

mieux expliquer les variabilités dans la production d'herbe : *intérêt et applications du concept de potentiel de production*

Jean SALETTE

Laboratoire d'agronomie
de la Prairie

Station d'agronomie INRA
Beaucouzé - 49000 Angers

Un des objectifs essentiels du travail des agronomes est d'expliquer et de maîtriser les causes de variabilité de la production végétale. Cette variabilité est toujours double, dans le temps et dans l'espace, et elle se manifeste à plusieurs échelles : variabilité entre années et entre saisons d'une part, variabilité intra et inter-parcellaire, entre types de sol, entre régions d'autre part. Ces variabilités sont l'expression de variation dans la combinaison des facteurs et des contraintes du sol et du climat et dans les effets des techniques qui s'exercent sur un peuplement végétal donné.

Dans le domaine de la prairie, la variabilité s'exerce en plus sur les différentes repousses successives dont l'ensemble constitue la production fourragère annuelle, ce qui conduit à raisonner sur l'unité physiologique que constitue une repousse.

L'étude de la production des prairies de graminées au printemps est particulièrement intéressante à plusieurs égards :

◇ la température est la contrainte climatique largement dominante ; et il n'y a pas, comme dans les repousses suivantes, de risque de nutrition hydrique insuffisante (c'est par contre la contrainte de l'excès d'eau qui, dans de nombreuses parcelles, peut réduire et retarder la croissance de l'herbe),

◇ la combinaison des facteurs simples de la croissance que sont la température et le niveau de nutrition azotée suffit pour expliquer une grande partie (*) de la variabilité de la croissance,

◇ les "questions" correspondantes des éleveurs ont une grande importance dans les décisions de gestion des systèmes fourragers : précocité de départ en croissance des différentes prairies, date d'apport de l'azote, gain de temps permis par l'azote, prévision de la date de mise à l'herbe, prévision de la production d'herbe, détermination du chargement adéquat.

nécessité et définition du concept de potentiel de production

L'interprétation cohérente de données expérimentales qui sont nécessairement variables, nécessite la référence à une échelle des productions d'herbe qui corresponde à une échelle de facteurs de production (c'est le cas de la courbe de réponse "matière sèche produite" - "doses d'azote") ; elle nécessite également de pouvoir comparer les données obtenues à des références invariantes de production qui soient

(*)l'effet de l'azote d'automne, la physiologie hivernale des graminées, l'interaction climat x type de sol dans la dynamique de l'azote, restent des thèmes explicatifs à approfondir davantage.

