

Le maïs fourrage : élaboration du rendement et de la qualité, récolte et conservation

Bertrand Carpentier, Gildas Cabon

ARVALIS Institut du végétal, 2, Chaussée Brunehaut, Estrées Mons, F-80203 Peronne cedex ;
b.carpentier@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

Le maïs fourrage, récolté en plante entière et ensilé, est aujourd'hui en France un pilier de l'alimentation hivernale des troupeaux laitiers.

Le maïs est connu en France depuis le XVI^{ème} siècle, d'abord pour la valorisation de son grain. Mais il a fallu attendre les années 1970 et le développement d'hybrides précoces bien adaptés à nos conditions climatiques pour voir le maïs fourrage prendre une place significative dans le système fourrager français. Les surfaces se sont, depuis une quinzaine d'années, stabilisées autour de 1,4 million d'hectares, et ce malgré la baisse de l'effectif de vaches laitières. Les surfaces semées et récoltées varient en fonction des rendements (liés aux conditions de végétation) et des besoins de stock fourrager.

L'article s'attache ensuite à décrire le cycle de végétation de la plante et à chiffrer le rendement, le taux de matière sèche, la composition chimique et la valeur énergétique au cours de ce cycle de végétation.

L'influence sur le rendement et la composition chimique des choix techniques de la culture (semis, choix de précocité d'hybride, date de récolte) et des conditions de végétation (par l'intermédiaire des scénarii climatiques) est ensuite détaillée avec des données chiffrées.

La récolte est une étape cruciale pour que la quantité et la qualité du fourrage élaborées au champ soient conservées. Le choix de la date de récolte passe par l'observation du remplissage des grains, l'objectif étant de récolter une plante entre 30 et 35% MS plante entière. Le maïs fourrage se conserve par ensilage. Les règles de bonnes pratiques de la récolte et de la confection du silo sont rappelées.

Le maïs fourrage est d'abord source d'énergie pour la vache laitière. A la fois concentré (amidon) et fibres (partie tige plus feuilles), le maïs fourrage peut représenter jusqu'à 80% de la ration. Pauvre en MAT et en minéraux, il nécessite d'être justement complétement pour apporter à l'animal une ration saine et équilibrée. Les grandes lignes de l'utilisation du maïs fourrage dans la ration de la vache laitière sont rappelées. La teneur en amidon de la ration est un élément essentiel du rationnement de l'animal.

Si la technique de l'ensilage de maïs était déjà décrite à la fin du 19^{ème} siècle, le maïs fourrage ne s'est développé qu'à partir des années 1970 avec l'arrivée sur le marché de variétés précoces. Depuis quinze ans, malgré la baisse de l'effectif laitier, les surfaces de maïs fourrage en France sont relativement stables et couvrent environ 1,4 million d'hectares. En zone de plaines et de piémonts, le maïs fourrage est aujourd'hui la base de l'alimentation hivernale des troupeaux laitiers, et est également utilisé en complément du pâturage en été et à l'automne.

Le maïs fourrage est cultivé dans toutes les régions françaises (à l'exception de l'extrême Sud-est) et parfois jusqu'à plus de 900 m d'altitude. Sa régularité de rendement et de qualité, sa valeur énergétique élevée, la simplicité de culture et de conservation expliquent ce succès.

La première partie de cet article de synthèse présente rapidement l'histoire du maïs fourrage en France. Le cycle de végétation de la plante est ensuite décrit, de même que l'influence des choix culturaux (choix de précocité variétale, date de semis et de récolte) et des scénarios climatiques sur le rendement, la composition chimique et la valeur énergétique. Pour préserver au silo le rendement et la qualité produits au champ, les règles de bonnes pratiques de récolte sont rappelées. Quelques éléments concernant la place du maïs fourrage dans les rations de la vache laitière sont présentés.

1. Passé et présent du maïs fourrage

1.1. Première et rapide histoire du maïs en France

En 1784, Antoine Auguste PARMENTIER, agronome plus connu aujourd'hui en France pour son action en faveur du développement de la pomme de terre, publie un mémoire intitulé *Le maïs ou le blé de Turquie apprécié sous tous ses rapports*. C'est sans doute le premier document de référence sur cette plante, sa culture, sa conservation et son utilisation. On y parle aussi d'utilisation pour l'alimentation animale, mais pas d'ensilage.

En 1840, le maïs est répandu de la Charente à la Bresse et à l'Alsace, et dans tout le sud de la France, soit 632 000 ha de maïs produisant en moyenne 8,5 q de grain, avec des « populations » locales parfaitement adaptées aux conditions climatiques de chaque région. Mais cet essor n'est pas suivi. Les surfaces diminuent : 336 000 hectares en 1930, 217 000 hectares en 1944.

En 1908, l'américain SCHULL décrit le moyen d'obtenir des lignées pures et de les croiser pour obtenir des hybrides simples. Les premiers hybrides commerciaux sont proposés aux agriculteurs américains en 1933.

Après la seconde guerre mondiale, le ministère de l'Agriculture et l'AGPM (Association Générale des Producteurs de Maïs) organisent la relance de la culture du maïs en France. Dans un premier temps, le plan Marshall permet l'importation de semences d'hybrides et des techniques de production des Etats-Unis. Parallèlement, une production de semences puis un programme de sélection d'hybrides précoces se mettent en place en France. Le rôle de l'INRA dans le développement et la sélection du maïs est moteur et capital.

De 1945 à 1960, les surfaces de maïs grain passent de 300 000 à 700 000 hectares, et les hybrides précoces se répandent au nord des zones traditionnelles d'implantation de l'espèce, notamment dans le Bassin parisien. Les premiers hybrides français, sélectionnés sur la base des populations de pays, sont commercialisés à la fin des années 1950 : INRA 200 (1957), INRA 258 (1958). Les hybrides américains sont progressivement supplantés par les hybrides français, mieux adaptés aux printemps froids et plus résistants à la verse à maturité. Les surfaces de maïs grain augmentent pour atteindre 2 millions d'hectares en 1960, avec un rendement moyen de 50 quintaux.

Mais, jusqu'en 1960, la culture du maïs pour produire du fourrage ensilé reste peu développée en France (220 000 ha en 1957) et en Europe, en dépit de l'importance de cette production à la même époque en Amérique.

1.2. L'ensilage, une technique connue de longue date

Il semble que la technique de l'ensilage remonte très loin dans l'histoire. Certains dessins de l'Egypte ancienne montrent des agriculteurs enfermant soigneusement des gerbes de graminées dans de grands récipients. Les indiens d'Amérique du Nord conservaient aussi du maïs en plante entière dans des silos pour nourrir le bétail durant l'hiver. En Europe, on retrouve trace de cette technique au début du XVIII^{ème} siècle dans le nord des Alpes, en Suède et dans les provinces baltes où elle n'est pratiquée que pour l'herbe.

On peut fixer le début de l'histoire de l'ensilage de maïs en 1877 avec la publication du livre d'Auguste GOFFART intitulé *Manuel de la culture et de l'ensilage du maïs et autres fourrages verts*. Cet industriel belge s'intéresse à la conservation des fourrages et réalise en 1852 ses premiers essais de conservation « plante entière » sur maïs dans son domaine agricole de Burtin en Sologne. En 1873, il écrit : « *Ma conviction profonde est que la culture et l'ensilage de maïs sont destinés à provoquer une révolution agricole complète. Elle permettra en dix ans de doubler le nombre d'animaux élevés sur notre sol* ».

Dans son ouvrage, Auguste GOFFART décrit l'ensemble des opérations qui permettent de passer de la semence à l'ensilage. Il détaille la construction de silos horizontaux enterrés ou semi-enterrés, la réalisation des chantiers et chiffre coûts de construction et temps de travaux. Il explique qu'il faut hacher la plante (en morceaux de 1 cm !) et la tasser. Il décrit le processus de fermentation, donne les résultats de rendement, 9 000 kg/ha à environ 20% MS, et d'analyses du fourrage conservé. Il fait des observations sur animaux, bœufs et vaches laitières, prouvant l'intérêt de l'ensilage de maïs.

