

BA TH 393
DKJ4984

CIRAD-EMVT
Campus de Baillarguet
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER Cedex 1

Ecole Nationale Vétérinaire
d'Alfort
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

L'ENSILAGE DE MAÏS :
VALEUR ET UTILISATION EN ELEVAGE BOVIN

par
Kheireddine OULMANE

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

année universitaire 1998-1999



* 0 0 0 0 0 1 6 0 8 *

CIRAD-EMVT
Campus de Baillarguet
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER Cedex 1

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Ecole Nationale Vétérinaire
d'Alfort
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

L'ENSILAGE DE MAÏS :
VALEUR ET UTILISATION EN ELEVAGE BOVIN

par
Kheireddine OULMANE

année universitaire 1998-1999

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
1. CULTURE, CONSERVATION ET VALEUR NUTRITIVE	4
1.1. CYCLE DE CULTURE ET PÉRIODES CLÉ (FIGURE 1)	4
1.1.1. STADE VÉGÉTATIF	4
1.1.2. PHASE REPRODUCTIVE	4
1.1.3. FORMATION ET REMPLISSAGE DES GRAINS	5
1.1.4. PRODUCTIVITÉ DE LA PLANTE AU COURS DU CYCLE	5
1.2. BESOINS ET CARACTÉRISTIQUES DE LA CULTURE DU MAÏS EN ZONES TEMPÉRÉES	6
1.2.1. DATE ET CONDITIONS DE SEMIS	6
1.2.2. BESOIN EN TEMPÉRATURES	6
1.2.3. BESOIN EN EAU	7
1.2.4. BESOIN EN AZOTE	7
1.2.5. BESOIN EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX	8
1.3. CONSERVATION SOUS FORME D'ENSILAGE (FIGURE 5)	8
1.3.1. AVANTAGES DE LA CONSERVATION SOUS FORME D'ENSILAGE	8
1.3.2. CONDITIONS DE RÉALISATION DE L'ENSILAGE	8
1.3.3. PHASES FERMENTAIRES	9
1.3.3.1. Phase aérobie	9
1.3.3.2. Phase anaérobie	10
1.4. COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE	10
1.4.1. MODIFICATIONS APPORTÉES PAR L'ENSILAGE	11
1.4.1.1. Teneurs en azote soluble	11
1.4.1.2. Formation des acides gras volatils (AGV)	11
1.4.2. VALEUR ÉNERGÉTIQUE	12
1.4.3. VALEUR AZOTÉE	13
1.5. PRÉVISION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DE L'ENSILAGE DE MAÏS	13
2. FACTEURS DE VARIATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE	15
2.1. FACTEURS DE VARIATION DE LA VALEUR NUTRITIVE	15
2.1.1. CHOIX DES VARIÉTÉS	15
2.1.2. DENSITÉ	15
2.1.3. FERTILISATION	16
2.1.4. FACTEURS CLIMATIQUES	16
2.1.5. CONSERVATION	17
2.1.5.1. Effet de la conservation sur la valeur énergétique du maïs	17
2.1.5.2. Effet de la conservation sur la valeur azotée	17
2.1.6. LORS DU DESSILAGE	17
2.2. EFFETS SUR LES QUANTITÉS INGÉRÉES	17

3. UTILISATION DE L'ENSILAGE DE MAÏS DANS L'ALIMENTATION DES BOVINS18

3.1. UTILISATION ET VALORISATION DE L'ENSILAGE DE MAÏS DANS LES TROUPEAUX	18
LAITIERS	18
3.1.1. NIVEAU D'INGESTION ET PRODUCTIVITÉ	18
3.1.2. UTILISATION DE L'ENSILAGE DE MAÏS POUR L'ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES	19
3.1.3. EFFET DE LA TENEUR EN GRAIN DU MAÏS SUR LES PERFORMANCES DES VACHES	
LAITIÈRES	20
3.1.4. COMPLÉMENTATION ÉNERGÉTIQUE DU MAÏS ENSILAGE	20
3.1.5. COMPLÉMENTATION AZOTÉE ET MINÉRALE DE L'ENSILAGE DE MAÏS	20
3.1.6. QUELQUES CONTRAINTES D'UTILISATION DE L'ENSILAGE DE MAÏS	21
3.1.7. SYSTÈMES ALIMENTAIRES	21
3.1.8. INTÉGRATION DE L'ENSILAGE DE MAÏS DANS LES RÉGIMES ALIMENTAIRES EN FONCTION	
DES SAISONS	21
3.1.8.1. Régimes hivernaux	21
3.1.8.1.1. Effet des rations mixtes sur l'ingestion et la production laitière	22
3.1.8.1.2. Effets des rations mixtes sur les taux et la reprise du poids	23
3.1.8.2. Intégration de l'ensilage de maïs au pâturage	24
3.1.8.2.1. Pâturage de printemps	24
3.1.8.2.2. Sur pâturages d'automne - été	24
3.1.8.3. Période de tarissement	25
3.2. UTILISATION ET VALORISATION DE L'ENSILAGE DE MAÏS DANS LES ATELIERS	26
D'ENGRASSEMENT	26
3.2.1. CAPACITÉ D'INGESTION ET INFLUENCE SUR LES PERFORMANCES	26
3.2.2. COMPLÉMENTATION AZOTÉE	27
3.2.3. COMPLÉMENTATION ÉNERGÉTIQUE	27
3.2.4. COMPLÉMENTATION DU MAÏS ENSILAGE AU BLÉ	27
CONCLUSION	29
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	30

Introduction

La culture de maïs possède une place très importante dans un grand nombre d'élevages de grands ruminants. Cet intérêt réside essentiellement dans les avantages que peut apporter le maïs sur les performances des animaux.

L'utilisation du maïs en alimentation des bovins se pratique sous différentes formes, parmi lesquelles l'ensilage de la plante entière. Cette pratique, très répandue, permet d'une part, la conservation du fourrage, pour une utilisation sur une période plus ou moins longue, avec une facilité de distribution aux animaux. D'autre part, le maïs étant un fourrage hautement énergétique, il assure une extériorisation des potentiels zootechniques des ruminants, en particulier ceux réputés hautement productifs.

En Europe, les variétés de maïs sont inscrites dans des catalogues officiels. Actuellement des variétés de maïs sont mentionnées sous le critère "ensilage", correspondant à la possibilité de leur utilisation en ensilage (Argillier et Barrière, 1996). Cette sélection tient compte notamment des critères agronomiques lors de la végétation et des valeurs énergétiques potentielles.