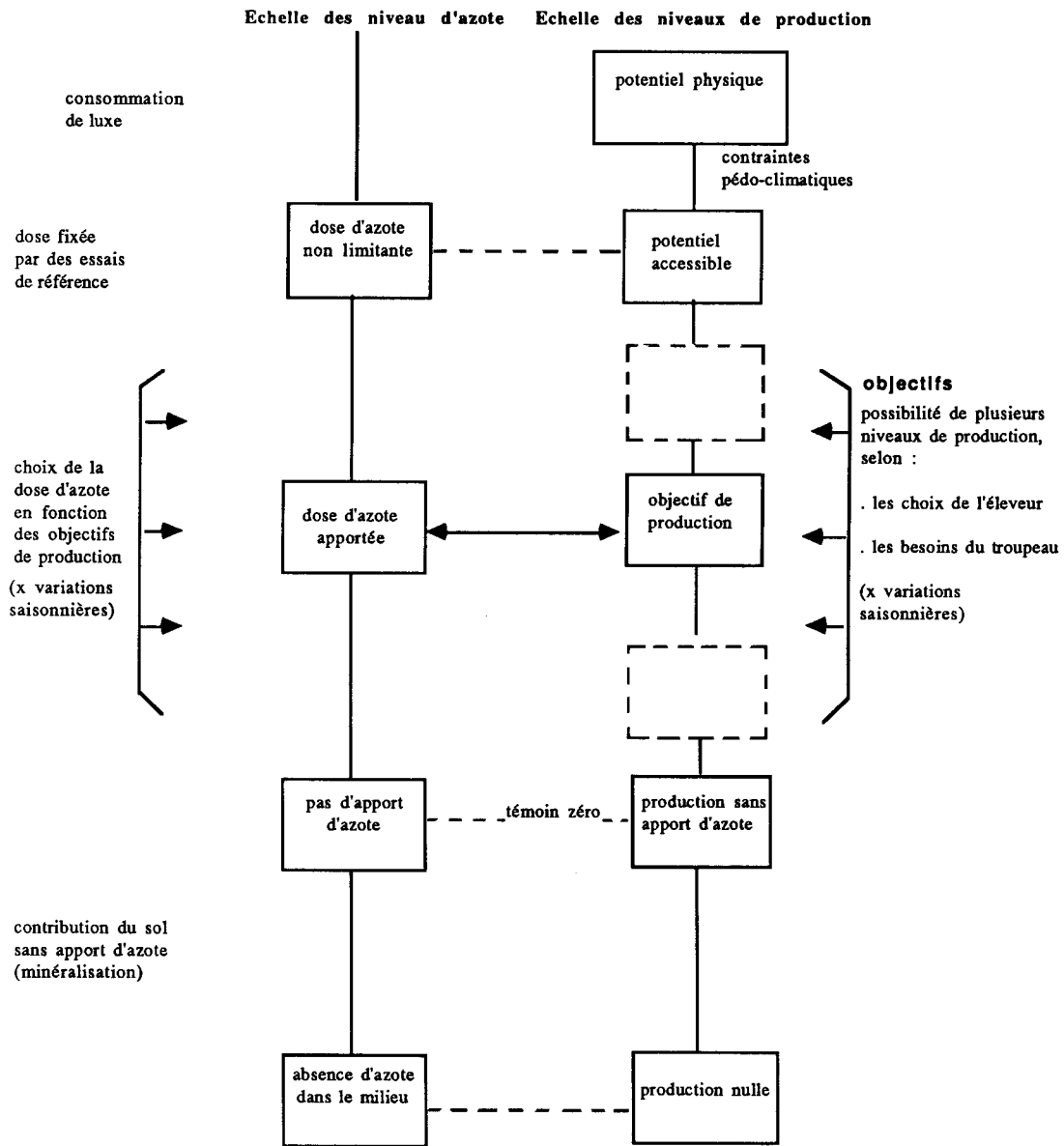


figure 1
correspondance entre l'échelle des niveaux d'azote et l'échelle des niveaux de production.
 Cette correspondance traduit la relation entre les niveaux progressifs de nutrition azotée et la production végétale qui en résulte, et se décrit sur le même intervalle de variation que la courbe de réponse à l'azote dans les mêmes conditions. Cette correspondance privilégiée avec l'azote se justifie amplement pour la production prairiale en raison du rôle fondamental joué par l'azote dans la croissance des graminées et de l'effet instantané de son apport sur l'augmentation des vitesses de croissance.
 La figure illustre également comment le choix d'un niveau de nutrition azotée doit résulter du choix correspondant d'un objectif de production

caractéristiques d'un milieu donné : le concept de potentiel de production correspond à cette nécessité (*figure 1*).

L'étude du vocabulaire nous apprend que le terme "potentiel" s'applique à tout ce qui existe "en puissance", à tout ce qui exprime "une possibilité", ou une "capacité" de production qui se réalise sous réserve d'une condition ou de plusieurs conditions : on appellera donc **Potentiel de production** la production maximum de matière sèche élaborée par une prairie lorsque tous les facteurs de production sont à leur niveau d'action maximum. Lorsqu'il s'agit des facteurs de production sur lesquels l'agriculteur peut agir (niveau de fertilisation, correction des contraintes de sol de nature physique ou physico-chimique facilement modifiables, utilisation de techniques culturales optima) on parlera de **Potentiel accessible**.

