

## **Maximiser l'utilisation des fourrages par l'amélioration génétique de la valeur agronomique et de la valeur alimentaire des variétés**

*Y. BARRIERE, L. HAZARD, J.C. EMILE, M. GHESQUIERE, B. JULIER, C. MOUSSET, Y. HEBERT.  
INRA, Station d'Amélioration des Plantes Fourragères, 86600 Lusignan*

**RÉSUMÉ** - L'amélioration génétique des plantes fourragères est une voie majeure pour répondre aux défis posés par l'entrée de l'élevage dans les conditions de la concurrence mondiale d'une part, et dans la gestion écologique des territoires d'autre part. Des progrès significatifs ont été réalisés en amélioration de la productivité, de sa régularité et de sa répartition au cours de la période de végétation, avec une amélioration plus que notable de l'état sanitaire des cultures, de leur pérennité et de leur résistance aux aléas en végétation comme la verse. Des travaux sont entrepris sur l'amélioration de la valorisation des intrants, eau et azote. L'amélioration génétique de la valeur alimentaire a aussi montré son efficacité sur chacune des espèces étudiées en maïs, luzerne ou graminées. Le choix d'un génotype de bonne ingestibilité et/ou digestibilité conduit à une amélioration pratiquement gratuite de la production de lait, qui varie selon les génotypes et les espèces de 1 à 3 kg de lait standards. La possibilité de réduction de la complémentation que ces variétés de fourrage amélioré permettent, correspond à une économie en aliment voisine de 0,10 F par litre de lait produit. Des progrès importants sont en cours sur l'amélioration spécifique des variétés de graminées pour leur aptitude à la pâture, ou aux successions d'utilisation en pâture et en fauche.

## **Genetic breeding of forage plants in agronomical and feeding value traits, a major way for the enhancement of competitiveness of cattle rearing**

*Y. BARRIERE, L. HAZARD, J.C. EMILE, M. GHESQUIERE, B. JULIER, C. MOUSSET, Y. HEBERT.  
INRA, Station d'Amélioration des Plantes Fourragères, 86600 Lusignan*

**SUMMARY** - Mondial conditions in exchanges of agricultural and animal products are changing, and environmental friendly ways of countries management are emerging. Genetic breeding of forage plant in agronomical and feeding value traits is a major way for the help of farmers entering these new conditions of animal rearing. Significant improvements have been achieved in biomass dry matter yield, regularity of the yield, repartition of the growth accross the season. Disease resistance, persistency, and resistance to stress such as lodging were also significantly improved. Results are expected on the improvement of water or nitrogen efficiency. Improvement were also achieved in feeding value traits of maize, alfalfa and grasses. According to the species and the genotype, fat corrected milk yield was improved in 1 to 3 kg per animal and per day, when animals were fed a variety with good ingestibility and/or digestibility, compared to a control diet. The higher energy content of such genotypes allows a reduced giving of concentrates, and a money saving of about 0.10 F per kg of milk. Improvement are now expected in breeding grasses with growth and developement traits allowing a specific adaptation in pasture use, or in successive cutting and pasture uses.

## INTRODUCTION

Ce qui caractérise les plantes fourragères est d'abord une grande diversité interspécifique, au sein des graminées tempérées ou tropicales, comme au sein des légumineuses fourragères, ou dans d'autres familles botaniques comme des crucifères ou des chénopodiacées. Mais les plantes fourragères se caractérisent aussi par une grande diversité intraspécifique, qui a permis aux sélectionneurs de progresser notablement sur des caractères de valeur agronomique et de valeur alimentaire, et de mettre à disposition des éleveurs des variétés améliorées.

Cette diversité génétique permettra de nouveau de progresser sur ces mêmes caractères, ou sur d'autres dont la nécessité émerge au sein du contexte actuel de l'élevage. La réduction des coûts alimentaires est un enjeu majeur pour diminuer les coûts de production, et une utilisation maximale de fourrages en est un élément de réponse important. La réduction directe du coût unitaire de l'aliment, en augmentant son appétibilité, son ingestibilité et sa digestibilité, éventuellement sa productivité et sa résistance au stress, est une voie permise par la génétique et l'amélioration des plantes. Une autre voie pour réduire les coûts des fourrages, où développer leur utilisation, est davantage liée aux modes de culture et d'utilisation de la plante. La réduction des coûts de culture, de récolte, de stockage, de distribution, voire presque les supprimer avec le pâturage, peut nécessiter des programmes de sélection spécifiques. Outre la qualité sanitaire des aliments qui doit être irréprochable, les cultures fourragères et leurs modes d'utilisation doivent intégrer les notions de respect de l'environnement et de maîtrise des pollutions, incluant les aptitudes à valoriser l'eau, qui peut être limitante, et les effluents animaux disponibles, qui peuvent être abondants. Les nouvelles plantes fourragères devront être adaptées aux nouveaux modes d'élevage à mettre en place qui devront être compatibles et durables avec des primes et des soutiens en diminution dans une économie mondiale de plus en plus dérégulée.

L'objet de ce texte est de présenter, à partir d'exemples pris sur différentes espèces travaillées à la Station INRA d'Amélioration des Plantes Fourragères de Lusignan, les apports de la génétique à l'amélioration de la valeur agronomique et de la valeur alimentaire des fourrages, ceci permettant aux éleveurs d'augmenter la proportion de fourrages dans la ration des animaux. Quelques éléments seront également donnés sur les critères permettant de discriminer les variétés pour les différentes caractéristiques liées à la valeur alimentaire.

### 1. AMÉLIORATION DES QUALITÉS AGRONOMIQUES DES FOURRAGES

L'amélioration des qualités agronomiques des variétés de plantes fourragères est une des voies qui permet de maximiser leur utilisation par les éleveurs. Des plantes de meilleure productivité et régularité de la productivité, plus souples, plus pérennes, plus économes en intrants sont des facteurs de réduction des coûts alimentaires des rations distribuées aux animaux.