Du point de vue agronomique, le maïs présente certaines exigences culturales, en particulier de mise en place et d'entretien, ainsi que des préférences climatiques. Par définition, le maïs est une culture d'été, dont les besoins en eau, en température et en rayonnement solaire sont importants. Les variations des teneurs des différents éléments nutritifs, constituants du maïs, ont une incidence sur les performances des animaux. De plus la teneur en eau des plants de maïs au moment de la récolte, influe sur la qualité de conservation du fourrage.

L'étude qui suit présente dans un premier temps les éléments principaux de la culture du maïs et de sa conservation. La valeur alimentaire du maïs sous forme d'ensilage sera ensuite développée. Enfin, l'utilisation de cette forme de conservation du maïs dans l'alimentation des bovins fera l'objet du dernier volet de cette étude.

1. Culture, conservation et valeur nutritive

1.1. Cycle de culture et périodes clé (Figure 1)

1.1.1. Stade végétatif

La période végétative est prise en compte dès le semis de la graine (AGPM, 1981 ; Subreville, 1986). Le grain de maïs, placé dans un sol suffisamment humide, bien aéré et dont la température minimale est de 10°C, se réhydrate, permettant le développement actif de son germe : c'est la germination. Le germe se développe en puisant les éléments nutritifs accumulés dans la grain, suite à leur solubilisation due à l'humidification du contenu de la graine.

Au cours de la germination, apparaît à la surface du grain une radicule qui s'enfonce rapidement dans le sol, et un premier niveau de racines (secondaires) dites « séminales » (Figure 2). En même temps apparaît un petit manchon (coléoptile), dont la croissance se fait dans le sens opposé de la radicule. Le coléoptile porte les ébauches des organes végétatifs.

Suivant les conditions de température et d'humidité, 6 à 15 jours après le semis, apparaissent les coléoptiles à la surface du sol. Il s'agit du démarrage de la levée qui est considérée, lorsque sur une surface semée, 50 % des coléoptiles des plantes sont visibles.

Après la levée, une première couronne de racines définitives s'installe juste au dessus du noeud, formant le plateau de tallage.

L'embryon porte les ébauches de 4 à 5 feuilles enroulées les unes sur les autres qui au moment de la levée s'allongent en même temps que le coléoptile. A la fin de la levée, les feuilles se déroulent en formant le cornet. Le reste de l'appareil végétatif aérien (feuilles et tiges) est initié par le bourgeon terminal situé entre les premières feuilles au centre du coléoptile.

La période végétative se termine lorsque le maïs mesure 20 à 40 cm et présente 6 à 10 feuilles visibles, soit environ 50 % du nombre final de feuilles.

La croissance de la tige intervient ultérieurement et prend une allure explosive dans les jours qui précèdent la floraison.

1.1.2. Phase reproductive

Une fois l'appareil végétatif mis en place, après la formation de la dernière feuille sur la tige, le bourgeon terminal se différencie en panicule (inflorescence mâle) sur laquelle vont se former les grains de pollen (AGPM, 1981 ; Subreville, 1986).

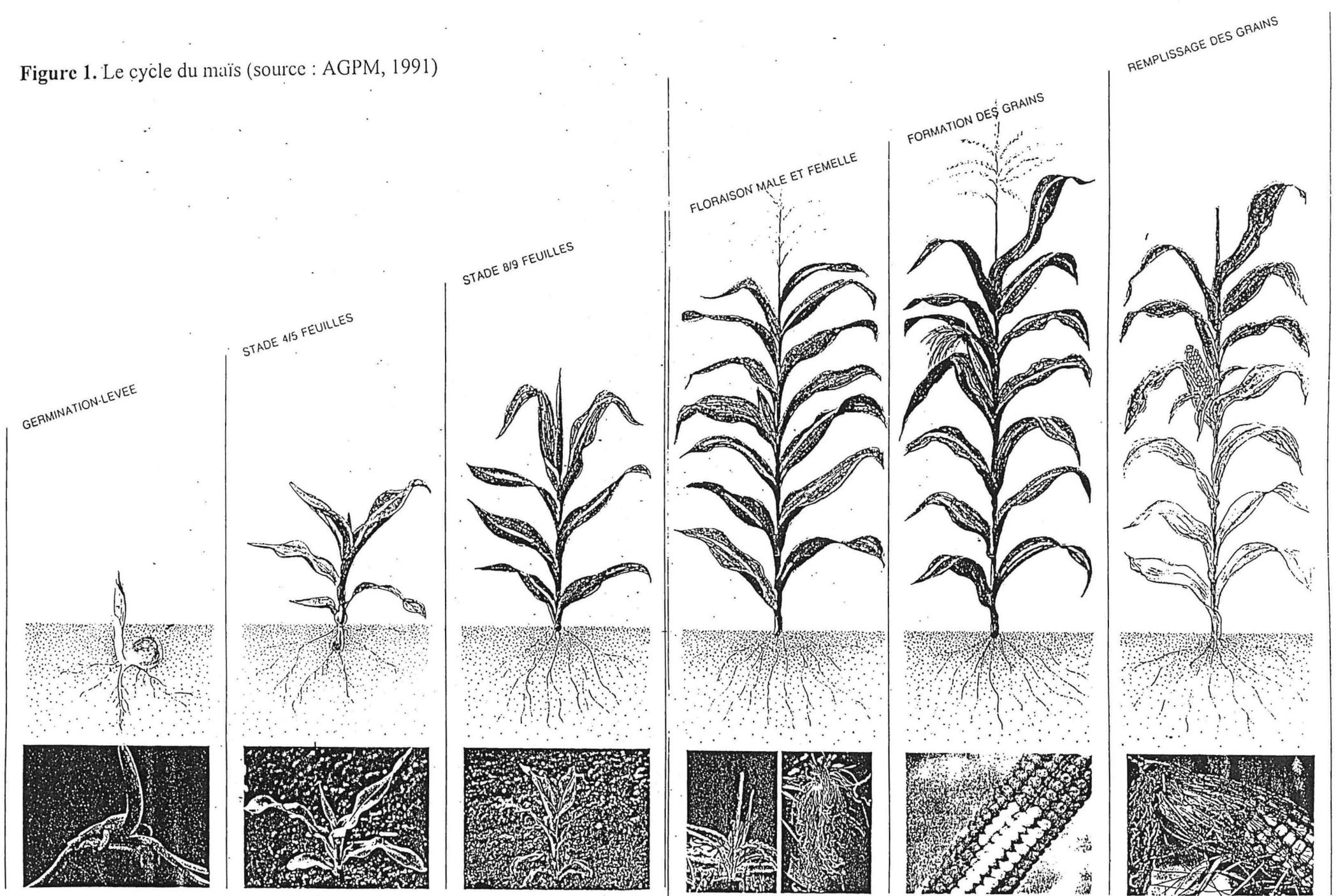
Les bourgeons axillaires associés aux feuilles du milieu de la tige évoluent en organes reproducteurs femelles (les épis). Potentiellement au nombre de 4 ou 5 par plant, un seul va au terme de son évolution par formation des ovules, les autres dégénérent.