Par extension, si l'on suppose corrigées toutes les contraintes de sol et de pédo-climat, l'application de tous les facteurs de production à leur niveau d'action maximum permet de réaliser le potentiel réel de production ou **Potentiel physique**. Ce potentiel physique caractérise essentiellement les potentialités climatiques au sens large d'un milieu donné ; il n'a qu'une valeur théorique, par opposition au potentiel accessible, dont la réalisation peut être obtenue dans la pratique (par exemple, 100 quintaux de blé en zone céréalière représentent une production très proche du potentiel accessible, dans les conditions actuelles des techniques culturales).

correspondance entre niveaux d'azote et niveaux de production. Concept de dose d'azote non limitante

Cette correspondance entre échelle de niveaux d'azote appliqués à la prairie par des doses d'engrais et une échelle de production d'herbe récoltable (*figure 1*) est une représentation de la gamme des productions croissantes qui est usuellement figurée par la classique courbe de réponse à l'azote. Au bas de l'échelle, la production sans apport d'azote (témoin zéro des courbes de réponse) correspond à la minéralisation du sol sans apport extérieur d'azote minéral ; elle est extrêmement variable selon les types de sol et cette variabilité est augmentée en raison des grandes différences entre années qui résultent de la forte interaction climat x sol vis-à-vis de la capacité de minéralisation du sol en azote.

En haut de l'échelle, pour obtenir la réalisation de la production qui caractérise le **Potentiel accessible** on doit appliquer une dose d'azote que nous appelons **dose d'azote non limitante**. Par rapport à la situation sans apport d'azote, la production réalisée avec la dose non limitante est nettement moins variable. Cette dose peut être déterminée empiriquement pour une région et un type de végétation prairiale donnés, par des expérimentations au champ. Dans l'Ouest de la France on admet que pour la repousse de printemps, la dose d'azote non limitante (Nnl) est de l'ordre de 180 Kg N/ha (avec application d'un tiers de cette dose en automne) ; pour des repousses végétatives, à partir du mois de mai, la dose non limitante est de 150 Kg N/ha. Ces doses sont assez peu variables selon les années. Les niveaux d'azote supérieurs à la dose non limitante entraînent une véritable consommation de luxe qui se traduit par un enrichissement de la plante en azote nitrique et en azote organique soluble sans augmentation de la production.

Dans la pratique (*figure 1*), et contrairement à la situation normale des cultures annuelles, la dose d'azote apportée est très souvent inférieure, pour des raisons de sécurité des systèmes fourragers, à la dose non limitante. Il est souhaitable, pour déterminer la dose d'azote à apporter, de raisonner en fonction des objectifs de production (correspondance objectif de production végétale et objectif de satisfaction des besoins du troupeau, ajustement aux