#### 1.1. ILLUSTRATION DE RÉSULTATS OBTENUS SUR LE MAÏS FOURRAGE

L'objectif d'une culture de maïs ensilage est d'obtenir, après récolte, un produit dont la teneur en matière sèche soit com-

prise entre 27 et 35 %, avec un optimum zootechnique plutôt compris entre 30 et 35 %. L'augmentation de la productivité, à niveaux d'intrants et d'intensification constants ou en réduction, est une voie de réduction des coûts alimentaires des animaux. Estimé à partir des meilleures variétés inscrites avec la mention ensilage, le potentiel de production de biomasse des hybrides a augmenté de 0,17 t/ha/an depuis 10 ans, pour être ainsi proche de 18 t/ha, à une teneur en matière sèche voisine de 30 %. Mais autant que la valeur absolue de la productivité, la stabilité de la productivité, à un bon niveau, est une qualité essentielle, en particulier dans le cadre d'une agriculture moins intensive utilisant plus de fourrage. La sélection a déjà permis de progresser à ce niveau puisque les variétés récentes apparaissent plus rustiques que les variétés plus anciennes (Tollenaar et al, 1994), avec une supériorité d'autant plus nette que les conditions de milieu sont plus difficiles. Le progrès génétique réalisé a en fait permis d'accumuler des systèmes génétiques de résistance aux stress qui permettent aux plantes des variétés modernes de maïs de maintenir un potentiel de production en conditions défavorables.

La résistance à la verse en végétation du maïs fourrage est un facteur de régularité du rendement, contribuant à un coût minimal de la récolte et à la qualité du produit, et donc à son utilisation. Des progrès très importants en résistance à la verse en végétation ont été réalisés depuis 1990, et des hybrides extrêmement résistants ont ainsi été inscrits, présentant moins de 1 % de plantes versées quand les variétés témoins classiques étaient versées à plus de 30 %. Ces progrès sont fondés sur l'existence d'une variabilité génétique importante de tous les paramètres morphologiques du système racinaire. A terme, ces différences génétiques permettent d'envisager de contrôler plus efficacement, non seulement la résistance mécanique des plantes à la verse, mais aussi leur aptitude à prélever dans le sol l'eau et l'azote.

La tolérance au stress hydrique est ainsi une condition majeure des possibilités de poursuite ou d'extension de l'utilisation du fourrage maïs, comme d'ailleurs des autres plantes fourragères. Elle fait partie des critères implicites de sélection du maïs ensilage, comme facteur du rendement et de la régularité du rendement. Mais, quelle que soit l'espèce fourragère, la production de biomasse est naturellement limitée en conditions sèches. Différents résultats montrent que la production de biomasse en conditions sèches est proche entre le maïs (8 à 10 t/ha) et le sorgho (6 à 11 t/ha) (Lemaire et al, 1996), un peu plus faible et décalée dans le temps avec les graminées pérennes, ray-grass ou fétuque élevée, dont la production est obtenue à 80-90 % avec des coupes faites avant la mi-juin.

L'aptitude à valoriser la fertilisation azotée est un enjeu important pour cultiver du maïs fourrage dans des conditions de maîtrise des atteintes à l'environnement. La variabilité de l'absorption de l'azote se rattache sans doute autant à la variabilité de la croissance racinaire et à l'aptitude à trouver l'eau, qu'à une variabilité intrinsèque des capacités d'absorption de la plante. Toutefois, la majorité des fuites de nitrates sous les maïs est surtout liée à une gestion déficiente des épandages de lisiers surabondants sur une culture qui s'y prête.

## 1.2. ILLUSTRATION DE RÉSULTATS OBTENUS SUR LA LUZERNE

La luzerne est appréciée depuis longtemps comme un fourrage ayant une bonne productivité en matière sèche et en protéines, une répartition intéressante du rendement au cours de l'année, de faibles besoins en intrants, une résistance à la sécheresse, et une bonne pérennité. Depuis la création, en 1950, d'un Catalogue Officiel pour les variétés de luzerne, les progrès génétiques effectués par les sélectionneurs ont pu être mis à disposition des éleveurs. Assez rapidement, les populations locales ont été remplacées par des variétés améliorées.

Les progrès sur la production de biomasse fourragère ont été relativement modestes (d'environ 1,5 % tous les dix ans, C. Huyghe, non publié). Le fait de récolter une production primaire pourrait en être la cause, les possibilités d'amélioration de l'efficacité photosynthétique étant réduites. Mais, comme cité dans ce texte, des résultats contraires ont été obtenus sur le dactyle et le maïs en plante entière. Toutefois, des progrès significatifs ont été obtenus pour des caractères participant à la stabilité du rendement de la luzerne. La résistance à la verse, la résistance aux maladies ou aux parasites a fait l'objet de fortes pressions de sélection. Des variétés résistantes à la verticilliose ou au nématode des tiges sont disponibles. Des travaux sont en cours pour améliorer la résistance au puceron du pois.

Des travaux ont aussi été menés pour modifier la répartition du rendement au cours de l'année, avec une première pousse plus précoce au printemps et un meilleur rendement pour la dernière coupe en automne. Les progrès sont assez difficiles puisque la précocité de repousse au printemps ou la production d'automne ne doivent pas se faire au détriment de la dormance hivernale qui est nécessaire à la survie des plantes à l'hiver.

La production de graines, critère qui intéresse l'agriculteur par l'intermédiaire du prix des semences de luzerne, n'a pas significativement progressé. Ce caractère, relativement difficile à prendre en compte dans un schéma de sélection, mais important pour les éleveurs et la filière agro-industrielle, devra être l'objet de sélection dans les années à venir.

## 1.3. ILLUSTRATION DE RÉSULTATS OBTENUS SUR GRAMINÉES

Des progrès génétiques tout à fait significatifs ont été réalisés sur le dactyle. Le gain de production au cours de l'année d'implantation est ainsi voisin de 5 % par cycle de sélection. Ainsi, en exprimant le rendement de première année en pourcentage de celui du témoin Prairial, Lude a été inscrit en 1978 avec un rendement de 105 %, Lupré en 1992 avec un rendement de 112 %, et la variété Ludac, inscrite en 1997, avec un rendement de 120 %, et de nouveaux progrès permettant de se situer autour de 130 % sont attendus avec de nouvelles variétés à l'inscription. Avec les mêmes variétés, la production de biomasse en coupe précoce (fin mars ou début avril dans l'ouest) est passée de 107 à 120 puis 131 %, quand simultanément la production de biomasse en coupe tardive passait de 108 à 121 puis 126 %, illustrant le progrès en allongement de la période croissance au cours de l'année. La durée possible d'exploitation au printemps, élément important de la souplesse d'exploitation, entre le début du pâturage et l'épiaison est passée de 32 jours avec une variété comme Prairial à 50 ou plus de 50 jours avec Lupré ou Ludac. Les mêmes génotypes ont aussi apporté un progrès constant pour

la résistance aux maladies au cours de toute la période de végétation.

