

Valeur alimentaire et inscription des variétés de maïs ensilage aux catalogues officiels en Europe

O. Argillier, Y. Barrière

En Europe, l'existence d'une variabilité génétique pour la valeur alimentaire du maïs ensilage est maintenant largement reconnue, mais elle est diversement prise en compte lors de la sélection et de l'inscription des variétés. Les critères et méthodes d'évaluation diffèrent entre les pays. Un rapide tour d'horizon s'impose.

RÉSUMÉ

La digestibilité est, pour l'instant, le facteur pris en compte car il existe des méthodes de mesures de digestibilité in vitro, réalisables en routine et pouvant être prédites par spectroscopie de réflectance dans le proche infrarouge (NIRS). La digestibilité est déjà un des critères d'inscription des variétés aux Pays-Bas (méthode de digestibilité in vitro avec du jus de rumen), en Belgique et en Suisse (prédiction par NIRS d'une digestibilité in vitro avec du jus de rumen ou une solubilité enzymatique). Au Royaume-Uni, la digestibilité est prise en compte pour la recommandation. En Allemagne, la caractérisation des variétés du point de vue de leur digestibilité par prédiction NIRS d'une solubilité enzymatique est à l'étude. Enfin, en France, des études sont menées pour tenter de définir un critère réellement fiable et efficace.

MOTS CLÉS

Catalogue variétal, digestibilité, ensilage, Europe de l'ouest, maïs, valeur alimentaire.

KEY-WORDS

Digestibility, feeding value, maize, national list, silage, Western Europe.

AUTEURS

Institut National de la Recherche Agronomique, Station d'Amélioration des Plantes Fourragères, F-86600 Lusignan (fax : 49 55 60 44).

Le maïs est une plante fourragère essentielle, la seule dont les surfaces semées n'ont pas diminué au cours des 10 dernières années. Elle couvre environ 3 500 000 ha en Europe, surtout dans sa moitié nord. Dans le passé, aucune spécificité de l'utilisation sous forme d'ensilage n'a été envisagée ; les hybrides de maïs sélectionnés pour l'utilisation en grain étaient aussi cultivés pour la production de fourrage, en supposant que leur productivité et leur qualité étaient déterminées par le rendement en grain et la présence de grains dans la plante entière. A l'heure actuelle, **la spécificité du maïs ensilage est largement reconnue et l'existence d'une variabilité génétique pour les caractéristiques de valeur alimentaire a été maintes fois démontrée** (DEINUM et BAKKER, 1981 ; DHILLON et al., 1990 ; DOLSTRA et MEDEMA, 1990 ; BARRIÈRE et al., 1992 ; DARDENNE et al., 1993 ; WOLF et al., 1993 ; ARGILLIER et al., 1995 ; BARRIÈRE et al., 1995a, 1995b). Cependant, la valeur alimentaire est plus difficile à appréhender car, si l'on possède des critères simples pour évaluer les caractéristiques agronomiques (précocité, productivité, résistance aux verses...), il faudrait pouvoir, avec des tests utilisables en routine, prédire de façon aussi efficace et fiable que possible un potentiel de production de lait ou de viande au travers des composantes de la valeur alimentaire que sont la digestibilité et l'ingestibilité. Pour l'instant, l'accent est surtout mis sur la digestibilité, qui est sans doute le caractère le plus facile à estimer.

Selon le pays, la digestibilité n'est pas ou est déjà prise en compte, avec des niveaux variables et avec des méthodes d'estimation différentes, pour l'inscription des variétés à chacun des catalogues officiels en Europe (VAN WAES, 1994a). Dans le cadre d'un travail de collaboration entre l'I.N.R.A. et des membres de Promaïs ⁽¹⁾, nous avons ainsi tenté de faire le point sur la détermination et la prise en compte de la valeur alimentaire dans l'inscription des variétés de maïs ensilage dans les différents pays européens.