En 1879, son ouvrage, traduit en anglais et publié à New York, a un très grand retentissement technique auprès des éleveurs nord-américains. Dès 1880, ceux-ci construisent des silos verticaux cylindriques (en bois ou en béton) afin de mieux diriger les phénomènes de fermentation. Ils mettent au point des « ensileuses », matériel à poste fixe qui hache et propulse, par soufflerie ou par chaîne à godets, le fourrage haché dans le silo. Le nombre de silos verticaux augmente rapidement aux USA (91 silos en 1882, 378 000 en 1920 pour stocker 1,6 million d'hectares) mais aussi au Canada et dans d'autres pays.

Mais les éleveurs français s'intéressent peu à la question. En 1927, il existe 425 silos-tours en France, contre 530 000 aux USA. Les silos en fosse sont rares. Si nécessaire, on pratique l'ensilage en meule. Cette même année, au premier congrès national de l'ensilage des fourrages, la technique des silos verticaux est mise en avant, au détriment des silos couloirs enterrés ou semi-enterrés proposés par Auguste GOFFART. L'intérêt du sel dans la conservation des fourrages est expliqué (2 kg de sel en surface !). On propose l'acquisition en commun de machines à ensiler, pour en diminuer le coût. On conseille de récolter le maïs « *lorsque les épis commencent à se durcir... A cette époque, les grains ont quitté entièrement l'état laiteux et sont glacés et assez durs... La récolte contiendra 25 à 28% de matière sèche, soit plus de 7 000 kilogrammes à l'hectare...* ».

1.3. La révolution fourragère du XX^{ème} siècle

En France, l'évolution de la production fourragère repose en partie sur une nouvelle dynamique instaurée après la première guerre mondiale qui traduit une volonté d'organiser le progrès de l'agriculture par l'intensification de la production et la compression des prix de revient. Il s'agit alors de développer les productions animales, sachant que le poste le plus important du prix de revient de ces productions réside dans la nourriture des animaux. On a besoin des animaux pour l'alimentation des hommes, la force de traction et les engrais de ferme qu'ils fournissent.

La « grande » période de la Révolution fourragère se situe principalement de 1945 à 1970. La « *nécessaire intensification fourragère* » se fera sur la base de la création de nouvelles prairies semées après retournement des prairies permanentes. Parallèlement, trèfles et luzerne se développent sous le nom de prairies artificielles. On l'a compris, la Révolution fourragère concerne dans un premier temps la valorisation de l'herbe.

Mais les éleveurs rencontrent des difficultés dans ces nouveaux systèmes fourragers (BERANGER, 2006). La récolte de l'herbe est restée souvent manuelle et la conservation par ensilage entraîne de nombreux échecs. Les ensileuses à coupe fine n'existent pas encore. Les silos sont mal adaptés. Les pertes sont élevées et les ingestions limitées. Les troupeaux, plus importants et plus productifs, vèlant souvent en début d'hiver, ont des besoins en rations hivernales accrus en quantité et en qualité. L'accroissement du travail de conduite des lots d'animaux aux pâtures, de récolte des fourrages et la fragilité des systèmes proposés, très tendus et manquant de flexibilité, limitent et parfois découragent le développement de la Révolution fourragère. Toutes ces difficultés amènent les éleveurs à utiliser le maïs fourrage (TISSERAND, 2006). C'est une culture mécanisable du semis à la récolte, facile à conserver avec peu de pertes, et permettant de nourrir les animaux toute l'année à l'étable...

1.4. Le développement du maïs fourrage en France

En 1952, de retour des Etats-Unis, René DUMONT note : « *une large extension et intensification de la culture en France, telle nous apparaît l'évolution du maïs, céréale d'avenir, surtout pour sa transformation en denrées animales* » (SALETTE, 2006). Mais jusqu'en 1960, la culture du maïs pour produire du fourrage ensilé se développe peu en France (220 000 ha en 1957). Il faudra attendre 1970 et le développement des hybrides précoces pour que la culture du maïs à destination de l'ensilage se répande, puis dépasse le million d'hectares à la fin des années 70, principalement dans le quart nord-ouest de la France, en utilisant les mêmes hybrides que pour la production de grain.

Paradoxalement, cette « révolution blonde » profite à la révolution verte. En favorisant le développement des ensileuses à coupe fine (rapidement automatisées), on a amélioré l'efficacité et la rapidité des chantiers de récolte de l'herbe ainsi que la finesse de hachage. Il devient possible de combiner maïs et prairies temporaires (BERANGER, 1998).

De 350 000 ha en 1970, les surfaces de maïs fourrage augmentent jusqu'à plus de 1,6 million d'hectares en 1989, 1990 et 1991. Depuis une quinzaine d'années, les surfaces de maïs fourrage sont relativement stables, entre 1,4 et 1,5 million d'hectares selon les conditions climatiques de l'année. La Bretagne, les Pays de la Loire et la Basse-Normandie regroupent aujourd'hui 55% des surfaces.

Les évolutions de surfaces récoltées de maïs fourrage dépendent aussi des conditions de végétation et du niveau de rendement qu'elles permettent. En année difficile à niveau de rendement limité, des surfaces initialement prévues pour le grain peuvent être récoltées en fourrage (2003, 2009, 2010). Cela peut représenter plusieurs dizaines de milliers d'hectares au niveau national. L'année suivant le stress, les surfaces semées sont à la hausse, en prévision de la reconstitution des stocks. Inversement, les années favorables, les éleveurs récoltent en grain une partie des surfaces initialement prévues en récolte fourrage (près de 80 000 ha en 2007). Ainsi, les éleveurs adaptent les surfaces semées et récoltées à leurs besoins de stocks fourragers. On observe aussi un développement des surfaces de maïs récolté sous forme de grain humide, broyé ensilé ou entier inerté...

Durant les années 70, l'INRA et les entreprises de sélection commencent une sélection spécifique, prenant en compte le critère « valeur alimentaire pour la production laitière ». Depuis 1998, un critère zootechnique – la valeur énergétique (UFL) – est pris en compte pour l'inscription des variétés au catalogue français. Il existe donc aujourd'hui des variétés spécifiques fourrage, ou tout au moins des variétés inscrites sur des critères correspondant mieux aux attentes des éleveurs : rendement de la plante entière, précocité, tenue de tige et valeur énergétique.

1.5. Une grande diversité des systèmes fourragers français

La présence de maïs fourrage est très liée à la production laitière. Mais sa place n'est pas identique dans tous les systèmes fourragers (PEYRAUD *et al.* 2009, CHATELLIER *et al.* 2005).

Près de 45% de la production laitière nationale sont réalisés dans les zones de cultures fourragères de l'Ouest et des piémonts. Dans les exploitations laitières de ces régions, la SFP représentent 70 à 85% de la SAU, et le maïs fourrage représente 20 à 50% de la SFP. La production laitière y est relativement intensive (1,4 à 1,7 UGB/ha de SFP, 5 000 à 9 000 litres de lait/ha de SFP). Le maïs fourrage constitue l'essentiel des stocks fourragers alors que la prairie est essentiellement pâturée. La part de maïs fourrage y est stable depuis plus de 15 ans, consolidée par l'obtention de bons rendements (sauf en zones plus séchantes).

Plus de 20% de la production laitière nationale provient des zones mixtes de cultures et d'élevage. Les exploitations concernées combinent production céréalière et production laitière. Les cultures représentent 50 à 65% de la SAU. Le maïs fourrage occupe 30 à 50% de la SFP et représente la majeure partie de l'alimentation des vaches laitières. La production laitière varie de 6 000 à 10 000 litres/ha de SFP, selon le niveau de chargement (1,6 à 1,9 UGB/ha SFP).

Dans les zones herbagères du Nord-Ouest et de l'Est (près de 20% de la production laitière nationale), le maïs fourrage ne représente que 0 à 20% de la SFP et est valorisé par les vaches laitières, alors que les génisses et les bovins viande valorisent les abondantes surfaces d'herbe.

Enfin, les zones de relief du pays fournissent 15% de la production laitière nationale, à partir de systèmes fourragers basés sur les prairies permanentes, avec moins de 5% de maïs dans la SFP.

2. Le maïs fourrage : un cycle court, une plante riche

Le cycle de développement du maïs se caractérise par son intensité et sa brièveté. La mise en place et l'évolution au cours du cycle de végétation des différentes composantes morphologiques et biochimiques de la plante vont de pair avec l'évolution des différents critères de qualité, rendement, précocité, valeur énergétique.