La création de fétuques amphiploïdes a permis des améliorations très notables de la valeur agronomique. Les variétés Lutine et Lunibelle, inscrites respectivement en 1992 et 94, sont le résultat de 20 ans de travail d'hybridation entre des fétuques « européennes » (Normandie, Mayenne) et des fétuques « méditerranéennes » (Tunisie, Maroc), avec doublement du nombre de chromosomes pour rétablir leur fertilité. Elles rassemblent à peu près toutes les caractéristiques attendues par l'utilisateur. Ce sont des plantes avec un grand développement végétatif, qui combinent les qualités des espèces parentales et sont adaptées aussi bien aux régions tempérées qu'en zones sub-méditerranéennes. Elles se caractérisent ainsi par une entrée en végétation très précoce dès la fin de l'hiver, sans avancement de la date d'épiaison et sans être particulièrement sensible au froid. Ce sont donc des variétés très souples d'exploitation au printemps et qui, grâce à leur semi-dormance en été, tolèrent de longues périodes de sécheresse. Elles sont pratiquement indemnes de maladies, restent vertes et turgescentes l'été, avec de meilleures appétibilité et digestibilité que les fétuques classiques.

## 2. AMÉLIORATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES PLANTES FOURRAGÈRES

L'amélioration génétique de la valeur d'utilisation par les animaux des plantes fourragères, à savoir non seulement leurs digestibilité et valeur énergétique et leur ingestibilité, mais aussi leur aptitude à être exploitée au pâturage par l'animal, est, avec l'amélioration des caractères agronomiques, un mode de réduction des coûts alimentaires des rations distribuées aux animaux. L'absence d'éventuels effets toxiques des fourrages, liés à des infestations par des champignons, endophytes ou non, ne sera pas abordée ici.

### 2.1. ILLUSTRATION DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE DE LA DIGESTIBILITÉ ET DE L'INGESTIBILITÉ DU MAÏS FOURRAGE

Autour des valeurs de référence de digestibilité et de valeur énergétique du maïs ensilage, données par les tables INRA (Andrieu et Demarquilly, 1988), il y a en fait une grande variabilité génétique. Ainsi les valeurs énergétiques sont en fait comprises respectivement entre 0,79 et 0,95 UFL (résultats INRA Lusignan avec des moutons standards sur 126 hybrides précoces inscrits entre 1958 et 1996). Environ 33 % des hybrides étudiés ont une valeur énergétique inférieure ou égale à 0,88 UFL, et 40 et 13 % ont une valeur supérieure ou égale à respectivement 0,90 et 0,92 UFL (Barrière et al, 1996). Des critères de choix seulement agronomiques ne sont donc pas suffisants pour un éleveur qui a, en fait, à sa disposition des hybrides dont la valeur énergétique peut être effectivement différente de la valeur de référence des tables.

La variabilité génétique de la valeur énergétique du maïs ensilage se retrouve aussi au travers des variations des performances zootechniques de taurillons ou de vaches laitières, même si le maïs n'est pas le seul fourrage de la ration (Istasse et al, 1990 ; Ciba semences, 1990 ; Carpentier et al, 1995 ; Barrière et al, 1995a-b ; Emile et al, 1996). Tous les autres facteurs étant par ailleurs égaux, les productions de lait à 4 % des vaches laitières peuvent différer de 1 à 3 kg (tableau 1),

et les écarts de gain de croît des taurillons peuvent atteindre 100 g par jour, selon que les animaux sont alimentés avec des hybrides de faible ou bonne digestibilité.

**Tableau 1**  
**Performances zootechniques de vaches laitières**  
**alimentées avec différents hybrides de maïs sous forme**  
**d'ensilage** (synthèse de 2 essais réalisés à l'INRA Lusignan)

| Essais vaches laitières     | Essai 1, 97 jours |        |       | Essai 2, 105 jours |       |       |
|-----------------------------|-------------------|--------|-------|--------------------|-------|-------|
|                             | Rh162             | Brutus | Dk265 | Rh162              | Rh208 | Dk265 |
| % grain maïs                | 46,3              | 46,7   | 46,2  | 49,3               | 51,7  | 54,3  |
| % m sèche maïs              | 37,1              | 37,1   | 36,8  | 32,9               | 31,7  | 33,4  |
| ingéré maïs (kg)            | 15,9              | 16,2   | 17,6  | 16,7               | 16,3  | 17,9  |
| concentrés (kg)             | 4,1               | 4,1    | 4,1   | 4,5                | 4,5   | 4,5   |
| lait à 4 % (kg)             | 28,6              | 29,6   | 29,5  | 27,5               | 29,1  | 30,6  |
| gain de poids (g/jour)      | 229               | 302    | 565   | 263                | 190   | 250   |
| Valorisation UFL/j maïs (1) | 15,6              | 16,7   | 17,4  | 16,0               | 16,3  | 17,5  |
| UFL moutons standards       | 0,84              | 0,91   | 0,91  | 0,84               | 0,91  | 0,91  |

(1) Valorisation en UFL de l'ensilage de maïs ingéré estimée par différence entre les besoins d'entretien et de production (par jour) des animaux, et l'énergie apportée par les compléments de la ration.

