

Pour pouvoir juger du niveau réel de la nutrition azotée d'une prairie nous avons été amenés, parallèlement aux études sur les effets du climat sur le potentiel de croissance, à élaborer un modèle permettant de relier directement l'évolution des teneurs en azote de l'herbe à sa cinétique de croissance en matière sèche :  $N\% = \alpha MS^{-\beta}$ .

Pour différents niveaux de nutrition azotée, les teneurs en azote de l'herbe évoluent selon une famille de courbes représentée sur la *figure 3*. Au fur et à mesure de l'enrichissement en azote du milieu on passe à une courbe supérieure en augmentant à la fois la teneur en azote et la vitesse de croissance, au-delà duquel on assiste à l'enrichissement de la teneur en azote

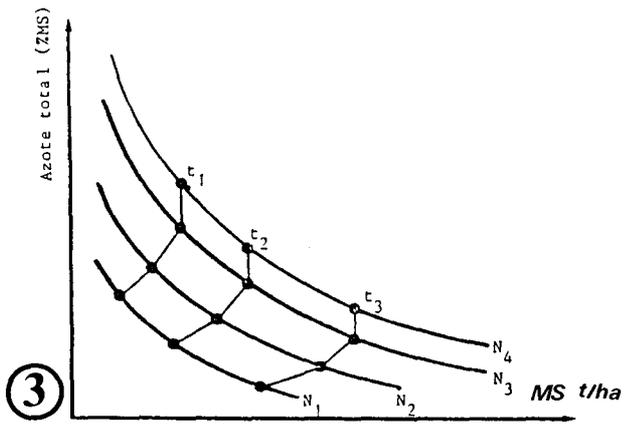


figure 3 - schéma des courbes de dilution de l'azote dans la matière sèche produite au cours d'une repousse  
 $\%N = \alpha (MS)^{-\beta}$   
 N1, N2, N3, N4 = niveaux d'offre d'azote par le milieu  
 t1, t2, t3 = différentes durées de repousse  
 N3 : courbe de référence "azote non limitant"

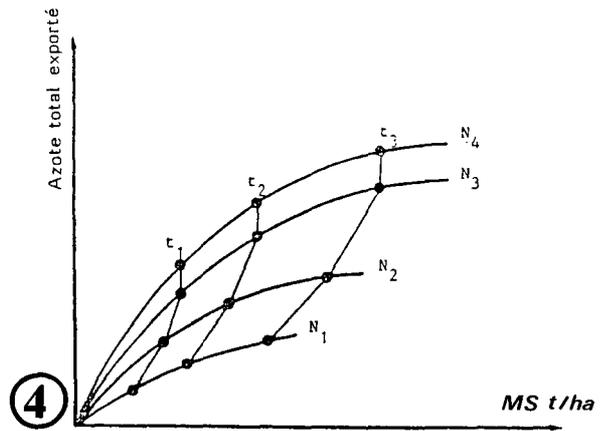


figure 4 - schéma des courbes d'exportation d'azote total par la matière sèche produite au cours d'une repousse  
 $N_{exp} = 10\alpha (MS)^{1-\beta}$   
 N1, N2, N3, N4 = niveaux d'offre d'azote par le milieu  
 t1, t2, t3 = différentes durées de repousse  
 N3 : courbe de référence "azote non limitant"

figure 5 - courbes de croissance estivale en matière sèche de la fétuque élevée en irrigué en fonction de différents niveaux de fertilisation azotée  
 ● N 0 ; ▲ N 50 ; ■ N 100 ; ◆ N 150

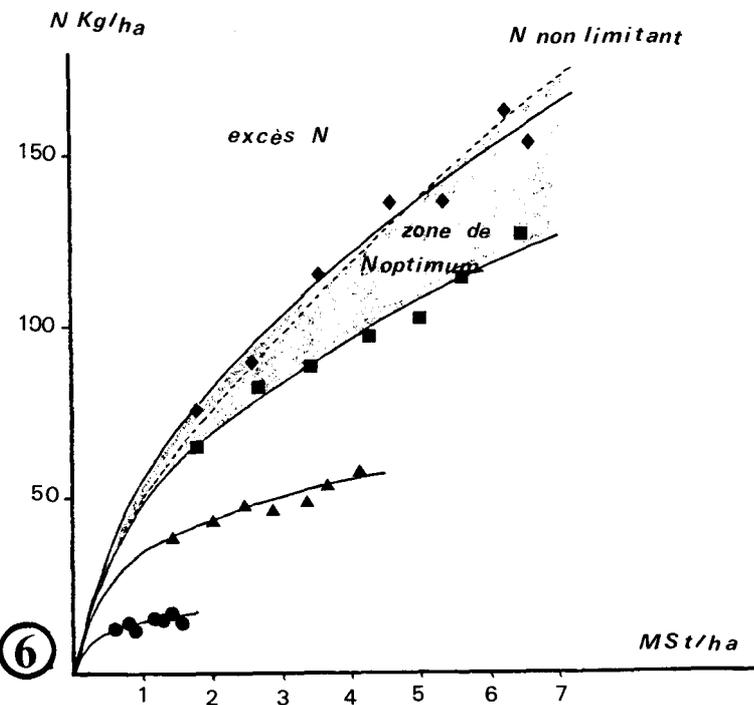
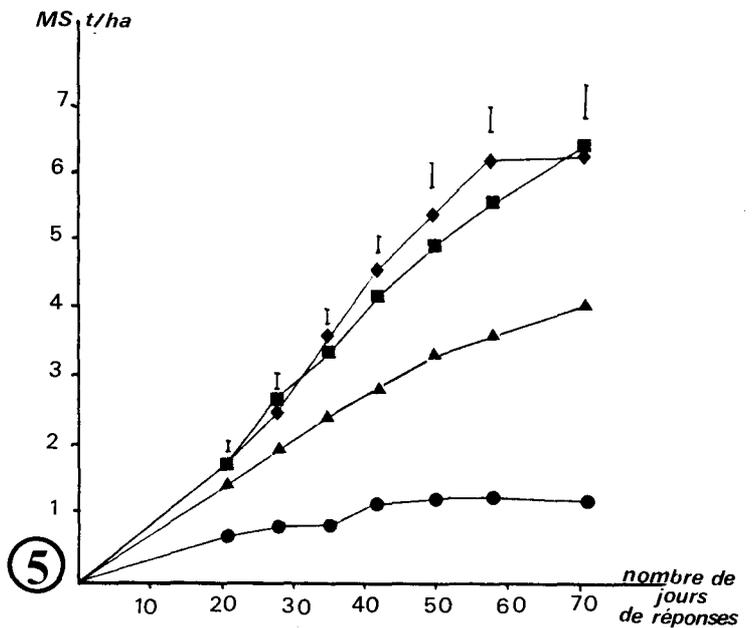