2.1. Un système biochimique performant

Comme toutes les plantes en C4, et par comparaison aux plantes en C3, le maïs possède un système biochimique très efficace pour valoriser l'énergie solaire, assimiler le carbone et produire de la matière sèche. Il peut fonctionner en été sous des températures plus élevées que la plupart des autres fourrages (jusqu'à 35°C). Ces caractéristiques et le progrès génétique expliquent, avec le caractère hybride, sa forte productivité (ARVALIS, 2009).

En France, la durée du cycle d'une culture de maïs à destination de fourrage est de 4,5 à moins de 6 mois selon les conditions de végétation et les choix techniques de l'éleveur. Les niveaux de rendement plante entière au stade 32% MS (Matière sèche) varient de 8 à plus de 20 t MS/ha selon ces mêmes conditions de végétation. Mais, pour obtenir un ensilage qui se conserve et réponde aux besoins des animaux, le stade de récolte et la composition chimique de la plante récoltée sont importants.

2.2. Un cycle de végétation en deux temps

Le cycle du maïs se compose de deux phases successives. La première phase, du semis à la floraison - fécondation, correspond à la mise en place de l'appareil végétatif, c'est-à-dire à la mise en place des capteurs de rayonnement, de l'eau et des éléments minéraux que sont les feuilles et les racines, et à l'installation des inflorescences mâle (la panicule) et femelle (l'épi). La seconde phase est spécialisée dans le remplissage des grains dont la croissance se termine par la récolte.

Durant la première partie du cycle, les interventions culturales sont destinées à optimiser l'installation de la culture, à favoriser le développement des tiges et des feuilles, et à préserver leur intégrité et leur rôle alimentaire ultérieur vis-à-vis du grain. A la floraison femelle (sortie des soies), le nombre d'épis (un par plante en conditions normales) et le nombre d'ovules fécondables par épi sont définis. La partie « tige + feuilles » est au maximum de son rendement 15 jours à 3 semaines après la floraison.

La seconde partie du cycle débute par la fécondation. Pendant les trois semaines (250 dj, degrés-jours) qui suivent la fécondation, la plante est sensible aux stress en eau et en azote et aux insuffisances de rayonnement qui peuvent entraîner des avortements de grains. La suite du cycle est consacrée au remplissage du grain par les sucres produits par la photosynthèse, et parfois en fin de période au détriment du rendement de la partie « tige + feuilles » par des effets de remobilisation de la matière sèche de réserve. La récolte doit permettre le meilleur compromis entre le rendement plante entière, la qualité de conservation du fourrage, sa valeur nutritive et sa valorisation par l'animal.

2.3. Le rendement n'est pas le seul critère

En production céréalière, l'objectif est d'avoir à la récolte un rendement maximal obtenu par un nombre élevé de grains, bien remplis, récoltés à maturité, et récoltables. En production de fourrage, la totalité de la partie aérienne de la plante participe au rendement, à la qualité du produit récolté (taux de matière sèche, valeur alimentaire), à la conservation et à l'alimentation de l'animal. Le rendement n'est pas le seul critère : le taux de matière sèche à la récolte est important pour la conservation ; la composition chimique participe à la valeur alimentaire du fourrage... Le choix du stade et/ou de la date de récolte est donc important pour une valorisation animale optimale.

Que la récolte soit effectuée en grain ou en fourrage, le fonctionnement de la plante maïs est le même. Seul le stade de récolte diffère. Par rapport à une production de grain, en production de fourrage, l'intérêt pour la partie « tige + feuilles » et la composition chimique globale de la plante est plus important.

2.4. Les critères de rendement et de qualité de la floraison à la récolte

Le Tableau 1 chiffre les rendements et la qualité des différentes parties de la plante de la floraison à un stade tardif de récolte. Il permet de voir l'évolution du rendement, de la matière sèche, de la composition chimique et de la valeur énergétique.

Après la floraison, le **rendement** de la plante entière suit l'augmentation du rendement du grain. Tant que l'offre climatique (lumière, mais aussi eau) et la qualité de la surface foliaire (surface verte) permettent la photosynthèse, le rendement progresse. En règle générale, le rendement plante entière est à son maximum à 35% MS plante entière. A partir de fin septembre - début octobre, les conditions climatiques ne permettent plus une photosynthèse efficace ; le rendement se stabilise. On peut cependant observer des transferts depuis la partie « tige + feuilles » au profit du grain ; le remplissage et l'évolution de l'humidité du grain se poursuivent au détriment de la partie « tige + feuille ».

Le **taux de MS** plante entière est la synthèse du taux de MS de la partie « tige + feuilles » et du taux de MS du grain. L'évolution de la maturité du grain « pilote » le taux de matière sèche de la plante entière, d'une part parce que le grain prend de plus en plus d'importance dans le rendement de la plante, d'autre part parce que la maturité du grain évolue fortement et est relativement bien liée au cumul de températures. La teneur en matière sèche de la partie « tige + feuilles » évolue relativement peu et moins vite. Elle s'accélère de façon prématurée en situation de déficit hydrique.

TABLEAU 1 – Evolution du rendement, de la teneur en MS, de la composition chimique et de la valeur énergétique durant le cycle du maïs. Exemple d'une variété du groupe précoce (SB), dans sa zone de précocité ; semis le 1^{er} mai, récolte le 1^{er} octobre à 32% MS plante entière, scénario climatique normal, rendement plante entière de 15 t MS/ha ; 32% d'amidon et 0,92 UFL/kg MS à la récolte. Chiffrage à partir de données issues de différents essais (source : ARVALIS-Institut du végétal, 2006).

Stade de végétation	Floraison	25% MS	30% MS	32% MS	35% MS	40% MS
Date approximative	1 ^{er} août		25 septembre	1 ^{er} octobre	10 octobre	(*)
Rendement (t MS/ha)						
- plante entière	7,0	11,5	14	15	15	15
- tige + feuilles	6,5	7,0	7,0	7,0	6,7	6,5
- épi complet	0,5	4,5	7,0	8,0	8,3	8,5
- remplissage du grain (en %)		<75	80	85	90	>90
Taux de MS (%)						
- plante entière	16-18	25	30	32	35	40
- tige + feuilles		18-22	20-24	21-25	23-27	> 25
- épi complet		28-33	37-42	40-45	42-47	> 50
Humidité du grain (%)		> 50	48	45	42	< 40
Composition chimique (% MS)						
- amidon		20	30	32	34	> 35
- sucres solubles		> 15	8-10	7-9	6-8	< 6
- matières azotées		8,5	7,5	7	7	7
- parois (NDF Van Soest)		47	44	42	41	41
Valeur énergétique						
DMO (%)		70	72	72	72	71
UFL (/kgMS)		≤ 0,90	0,92	0,92	0,92	0,91

* : Compte tenu d'un objectif de récolte avant le 15 octobre, une récolte à 40% MS plante entière est impossible

La **composition chimique** de la plante évolue dans le temps en relation avec le transfert des sucres solubles de la partie « tige + feuilles » vers l'épi et leur stockage sous forme d'amidon dans le grain. Trois semaines après la fécondation, la teneur en amidon de la plante entière est très faible, de l'ordre de quelques pourcents, alors que la teneur en sucres solubles est élevée, supérieure à 15%, voire 18% en bonnes conditions de végétation. Quelques semaines plus tard, à 32% MS plante entière, le rapport s'est inversé. L'amidon représente 32% de la matière sèche de la plante alors que la teneur en sucres solubles ne représente plus que 7 à 9% de la MS, voire moins selon l'état de l'appareil végétatif ou les conditions de végétation. La teneur en MAT (Matières Azotées Totales) dans la plante évolue par dilution. La période la plus intense d'absorption d'azote se situe entre le stade 8 feuilles et le brunissement des soies soit trois semaines après la floraison. Après ce stade, l'absorption d'azote est limitée. Puisque le rendement plante entière augmente jusqu'à la maturité, il y a nécessairement dilution de l'azote absorbé dans la matière sèche. Cette dilution est d'autant plus importante que l'arrière-saison est favorable à l'augmentation du rendement. Ainsi, la teneur en MAT, voisine de 10% de la matière sèche à la floraison, est proche de 7% à la récolte. La teneur en parois, estimée par le NDF (Neutral Detergent Fiber) de la méthode VAN SOEST diminue aussi pour la même raison.