Un à trois jours après la floraison mâle (4-8 jours après l'apparition de la panicule), apparaissent les soies qui ont pour rôle de capter les grains de pollen émis par la panicule mâle. Une fois captés, les grains de pollen sont acheminés le long des soies, jusqu'aux ovules portés à l'intérieur de l'épi.

Si la fécondation n'a pas eu lieu une semaine à 10 jours après l'apparition des soies, celles-ci deviennent non fonctionnelles et les ovules dégénèrent.

La période reproductive s'accompagne d'une croissance rapide de la tige (montaison) et du déroulement des feuilles supérieures. Cette phase est associée à des besoins accrus en

Figure 1. Le cycle du maïs (source : AGPM, 1991)



eau, en azote et en éléments minéraux. Tout déficit en ces éléments freine la croissance et pénalise le rendement de la plante.

1.1.3. Formation et remplissage des grains

Après leur fécondation, les ovules se développent et forment les grains. Au cours de cette phase, l'alimentation en eau, le rayonnement et la température sont déterminants pour la mise en place du nombre de grains par épi, donc du rendement et de la qualité du fourrage (Rouanet, 1984).

Après la formation des grains, débute la phase de remplissage. Elle correspond à l'accumulation dans les grains des produits issus de la photosynthèse et du transfert des réserves, essentiellement glucidiques (amidon), qui 2 à 3 semaines après la fécondation s'étaient accumulés dans la partie végétative.

Différents stades sont définis, en fonction du remplissage et de la maturation des grains (AGPM, 1981 ; Subreville, 1986). La définition du stade de maturité est surtout basée sur l'observation de l'aspect physique et du contenu des grains :

- le stade laiteux, relatif au contenu qui présente un aspect laiteux. Le grain est de couleur jaune pâle.
- le stade pâteux, où le grain jaune pâle, s'écrase facilement, son humidité étant de l'ordre de 50-60 % et la teneur en MS de la plante entière de 25 %.
- le stade pâteux dur, où le grain jaune, commence à durcir, son humidité étant comprise entre 45 et 50 % et la teneur en MS de la plante entière d'environ 30 %.
- le stade vitreux, où le grain devient dur, son humidité étant inférieure à 40 % et la teneur en matière sèche de la plante entière de l'ordre de 35 %.

A maturité complète, le grain a une humidité inférieure à 35 % et la teneur en matière sèche de la plante est supérieure à 45 %.

1.1.4. Productivité de la plante au cours du cycle

La productivité de la partie végétative est considérée du semis à la floraison femelle (Figure 3). A cette période, la plante élabore 50 % du rendement final. Cette part du rendement de la plante entière est d'autant plus importante que les conditions climatiques sont favorables. S'ajoutent à cela l'entretien de la culture, par un amendement indispensable en éléments nutritifs, et, la lutte contre les mauvaises herbes.

Après la floraison, l'accroissement du rendement est lié au remplissage des grains qui est assuré d'une part par la photosynthèse et d'autre part par la mobilisation des réserves préalablement stockées au niveau de la tige et des feuilles au cours des 2 à 3 semaines qui suivent la fécondation.

En conditions favorables de température élevée, de rayonnement important et de bonne alimentation hydrique, l'activité photosynthétique se maintient assurant une accumulation considérable des réserves au niveau des grains, ce qui améliore le rendement de la plante entière.

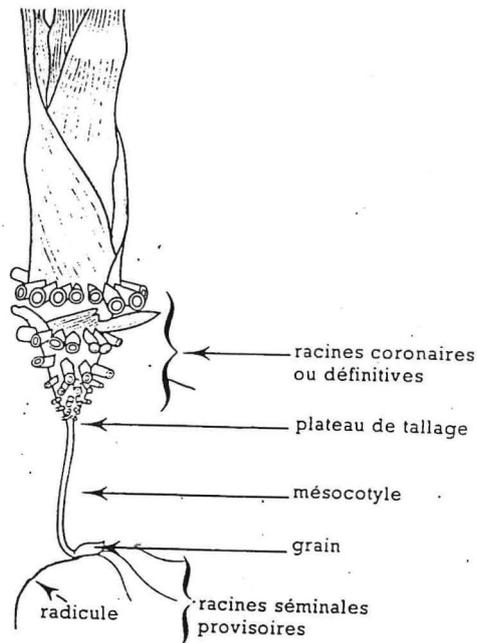
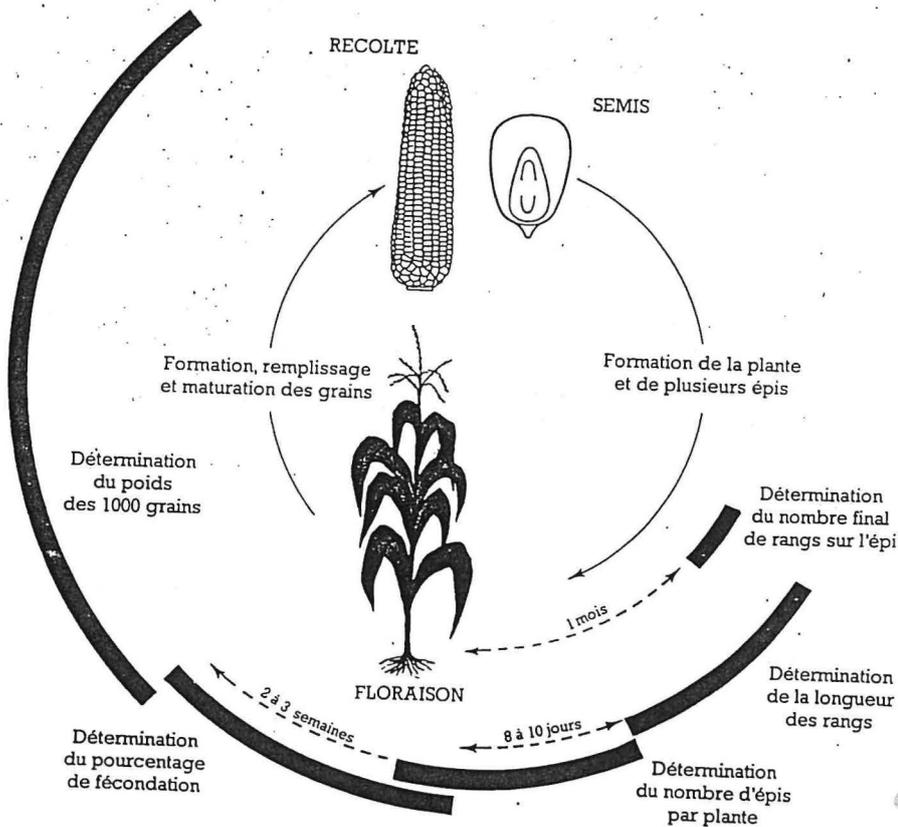


Figure 2. Morphologie du système racinaire du maïs (source : AGPM, 1981)



CIRAD-Dist
 UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
 Baillarguet

Figure 3. Les mécanismes de régulation du rendement chez le maïs (source : AGPM, 1981)

1.2. Besoins et caractéristiques de la culture du maïs en zones tempérées

Le maïs est une culture d'été, semée généralement au printemps lorsque les conditions nécessaires pour le démarrage de la culture sont réunies. Il est récolté au plus tard en automne avant l'installation des gels.