Des différences d'ingestibilité importantes, supérieures à 1 kg, ont aussi été mises en évidence. Ainsi l'hybride Dk265 est mieux ingéré que les autres, y compris que des hybrides à priori meilleurs en digestibilité comme Inra258. A complémentarité égale, et avec un rationnement conçu sur la base d'un hybride de valeur énergétique classique, un hybride très bien ingéré apparaît moins bien valorisé par les vaches laitières, l'excédent d'énergie disponible étant seulement en partie utilisé sous forme d'une reprise de poids supérieure. De tels hybrides n'expriment complètement leur potentiel que dans le cas où la complémentarité énergétique est réduite, pour prendre en compte l'énergie apportée par le supplément d'ensilage ingéré, comme cela avait été précédemment observé avec les hybrides à nervures brunes bm3, également de bonnes digestibilité et ingestibilité (Hoden et al, 1985).

Une amélioration de la valeur énergétique du maïs de 0,06 UFL/kg conduit à une augmentation de 0,90 UFL de l'énergie apportée par une ration de 16 kg d'ensilage, la même amélioration étant obtenue par une augmentation de l'ingestibilité de 1 kg. Avec les résultats observés, il est possible d'envisager, avec les bons hybrides, en première approche une économie de 1,0 à 1,5 kg de concentrés par animal et par jour. Sur la base de 1,30 F/kg de concentré, ceci représente une diminution de charge de 0,06 à 0,09 F/l de lait, l'augmentation d'ingestibilité induisant toutefois un léger surcoût de production d'ensilage.

Actuellement, les variétés de maïs inscrites en France ne sont pas qualifiées par une mesure de valeur énergétique, même lorsqu'elles sont inscrites avec la mention ensilage. Cela se met en place actuellement et sera sans doute opérationnel pour les variétés déposées à l'inscription en 1998. Cette décision est d'autant plus nécessaire que, en comparant dans un même lieu la valeur énergétique moyenne des hybrides utilisées pour construire les tables (0,926 UFL), à celle des hybrides inscrits depuis 1989 (0,878 UFL), une diminution de la valeur énergétique moyenne des hybrides des générations 1970 et 1990 est observable et voisine de 0,048 UFL/kg (Barrière et Argillier, 1997). Ceci représente environ 1,7 kg

de lait aux normes pour des vaches laitières recevant une alimentation classique à base d'ensilage de maïs. La raison de cette diminution de valeur énergétique moyenne des hybrides est probablement une dérive génétique liée à la pression de sélection pour la productivité et la résistance à la verse, en l'absence de mesure simultanée de valeur alimentaire. L'accroissement de variabilité de valeur énergétique observé au cours des 30 dernières années par rapport aux témoins Inra258 ou LG11 s'est ainsi faite essentiellement au profit de valeurs plus faibles. Toutefois, des hybrides de valeur proche de ces témoins sont toujours disponibles parmi les variétés les plus récemment inscrites.

Les effets milieux ou années sur la digestibilité ou la valeur énergétique sont importants. En revanche, les interactions génotypes-milieux sont faibles par rapport à l'effet génotype. L'effet du génotype est de 9 à 16 fois plus élevé, au sens statistique, que celui de l'interaction génotype x milieu (Argillier et al, 1997). Dans un milieu donné, c'est la valeur de l'hybride qui conditionne pour l'éleveur la valeur de l'ensilage et donc les productions animales. Ce résultat, bien mis en évidence sur le modèle maïs, est également vrai pour les plantes fourragères pérennes, à stade égal.

Comparé aux plantes fourragères classiques, le maïs se différencie par la présence de grain dans l'ensilage, conduisant à un fourrage mixte contenant à la fois des glucides de réserve et des glucides structuraux. Avec une alimentation « traditionnelle » des animaux, comprenant un apport notable de concentrés, une teneur en grain optimale dans l'ensilage de maïs, minimisant les interactions digestives, pourrait se situer autour de 46 %, avec la possibilité pour les obtenteurs d'une plus faible pression de sélection sur la valeur grain de l'hybride, et des progrès plus rapides sur la production de biomasse plante entière et/ou sur la digestibilité des tiges. Cette valeur de 46 % est toutefois à moduler en fonction de la quantité et de la nature des différents amidons de la ration (Barrière et al, 1996). Dans une optique d'économie et de désintensification partielle, en ne distribuant que peu ou très peu de concentrés pour valoriser au plus la nature double « fourrage et concentrés » de l'ensilage de maïs, la teneur en grain de l'idéotype ne devrait pas se situer en dessous de 46 % de grain, voire peut-être se situer autour de 50 % pour des rations couvrant pratiquement tous les besoins des animaux avec le maïs. Il faudra peut-être aussi une cinétique de dégradation de l'amidon optimisant les processus digestifs, avec, là encore, de très bonnes digestibilité et ingestibilité de la partie non grain de l'ensilage.

## 2.2. ILLUSTRATION DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE DE LA DIGESTIBILITÉ ET DE L'INGESTIBILITÉ DE LA LUZERNE

Parmi les trois paramètres de la valeur alimentaire, l'appétibilité et l'ingestibilité sont satisfaisantes pour la luzerne, alors que la digestibilité est largement insuffisante. La faible valeur énergétique de ce fourrage qui en résulte conduit à limiter son utilisation dans les rations des ruminants à haut niveau de production. Si les connaissances sur l'évolution de la digestibilité au cours de la croissance sont nombreuses, les travaux sur les possibilités d'amélioration de la digestibilité de la luzerne sont récents en France.

Au cours de la croissance, la digestibilité de la luzerne diminue, ceci étant essentiellement lié à la baisse du rapport

feuilles/tiges et à la diminution de la digestibilité des tiges. Cependant, il existe des différences de digestibilité entre génotypes, qui résultent ainsi de différentes combinaisons entre une variabilité génétique pour le rapport feuilles/tiges et une variabilité génétique pour la digestibilité des tiges. En étudiant une gamme étendue de génotypes ou variétés de luzerne, la variabilité génétique pour la digestibilité in vitro est apparue voisine de 7 points. Les variétés de type flamand (introgressées par la sous-espèce *falcata*), comme les luzernes de la sous-espèce *falcata*, semblent en moyenne plus digestibles que les variétés de type méditerranéen (d'origine *sativa* plus pure) (Julier et al, 1996). La variabilité génétique pour la digestibilité est encore plus large si on prend en compte la variabilité à l'intérieur des populations. Environ 12 points de différence pour la digestibilité ont été observés en considérant à la fois la variabilité génétique entre variétés et à l'intérieur des variétés.