La **valeur énergétique**, exprimée en UFL, est relativement stable, entre 27 et 35% de MS plante entière, la baisse de qualité de la partie "tige + feuilles" étant compensée par l'augmentation de la teneur en amidon. Globalement, la valeur UFL est moins élevée aux stades plus précoces à cause d'une teneur en amidon faible, mais est soutenue par une bonne qualité des tiges et des feuilles riches en sucres solubles. Au-delà de 37% de MS, la valeur énergétique peut baisser à cause de la diminution de qualité des tiges et des feuilles.

Compte tenu de la teneur en MAT, les valeurs PDIN du maïs fourrage sont majoritairement entre 42 et 48 g/kg de MS, les valeurs PDIE entre 62 et 66 g/kg de MS. Les teneurs en calcium et en phosphore sont faibles, entre 3,0 et 3,5 g de Ca/kg MS, entre 2,0 et 2,5 g de P/kg MS. Il existe cependant des disparités qui nécessitent de faire une analyse du fourrage pour ajuster la complémentation.

3. Influence de la conduite de la culture

Il n'est pas possible dans cet article de reprendre les différentes étapes de la conduite de la culture. Nous centrerons notre propos sur la précocité, liée au choix variétal, à la date de semis ou de récolte, aux conditions de végétation. Notre analyse se portera sur ce qui caractérise le produit récolté.

3.1. La précocité, critère essentiel du choix variétal

En maïs fourrage, la précocité est exprimée par le taux de matière sèche plante entière à la récolte. L'objectif pour l'éleveur est de récolter entre 30 et 35% MS plante entière. L'objectif est aussi d'exploiter l'offre climatique, c'est-à-dire les températures et la lumière normalement disponibles entre le semis et la fin de la période de récolte possible.

La précocité est le critère essentiel. Une récolte à taux de matière sèche trop faible ou trop élevé a des conséquences sur la plante, sa composition, sa conservation et, par destination, sur l'alimentation du troupeau. En zone froide, le critère de précocité prend encore plus d'importance puisqu'il faut pouvoir ensiler au moins à 28% MS en année froide, et ce avant le 15 octobre. En zone favorable, les contraintes de températures ont moins d'importance mais on se gardera de choisir une variété trop précoce qui ne valorisera pas toute l'offre climatique.

La précocité des hybrides est chiffrée par les besoins en somme de températures (base 6-30, c'est à dire entre 6 et 30 °C) du semis à la floraison, du semis à la récolte (32 ou 35% MS). Ces besoins sont à comparer aux conditions climatiques locales.

Pour différentes raisons, le maïsiculteur peut avoir choisi une variété d'un groupe de précocité voisin (plus précoce ou plus tardif) de celui habituellement cultivé dans la région. Ce choix a des conséquences sur la date de récolte et/ou sur le rendement et la composition du fourrage récolté (Tableau 2).

TABLEAU 2 – Conséquence du choix d'une précocité variétale différente de la précocité de référence pour le maïs. Ecart de besoin de 80 degrés-jours (dj) en moins ou en plus à maturité (synthèse de plusieurs essais et observations ; source : ARVALIS-Institut du végétal, 2006).

Objectif	Choix d'un hybride plus précoce (- 80 dj)		Hybride de référence	Choix d'un hybride plus tardif (+ 80 dj)	
	Récolte à taux de MS identique	Récolte à même date		Récolte à même date	Récolte à taux de MS identique
Date de semis	01/05	01/05	01/05	01/05	01/05
Floraison	18/07	18/07	25/07	01/08	01/08
Date de récolte	20/09	01/10	01/10	01/10	15/10
Taux de MS (%)	31-33	35-37	32	28-29	31-33
Rendement (t MS/ha)	14	14,5	15,0	14,0	15,0
Amidon (%MS)	31-33	33-35	32	28-30	31-33
UFL	0,91-0,93	0,90-0,92	0,92	0,91-0,93	0,90-0,92
Précautions à prendre à la récolte	Maîtriser la date de récolte	Taux de MS élevé : surveiller le tassement et la finesse de hachage		Risque de perte au silo par jus.	Risques croissants de récolte en conditions difficiles (portance des sols, pluies, froid) Récolter avant le 15 oct.
Commentaires Par rapport à l'hybride de référence...	Manque de potentiel de l'hybride. L'offre climatique (températures, lumière) n'est pas totalement exploitée	Manque de potentiel de l'hybride. L'arrière-saison permet de gagner en maturité et en qualité sans trop de risque. Risque de baisse de qualité des tiges et feuilles		Récolte en période de transfert des sucres vers le grain. Rendement limité. Teneur en amidon moyenne et bonne qualité des tiges et feuilles	Le potentiel de l'hybride ne peut pas s'exprimer car l'offre climatique (températures, lumière) diminue rapidement en fin de cycle

Dans le cas d'un choix d'hybride trop précoce (- 80 dj), le cycle de végétation est avancé de 5 à 7 jours à la floraison et d'une dizaine de jours à la récolte si l'objectif de MS à la récolte n'est pas modifié. Les disponibilités climatiques en sommes de températures sont alors sous-exploitées. Le potentiel de rendement des variétés plus précoces étant plus faible, le rendement sera limité. Le risque de récolter une plante à surmaturité augmente si l'on ne prend pas la précaution de modifier la date de récolte.

Dans le cas d'un choix d'hybride trop tardif (+ 80 dj), on prendra des risques sur la qualité du fourrage ensilé. La floraison est retardée de 5 à 7 jours. Le potentiel de rendement en grain pourra ne pas s'exprimer totalement par manque de remplissage. L'objectif d'atteindre le stade « 32%MS » est retardé d'une quinzaine de jours et le risque de récolter une plante à sous-maturité augmente.

3.2. La date de semis : assurer une levée régulière et valoriser l'offre climatique

La date de semis et la précocité de l'hybride doivent être coordonnées pour assurer une floraison avant fin juillet. Une floraison fin juillet permet de mieux centrer le cycle de la plante par rapport à l'offre climatique et de ne pas prendre de risque sur la qualité du produit récolté (rendement, précocité, composition chimique).

La date de semis doit être choisie pour permettre une levée rapide et homogène des plantes. La tendance actuelle est à l'avancement des dates de semis. Mais la qualité du sol au moment de la reprise reste essentielle à la réussite de la culture. Le bon compromis est atteint en France entre le 15 avril et début mai pour la plupart des régions de production de maïs fourrage. Une levée homogène est un gage de réussite de la culture.

L'exploitation des données du Réseau Potentialités Bretagne montre qu'un semis du 15 mai, par rapport à un semis du 5 mai, entraîne une perte de rendement de 1,0 t MS/ha pour des variétés très précoces dans leur zone de culture, de 0,7 t MS/ha pour des variétés précoces, de 0,4 t MS/ha pour des variétés demi-précoces cornées dentées.

TABLEAU 3 – Conséquences d'une récolte du maïs à sous-maturité sur le rendement, la composition chimique et la valeur énergétique d'une culture de maïs fourrage. Moyenne de 3 essais en zone froide, hybrides très précoces (1998, 1999 et 2001) ; source : ARVALIS-Institut du végétal, 2006).