Prise en compte de la valeur alimentaire à l'inscription des variétés de maïs ensilage

■ En France : travaux préliminaires pour définir des critères pertinents

A l'heure actuelle, l'inscription au catalogue français de maïs avec une spécificité ensilage est fondée sur les valeurs de productivité, de précocité en plante entière et de tenue de tige, sous réserve d'un

(1) Membres de Promaïs participant à l'étude : Cargill Semences, Caussade Semences, Ciba Semences, Corn States International, Limagrain Genetics, Maisadour, Hilleshog NKS, Pioneer Génétique, Procosem, RAGT, Rustica Prograin Génétique, SDME, SES, Van Der Have, Verneuil Recherche.

résultat suffisant dans les essais pour l'inscription en grain. **La profession a donc pour l'instant choisi i) d'opter pour un minimum de productivité en grain des variétés ensilage, et ii) de ne pas inclure de critères de valeur alimentaire dans ses règles d'inscription, car elle considère qu'il reste encore à définir des critères objectifs** permettant une bonne caractérisation de la variabilité induite sur les performances zootechniques.

A ce titre, et outre des travaux réalisés par l'I.N.R.A., des essais sur gros ruminants ont été mis en place à l'initiative de SEPROMA et de l'A.G.P.M., en collaboration avec l'Institut de l'Élevage, à partir de 1991. De plus, en 1995, a été initiée par le G.E.V.E.S., en collaboration avec SEPROMA, l'I.N.R.A. et l'A.G.P.M., une étude cherchant :

- à mesurer la faisabilité et la pertinence des méthodes estimées explicatives de la qualité d'une variété de maïs pour une utilisation en ensilage,

- et à définir quels sont les protocoles et procédures à mettre en place pour disposer d'une information fiable sur la valeur alimentaire des variétés.

Le matériel étudié dans ce cadre consiste en un sous-ensemble des variétés proposées à l'inscription avec la mention ensilage dans le réseau officiel du C.T.P.S., avec pour objectif de doter à terme les services officiels français d'un outil efficace de prédiction de la valeur alimentaire.

■ En Allemagne : l'utilisation d'un critère de digestibilité *in vitro* est à l'étude

Les variétés de maïs en vue d'une inscription au catalogue allemand avec une spécificité ensilage sont testées sur les critères de production en plante entière et de précocité, et sur le rapport épis/plante entière. **A l'heure actuelle, l'aspect de la valeur alimentaire n'est pas pris en compte pour l'inscription des variétés de maïs ensilage.** Cependant, depuis plusieurs années, **les organismes officiels allemands ont entrepris des études sur la possibilité d'estimer une digestibilité** et ont ainsi mis en place un programme pour développer une calibration par spectroscopie de réflectance dans le proche infrarouge (NIRS) pour prédire une digestibilité. C'est tout d'abord la méthode de digestibilité *in vitro* avec du jus de rumen (TILLEY et TERRY, 1963) qui a servi de méthode de référence. Celle-ci a, depuis, été remplacée par la solubilité enzymatique de DE BOEVER et al. (1986 et 1988 ; cf. en annexe). Depuis 1994, l'estimation de la teneur en amidon est aussi à l'étude. Mais, pour l'instant, ces caractéristiques de qualité ne rentrent pas en compte dans la décision d'inscription des variétés.

■ Aux Pays-Bas : seuil minimum pour la valeur énergétique VEM

Depuis 1978, la digestibilité des variétés est testée lors du processus d'inscription au catalogue hollandais. On parle de **valeur VEM pour apprécier la valeur alimentaire ; elle exprime une valeur énergétique pour la production de lait**, en référence à l'orge (VLASWINKEL, 1991). La valeur VEM est calculée à partir de la teneur en matière organique digestible. A cette époque, la teneur en matière organique digestible était calculée à partir d'une équation faisant intervenir les teneurs en cellulose brute et en cendres brutes, d'après la méthode de WEENDE. Ce critère s'étant avéré peu efficace, il n'y a plus eu de valeurs VEM dans les années 1980-1982 dans les listes officielles de variétés aux Pays-Bas. **A partir de 1983, la valeur VEM est à nouveau prise en compte, en estimant la matière organique digestible à partir d'une mesure de digestibilité *in vitro* avec la méthode du jus de rumen** (TILLEY et TERRY, 1963). L'équation permettant de calculer la valeur VEM à partir de la teneur en matière organique digestible (MOD, exprimée en g par kg de matière sèche) est la suivante :