Comme cela a été observé pour d'autres espèces, et dans les études réalisées à ce jour, les interactions entre génotype et milieu (lieu de culture ou coupe) sont significatives pour la digestibilité mais d'ampleur assez restreinte. Les génotypes les plus digestibles ou les moins digestibles le restent quel que soit le milieu considéré.

Au moment de la récolte, la relation négative entre rendement en biomasse et digestibilité est faible. Ce résultat, obtenu sur une gamme réduite de génotypes, laisse entrevoir une relative faible connexion entre rendement et digestibilité à un stade de développement donné. Le potentiel de progrès de l'ensemble « rendement-digestibilité-verse » semble donc important, et correspond à l'attente des éleveurs d'une amélioration de l'ensemble des qualités d'utilisation des fourrages.

Une variabilité de la valeur énergétique et de l'ingestibilité ont aussi été mises en évidence sur luzerne lors de comparaisons d'une variété classique et d'un pool expérimental, avec des moutons en cages (Emile et Traineau), 1993, puis des vaches laitières (tableau 2, moyenne de 3 expérimentations), que ce soit en affouragement en vert, ou sous forme de bouchons déshydratés associés à de l'ensilage de maïs (Emile et al, 1996, 1997). Les productions de lait des vaches sont supérieures avec le génotype de luzerne le plus digestible, mais avec des taux butyreux légèrement inférieurs. Dans les essais en déshydratés, des taux protéiques légèrement inférieurs étaient également observés, mais avec un meilleur maintien de l'état corporel des animaux.

**Tableau 2**  
**Performances zootechniques de vaches laitières affouragées en vert** (synthèse de 3 essais réalisés à l'INRA Lusignan), **ou avec des bouchons déshydratés en complément d'ensilage de maïs, avec deux variétés de luzerne** (essai réalisé à l'INRA Lusignan)

|  | Europe | 6328P |
|--|--------|-------|
| Affouragement en vert, Ingéré luzerne (kg)         | 16,2   | 18,1  |
| Affouragement en vert, Lait 4 % (kg)               | 20,2   | 21,5  |
| Déshydraté avec maïs ensilage, Ingéré luzerne (kg) | 4,4    | 4,4   |
| Déshydraté avec maïs ensilage, Ingéré maïs (kg)    | 14,4   | 14,1  |
| Déshydraté avec maïs ensilage, Lait 4 % (kg)       | 28,6   | 29,4  |
| UFL moutons standards                              | 0,79   | 0,83  |

**Tableau 3**  
**Performances zootechniques de vaches laitières alimentées avec deux variétés de fétuque**  
(synthèse d'essais réalisés à l'INRA Lusignan)

|   | Clarine | Lubrette |
|---|---------|----------|
| Pâturage, 4 essais, 3 ans, Lait 4 % (kg)  | 19,1    | 20,5     |
| Affouragement, 3 années, Ingéré (kg)      | 12,9    | 14,4     |
| Affouragement, 3 années, Lait brut (kg)   | 21,9    | 22,7     |
| Digestibilité mesurée par les moutons (%) | 67,1    | 69,8     |

### 2.3. ILLUSTRATION DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE POUR LA TENEUR EN PROTÉINES DE LA LUZERNE

La teneur en protéines du fourrage fait l'objet d'une sélection sur la luzerne. Les progrès, effectués à rendement constant, bien que légers sont réels. Ces protéines présentent l'inconvénient d'être très rapidement dégradées dans le rumen. Les travaux devraient maintenant consister à augmenter l'azote disponible dans l'intestin, en limitant la dégradation des protéines dans le rumen. Il semble qu'il existe une variabilité génétique pour ce caractère (Skinner et al, 1994).

### 2.4. ILLUSTRATION DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE DE LA DIGESTIBILITÉ ET DE L'INGESTIBILITÉ DES GRAMINÉES

Sur graminées, des travaux désormais classiques ont été conduits en comparaison d'une fétuque élevée classique et d'une fétuque à feuilles souples, améliorée pour l'appétibilité et la digestibilité (+ 2,7 points, en moyenne de 38 mesures avec des moutons). A l'auge, avec des vaches laitières, des différences de production de lait ont été de la même façon démontrées, proches de 1 kg de lait par animal et par jour. Au pâturage, une augmentation significative de la production laitière était également observée, supérieure à 1 kg de lait par animal et par jour, et probablement aussi partiellement reliée à une augmentation des quantités ingérées, (Emile et al, 1992).

Les travaux sur fétuques amphiploïdes européennes x méditerranéennes et sur *festulolium* (hybrides en fétuque et ray-grass) montrent aussi les possibilités de progresser tant en digestibilité qu'en ingestibilité, et la relative indépendance entre ces deux caractères. Ainsi un *festulolium* expérimental est apparu nettement transgressif pour ces deux caractères par rapport au meilleur parent *lolium*, de même que les fétuques amphiploïdes sont meilleures que les fétuques classiques à la fois pour la valeur agronomique et la valeur alimentaire.

Des différences ont aussi été mises en évidence sur d'autres espèces, et là où elles n'étaient pas attendues. Ainsi, les travaux sur Ray-grass anglais de Deinum et al (1995) sur 94 génotypes (8 répétitions de plantes clonées) pris dans 4 pools et 2 variétés, montrent la diversité des teneurs en parois et de la digestibilité des parois au sein de cette espèce (tableau 4). Ces travaux montraient aussi la bonne héritabilité (au sens large) des caractères de valeur alimentaire étudiés, et donc la possibilité de progresser en valeur alimentaire chez le ray-grass anglais.