Au cours de son cycle, le maïs a des besoins en eau, en chaleur et en éléments nutritifs puisés dans le sol, qui sont nécessaires à son développement et qui conditionnent par conséquent son rendement.

1.2.1. Date et conditions de semis

Afin d'assurer une levée rapide de la plante, le semis est préconisé lorsque la température du sol atteint un minimum de 10°C, et le plus précocement possible pour que la végétation puisse s'implanter convenablement. Ceci lui assure une bonne tenue et une bonne résistance à la verse, ainsi qu'une bonne teneur en MS à la récolte (AGPM, 1981). En France le semis du maïs est le plus souvent réalisé durant la deuxième quinzaine du mois d'avril, période où les sols sont bien ressuyés et suffisamment réchauffés (AGPM, 1981). Dans ces conditions, les variétés tardives peuvent être semées, sinon, dans le cas où le semis est retardé par les conditions climatiques, ce sont les variétés précoces qui sont utilisées.

1.2.2. Besoin en températures

Il est exprimé en somme de températures atmosphériques journalières moyennes pour toute la période du cycle (Cailliez, 1999). Le besoin en chaleur est primordial pour la culture du maïs. D'une part, il conditionne le développement et la croissance de la plantule. D'autre part, après la floraison femelle, il détermine la teneur en matière sèche de la plante entière.

En somme, la disponibilité en chaleur est déterminante pour l'aboutissement sûr et rapide du cycle.

Ce besoin est variable en fonction de la précocité de la variété choisie, et est d'autant plus important que les variétés sont tardives (**Tableau 1**).

La valeur référence des sommes de température pour la phase semis - levée, considérée pour un seuil thermique disponible de 10°C est de l'ordre de 52-58°C (Barloy, 1984a), à laquelle s'ajoute le réchauffement du sol.

Tableau 1. Besoin en somme de températures (seuil 6°C), entre le semis et le stade 30 % de MS plante entière, selon la précocité des variétés

Variétés par groupes de précocité	Besoins en températures pour 30 % de MS
Très précoce	1 350 – 1 400
Précoce	1 400 – 1 450
Demi précoce corné denté	1 450 – 1 500
Demi précoce denté	1 500 – 1 550
Demi tardive	1 550 – 1 650
Tardive	1 650 – 1 750
Très tardive	plus de 1 750

1.2.3. Besoin en eau

La rapidité du développement du maïs est surtout dépendante de ses besoins hydriques considérables.

Durant la germination et la levée, le besoin est très faible, et tout excès en eau entrave la respiration du germe et de la plantule (Barloy, 1984a).

En revanche, la période cruciale pour la plante se situe entre 20-30 jours et 10-15 jours respectivement avant et après la floraison femelle, où le besoin hydrique devient très important et constitue 45 % du besoin total du cycle (Figure 4). Tout déficit hydrique durant cette période entrave le rendement en MS par défaut de remplissage correct des grains.

L'eau est apportée d'une part par le sol, dont la capacité de rétention dépend de sa structure et de sa préparation avant le semis, d'autre part par les précipitations. Dans les régions à faible pluviosité et réputées séchantes, l'irrigation reste le seul moyen pour satisfaire le besoin de la culture. Le besoin journalier pour un plant de maïs est variable selon le stade de végétation. Il est en moyenne de 5,5 mm pour la période avant la floraison et de 6 mm pendant toute la durée de la floraison. Lors du remplissage des grains, le besoin est moindre (4 mm). Pour le déroulement normal du cycle de la végétation, estimé en moyenne à 120 jours, la plante a donc besoin au total de 6 00 mm, soit un besoin de 6 000 m³ pour une culture de 1ha.

1.2.4. Besoin en azote

L'azote représente un élément essentiel pour la croissance et la productivité du maïs. Il intervient dans le fonctionnement et le développement des cellules végétales et rentre dans la constitution de toutes les protéines. L'apport de l'azote se fait par le sol, d'où l'intérêt de la fertilisation, dont le niveau est variable en fonction du type de sol et des précédents culturels. En général, l'apport de l'azote est de l'ordre de 2 kg d'azote par quintal de grain prévu (Berger, 1962). Cet apport peut se faire sous forme organique (fumier) ou minérale (engrais chimiques).

Le rythme d'absorption de l'azote varie en fonction de l'évolution du besoin du maïs pour produire de la matière sèche (**Tableau 2**) (Hart *et al.*, 1997 ; Ndikumana et Lumpungu, 1987). A la levée, le besoin est faible et a tendance à augmenter à partir du stade 8-10 feuilles pour atteindre son maximum au moment de la formation de l'épi.

La période allant de 10 jours avant la floraison femelle à 25 jours après, correspond à la phase critique, où le maïs assimile 70 à 75 % de l'azote total dont il a besoin pour tout le cycle. Ce besoin accru correspond à la phase de croissance rapide de la végétation.

Après la formation de l'épi et au cours de la maturation des grains, l'absorption de l'azote par la plante est ralentie.