$$\text{VEM} = 1,0129313 \text{ MOD} + 0,00044134 \text{ MOD}^2$$

Actuellement, les caractères essentiels pris en compte pour l'inscription des variétés aux Pays-Bas sont les suivants : résistance à la verse, résistance à la fusariose, teneur en matière sèche, production en plante entière et valeur VEM. Chaque année, environ 40 nouvelles variétés sont admises pour la première année en tests officiels. Ces variétés doivent apporter une amélioration, mais il n'existe pas de critères très précis, autres qu'**un seuil minimum à atteindre pour chacune des caractéristiques**.

■ En Belgique : prise en compte de la digestibilité et calcul d'indice

C'est **en 1992 que la digestibilité de la plante entière a été introduite dans les critères d'inscription au catalogue belge** (VAN WAES et al., 1994b). **La digestibilité est estimée par prédiction NIRS à partir d'une digestibilité *in vitro* avec du jus de rumen** (TILLEY et TERRY, 1963) **ou d'une solubilité enzymatique** (méthode de référence de DE BOEVER et al., 1986 et 1988).

Lors du processus d'inscription, les variétés ne sont testées la première année que sur des critères agronomiques. L'admission des variétés se fait par jugement par rapport aux témoins pour un ensemble de caractères regroupés en indice. Jusqu'ici, lors de la deuxième année de test, voire la troisième année, **un indice** était calculé avec les critères suivants : production de matière sèche totale, teneur en matière sèche, résistance à la verse et digestibilité, affectés respectivement des coefficients 1,0, 2,0, 0,75 et 2,0. A partir de 1995,

certaines changements devraient affecter le calcul de cet indice. Celui-ci serait alors calculé avec les critères suivants : production de matière sèche totale, précocité, résistance à la verse, digestibilité et teneur en amidon, affectés respectivement des coefficients 1,0, 1,5, 0,75, 1,0 et 0,5.

■ En Suisse : prise en compte de la digestibilité dans le calcul de l'indice économique

Les variétés grain et ensilage sont séparées à l'inscription en Suisse depuis 1991 (HERTER, 1992). **La digestibilité est prise en compte dans l'inscription des variétés ensilage**, sous la forme d'une teneur en matière organique digestible, exprimée en g/kg de matière sèche. Jusqu'en 1995, la digestibilité était déterminée par la prédiction NIRS à partir d'une analyse avec du jus de rumen (TILLEY et TERRY, 1963) sur plante entière. En 1995, **un nouveau critère de digestibilité est désormais pris en compte et consiste en la prédiction par NIRS d'une solubilité enzymatique** selon la méthode de DE BOEVER et al. (1986 et 1988).

Le niveau de prise en compte des différents facteurs pour l'inscription découle de considérations économiques, notamment que 1% de digestibilité en plus apporte en moyenne le même bénéfice qu'une augmentation de production de 5%. **En Suisse, le système d'inscription est fondé sur le calcul d'indices**. L'indice économique prend en compte les critères de production en matière sèche et de teneur en matière organique digestible (différence entre la valeur de la variété testée et celle du témoin), avec des facteurs de pondération égaux respectivement à 0,5 et 0,4. L'indice agronomique prend en compte les critères de teneur en matière sèche, de vigueur au départ, de résistance à la verse en végétation, à la verse à la récolte et au charbon (différence entre la valeur de la variété testée et celle du témoin), avec des facteurs de pondération égaux respectivement à 2,0, 1,0, 0,25, 0,75 et 0,25. L'indice global de la variété est la somme de son indice économique et de son indice agronomique. Pour qu'une variété soit inscrite, elle doit avoir un indice global positif ou nul, sauf exception.