figure 6 - relation entre les prélèvements d'azote et la croissance en matière sèche pour la fétuque élevée en été et en irrigué en fonction des niveaux d'apport d'azote. Comparaison avec la courbe de référence N non limitant obtenue au printemps  $N = 48(MS)^{0.68}$

sans augmentation correspondante de croissance (*figure 3*).

Cette relation entre N% et MS permet d'obtenir une relation équivalente entre l'azote prélevé par les parties aériennes et la croissance en matière sèche :  $N_{Kg/ha} = 10 \alpha MS^{1-\beta}$  (*figure 4*).

Le coefficient  $10 \alpha$  représente la quantité d'azote nécessaire à l'élaboration de la première tonne de matière sèche, il est caractéristique du niveau de nutrition azotée en début de repousse, il est donc fortement influencé par les apports d'engrais. Le coefficient  $(1-\beta)$  représente l'amortissement des prélèvements d'azote au cours de la croissance, les faibles valeurs de ce coefficient indiquent une dégradation de la nutrition azotée en cours de repousse, les fortes valeurs indiquent par contre une amélioration de la nutrition.

En situation de nutrition azotée non limitante au printemps nous avons pu établir une relation stable entre années et identique pour divers génotypes de *Fétuque élevée* et de *Dactyle* :  $N \text{ kg/ha} = 48 (MS)^{0.68}$ .

Cette relation peut servir de référence pour diagnostiquer le niveau réel de nutrition azoté d'une prairie.

Un exemple d'utilisation de ces courbes est donné sur les *figures 5 et 6*. On constate que pour chaque niveau d'apport d'azote on obtient une courbe caractéristique. Entre les doses 100N et 150N il existe une légère différence significative de croissance. Ceci se traduit par une nette différenciation des courbes de dilution. On peut noter également que la courbe de dilution correspondant à 150N est très voisine de la courbe de référence "N non limitant" établie par ailleurs. On peut donc considérer que sur la *figure 5* les courbes de prélèvement N100 et N150 délimitent trois zones :

◊ *la zone située au-dessus de la courbe "N non limitant"* qui correspond à un excès de teneur en azote. Il s'agit alors d'herbe riche en nitrate et formes solubles d'azote,

◊ *la zone intermédiaire entre les courbes N150 et N100* qui correspond à des teneurs optimum pour lesquelles on peut observer une croissance très proche du potentiel,

◊ *la zone située en-dessous de la courbe N100* qui correspond à une limitation d'autant plus importante de la croissance que l'on s'éloigne de la courbe "N non limitant".

## conclusions

Un diagnostic du niveau de nutrition azotée d'une prairie peut être établi *in situ* grâce à une mesure simultanée de la quantité de matière sèche présente sur la parcelle et de la teneur en azote de l'herbe. Cet outil de diagnostic, facile à mettre en oeuvre, doit permettre une interprétation plus rigoureuse des données expérimentales en déterminant avec précision le degré de satisfaction des besoins en azote d'une prairie dans des conditions données.

L'utilisation conjointe des deux modèles décrits ici doit permettre une analyse précise de chaque situation observée. La connaissance à priori de la croissance potentielle par le modèle  $MS : b (\Sigma \theta - a)$  permet de mesurer l'écart avec la croissance réellement observée. Le diagnostic de nutrition azotée réalisé au moyen des relations  $N \text{ exp} = 10\alpha (MS)^{1-\beta}$  permet de savoir si l'azote a été réellement le facteur limitant la croissance ou bien s'il faut envisager l'intervention d'autres facteurs (nutrition P-K, excès d'eau, etc...).

La mise en oeuvre de tels outils nécessite auparavant la confirmation que les modèles utilisés ont bien une portée générale. C'est dans cet esprit qu'un réseau d'expérimentation a été mis en place. Dans un premier temps nous nous sommes limités aux régions de l'ouest océanique à conditions hivernales peu rigoureuses.