Tableau 2. Rythme d'absorption des différents éléments minéraux en (%) des besoins totaux (AGPM, 1981)

Stades de la végétation	% d'absorption des éléments minéraux				
	N	P	K	Mg	Ca
Levée à 8 feuilles	2	1	4	2	4
Jusqu'à la floraison	38	27	66	46	51
15 jours avant à 15 jours après la floraison	47	46	30	43	45
Grossissement des épis	12	26	0	9	0

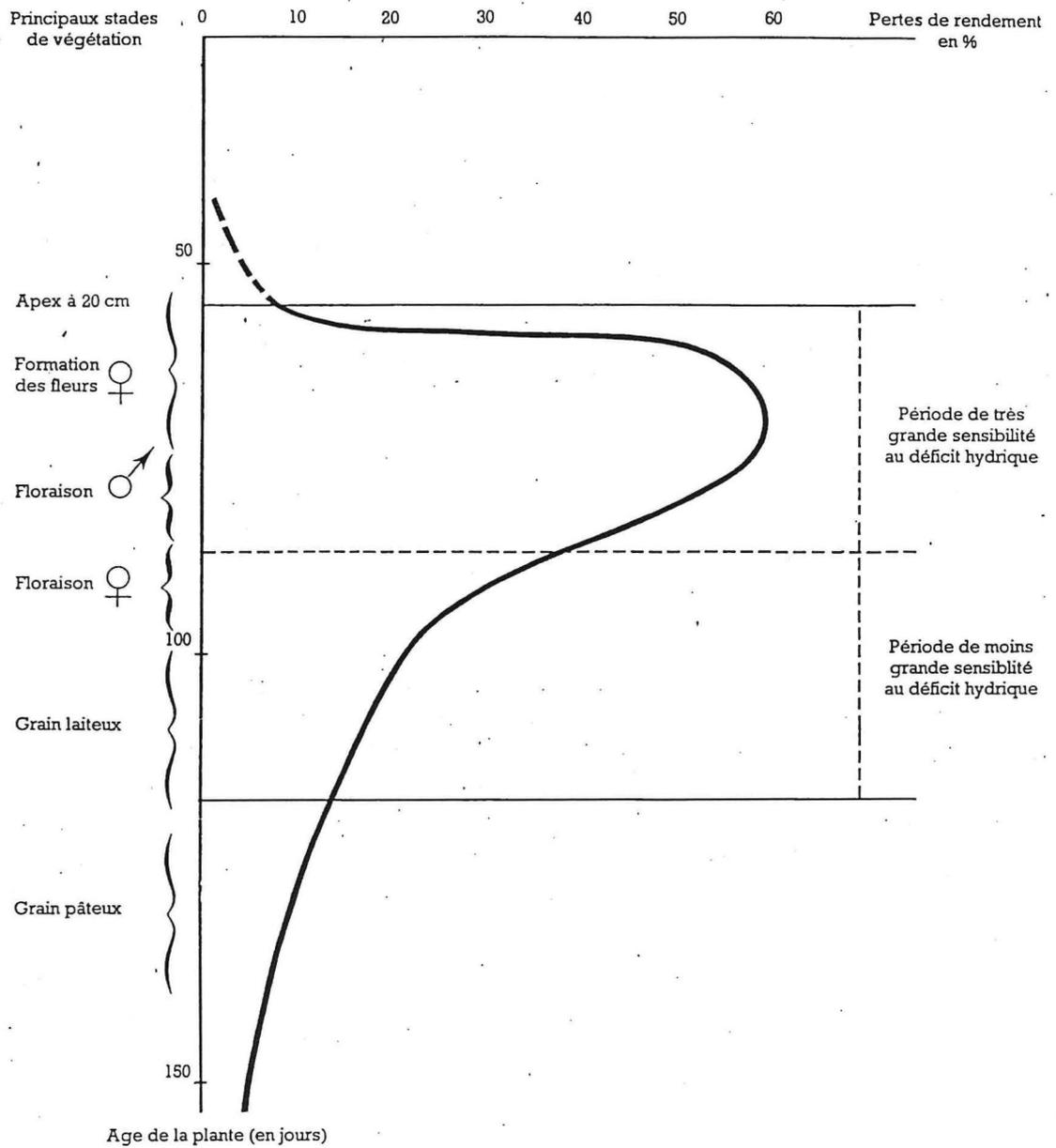


Figure 4. Influence sur le rendement du maïs d'une restriction de moitié de son alimentation en eau (d'après Robelin) (source : AGPM, 1981)

1.2.5. Besoin en éléments minéraux

Le maïs présente des exigences importantes en phosphore et en potassium. L'évolution des besoins est la même que celle de l'azote (**Tableau 2**). Le prélèvement de la plante de ces deux éléments peut être suffisant à partir du sol, mais un amendement supplémentaire s'avère nécessaire, surtout pour le maintien des réserves du sol (Rouanet, 1984 ; Hart *et al.*, 1997).

Le phosphore intervient dans la formation et le développement du grain, la division cellulaire et dans le développement racinaire. A la maturation du grain, 80 % du P absorbé par la plante est contenu dans celui-ci.

Tout déficit en phosphore et/ou en potassium, surtout lors de la croissance de la plantule, pénalise la productivité du maïs. Ce déficit de rendement de la plante entière est très accentué par une moindre productivité de la biomasse végétale et très peu pour la production des grains lors de carences en phosphore (Castillon, 1996).

Le besoin en autres éléments (Ca, Mg, S) est faible, mais indispensable étant donné leur rôle important lors de l'installation de la végétation. En effet, le calcium est un constituant des parois cellulaires et favorise l'assimilation par la plante des autres éléments minéraux. Le magnésium, élément constituant de la chlorophylle, facilite l'absorption du phosphate et du soufre et entre dans la composition des acides aminés.

Lorsque le grain arrive à maturité, la teneur de chaque élément est de 3 à 5 % pour le Ca, 38 % pour le Mg et 70 % pour le S, en % des quantités assimilées par la plante pour chacun des éléments. En revanche les besoins estimés et basés pour un objectif de production de 100 quintaux de grain par hectare sont de l'ordre de 52 kg, 37 kg, et 20 kg, respectivement pour le Ca, Mg et S (AGPM, 1981).

1.3. Conservation sous forme d'ensilage (Figure 5)

1.3.1. Avantages de la conservation sous forme d'ensilage

L'ensilage est une méthode par laquelle le fourrage est conservé en son état vert sans pour autant engendrer de pertes importantes de sa valeur nutritive, en faisant appel à des fermentations lactiques. Le maïs représente, dans ce concept, le meilleur fourrage et le plus facile à ensiler (Dulphy, 1984).

La bonne conservation du maïs sous forme d'ensilage, tient à sa teneur suffisante en glucides fermentescibles, qui contribuent à l'installation rapide des fermentations lactiques. Ce processus présente l'intérêt d'induire l'abaissement rapide du pH à l'intérieur du silo.

Le maïs présente en outre une haute valeur énergétique. En effet, la proportion de l'amidon, qui est digestible en presque totalité par les ruminants, reste la même du fait de l'absence quasi totale de la flore amylolytique. De plus, les glucides membranaires (cellulose) représentent une faible source d'énergie pour les micro-organismes qui se développent dans l'ensilage, et les micro-organismes s'attaquant à la cellulose sont peu nombreux.