■ Au Royaume-Uni : prise en compte de la digestibilité pour la recommandation des variétés

L'inscription au catalogue national du Royaume-Uni ne prend pas en compte la valeur alimentaire du maïs ensilage ; elle est fondée sur l'évaluation des caractéristiques agronomiques classiques sur 3 ans. En revanche, **la liste des variétés recommandées** par le National Institute of Agricultural Botany du Royaume-Uni **prend sys-**

tématiquement en compte la digestibilité. Plusieurs laboratoires se chargent alors de **prédire la digestibilité par NIRS, en utilisant comme méthode de référence des solubilités enzymatiques.**

■ En Autriche : pas de prise en compte de la digestibilité

A l'heure actuelle, l'inscription des variétés de maïs ensilage au catalogue autrichien se fonde sur des critères de précocité et de productivité, et sur la proportion d'épis dans la plante entière. La digestibilité n'est actuellement pas prise en compte.

■ En Italie, Espagne et Portugal : pas de catalogue maïs ensilage

En Italie, en Espagne et au Portugal, l'inscription d'une variété de maïs au catalogue national ne se base que sur des essais en vue d'une utilisation en grain. La production en plante entière ou la valeur alimentaire du fourrage ne sont donc pas évaluées.

Conclusion

■ L'importance de la valeur alimentaire est clairement démontrée

Des essais réalisés sur gros ruminants (AUGEARD et al., 1995 ; BARRIÈRE et al., 1995a et 1995b ; CARPENTIER et al., 1995) ont mis en évidence un effet de l'hybride de maïs ensilé sur les productions de lait ou de viande, avec une variabilité des niveaux de digestibilité et d'ingestibilité. L'objectif est alors de se doter de critères utilisables en routine, fiables et efficaces pour prédire de telles variations.

Parallèlement, dans tous les pays européens pourvus d'un catalogue maïs ensilage, on constate une prise de conscience de l'importance du facteur valeur alimentaire, une large gamme de variabilité génétique ayant été mise en évidence pour ce paramètre. En effet, le choix d'un génotype de maïs qui, outre les caractéristiques agronomiques indispensables, apporte une bonne valeur énergétique et une bonne ingestibilité, peut permettre à l'éleveur d'améliorer la marge de son exploitation, notamment en conduisant à une économie des concentrés ajoutés dans la ration pour un même niveau de production animale.

■ Les critères d'évaluation de la valeur alimentaire et leur prise en compte pour l'inscription des variétés

A l'heure actuelle, on dispose de tests de digestibilité *in vitro*, utilisant notamment des solubilités enzymatiques, qui permettent au moins d'éliminer des génotypes à faibles valeurs, même s'il semble plus difficile de différencier entre eux des génotypes de digestibilités moyennes ou élevées (BARRIÈRE et al., 1995c). Ces valeurs peuvent être prédites par spectroscopie de réflectance dans le proche infrarouge. Certains pays, tels la Belgique et la Suisse, ont déjà opté pour l'utilisation de ce type de critère dans l'inscription des variétés à leurs catalogues nationaux. Le Royaume-Uni l'utilise pour la recommandation des variétés. En Allemagne, il est à l'étude. En France, des études sont en cours pour tenter de définir un critère efficace et répétable.

En terme de sélection et/ou d'inscription, deux stratégies sont possibles en utilisant ces tests de digestibilité *in vitro*. La première consiste à essayer de progresser sur les caractéristiques agronomiques, en maintenant au moins le niveau de digestibilité de nombreux hybrides actuels, considéré comme plutôt bon. La seconde consiste à tenter d'améliorer le niveau de digestibilité par rapport aux hybrides actuels, mais avec le risque de moins progresser sur les aspects de production et de résistance aux verses.

De plus, un critère tel que la digestibilité de la plante entière ne permet pas de distinguer les hybrides ayant une forte teneur en grain, mais une plus faible digestibilité du "non-grain", des hybrides ayant une plus faible teneur en grain, mais une digestibilité du "non-grain" supérieure. Il est donc possible qu'une amélioration de la performance du critère de solubilité enzymatique de la plante entière puisse provenir de la décomposition algébrique de ce critère global en un aspect "teneur en amidon" et un aspect "digestibilité des parois".