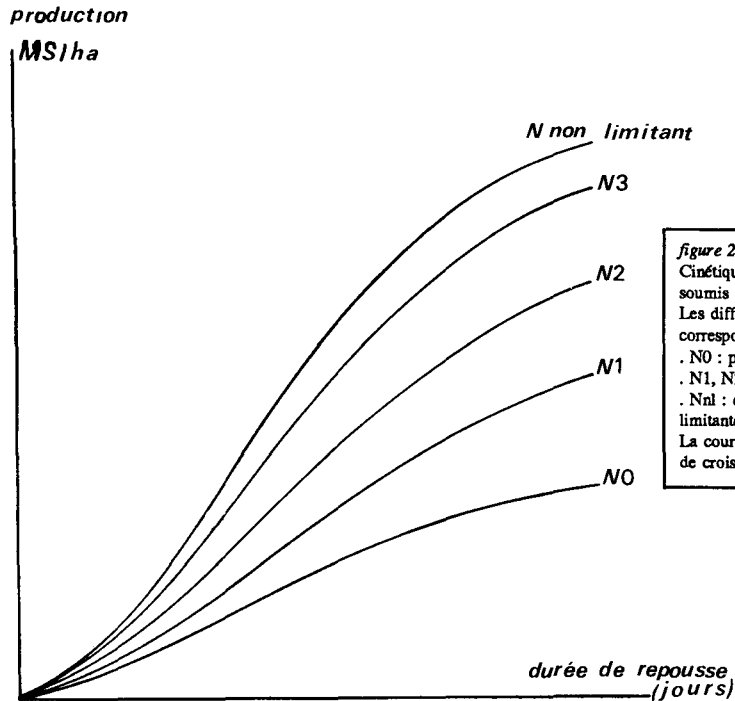
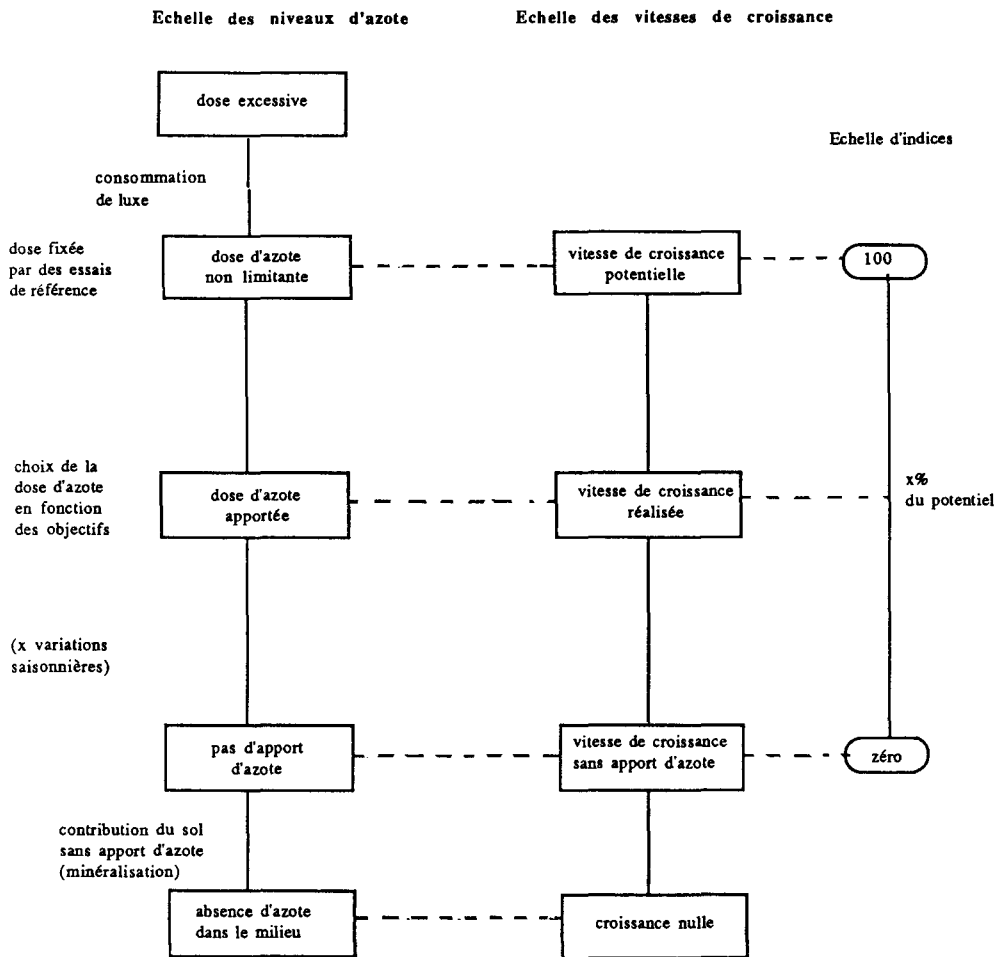


figure 2
Cinétique de repousse $MS = f(t)$ d'un peuplement de graminées soumis à une gamme complète de niveaux de nutrition azotée. Les différentes courbes de croissance des repousses ainsi réalisées correspondent à :
 . N0 : pas d'apport d'azote
 . N1, N2, N3 : doses croissantes
 . Nnl : dose correspondant au niveau de nutrition azotée non limitante.
 La courbe Nnl est la courbe enveloppe de cet ensemble de courbes de croissance.