**Tableau 4**

**Variabilité pour la teneur en parois, la digestibilité in vitro des parois et de la matière organique chez des plants de ray-grass anglais (d'après Deinum et al, WIAS Symposium, 1995, digestibilité in vitro après 24 heures d'incubation)**

| ray-grass anglais        | coupe 1   | coupe 2   |
|--------------------------|-----------|-----------|
|                          | mini Maxi | mini Maxi |
| Teneur en parois %       | 35 - 47   | 39 - 51   |
| Digestibilité parois %   | 39 - 73   | 25 - 72   |
| Dig. matière organique % | 71 - 88   | 55 - 82   |

**Tableau 5**

**Variabilité des quantités de fourrages ingérées à l'auge ou au pâturage pour 4 variétés de ray-grass anglais (quantité ingérées par des moutons en g MS/kg<sup>P0.75</sup>, mesurées les 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> semaines après la coupe, essai réalisé à l'INRA Lusignan)**

|   | semaine | Variété 1 | Variété 2 | Variété 3 | Variété 4 |
|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingré au pâturage, estimation par la talle étirée | 3       | 49        | 42        | 38        | 27        |
|   | 4       | 51        | 32        | 45        | 43        |
|   | 5       | 29        | 33        | 38        | 57        |
| Ingré à l'auge                                    | 3       | 59        | 58        | 63        | 67        |
|   | 4       | 61        | 64        | 66        | 68        |
|   | 5       | 56        | 60        | 60        | 63        |

### 2.5. SPÉCIFICITÉ DE LA SÉLECTION POUR L'APTITUDE AU PÂTURAGE DES GRAMINÉES

Un plus grand recours au pâturage est une (ou « la ») voie majeure pour diminuer les coûts d'alimentation des ruminants. Il convient alors de définir ce que pourrait être un idéal-type de prairie semée destinée à la pâture. Le premier groupe de caractères à retenir est sans doute celui lié à la souplesse d'utilisation et donc la plasticité des plantes vis-à-vis des différents modes d'utilisations, avec différents chargements de la pâture, la récolte de foin ou d'ensilage, l'affouragement en vert des animaux, la réalisation de stocks sur pied. Le second groupe comprend ceux liés à la valeur alimentaire avec les composantes d'ingestibilité et de digestibilité à l'auge et ceux, différents, qui sont liés à la préhensibilité, à la qualité des parties ingérées et à la digestibilité au pâturage. Le troisième groupe comprend les qualités agronomiques, avec la facilité d'implantation, la pérennité sous ces contraintes d'utilisation diverses, dont le maintien de la diversité génétique dans la parcelle, la tolérance aux maladies et ravageurs et l'aptitude à l'association, avec toujours des plantes contribuant à une gestion saine du milieu et des intrants eau et azote.

La variabilité de classement de différents génotypes de ray-grass anglais, pour l'ingestibilité à l'auge et au pâturage a ainsi été mise en évidence lors d'un récent travail à Lusignan, les quantités ingérées par des moutons au pâturage étant estimées par des mesures journalières de longueurs de talles préalablement baguées (tableau 5). Il apparaît clairement que les quantités ingérées au pâturage ne sont pas égales aux quantités ingérées à l'auge, mais aussi que la meilleure variété à l'auge n'est pas la meilleure variété au pâturage, en particulier parce que, au pâturage, il y a une interaction entre

stade de consommation et variété. Mais la production du ruminant, en particulier au pâturage, dépend avant tout des quantités ingérées, qui dépendent de la vitesse d'ingestion et de la vitesse de dégradation ruminale du fourrage.

L'aptitude à une utilisation mixte en pâture et en fauche est une nécessité. Les travaux réalisés à Lusignan montrent que la plasticité morphogénétique est une caractéristique héritable. Ainsi, en sélectionnant dans un pool des plantes de type pâture (petites) et des plantes de type fauche (grandes), il apparaît que les plantes courtes restent courtes quand elles sont conduites en fauche. Au sein des grandes plantes, deux comportements sont mis en évidence quand elles sont conduites en pâture. D'une part des plantes qui disparaissent parce qu'elles sont inaptes à mettre en place une morphogénèse adaptée à la pâture, et d'autre part des plantes plastiques qui prennent un phénotype pâture. L'héritabilité de la plasticité est apparue voisine de 0,30 (au sens strict).

### 2.6. PÂTURAGE DE LA LUZERNE

L'utilisation de la luzerne au pâturage est peu pratiquée en France. Cette technique peut pourtant présenter des avantages. Depuis 1993, une variété de luzerne de type flamand est disponible, après sa sélection pour son adaptation à la pâture, grâce à un port évasé et une couronne large, utilisable en culture pure ou en association.

## 3. CRITÈRES D'APPRÉCIATION OU DE MESURE DE LA VALEUR ALIMENTAIRE

### 3.1. MESURES DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DU MAÏS FOURRAGE

Pour être d'utilisation facile et de coût limité, un critère d'appréciation de la valeur alimentaire in vitro du maïs fourrage doit pouvoir être estimé sur des échantillons de plantes entières. Il doit aussi avoir été validé par des essais avec des animaux. Actuellement, il s'avère que ce sont les solubilités enzymatiques incluant une amylase, réalisées sur des échantillons de plante entière et prédites dans le proche infrarouge, qui sont à la base des critères les plus pertinents. L'INRA et les membres du Club Digestibilité ont proposé différentes régressions permettant de calculer une valeur de DMO et une valeur UFL à partir de solubilité enzymatique et d'une teneur en matières azotées (voir en particulier le recueil du colloque maïs ensilage, Nantes, septembre 1996).

Pour séparer les hybrides qui, à solubilité égale, ont des teneurs en grain et des digestibilités de parois différentes, il est souhaitable de calculer un indice de digestibilité des parois, ceci tant pour le sélectionneur que pour l'éleveur voulant raisonner une complémentation. A partir de prédictions dans le proche infrarouge de la solubilité enzymatique des plantes entières, de leur teneur en amidon et de leur teneur en glucides solubles, Argillier et al (1996) ont récemment proposé le critère DINAG, digestibilité de la partie « non amidon non glucides solubles » (voir aussi Barrière et al, 1996). Ce critère présente l'avantage de mettre à disposition des utilisateurs les trois valeurs clés d'un hybride de maïs ensilage, à savoir sa digestibilité en plante entière, sa teneur en amidon et un indicateur de la digestibilité de sa partie non grain.