	Récolte à sous-maturité (R1)	Récolte normale (R2)	Ecart (R2 – R1)	Evolution par jour entre R1 et R2	Evolution par point de MS entre R1 et R2
Taux de MS (%)	25,7	32,9	+7,2	+ 0,3	
Rendement (t MS/ha)	14,0	17,0	+ 3,0	+ 120 (80 à 150)	+ 420
Amidon :					
- rendement (t MS/ha)	2,5	6,0	+ 3,5	+ 0,14	+ 0,48
- teneur (% MS)	18,0	35,5	+ 17,5	+ 0,7 (0,5 à 0,9)	+ 2,4
Sucres solubles (% MS)	9,5	3,5	- 6,0	- 0,24	- 0,8
NDF* (% MS)	43,7	36,7	- 7,0	-0,28	- 1,0
MAT					
- rendement (t MS/ha)	1,08	1,20	+ 0,12	+ 0,005	+ 0,018
- teneur (% MS)	7,7	7,1	- 0,6	- 0,02	- 0,08
DCS* (% de la MS)	68,1%	73,2%	+ 5,1	+ 0,2	+ 0,7
UFL M4* (par kg MS)	0,87	0,93	+ 0,06	+ 0,0024	+ 0,08
DINAG* (indice)	55,9	56,3	NS		

* NDF : Neutral Detergent Fiber (Van Soest). Le NDF quantifie les parois totales

DCS : Digestibilité à la pepsine cellulase sur sec (Aufrère et Michalet-Doreau 1983)

DINAG : Digestibilité enzymatique de la "matière sèche moins amidon et moins les glucides solubles (ARGILLIER et BARRIÈRE, 1996). Valeur en indice. Le DINAG décrit la qualité des parois.

UFL M4 : Valeur énergétique prédite par l'équation de prévision M4 (ANDRIEU et AUFRÈRE, 1996 ; équation M4)

3.3. La date de récolte

La date de récolte détermine le rendement, le taux de matière sèche et la composition chimique de la plante récoltée. Une récolte à sous-maturité entraîne des modifications substantielles du rendement, de la composition chimique et de la valeur énergétique du produit récolté (Tableau 3).

4. La qualité à la récolte est liée aux conditions de végétation

En cas d'année froide, généralement pluvieuse, l'appareil végétatif fonctionne au ralenti et la maturité évolue lentement. La photosynthèse est moins performante, le rendement est pénalisé, les transferts de sucres vers le grain sont limités mais la qualité de l'appareil végétatif reste généralement de bonne qualité, avec une teneur en sucres solubles proche de la normale. La date de récolte doit être retardée pour permettre les transferts, mais il faut récolter avant le 15 octobre pour limiter les risques de mauvaises conditions de récolte et de gel (Tableau 4).

En cas d'année chaude avec une alimentation hydrique correcte, la plante fonctionne bien et produit un rendement et une qualité supérieurs. Les composantes du rendement grain sont bonnes. Pour fixer la date de récolte, il faut surveiller le remplissage du grain et ne pas se fier à l'aspect de l'appareil végétatif qui peut être encore très vert alors que le grain est déjà mûr. Il est possible de gagner quelques points de matière sèche, d'amidon et de rendement sans pénaliser la qualité de l'appareil végétatif en ciblant correctement la date de récolte, mais attention de ne pas récolter trop tard. Dans les zones du nord de la France, aux sommes de températures plus limitées en année normale, ce scénario climatique donne de très bons résultats.

En cas d'année chaude et sèche, généralement très lumineuse, le cycle de la plante s'accélère à cause du cumul rapide de températures et du manque d'eau. Les composantes du rendement grain peuvent être pénalisées. L'indice foliaire décroît rapidement en seconde partie du cycle par sénescence prématurée. La photosynthèse est moins performante à cause du manque d'eau et d'une moindre durée d'absorption lumineuse. La date de récolte doit être avancée en prenant en compte le nombre de grains et leur maturité, et l'évolution de la partie « tige+feuilles » qui peut rapidement se dégrader. Il faut réaliser le chantier d'ensilage avec plus de précautions que d'habitude à cause du taux de matière sèche généralement élevé : hacher fin et bien tasser. Le rendement est diminué. La concentration en amidon dépend du gabarit de la plante, du nombre de grains et de leur remplissage. La valeur énergétique dépend fortement de l'état de la partie végétative.

TABLEAU 4 – Conséquences d'un scénario climatique « atypique » - plus froid ou plus chaud avec ou sans limitation d'alimentation hydrique - par rapport à la situation de référence pour la récolte du maïs ensilage (source : ARVALIS-Institut du végétal, 2006).

	Année froide (- 100 dj) Alimentation hydrique normale		Année de référence	Année chaude (+ 100 dj) Alimentation hydrique normale		Année très chaude (+ 200 dj) Alimentation hydrique déficitaire (- 100 mm)	
Date de semis	01/05	01/05	01/05	01/05	01/05	01/05	01/05
Date de récolte	01/10	15/10	01/10	20/09	01/10	10/09	01/10
Taux de MS (%)	26-28	30-32	32	32-33	36-38	33 et +	38 et +
Rendement (t MS/ha)	12-13	13-14	15	14,5-15,5	15-16	11 - 13	11-13
Amidon (% MS)	24-28	28-30	32	32	34-36	23-27	26-28
UFL	0,89-0,91	0,90-0,92	0,92	0,91-0,93	0,93-0,95	0,87-0,90	0,84-0,88
Précautions à la récolte	Risque de pertes par jus	Récolte avant le 15 octobre		Bien cibler la date de récolte en surveillant l'évolution du grain	Attention à la qualité de conservation : hacher fin et bien tasser	Surveiller le grain, ensiler avant la chute de qualité de la partie « tige+feuilles»	Attention à la qualité de conservation : hacher fin et bien tasser. Fourrage très pauvre en sucres solubles
Commentaires Par rapport à l'hybride de référence...	Faible taux d'amidon, mais bonne qualité des tiges et feuilles	Taux d'amidon moyen, bonne qualité des tiges et feuilles			Une bonne arrière-saison permet de gagner en rendement et en qualité	Tige et feuilles de qualité moyenne	Tige et feuilles de mauvaise qualité

5. Récolte et conservation : choisir le meilleur moment et préserver toute la richesse du maïs

La récolte est une étape cruciale pour que la quantité et la qualité du fourrage, élaborées au champ, arrivent sans déperdition dans l'auge de l'animal.

5.1. Choisir le stade de récolte : un compromis entre teneur en grains et qualité des tiges

Le stade de récolte détermine le rendement, le taux de matière sèche et la composition chimique de la plante récoltée. L'objectif est une récolte entre 30 et 35% MS plante entière.

Vu sous l'angle de la composition biochimique de la plante, le stade de récolte est un compromis entre la teneur en grains et la qualité des tiges. Le remplissage des grains se passe schématiquement en deux phases successives. Dans une première phase, l'amidon s'accumule à partir des sucres synthétisés grâce à la photosynthèse dans les feuilles. Dans la seconde phase, la photosynthèse devient moins active ou s'arrête ; l'accumulation d'amidon se fait au détriment des tiges et feuilles. Pour le maïs fourrage, seule la première phase est intéressante ; elle correspond à une augmentation du rendement et de la valeur énergétique de la plante entière. En revanche, pendant la seconde phase, on assiste à un dessèchement de la plante, à une réduction de la teneur en sucres et à une lignification des fibres qui deviennent de moins en moins digestibles. Idéalement, la récolte du maïs fourrage devrait se situer au tournant de ces deux phases.

5.2. Pour définir la date de récolte, observer le grain

L'observation du remplissage des grains permet à l'éleveur de repérer le bon stade et de fixer la date de récolte. L'amidon dans les grains est présent sous trois formes : l'amidon est d'abord laiteux, puis pâteux et enfin vitreux (difficilement rayable à l'ongle, jaune brillant) (voir Figure 1). Avec la maturité, les proportions respectives de ces trois amidons dans le grain varient vers plus d'amidon vitreux et la disparition de l'amidon laiteux.

Lorsque les conditions de cultures ont été « normales », tant du point de vue de la date de semis que de la météo (sans excès de chaleur, ni de sécheresse), la répartition en trois tiers de l'amidon dans le grain correspond environ au stade 32-33% de matière sèche dans la plante entière. Cette valeur est à moduler en fonction d'une part du développement respectif des épis et des tiges, et d'autre part de l'état de l'appareil végétatif. Le taux de MS de la plante est plus faible (jusqu'à 29-30%) si la proportion d'épis est faible, et plus élevé (jusqu'à 35%) si la proportion d'épis est élevée. Un appareil végétatif riche en eau réduit le taux de MS; une partie « tige + feuilles » desséchée apporte 1 à 3 points de MS.

5.3. Maîtriser la finesse de hachage

La finesse de hachage a deux objectifs apparemment contradictoires : hacher fin pour faciliter le tassement du silo et laisser des brins assez longs pour la mastication des vaches. Un maïs haché fin se tasse et se conserve mieux. Mais un maïs ne doit ni être haché trop fin, ni surtout être lacéré.