1.3.2. Conditions de réalisation de l'ensilage

En dépit de la facilité et de la bonne réponse du maïs à être conservé sous forme d'ensilage, certaines pratiques doivent être respectées. Le respect d'une certaine teneur en eau du maïs au moment de sa récolte est primordial. S'ajoutent, ensuite, les bonnes pratiques lors de la mise en silo. Ces paramètres viennent aider à l'installation rapide du processus fermentaire recherché (fermentation lactique), et éviter l'installation des facteurs perturbateurs de la conservation (Demarquilly *et al.*, 1998 ; Dulphy, 1984).

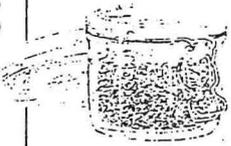
LES 4 TEMPS DU SILO	 <p>Premières heures RESPIRATION</p>	 <p>Premiers jours ACIDIFICATION</p>	 <p>Silo fermé STABILITE</p>	 <p>Silo ouvert DEGRADATION</p>
LES PROCESSUS IMPLIQUES	<p>Prépondérance des phénomènes enzymatiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydrolyse des glucides • Respiration (échauffement) • Protéolyse 	<ul style="list-style-type: none"> — Début de l'acidification = Activité de micro-organismes tolérant l'oxygène : <ul style="list-style-type: none"> → consommation de sucres → protéolyse — Acidification lactique = Action des b. lactiques dès qu'il n'y a plus d'oxygène Sucres → ac. lactique — Déviation fermentaire si acidification lente 	<ul style="list-style-type: none"> • Anaérobiose et acidité empêchent le développement des micro-organismes indésirables : spores butyriques - clostridium... moisissures • Les levures vivent en produisant de l'alcool • Les spores butyriques germent et se multiplient dans les zones où persiste de l'oxygène 	<ul style="list-style-type: none"> — Réactivation des moisissures et levures : • échauffement de silo • inappétence • pertes de fourrage • production de toxines
OBJECTIF	Zéro oxygène le plus vite possible	pH inférieur à 4	Silo hermétique et bien protégé	Limiter les entrées et la circulation d'air
MOYENS A METTRE EN ŒUVRE	<ul style="list-style-type: none"> — Récolte au bon stade — Etalement et tassement en couches fines — Fermeture rapide 	<ul style="list-style-type: none"> — Hachage fin — Propreté (pas d'incorporation de terre) 	<ul style="list-style-type: none"> — Sel ou conservateur chimique en couverture — Bâche de bonne qualité — Poids sur la bâche — Protection de la bâche 	<ul style="list-style-type: none"> — Poids sur le front d'attaque — Ne pas ébranler le front d'attaque — Avance assez rapide du front d'attaque 10 cm/j en hiver 20 à 30 cm/j en été
CONTROLES (mais il est trop tard pour agir)		Teneur en Ms et pH, teneur en azote ammoniacal	Numération de spores butyriques	Température de l'ensilage

Figure 5. Conservation du maïs sous forme d'ensilage (source : AGPM, 1991)

Le moment de la récolte du maïs, dans le but d'être conservé en ensilage, est déterminé lorsque la teneur en matière sèche de la plante entière est comprise entre 30 et 35 %. Ces teneurs correspondent approximativement au stade pâteux à pâteux dur de la maturité des grains. Des teneurs en eau excessives (moins de 25 % de teneur en matière sèche), rendent difficile l'installation des fermentations et entravent la qualité de conservation par les pertes engendrées.

Le hachage du fourrage avant la mise en silo permet la libération des glucides cellulaires qui seront à la disponibilité de la flore lactique. La finesse du hachage conditionne, non seulement la facilité du tassement, mais favorise aussi l'ingestion et la valorisation du maïs ensilage par les ruminants. Un fourrage finement haché ne doit contenir que 1 % ou moins de grosses particules (>20 mm): Les particules de taille moyenne (entre 10 et 20 mm), doivent avoir une proportion de l'ordre de 10 à 15 %, afin d'assurer un apport suffisant en fibres pour les ruminants, sans pour autant défavoriser l'ingestibilité.

Une des conditions de la bonne conservation des fourrages au cours de l'ensilage, tient à éviter sa contamination par les spores butyriques apportées par la terre. Pour l'ensilage de maïs le risque de développement de la flore butyrique est toutefois minime du fait de la baisse rapide du pH, ce qui inhibe leur développement. Il faut donc éviter au maximum l'introduction de terre dans le silo.

Le tassement de l'ensilage lors de sa mise en silo, permet d'éviter l'installation des moisissures, par réduction du volume d'air contenu dans le fourrage. La facilité du tassement est conditionnée par la teneur en matière sèche du fourrage. Des teneurs supérieures à 40 % MS rendent difficile le tassement et peuvent entraîner des pertes suite à la mauvaise conservation.

La conservation des fourrages sous forme d'ensilage exige une anaérobiose totale du milieu, défavorisant le développement des moisissures, des populations microbiennes aérobies et les réactions enzymatiques tendant à réduire les protéines contenus dans le fourrage. La limitation des pertes est assurée par une fermeture rapide du silo, le jour même de la récolte.

1.3.3. Phases fermentaires

Lors de la conservation, deux types de réactions se mettent en place. Au départ, et toujours en présence d'oxygène, des réactions enzymatiques s'installent. Cette phase est courte surtout lorsque le silo est hermétiquement fermé, l'oxygène étant ensuite épuisé rapidement. Se développent plus tard les bactéries anaérobies, en particulier la flore lactique, qui auront tendance à diminuer le pH à l'intérieur du silo pour y permettre la stabilité de la conservation (Demarquilly, 1987 ; Dulphy, 1984).

1.3.3.1. Phase aérobie

Dès la mise en silo, toujours en présence d'oxygène, les réactions enzymatiques se déclenchent

- La respiration : après fermeture du silo les cellules végétales encore vivantes et en présence d'oxygène respirent activement, ce qui induit une combustion des glucides solubles en produisant du gaz carbonique et de la chaleur.
- L'hydrolyse des glucides en glucose et en fructose, qui constituent avec les acides organiques de la plante la principale source d'énergie des micro-organismes fermentaires.

- La protéolyse des protéines en acides aminés, avec pour conséquence une libération d'ammoniac et d'azote soluble. L'action des enzymes protéolytiques est arrêtée lorsque le pH descend au dessous de 4.

Lors de cette phase, les micro-organismes aérobies se développent très peu et n'auront aucun effet sur la conservation des ensilages, à condition que l'oxygène résiduel dans la masse du fourrage soit faible. Ceci est assuré par un tassement convenablement effectué et une bonne herméticité du silo.

1.3.3.2. Phase anaérobie

Les bactéries anaérobies se multiplient très rapidement après épuisement de l'oxygène. Les principales bactéries se développant sont les suivantes.