Si la recherche de critères pour prédire le niveau de digestibilité est déjà bien avancée, différents travaux restent nécessaires pour gagner en efficacité et en pertinence. Il faudra en particulier accéder à la compréhension de la variabilité de qualité des parois de maïs, tant sur les aspects biochimiques qu'histologiques ; ceci est en particulier indispensable si le sélectionneur veut maintenir un progrès à la fois pour la valeur alimentaire et pour la résistance à la verse. Il faudra aussi mieux caractériser le matériel pour sa cinétique de dégradabilité ; ceci pourrait contribuer à la compréhension de la variabilité de l'ingestibilité, qui a été mise en évidence lors de certains des essais avec des bovins en production. La pertinence des critères de sélection du maïs destiné à l'ensilage sur les aspects ingestibilité et digestibilité sera évidemment d'autant meilleure que les mécanismes seront mieux compris et mieux resitués au sein de l'ensemble des critères agronomiques de sélection.

Accepté pour publication, le 14 juin 1996.

Remerciements

Cet article a pu être réalisé grâce aux informations fournies par P. CARRÉ, et pour chacun des pays, par B. AIZAC (pour la France), D. RENTEL, C. PAUL et R. LEIPERT (pour l'Allemagne), A.G.M. EBSKAMP (pour les Pays-Bas), J. VAN WAES (pour la Belgique), U. HERTER (pour la Suisse), J. INGRAM (pour le Royaume-Uni), J. HINTERHOLZER (pour l'Autriche), M. MOTTO (pour l'Italie), F. CASANAS et J.F. GARCIA QUINTANA (pour l'Espagne) et A. M. CASTRO (pour le Portugal). Nous les en remercions.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARGILLIER O., BARRIÈRE Y., HÉBERT Y. (1995) : "Genetic variation and selection criterion for digestibility traits of forage maize", *Euphytica*, 82, 175-184.
- AUGEARD P., DE BERSACQUES F., BRUNSCHWIG P., CARPENTIER B. (1995) : *Comparaison de la valorisation par des vaches laitières de deux maïs ensilage choisis pour leur digestibilité différente*, rapport de l'AGPM, SEPRONA, Institut de l'Élevage, Chambre d'Agriculture 85, juillet 1995.
- BARRIÈRE Y., TRAINÉAU R., EMILE J.C., HÉBERT Y. (1992) : "Variation and covariation of silage maize digestibility estimated from digestion trials with sheep", *Euphytica*, 59, 61-72.
- BARRIÈRE Y., EMILE J.C., TRAINÉAU R., HÉBERT Y. (1995a) : "Genetic variation in the feeding efficiency of maize genotypes evaluated from experiments with dairy cows", *Plant Breeding*, 114, 144-148.
- BARRIÈRE Y., EMILE J.C., HÉBERT Y. (1995b) : "Genetic variation in the feeding efficiency of maize genotypes evaluated from experiments with fattening bulls", *Agronomie*, 15, 539-546.
- BARRIÈRE Y., EMILE J.C., ARGILLIER O., HÉBERT Y. (1995c) : "Effets du génotype de maïs ensilage sur les performances zootechniques de vaches laitières", *Productions Animales*, 8(5), 315-320.
- CARPENTIER B., HAUREZ P., JOULIE A., RIVOISY G. (1995) : *Comparaison de la valorisation par des taurillons de 2 maïs ensilage choisis pour leur digestibilité différente*, rapport de l'AGPM, SEPRONA, Institut de l'Élevage, Chambre d'Agriculture 85, mars 1995.
- DARDENNE P., ANDRIEU J., BARRIÈRE Y., BISTON R., DEMARQUILLY C., FEMENIAS N., LILA M., MAUPETIT P., RIVIÈRE F., RONSIN T. (1993) : "Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. 2. Prediction of the in vivo organic matter digestibility", *Annales de Zootechnie*, 42, 251-270.
- DE BOEVER J. L., COTTYN B.G., BUYSSE F.X., WAINMAN F.W., VANACKER J.M. (1986) : "The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants", *Animal Feed Science and Technology*, 14, 203-214.
- DE BOEVER J.L., COTTYN B.G., ANDRIES J.I., BUYSSE F.X., VANACKER J.M. (1988) : "The use of a cellulase technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of forages", *Animal Feed Science and Technology*, 19, 247-260.
- DEINUM B., BAKKER J.J. (1981) : "Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids", *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 29, 93-98.
- DHILLON B.S., PAUL C., ZIMMER E., GURRATH P.A., KLEIN D., POLMER W.G. (1990) : "Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize", *Crop Science*, 30, 931-936.