figure 3
Correspondance entre l'échelle des niveaux d'azote et l'échelle des vitesses de croissance pour la repousse donnée.
 Ce schéma montre que l'on peut également faire des comparaisons par référence à une échelle d'indices, de 0 à 100.



variations saisonnières de la productivité de l'herbe et des besoins du troupeau).

le critère de vitesse de croissance : une nécessité pour l'analyse précise de la production prairiale

La comparaison des productions sur la base des quantités d'herbe récoltable produite (MS/ha) se heurte à une difficulté essentielle qui tient à la nature de la production d'herbe : la croissance est en effet un phénomène continu et l'exploitation, par fauche ou par pâture, n'intervient pas à une date précise au cours de la repousse ; toute détermination de la production végétale dépend en fait du moment auquel se fait la coupe (choix d'un point sur une courbe de repousse). Il est donc logique de caractériser la productivité d'une prairie par des vitesses de croissance ($\Delta MS/\Delta t$) ce qui permet de s'affranchir des erreurs qu'entraînerait la comparaison de productions obtenues à la suite de durées de repousse différentes (c'est pourquoi dans les expérimentations usuelles la comparaison de résultats provenant d'essais différents est à la fois si difficile et si décevante).

C'est notamment pour cette raison que nous avons étudié la production fourragère par l'analyse détaillée des cinétiques de repousse (*figure 2*). L'allure de la courbe de repousse d'un peuplement de graminées est sous la dépendance du niveau d'azote : à plusieurs niveaux de nutrition azotée correspond une famille de courbes dont l'enveloppe est précisément la courbe de croissance obtenue avec le niveau d'azote non limitant (Nnl). Le concept d'azote non limitant se retrouve ici et prend toute son expression avec la vitesse de croissance qui lui correspond et que l'on appelle **Vitesse potentielle de croissance**.

Les potentiels de production définis plus haut permettent essentiellement des comparaisons globales, par exemple des comparaisons de productivité fourragère, à petite échelle, entre régions. Ils sont insuffisants pour rendre compte de façon explicative des différences entre plusieurs situations expérimentales ou réelles, surtout vis-à-vis de la distribution de la production au cours des repousses successives des différentes saisons de l'année.

La vitesse de croissance moyenne d'une repousse, ou mieux, la vitesse de croissance de la phase centrale de la courbe de repousse dans sa partie assimilable à une droite, est le critère le plus performant pour caractériser un état de croissance et de productivité d'un peuplement prairial.

La *figure 3* représente un élargissement de la *figure 1* et illustre la correspondance entre la gamme des niveaux de nutrition azotée (représentée par des doses croissantes d'azote, de zéro à N non limitant) et l'échelle des vitesses de croissances du peuplement végétal.

Une échelle d'indices, de 0 à 100, permet de repérer une production donnée en % du potentiel, ce qui donne au potentiel (en production ou en vitesse) la valeur d'une bonne référence.

Il est important de noter que cette correspondance varie selon la saison, ce qui permet d'affiner les interprétations de résultats expérimentaux et l'analyse des situations rencontrées sur diverses parcelles.

expression de résultats permettant une meilleure comparaison entre situations

La nécessité d'une meilleure base de comparaison entre situations (entre régions, entre parcelles ou, pour un même lieu, entre années) conduit à rechercher un mode d'expression de la productivité qui ne présente qu'un minimum de variabilité.