- Les coliformes sont les premières à se développer parce qu'elles sont anaérobies facultatives. Elles agissent sur les sucres essentiellement en les transformant en acide acétique avec libération de gaz carbonique, contribuant ainsi à un début d'acidification. L'action de cette population ainsi que son rendement sont très faibles. Leur action s'arrête lorsque le pH descend au dessous de 4,5.
- Les bactéries lactiques strictement anaérobies se développent très rapidement lorsque les conditions nécessaires sont réunies : absence totale d'oxygène et présence de sucres en quantités importantes et libérés à temps.

Les bactéries lactiques agissent sur les sucres en les transformant en acide lactique, ce qui abaisse le pH très rapidement pour atteindre une valeur légèrement inférieure à 4. L'acidité du milieu ($\text{pH} < 4$) inhibe toute activité enzymatique et bactérienne y compris de la flore lactique elle-même.

- Les bactéries butyriques sont des bactéries anaérobies apportées sous forme de spore par la terre. Leur développement intervient avec un peu de retard par rapport aux bactéries lactiques car elles ont besoin de germer avant d'être actives. Leur développement est très vite arrêté lorsque le pH atteint 4. Dans le cas du maïs ensilage, le risque de développement de la flore butyrique est minime.

Dans les conditions où le pH du silo ne descend pas suffisamment bas ou s'il ne descend pas rapidement, la fermentation butyrique s'installe et s'accélère au détriment de la fermentation lactique, engendrant une remontée du pH et une dégradation irréversible de l'ensilage.

1.4. *Composition chimique et valeur nutritive*

Entre la floraison et la maturation de l'épi, la proportion de MS augmente régulièrement. Elle passe de 14 - 16 % à 33 - 35 % MS au stade vitreux. Ceci résulte de l'accroissement de la part de l'épi dans la plante et de la teneur en matière sèche de l'épi (Demarquilly, 1994).

La composition chimique n'évolue que très peu après le stade de floraison à l'exception de la teneur en amidon qui augmente au profit de la teneur en glucides solubles.

La teneur en glucides solubles au début du stade de remplissage des grains est en moyenne de l'ordre de 200 g/kg de MO, qui baisse lentement si la teneur en fibre reste stable (Cabon, 1996).

- Les teneurs en fibres

Entre le début du stade laiteux et le stade vitreux (maturation des grains), les teneurs en fibres, de lignocellulose (ADF) et des parois cellulaires (NDF), en pourcentages de la matière sèche de la plante entière, présentent une baisse. Celle-ci est relative à l'accumulation dans le grain de l'amidon, ce qui a pour conséquence l'augmentation de la teneur en matière sèche de la plante entière. Inversement les teneurs en ADF et NDF, ont tendance à augmenter lorsqu'elles, sont exprimées par rapport à la teneur de la matière sèche de la partie végétative (feuilles et tige) de la plante (Bal *et al.*, 1997).

- Les teneurs en cendres

La teneur en cendres, qui est relativement faible, a tendance à diminuer avec le stade de récolte. Les taux maximum enregistrés sont de l'ordre de 6,3 % MS au stade laiteux pâteux (**Tableau 3**). Les teneurs en phosphore et en calcium sont relativement faibles, et sont en moyenne respectivement de l'ordre de 2 g/kg MS et 3 g/kg MS. Ces proportions en cendres dans le maïs sont considérées comme très faibles pour couvrir les besoins des ruminants (Mayombo *et al.*, 1997).

Tableau 3. Composition chimique moyenne du maïs à différents stades de récolte, suite à des conditions de végétations normales (source : INRA, 1988).

	MS	MO	MAT	CB	LC	Cendres	P	Ca
Stade de récolte	%	g/kg MS						
laiteux pâteux	25	937	86	222	248	63	20	30
pâteux vitreux	30	942	84	205	231	58	25	35
vitreux 35 % MS	35	947	82	187	212	53	25	35

(MS : matière sèche, MO : matière organique, CB : cellulose brute, LC : ligno-cellulose, P : phosphore, Ca : calcium)

La teneur en matières azotées totales du maïs sur pied baisse jusqu'à la fin du stade laiteux pâteux pour se maintenir à un taux constant de 7-8 % de la MS (**Tableau 3**).

1.4.1. Modifications apportées par l'ensilage

1.4.1.1. Teneurs en azote soluble

Au début de la conservation du maïs, les enzymes protéolytiques s'attaquent aux fractions protéiques du fourrage. La protéolyse a pour conséquence une dégradation d'une partie des protéines, avec libération d'azote soluble.

Dans les conditions de bonne conservation, l'ensilage de maïs présente des teneurs en ammoniac et en azote soluble respectivement de l'ordre de 5 à 6 % et 50 % de l'azote total (Demarquilly, 1987 ; Demarquilly et Andrieu, 1988).

1.4.1.2. Formation des acides gras volatils (AGV)

La baisse du pH dans le silo lors de la conservation du maïs, justifie la présence des acides organiques. Les AGV résultent de la dégradation des glucides solubles (Demarquilly, 1987). Lorsque le fourrage est bien conservé et que la teneur en matière sèche est comprise entre 25-30 %, leurs teneurs sont estimées à moins de 20-25 g par kg MS d'acide acétique,

entre 48-63g/kg MS d'acide lactique, l'acide propionique et butyrique ne devant être trouvés que sous forme de traces, et entre 49 et 13 g/kg MS d'éthanol (alcool) (**Tableau 4**).

Tableau 4. Caractéristiques fermentaires moyennes des ensilages de maïs à teneurs en matières sèches comprises entre 20 et 40 % (Demarquilly, 1994)

Teneur en MS (%)	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	moyenne
pH	3,75	3,75	3,80	3,95	3,79
Azote soluble (% de N total)	60	51	46	39	49
Ammoniac (% de N total)	6,6	5,3	5,5	5,1	5,6
Acide lactique (g/kg MS)	62,8	48,4	48,5	46,7	50,4
Acide acétique (g/kg MS)	18,8	15,5	13,4	9,3	14,5
Acide butyrique (g/kg MS)	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Alcool (g/kg MS)	48,6	27,6	12,8	4,7	21,8
Digestibilité de la MO (%)	68,4	69,9	70,3	69	69,8

1.4.2. Valeur énergétique

La digestibilité de la matière organique du maïs ne varie que très peu entre les variétés et entre les stades de récolte (Andrieu et Demarquilly, 1974). La variabilité de la digestibilité est due essentiellement à la teneur en parois cellulaires et à leur degré de lignification. En moyenne, la digestibilité de la matière organique du maïs est de l'ordre de 71 %. Le degré de digestibilité de la matière organique reflète la densité énergétique du fourrage. Il en résulte que la proportion des parties digestibles dans le fourrage détermine sa valeur énergétique.