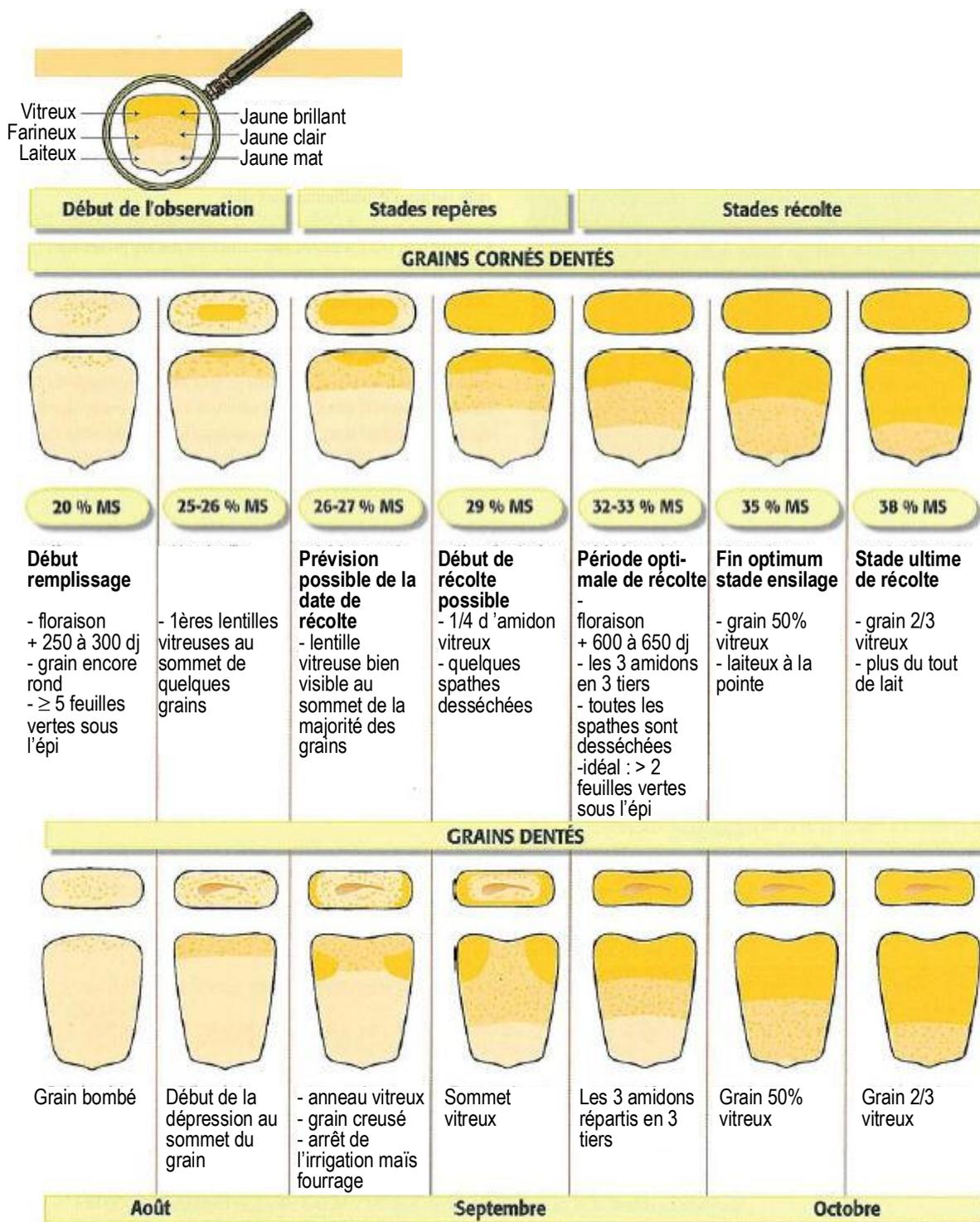
Les gros morceaux (plus de 20 mm) sont indésirables ; ils ne doivent pas dépasser 1% du volume. Ils traduisent un défaut de réglage de l'ensileuse et gênent le tassement ; ils entraînent une baisse de consommation des vaches et provoquent des refus à l'auge. A l'inverse, hacher trop fin entraîne une baisse d'efficacité de la ration. Les particules moyennes (10 à 20 mm) sont indispensables. L'objectif est d'en avoir 10% à l'auge. Le réglage de la quantité de particules moyennes se fait en agissant sur la longueur théorique de coupe, c'est-à-dire sur la vitesse de rotation des rouleaux d'alimentation de l'ensileuse. Selon les machines et les accessoires d'affinage, on obtient 10% de particules moyennes avec des longueurs théoriques de coupe de 6 mm sur les ensileuses.

La longueur des brins n'est pas le principal facteur de maîtrise de l'acidose : il faut d'abord veiller à la composition des rations et ne pas dépasser 28% d'amidon dans la ration des vaches laitières en première moitié de lactation (ARVALIS, 2006). L'amidon vitreux des maïs à plus de 32% MS a besoin d'être fractionné pour que sa digestion soit optimisée : c'est le rôle des éclateurs de grains disponibles sur la plupart des machines.

En définitive, un ensilage bien haché est un ensilage dont la coupe est franche, fine sans excès. Il doit contenir (sur la base de la matière sèche) :

- moins de 1% de gros morceaux de plus de 20 mm ;
- 10% de particules moyennes de 10 à 20 mm ;
- moins de 50% de particules très fines de moins de 6 mm.

FIGURE 1 – Observation du niveau de remplissage des grains et taux de matière sèche de la plante entière (source : ARVALIS-Institut du végétal, 2006).



5.4. La confection du silo : un seul objectif, la bonne conservation

Dans le silo de maïs fourrage, les pertes interviennent surtout au front d'attaque, pendant l'utilisation de l'ensilage. Une des conditions à respecter pour éviter les échauffements consiste à avancer le front du silo plus vite que la reprise des fermentations. Il faut prévoir un avancement d'au moins 10 cm par jour en hiver et de 20 cm par jour en été.

Lors de la confection du silo, la terre apportée par les roues est une source de spores butyriques. Pour limiter ce risque, préférer les silos en sol bétonné et les zones de circulation proches du silo en terrain stabilisé (empierrement, sols goudronnés...).

Pour un démarrage rapide des fermentations, il faut enfermer le moins possible d'air dans le silo par un tassement efficace. On estime qu'à 30% de MS, l'on enferme environ 1 litre d'air par kg de matière sèche. En quelques heures (3-4), il n'y a plus d'oxygène dans le silo. Les levures et moisissures n'ont pas le temps de se multiplier. Les bonnes fermentations se déroulent sans délai. Quand le maïs fourrage est plus sec, l'air enfermé dans le silo représente 3 à 5 litres/kg MS et les cellules encore vivantes du maïs fourrage sont moins actives : il faut donc beaucoup plus de temps pour épuiser l'oxygène enfermé (3 à 5 jours). Pendant ce délai, les bonnes fermentations lactiques ne démarrent pas, et les levures et moisissures se multiplient. Pour faciliter le tassement, il est conseillé de confectionner le silo par couche de 20 cm d'épaisseur.

La fermeture du silo permet de mettre le fourrage à l'abri de l'air du premier au dernier jour. Le jour de la récolte, la fermeture du silo doit donc être la plus hermétique possible, grâce à une bâche plastique de bonne qualité, bien posée et bien protégée.

Enfin, lors de la récolte, il faut prendre des échantillons de fourrage frais pour faire des analyses de composition chimique et de valeur alimentaire qui permettront de construire des rations équilibrées.

6. Le maïs fourrage se conserve par ensilage

L'ensilage est une technique naturelle de conservation des fourrages à la ferme, mettant en œuvre des bactéries lactiques qui transforment, en milieu humide et en l'absence d'oxygène, des glucides solubles en acide lactique. L'abaissement du pH empêche l'activité néfaste d'autres micro-organismes, tant que l'anaérobiose est maintenue. Le silo stabilisé peut ainsi se conserver plus d'un an...