La principale limite à l'utilisation de ces mesures au laboratoire et de l'utilisation des équations est la qualité de la prise

d'échantillons. Les résultats les plus satisfaisants sont obtenus dans des dispositifs structurés permettant une interprétation statistique des données, comme c'est le cas au cours des programmes de sélection. L'utilisation chez l'éleveur est plus délicate et dépendante de la qualité de l'échantillonnage dans les remorques ou les silos. Des mesures répétées faites à l'INRA de Lusignan laissent penser qu'il n'est possible d'approcher la digestibilité ou la valeur énergétique d'un ensilage d'une variété de maïs que si les estimations sont faites sur au moins 10 (et plutôt 15) échantillons représentatifs de la parcelle ou du silo.

Si l'on peut donc considérer que le sélectionneur et l'éleveur disposent (ou vont disposer) de critères d'estimation de la valeur agronomique et de la valeur énergétique, il n'en est pas de même pour l'ingestibilité. Pourtant, elle conditionne autant la variabilité des apports énergétiques par l'ensilage de maïs au bovin que la digestibilité ou la valeur énergétique de cet ensilage. Le contrôle des quantités ingérées peut mettre en jeu des mécanismes métaboliques, sensoriels et physiques. La valeur d'encombrement de l'ensilage de maïs, et donc son ingestibilité, dépend de la vitesse de dégradation ruminale de la fraction pariétale, plus que de la digestibilité absolue de ces parois. Des travaux sont en cours sur cette thématique susceptible d'apporter des progrès significatifs chez l'éleveur.

### 3.2. MESURES LIÉES À LA DIGESTIBILITÉ DE LA LUZERNE

Le fait de disposer, chez la luzerne, d'un critère lié à la digestibilité, facile à mesurer, héritable et peu corrélé au rendement permettrait d'accélérer les progrès en sélection. Les caractères liés à des teneurs en chacun des éléments constitutifs des parois végétales sont tous très corrélés entre eux et très corrélés à la digestibilité. Cependant, la digestibilité dépend à la fois de la teneur en paroi et de la digestibilité de ces parois. Des travaux sont en cours pour adapter à la plante luzerne une des méthodes chimiques d'analyse de la digestibilité des parois mises au point sur maïs ou graminées. Un génotype de luzerne très digestible combinerait un fort rapport feuilles/tiges et une bonne digestibilité des tiges, et ces deux composantes de la digestibilité de la plante sont certainement à considérer dans un programme de sélection (Julier et Huyghe, 1997). Il faudra aussi mieux connaître les relations entre les observations réalisées en pépinière de sélection et celles effectuées en essai pour ce caractère, pour apprécier la valeur prédictive d'une mesure en plante isolée sur la valeur alimentaire en parcelles denses.

### 3.3. MESURES SPÉCIFIQUES DE LA VALEUR D'UTILISATION D'UNE GRAMINÉE AU PÂTURAGE

Il existe une génétique et une amélioration spécifiques de l'adaptation au pâturage, qui conduit à la définition, avant sélection, d'un idéalotype de graminées pour l'aptitude à la pâture. Ce travail bénéficie d'abord des acquis de la sélection des graminées pour la fauche, avec les caractéristiques de productivité, d'étalement de la production, d'aptitude à la repousse et d'état sanitaire des variétés actuelles. De plus, sur certaines espèces et pour certaines variétés, des acquis sont disponibles pour la valeur alimentaire à l'auge. Les progrès à faire pour la pâture concernent la résistance au piétinement, la résistance à l'arrachage, l'aptitude à ne pas faire de refus. Il faut aussi s'approcher autant que possible d'une graminée fourragère qui vieillit moins vite, sans diminution de l'inges-

tibilité et de la digestibilité à la pâture au cours du temps, augmentant ainsi la souplesse d'utilisation. Il faut encore une possibilité d'exploitation plus tardive sans croissance explosive au printemps, une résistance à la rouille et aux pathogènes en automne, attaques qui conduisent à une réduction de l'ingestibilité et de la digestibilité.

L'ingestibilité à la pâture dépend de caractéristiques morphologiques des plantes comme le tallage, le port des plantes, leur préhensibilité, la longueur des limbes (qui est la partie préférentiellement consommée au pâturage, permettant aux vaches laitières de réaliser leur potentiel de production), et la densité de limbe par unité de surface. Schématiquement, alors que l'ingestibilité à l'auge est essentiellement liée à la teneur en limbe dans la partie gaines et limbes, l'ingestibilité au pâturage est liée à la quantité de limbe par unité de surface. De même, si la digestibilité à l'auge est liée à la digestibilité de l'ensemble gaines et limbes, en revanche, au pâturage, la digestibilité est liée à la digestibilité des limbes dont il ne faudrait pas sous-estimer la variabilité, même pour des espèces comme le ray-grass anglais. Il faut noter aussi que la productivité en fauche, qui est liée à la production de gaines et limbes, ne peut être un prédicteur de l'aptitude au pâturage.

La valeur au pâturage d'une variété est en interaction avec son mode d'exploitation. Ainsi, la décision de sortir les animaux d'une parcelle devrait être dictée par la chute de la production animale. Or, il semblerait que la quantité d'herbe résiduelle en dessous de laquelle la production animale chute soit liée positivement à la quantité d'herbe offerte par une relation hyperbolique, et non pas linéaire. La seule comparaison variétale valable correspond aux écarts à cette relation. L'"indice de broutement", défini par  $\left( \frac{\text{hauteur herbe à l'entrée} - \text{hauteur d'herbe en sortie}}{\text{hauteur d'herbe en sortie}} \right)$ , et qui correspond en fait au ratio entre hauteur d'entrée / hauteur en sortie, à la constante -1 près, introduit donc un biais réducteur et donne l'impression d'importantes différences variétales qui ne correspondent qu'à des écarts insignifiants de hauteurs d'herbe résiduelles (Hazard et Ghesquière, 1997). Les comparaisons variétales basées sur le pâturage de mosaïques de variétés, véritables cafétéria laissant toute liberté aux animaux de choisir parmi les variétés testées, ne permettent pas de juger de l'aptitude d'une variété à être utilisée au pâturage en absence de choix. En effet les différences d'appétibilité peuvent masquer le mérite relatif des variétés testées et aucune relation entre appétibilité et quantités ingérées n'a jamais été prouvée. D'autre part, dans de tels dispositifs avec choix, les variétés ne sont pas comparées à mêmes quantités ou hauteurs d'herbe offertes, ou à temps de pâturage semblables. Une bonne évaluation des variétés pour leur aptitude au pâturage passe dans un premier temps par la mesure des vitesses d'ingestion afin d'abord d'identifier les composantes morphogénétiques liées à une bonne préhensibilité de l'herbe au pâturage, puis, dans un second temps, de les utiliser pour la sélection et la caractérisation variétale.