Lorsque l'on compare l'ensemble de courbes de réponse à l'azote provenant de plusieurs expérimentations, il est clair que la grande diversité dans l'expression des résultats obtenus compromet largement l'élaboration d'une explication suffisamment satisfaisante de l'ensemble observé (*figure 4-a*) : la variabilité dans la fourniture d'azote par minéralisation des formes organiques dans les parcelles N0 est extrêmement forte, elle est due à la fois aux différences entre types de sol et entre conditions climatiques et pédologiques ;

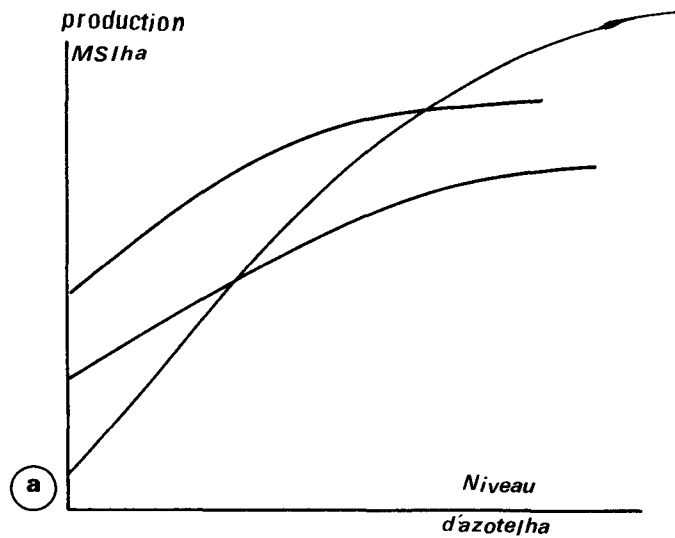
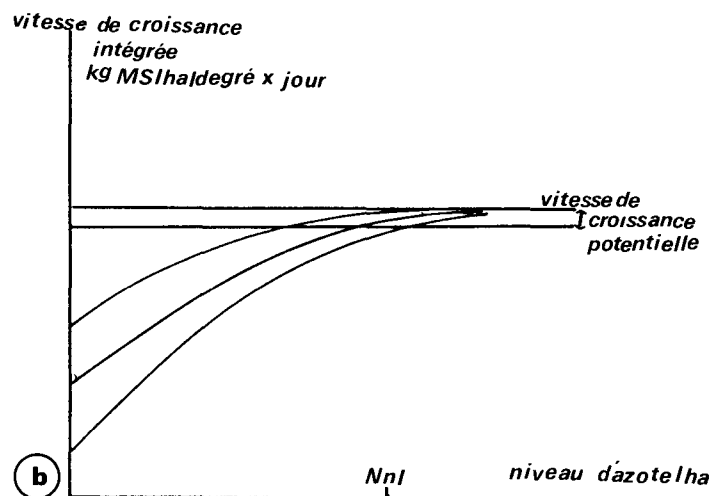


figure 4
 Une meilleure maîtrise de la variabilité dans l'expression de la réponse à l'azote

4-a - Exemple théorique de la variabilité rencontrée dans la représentation usuelle des courbes de réponse de la prairie à l'azote, $MS = f(N)$, pour différents milieux et/ou différentes années.

4-b - Réduction de la variabilité en exprimant la réponse à l'azote par la vitesse de croissance intégrée selon le modèle climatique : Kg MS/ha/degé x jour, en fonction du niveau de nutrition azotée. La variabilité est très réduite pour la vitesse de croissance potentielle qui correspond au niveau d'azote non limitant ; elle reste importante pour les parcelles sans apport d'azote en raison des différences dans la dynamique de l'azote dans le sol.



plus globalement, on constate un très grand intervalle de variation dans quatre critères essentiels :

- ◇ expression de la production réalisée sur les parcelles sans apport d'engrais,
- ◇ pentes des courbes de réponse,
- ◇ doses d'azote permettant d'obtenir le plateau de ces courbes (niveau non limitant),
- ◇ production maximum définie par le plateau des diverses courbes.