La composition du maïs est particulièrement favorable au bon déroulement de l'ensilage :

- la teneur en matière sèche est en général assez élevée pour éviter l'écoulement de jus, source de pertes et de pollution ;

- les composants qui ralentissent l'abaissement du pH d'un ensilage (pouvoir tampon) sont principalement les matières minérales et les acides aminés issus de la dégradation des protéines ; il y en a peu dans le maïs fourrage ;

- la quantité d'acide lactique nécessaire à l'abaissement du pH en dessous de 4 est relativement faible (3 à 4 fois moins que pour l'ensilage d'herbe ressuyée) : la teneur en sucres du maïs est toujours suffisante pour mener à bien les fermentations lactiques.

Les pertes de matière sèche comprennent i) les pertes externes, sous forme de gaz et de jus, en début d'opération d'ensilage pendant la phase aérobie et avant l'anaérobiose stricte, ii) les pertes internes liées aux processus fermentaires et iii) les pertes sur le front d'attaque dues aux échauffements à l'ouverture. On les estime en moyenne à 10% de la matière sèche récoltée, mais ce chiffre est à moduler en fonction des conditions de stockage (7-8% pour les grands silos bien tassés et 15-18% pour les silos de dimensions mal adaptées ou confectionnés dans de mauvaises conditions : trop humides, trop secs, hachés grossièrement...).

7. Maïs fourrage et rations des vaches laitières

Le maïs fourrage est avant tout une source d'énergie pour les bovins. Dans une ration pour vache laitière, il peut apporter jusqu'à 80% de l'énergie nécessaire à l'entretien et à la production. Le maïs fourrage est déficitaire en protéines, en minéraux et en vitamines. C'est pourquoi il n'est jamais distribué seul à des vaches laitières. De plus, sa valeur PDIN est toujours inférieure à la valeur PDIE. Pour être bien valorisé, il doit donc au minimum être associé à un correcteur azoté, minéral et vitaminique de manière à couvrir les besoins de production et assurer un bon fonctionnement digestif.

7.1. La teneur en amidon de la ration

La ration des vaches laitières doit en même temps être très appétante et assurer un bon fonctionnement digestif. La ration doit avoir une « fibrosité » suffisante. Ce terme, qui évoque la présence de fibres longues, correspond en fait à un temps de mastication, au cours des repas et pendant la rumination, par kg de ration ingérée. Ce n'est pas un critère facile à mesurer, ni à rectifier. En pratique, CABON (ARVALIS, 2006) a mis en évidence que la teneur en amidon des rations, critère facile à évaluer, permettait d'expliquer le comportement digestif.

La différence entre l'énergie consommée par la vache (la somme des UFL des différents aliments ingérés) et l'énergie valorisée pour l'entretien et la production laitière dépend essentiellement de la teneur en amidon de la ration (CABON, 2005).

A 22% d'amidon dans la ration, tous les apports énergétiques sont valorisés pour l'entretien et la production laitière, sans gaspillage. Ce type de ration permet une très bonne digestion des fibres dans le rumen mais l'ingestion est limitée par l'encombrement des fourrages. Il y a un risque d'amaigrissement des vaches dont le potentiel est élevé. Ce type de ration convient pour les niveaux de production faibles et moyens.

Quand la teneur en amidon est comprise entre 22 et 28%, la digestion se passe bien, mais le transit dans le tube digestif est plus rapide. L'animal « gaspille » ainsi environ 1/3 d'UFL par point d'amidon supplémentaire, soit 1 UFL à 25% d'amidon et 2 UFL à 28%. En réalité, dans la 2^{ème} moitié de la lactation, la vache récupère une partie de cette énergie pour la reprise de poids.

Au-delà de 28% d'amidon dans la ration, non seulement le gaspillage augmente (3 UFL à 31% d'amidon, 4 UFL à 34%, etc.) mais des signes avant coureurs de l'acidose peuvent apparaître. Cela peut dans un premier abord paraître favorable à la production laitière (maîtrise du taux butyreux, production supplémentaire dans un régime de quota) mais c'est en prenant un risque sanitaire pour les vaches...

7.2. La couverture des besoins par la ration

A chaque maïs, caractérisé par une analyse, on peut associer des aliments complémentaires qui apportent les protéines, les éléments minéraux, les vitamines et les oligo-éléments, permettant ainsi de constituer une « ration de base équilibrée » pour la vache laitière. On doit éventuellement associer au maïs une source de fibres (fourrage ou concentré) de façon à respecter la teneur en amidon favorable à une bonne digestion (entre 22 et 28%).

Nous avons effectué cet exercice pour des maïs différents quant à leur teneur en amidon et leur digestibilité des tiges et feuilles. Le maïs est distribué à un troupeau de vaches Prim'Holstein (650 kg de poids vif, 30% de primipares). Le correcteur azoté est un mélange de 70% de tourteau de soja et de 30% de tourteau de colza.

Le maïs fourrage standard (0,91 UFL, 30% d'amidon) est distribué à volonté ; il est équilibré avec environ 3,1 kg de correcteur azoté. L'ingestion de maïs est voisine de 15 kg de matière sèche. Cette ration couvre la production de 22 kg de lait à 42 g/kg de TB et 33 g/kg de TP. Sa teneur en amidon est d'environ 25%. Pour des animaux ayant un niveau de production supérieur, il suffit de compléter la ration avec un concentré de production équilibré.

Des maïs qui présentent la même teneur en amidon (30%), mais dont la digestibilité des tiges et feuilles est différente, peuvent également être distribués comme seul fourrage aux vaches laitières :

- Lorsque la valeur énergétique du maïs est plus élevée, grâce à une meilleure valeur alimentaire des tiges et feuilles, l'ingestion est supérieure. Il faut plus de correcteur azoté et minéral pour équilibrer ce supplément d'énergie mais l'équilibre se fait pour un niveau de production laitière supérieur, la teneur en amidon de la ration étant en légère baisse. Ainsi, les maïs à 30% d'amidon et 0,97 UFL sont-ils ingérés à hauteur de 16 kg de MS ; ils nécessitent près d'1 kg de correcteur azoté supplémentaire. Cette ration de base permet de produire 6 kg de lait en plus, ce qui économise 2,5 kg de concentré de production. En définitive, l'amélioration de la valeur alimentaire des tiges et feuilles est bien valorisée en production laitière ou en économie de concentrés.

- Inversement, quand la digestibilité des tiges et feuilles diminue, l'ingestion diminue, de même que les besoins de correction azotée. Mais l'équilibre est atteint à un niveau de production moindre, ce qui nécessite un plus fort apport de concentré.

Les maïs renfermant moins de 30% d'amidon peuvent être distribués comme seuls fourrages dans la ration. La quantité ingérée dépend surtout de la valeur d'encombrement. L'ingestion peut descendre à seulement 11 kg de MS pour un maïs très pauvre (1,25 UEL, 0,80 UFL, 15% d'amidon) et s'élever à environ 16,5 kg de MS dans le meilleur des cas (0,96 UEL, 1,0 UFL, 30% d'amidon).

Les maïs à plus de 30% d'amidon ont intérêt à être associés à d'autres fourrages, moins riches en amidon. Quand ces maïs fourrage sont distribués seuls, tout se passe comme si leurs tiges et feuilles étaient valorisées à leur juste valeur, tandis que l'amidon excédentaire est rejeté. En associant le maïs à du foin, à de l'ensilage d'herbe, ou à des fourrages plus pauvres en énergie comme les céréales immatures, l'ensemble de la ration est mieux valorisé. Dès lors que l'on abaisse la teneur en amidon de la ration, en la ramenant autour de 25%, l'économie sur le « gaspillage » d'énergie est plus forte que la diminution de l'apport énergétique ; cela explique que, par exemple, un triticale immature estimé à 0,7 UFL par kg de MS soit aussi bien valorisé qu'un maïs à 0,92 UFL, dans la limite de 20 à 30% de la ration.

Discussion et conclusion : le maïs présente des atouts pour s'adapter aux évolutions climatiques et environnementales...

Le maïs fourrage a des atouts comme fourrage stocké pour l'alimentation hivernale des vaches laitières. Dans cet article, nous avons développé notre discours autour de l'influence des conditions de végétation sur le rendement et la qualité du fourrage, ainsi qu'autour de la récolte. Nous en avons chiffré les conséquences. Ce discours est sous-tendu par le fait que l'obtention d'un fourrage en quantité et en qualité satisfaisantes est importante pour l'alimentation du troupeau, et *in fine* pour le résultat économique de l'exploitation.