Dans la mesure où les variétés de plantes fourragères sont des variétés synthétiques à large base génétique, et dans la mesure où ces espèces sont des plantes pérennes semées pour 3 à 5 ou 10 ans, il faudrait pouvoir prendre en compte, comme critère de choix, leur stabilité génétique. En effet, il est important que les caractères du génotype se maintiennent

sous pression de fauche et de pâturage et que les qualités de digestibilité et d'ingestibilité n'évoluent pas avec les années d'exploitation du couvert. En effet, on peut penser que les plantes les plus aptes à être pâturées sont celles qui risquent de disparaître le plus vite.

## CONCLUSIONS

La valeur alimentaire d'une plante fourragère sera d'autant plus importante que cette plante sera utilisée dans une conduite de l'alimentation des animaux désintensifiée et restrictive sur la distribution de concentrés. A partir des résultats disponibles à ce jour, il semble possible d'envisager un gain représenté par la substitution d'un fourrage classique par un fourrage à plus haute valeur alimentaire (ingestibilité et digestibilité) qui varierait à moyen terme, selon les espèces, entre 1,10 et 1,35 fois la valeur moyenne actuelle.

Mais, il faut aussi bien penser que « l'herbe, comme la luzerne ou le maïs, cela se cultive », et il ne faut pas imaginer qu'un éleveur, même dans un système désintensifié, pourra se contenter d'une pratique de cueillette.

L'élevage de demain reposera sans doute sur la complémentarité entre le pâturage, et l'affouragement avec des réserves d'excellente valeur alimentaire, concentration énergétique et conservabilité, produites en conditions raisonnées d'intrants, et permettant en conséquence une gestion des réserves corporelles des animaux. Dans une agriculture désintensifiée, les ruminants devront s'adapter au cours de l'année à la disponibilité en herbe et en fourrages, avec en particulier des périodes de sous-alimentation. La possibilité qu'auront les animaux de reprendre du poids au cours d'une période d'alimentation avec des plantes très ingestibles, très digestibles et très énergétiques sera ainsi un atout essentiel pour alimenter au mieux des animaux à faible coût.

## REMERCIEMENTS

Les travaux réalisés à l'INRA de Lusignan ont bénéficié du soutien de l'ACVF, de PROMAIS, de celui du Ministère de l'Agriculture (Contrats de Branches) et du Ministère de la Recherche. Ils ont aussi bénéficié du soutien du Conseil Régional Poitou-Charentes.

## RÉFÉRENCES

- ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., 1988. In Jarrige R., Alimentation des bovins, ovins et caprins. I.N.R.A. Ed., 471 p
- ARGILLIER O., BARRIÈRE Y., HÉBERT Y., 1996. Colloque Maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996, 447-448
- ARGILLIER O., BARRIÈRE Y., TRAINÉAU R., EMILE J.C., HÉBERT Y., 1997. Accepté dans Plant Breeding
- ARGILLIER O., BARRIÈRE Y., 1997. Accepté dans Euphytica
- BARRIÈRE Y., EMILE J.C., TRAINÉAU R., HÉBERT Y., 1995a. Plant Breeding, 114, 144-148
- BARRIÈRE Y., EMILE J.C., HÉBERT Y., 1995b. agronomie, 15, 539-546
- BARRIÈRE Y., ARGILLIER O., EMILE J.C., GIAUFFERT C., HÉBERT Y., MICHALET-DOREAU B., 1996. Colloque Maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996, 293-30
- CARPENTIER B., HAUREZ P., BRAUSCHWIG PH., HAUREZ PH., JOULIE M., 1995. Rencontre Recherche Ruminants, Institut de l'Élevage Ed, 2, 113-118
- Ciba-semences, 1990. Synthèse de l'expérimentation menée par l'EDE de Vendée en 1988-89-90. 13p
- DEINUM B., VAN LOO R., MAASSEN A., 1995. EAAP Publication n° 84, 3-18, WIAS Symposium, 139-141
- EMILE J.C., GILLET M., GHESQUIÈRE M., CHARRIER X., 1992. Fourrages, 130, 159-169
- EMILE J.C., TRAINÉAU R., 1993. Fourrages 134, 251-254
- EMILE J.C., BARRIÈRE Y., MAURIES M., 1996. Ann. Zootch., 45, 17-27
- EMILE J.C., MAURIÈS M., ALLARD G., GUY P., 1997. agronomie 17, 119-125
- HAZARD L., GHESQUIÈRE M., 1997. Accepté dans Fourrages
- HODEN A., BARRIÈRE Y., GALLAIS A., HUGUET L., JOURNET M., MOURGUET A., 1985. Bull Tech CRZV Theix, INRA, 60, 43-58
- ISTASSE L., GIELEN M., DUFRASNE L., CLINQUART A., VAN EENAEME C., BIENFAIT J.M., 1990. Landbouwtijdschrift - Revue de l'Agriculture, 43, 996-1005
- JULIER B., GUY P., CASTILLO-ACUNA C., CAUBEL G., ECALLE C., ESQUIBET M., FURSTOSS V., HUYGHE C., LAVAUD C., PORCHERON A., PRACROS P., RAYNAL G., 1996. Euphytica 91, 241-250
- JULIER B., HUYGHE C., 1997. Soumis à agronomie
- LEMAIRE G., CHARRIER X., HÉBERT Y., 1996. agronomie, 231-246
- TOLLENAAR M., MC CULLOUGH D.E., DWYER L.M., 1994. In Genetic improvement of field crops, G.A. Sflafer Ed, M. Dekker Inc, 183-236
- SKINNER D.Z., FRITZ J.O., KLOCKE L.L., 1994. Crop Sci 34, 1396-1399