L'expression de la productivité par des vitesses de croissance sur des intervalles de temps comparables au cours d'une même repousse (ici lors de la première phase de la repousse de printemps, avant la pleine montaison) permet des comparaisons cohérentes.

Un progrès supplémentaire est réalisé par l'utilisation du modèle de croissance climatique par référence aux sommes de températures (cf. texte suivant). La courbe de croissance de type sigmoïdal, $MS=f(\text{temps})$, est remplacée par une droite de croissance : $MS=f(\sum\theta)$.

Le critère vitesse de croissance, exprimé en termes de Kg MS/ha/jour est remplacé par une "vitesse de croissance intégrée" qui s'exprime en Kg MS/ha/degré x jour.

Le *tableau ci-dessous* montre que la prise en compte du facteur thermique, grâce à l'intervention d'un modèle de croissance linéaire, réduit la variabilité de la vitesse de croissance ainsi exprimée.

tableau 1 : Intervalle de variation entre vitesses de croissance, pour la repousse de printemps d'un peuplement de fétuque élevée (cv Clarine), pendant 6 années à conditions climatiques très contrastées ; Lusignan (Vienne)

niveaux d'azote	vitesse de croissance de la repousse de printemps	
	exprimée en kg MS/ha/jour	exprimée en kg MS/ha/degréxjour
non limitant	60 - 150	10.5 - 12.5
moyen	40 - 110	7.5 - 10
faible	30 - 90	5.7 - 7.7

En particulier, la **vitesse de croissance potentielle** par ha et par degré x jour correspondant au niveau non limitant de la nutrition azotée a une variabilité extrêmement réduite entre années (*tableau ci-dessus*) et également entre lieux. La prise en compte de l'indice thermique permet donc, pour l'analyse des phénomènes de repousse de printemps, de disposer d'un repère suffisamment constant pour servir de base de référence pour les comparaisons entre diverses conditions de milieu.

La *figure 4-b* donne la figuration théorique d'une courbe de réponse à l'azote pour laquelle on exprime une vitesse de croissance intégrée (MS/ha/degré x jour) en fonction de doses croissantes d'azote : la variabilité de l'ordonnée à l'origine (croissance sans apport d'azote) reste très grande. Par contre, pour le niveau de précision acceptable pour des expérimentations au champ, on peut admettre comme quasi-constante la vitesse potentielle de croissance intégrée,



une modélisation à partir de multiples
observations - parcelle d'essais
photo GNIS

exprimée par référence au modèle climatique. Il en résulte un progrès réel dans la manière d'appréhender les résultats expérimentaux ainsi que les résultats qui peuvent provenir de mesures sur des parcelles d'agriculteurs.

Ces considérations sur la réduction maximum de la variabilité de la croissance potentielle en conditions d'azote non limitant, renforcent la valeur théorique du **concept de niveau non limitant de nutrition azotée** : il s'agit en particulier du meilleur "témoin" pour les études des effets de la fertilisation azotée.

conclusion

A partir des concepts simples de potentiel de production et de niveau d'azote non limitant, on parvient à une approche plus cohérente des phénomènes de croissance de la prairie.

La modélisation de la croissance par intégration du climat, réalisée pour le printemps, permet une meilleure interprétation des productions observées et ceci d'autant mieux que le modèle de croissance en fonction des sommes de températures est linéaire.

La prévision des productions est d'autant plus facile (en raison de la relative invariance) que l'on est proche des conditions de nutrition azotée non limitantes. Lorsque les doses d'azote sont moyennes ou faibles la prévision de la croissance est incertaine ; elle est plus aléatoire dans les milieux (très fréquemment rencontrés) où se manifeste une forte interaction entre les facteurs pédo-climatiques et la dynamique de la minéralisation-réorganisation de l'azote. Cette incertitude justifie largement que des travaux supplémentaires soient conduits sur la dynamique de l'azote dans les sols de prairie.