Avant de stocker un fourrage, il faut le produire. Pour faire exprimer les qualités agronomiques de la plante, l'éleveur met en œuvre un itinéraire technique de la culture qui passe par une série de décisions qui concernent le travail du sol, la fertilisation, le choix variétal, la qualité du semis, la protection de la graine et de la plante contre les ravageurs du sol et aériens, la lutte contre les adventices et, éventuellement, l'irrigation.

Si l'objectif de la culture est le rendement et la qualité du fourrage, la conduite de la culture doit se faire aussi dans le respect de l'environnement. Pour cela, le maïs, comme les autres cultures, a des qualités et des atouts que l'éleveur doit exploiter. Il a aussi des « faiblesses » qu'il faut contrôler.

La réussite du semis et le démarrage en végétation sont essentiels pour la suite de la culture. L'objectif est que chaque graine mise en terre donne une plante et que chaque plante donne un épi. La perte de densité de culture, la concurrence des adventices ont des conséquences sur le rendement et la qualité du fourrage. C'est dans cet objectif que l'éleveur raisonne l'utilisation de produits de protection des plantes et la mise en œuvre de techniques alternatives ne faisant pas appel à la chimie, comme le désherbage mécanique et l'utilisation des trichogrammes pour la lutte contre la pyrale.

Le maïs est un bon valorisateur des engrais de ferme, lisier et fumier, ce qui permet de réduire les apports d'engrais minéral. Le raisonnement de la fertilisation azotée doit se faire sur la base d'un

rendement « raisonnable » de la culture, calculé sur les résultats des dernières années. Les besoins en azote de la plante sont centrés sur la période 8 feuilles - brunissement des soies, ce qui correspond à la période de minéralisation de l'azote dans le sol. Les années favorables à l'expression du rendement sont aussi les années favorables à la minéralisation des sols : chaleur et humidité en été...

En production fourragère, toute technique qui peut régulariser le rendement d'une année sur l'autre, en minimisant les conséquences du climat et notamment du déficit hydrique, doit être étudiée. Dans les régions où l'alimentation hydrique estivale est limitée, l'irrigation permet de sécuriser le rendement et la qualité du maïs fourrage.

Le maïs n'est pas plus gourmand en eau que les autres cultures. Mais la plante a un cycle court centré sur la période estivale et ses besoins instantanés en eau peuvent être importants. Une irrigation d'appoint centrée sur la floraison régularise les rendements. Les résultats obtenus par ARVALIS - Institut du végétal sur la station de La Jaillière (Loire-Atlantique) montrent qu'une irrigation d'appoint de 90 mm (de 55 à 120 selon les années et les parcelles) stabilise les rendements entre 12 et 16 t MS/ha sur des sols dont la réserve utile est de l'ordre de 60 à 80 mm alors qu'en sec les rendements varient de 6,5 à 13 t MS/ha (LORGEOU *et al.*, 2007).

La stratégie qui consiste à décaler la phase de croissance la plus active, au cours de laquelle se définit le nombre de grains, vers des périodes moins déficitaires en eau peut aussi être une solution. Avancer la date de semis, adapter la durée du cycle de la culture par le choix de précocité, répondent à cet objectif.

La sélection variétale du maïs participe aussi à l'évolution des rendements. Le progrès génétique sur le rendement est chiffré à +1% par an (LORGEOU, *non publié*). Concernant la régularité des rendements, la sélection offre aujourd'hui des variétés plus tolérantes au déficit hydrique.

Certains points de la conduite de la culture restent à améliorer, dont la couverture hivernale des sols. Des travaux expérimentaux ont été faits et sont à poursuivre. Il faut reconnaître qu'il n'est pas toujours facile de réussir l'implantation d'un couvert hivernal sous couvert de maïs (par ex. : semis de ray-grass sous maïs à 8 feuilles) et, inversement, d'implanter un maïs dans un couvert en place au printemps.

Les changements climatiques sont aussi un challenge pour la plante maïs. *A priori*, le réchauffement est un atout pour le maïs, plante d'été d'origine tropicale qui valorise bien les températures élevées.

Pour le maïs, le réchauffement climatique est déjà une réalité. Sur la période 1990-2006, on observe une augmentation moyenne des sommes de températures cumulées entre le 21 avril et le 31 octobre de l'ordre de 120 degrés jours aux seuils 6-30°C (100 à 150 dj selon les stations). Pour le maïs fourrage, cela correspond à des teneurs en matière sèche à la récolte plus élevées de 5 à 7 points, des dates de floraison avancées de 5 à 7 jours, des dates de maturité avancées de 12 à 20 jours... En même temps, les dates de semis ont été avancées de 5 à 15 jours, ce qui a amplifié ces tendances (MOREAU *et al.*, 2007). Sur le terrain, les éleveurs ont valorisé ces évolutions de dates de semis et de disponibilités climatiques en choisissant des variétés plus tardives. Leur durée de cycle étant plus longue, ce choix a permis de produire plus de rendement en préservant les critères de qualité que sont notamment le taux de matière sèche à la récolte et la teneur en amidon. Dans les régions où le cumul des températures est aujourd'hui un facteur limitant, le réchauffement climatique est à première vue un atout pour le maïs fourrage : assurance de récolter au bon taux de matière sèche, augmentation du rendement et évolution de la composition chimique vers plus d'amidon.

En revanche, si les changements climatiques s'accompagnent d'une diminution des précipitations estivales, l'avantage de l'augmentation de températures peut s'en trouver limité. La question de la disponibilité en eau est posée et l'équilibre du système fourrager sera probablement modifié.

Pour conclure, le système fourrager est un choix d'éleveur. Quelles que soient les évolutions et les contraintes, l'éleveur devra conserver un système fourrager cohérent, qui correspond à ses attentes, pour une alimentation efficace de son troupeau.

Remerciements : Les auteurs remercient vivement leurs collègues d'ARVALIS - Institut du végétal, S. Battegay, P.-V. Protin, F. Rigot pour leur contribution de relecture.

Références bibliographiques

- ARVALIS Institut du végétal (2006) : « Maïs fourrage, culture et utilisation » Brochure.
- ARVALIS Institut du végétal (2009) : « Maïs et développement durable, une approche pluridisciplinaire à vocations culturelle, scientifique et pédagogique » Brochure et Cdrom.
- BERANGER C. (1998) : « Récolter et conserver l'herbe. Un bref historique », *Fourrages*, 155, 275-285.
- BERANGER C., LIENARD G. (2006) : « La Révolution fourragère, 50 ans après. La révolution fourragère et les éleveurs », *Fourrages*, 188, 437-449.
- CABON G., SOULARD J. (2005) : « Rations des vaches laitières à base de maïs fourrage et de concentrés : influence de la teneur en amidon sur la valorisation de l'énergie ». *Renc. Rech. Rum.*, 12, 247.
- CHATELLIER V., JACQUERIE V. (2005) : « L'occupation du territoire européen par les exploitations laitières et l'intensification de leurs systèmes techniques », *Fourrages*, 181, 29-45.
- LORGEOU J., BATTEGAY S., PELLETIER P. (2007) : « Adaptation à la sécheresse par les choix techniques de conduite des cultures pour les prairies et le maïs », *Fourrages*, 190, 207-221.
- MOREAU J.-C., LORGEOU J. (2007) : « Premiers éléments de prospective sur les conséquences des changements climatiques : impacts sur les prairies, le maïs et les systèmes fourragers », *Fourrages*, 191, 285-295.
- PEYRAUD J.-L., LE GALL A., DELABY L., FAVERDIN P., BRUNSCWIG P., CAILLAUD D. (2009) : « Quels systèmes fourragers et quels types de vaches laitières demain ? », *Fourrages*, 197, 47-70.
- SALETTE J. (2006) : « La révolution fourragère, 50 ans après. La Révolution fourragère et l'herbe ». *Fourrages*, 188, 417-430.
- TISSERAND J.-L. (2006) : « La révolution fourragère, 50 ans après. La Révolution fourragère et l'animal ». *Fourrages*, 188, 431-436.