- DOLSTRA O., MEDEMA J.M. (1990) : "An effective screening method for improvement of cell-wall digestibility in forage maize", *Proc. 15th Eucarpia Cong. Maize-Sorghum*, June 4-8, Baden, Austria, p 258-270.
- HERTER U. (1992) : "Qualitätsbestimmung in der Schweizerischen Silomais-Sortenprüfung", *Symposium : Valeur alimentaire du maïs ensilage*, Clermont-Ferrand, 26-27 novembre 1992.
- TILLEY J.M.A., TERRY R.A. (1963) : "A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops", *J. Br. Grassl. Soc.*, 18, 104-111.
- VLASWINKEL L. (1991) : *Verdaulichkeit vom Mais in die Niederlande*, miscellaneous paper.
- VAN WAES J. (1994a) : *Survey of the determination of digestibility in official trials with silage maize in several countries*, miscellaneous paper.
- VAN WAES J., CARLIER L., DE VliegHER A., VAN BOCKSTAELE E, DE BOEVER J., COTTYN B., DARDENNE P., BISTON R. (1994b) : "Evaluation of digestibility in official trials with silage maize in Belgium", *Maize quality workshop*, Basle, 8-10 février 1994.
- WOLF D.P., GOORS J.G., ALBRECHT K.A., UNDERSANDER D.J., CARTER P.R. (1993) : "Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations", *Crop Science*, 33, 1359-1365.

ANNEXE : **Méthode de solubilité enzymatique** de DE BOEVER et al. (1986, 1988).

APPENDIX : **Enzymatic solubility method** (DE BOEVER et al., 1986 and 1988).

- **Pré-traitement** de 24 heures à 40°C avec 0,2% de pepsine dans de l'acide chlorhydrique 0,1 N. 30 ml de solution pepsine-HCl sont utilisés pour 300 mg d'échantillon broyé.
- **Incubation** à 80°C pendant 45 minutes.
- **Attaque avec la préparation cellulasique** dans 30 ml de solution tampon d'acétate de sodium 0,1 N (pH=4,8) à 40°C pendant 24 h. La préparation cellulasique est extraite de *Trichoderma viride* (cellulase BDH, employée à raison de 135 g/l de solution tampon ou cellulase Onozuka à raison de 3,3 g/l de solution tampon).

SUMMARY

Taking feeding value into account for the registration of silage maize cultivars in official lists in Europe

That there exists a large genetic variation in feeding values is now widely acknowledged in Europe, but it is differently taken into account in breeding and in the registration of cultivars. The tests chosen and their methods of assessment vary from one country to another. Among the factors that determine feeding value, a rapid survey shows that digestibility is the one at present mainly taken into consideration in the various European countries growing maize for silage, since there exist *in vitro* methods for the measurement of digestibility. These methods can be implemented routinely and can be predicted by near infra-red reflectance spectroscopy (NIRS). It would thus be possible to discard genotypes with too low values, while retaining those with higher values. Digestibility is already taken into account for the registration of silage maize cultivars in the national lists of the Netherlands, Belgium and Switzerland. In the Netherlands, digestibility is measured by *in vitro* digestion in rumen juice ; in Belgium and in Switzerland, the assessment is by NIRS prediction of an *in vitro* digestion in rumen juice or of enzymatic solubility. In the United Kingdom, digestibility is taken into consideration in the recommended list of cultivars. In Germany, a study for the characterization of the digestibility of cultivars by NIRS prediction of enzymatic solubility is in progress. Finally, in France, there are studies to define a really efficient and reliable test for digestibility.