La valeur énergétique varie selon les variétés et les conditions de mise en place de la végétation (**Tableau 5**) (Demarquilly *et al.*, 1998). Dans les conditions très favorables de végétation et lorsqu'un plant de maïs renferme environ 40 % de grains, ce qui correspond à une teneur en amidon de 30 % MS, des valeurs énergétiques de 0,92 à 0,96 UFL sont atteintes (AGPM, 1991). La teneur en grain est également un facteur déterminant de la digestibilité du maïs et la digestibilité de l'amidon contenu dans les grains étant quasi totale.

Lors du processus d'ensilage, une des conditions essentielles de la stabilité de la digestibilité de la matière organique, est la teneur en matière sèche du fourrage. Un maïs récolté à moins de 20 % MS, engendre des pertes sous forme de jus des constituants hautement digestibles (Demarquilly, 1994). Il en résulte une baisse plus ou moins notable de la densité énergétique.

En somme la valeur énergétique du maïs ensilage dépend, de la teneur en matière sèche qui conditionne la stabilité d'apport énergétique de plante, de la proportion de grains contenue dans la plante, et du degré de digestibilité des parois cellulaires (Barrière, 1997).

Tableau 5. Variabilité de la digestibilité en fonction des conditions de végétation (source : AGPM, 1991)

Conditions de végétation	MS plante entière (%)	Teneur en grains (%)	Digestibilité in vivo (%)	UFL/kg MS	UFV/kg MS
Très bonnes	30 - 35	50 - 55	74	0,96	0,87
Normales	25 - 35	35 - 45	71	0,90	0,80
Séchantes	30 - 35	20 - 30	68	0,84	0,73
Froides en fin de cycle	28	35 - 40	68	0,84	0,73
Gel au stade laiteux	28	25 - 30	67	0,87	0,74

1.4.3. Valeur azotée

A partir du stade laiteux du grain et indépendamment du stade de récolte, la teneur en matières azotées totales (MAT) du maïs est stable. Cette teneur en MAT est relativement faible, de l'ordre de 7-8 % de la MS (Andrieu et Demarquilly, 1974), et reste constante au cours de la conservation en ensilage (INRA, 1988).

Liée à la teneur en MAT de la plante et à la dégradabilité de l'azote de l'ensilage de maïs, qui est de 60-70 %, les teneurs en protéines digestibles dans l'intestin (PDI), qui déterminent la valeur azotée du fourrage, sont également faibles. Les valeurs moyennes considérées pour un ensilage de maïs réalisé dans de bonnes conditions de végétation et de récolte (AGPM, 1991) sont de l'ordre de :

PDIN = 50 - 65 g/kg MS

PDIE = 65 - 71 g/kg MS

1.5. *Prévision de la valeur alimentaire de l'ensilage de maïs*

L'ensilage de maïs est considéré comme un fourrage hautement énergétique. Cette valeur est estimée à partir de la digestibilité de la matière organique et est en moyenne de 71,7 %. Néanmoins elle varie entre 67 % et 78 % (Andrieu, 1995) selon les variétés de maïs choisies, l'année, le lieu, des conditions de culture, les variations climatiques au cours du cycle végétatif, et les conditions et la date de récolte.

La connaissance du coefficient de digestibilité *in vivo* de la matière organique constitue le paramètre clé pour la détermination de la valeur nutritive du maïs (Dardenne et Agneessens, 1996), mais à défaut de la mesurer en routine, il est plus pratique de la prévoir pour une culture de maïs (Demarquilly et Andrieu, 1996).

A partir des mesures effectuées par le « Club Digestibilité » et celles de l'INRA sur ruminants pour estimer la dMO, il a été mis au point des équations dites de prévision applicables à la suite des mesures de la digestibilité enzymatique et de la composition chimique du maïs réalisables en routine aux laboratoires d'analyses à partir d'échantillons prélevés directement au moment de la mise en silo. Il en est de même pour la détermination de la valeur énergétique en UFL et UFV.

A cet effet 4 équations sont établies, à partir de quatre modèles testés utilisant différents critères de la digestibilité enzymatique et de la composition chimique du maïs fourrage. Ces 4 équations retenues permettent de prévoir la valeur nutritive du maïs ensilage. Les valeurs obtenues pour chaque équation sont comparables (Andrieu, 1995 ; Andrieu et Aufrère, 1996).

Les variables utilisées pour chaque équation sont :

M1 : MAT, CB, AMI

M2 : MAT, NDF, ADF, ADL

M3 : MAT, AMI, DCS

M4 : MAT, DCS

- M1, M2, M3, M4 : équations modèles, utilisant chacune des paramètres différents.
- DCS : Dégradabilité enzymatique de la matière sèche, mesurée selon la méthode de Aufrère (1983).
- MAT : Matière Azotée Totale
- CB : Cellulose Brute
- AMI : Amidon
- NDF : Neutral Detergent Fibre
- ADF : Acid Detergent Fibre
- ADL : Acid Detergent Lignine
- Les composants chimiques retenus sont rapportés à la matière organique.

◇ équations de prévision de la dMO :

M1 : $dMO = 79,4 + 0,0652 \text{ MAT} - 0,0591 \text{ CB}$

M2 : $dMO = 75,7 + 0,0701 \text{ MAT} + 0,0156 \text{ NDF} - 0,0720 \text{ ADF}$

M3 : $dMO = 32,5 + 0,0764 \text{ MAT} + 0,0049 \text{ AMI} + 0,4700 \text{ DCS}$

M4 : $dMO = 28,5 + 0,0732 \text{ MAT} + 0,5501 \text{ DCS}$

◇ équations de prévision de la valeur énergétique en UFL et UFV :

M1 : $UFL = 110,15 + 0,1233 \text{ MAT} - 0,1167 \text{ CB}$

M2 : $UFL = 103,95 + 0,1339 \text{ MAT} + 0,0255 \text{ NDF} - 0,1358 \text{ ADF}$

M3 : $UFL = 20,20 + 0,1462 \text{ MAT} + 0,0109 \text{ AMI} + 0,8818 \text{ DCS}$

M4 : $UFL = 11,38 + 0,1390 \text{ MAT} + 1,0609 \text{ DCS}$

M1 : $UFV = 102,49 + 0,1297 \text{ MAT} - 0,1318 \text{ CB}$

M2 : $UFV = 95,50 + 0,1416 \text{ MAT} + 0,0287 \text{ NDF} - 0,1534 \text{ ADF}$

M3 : $UFV = 0,76 + 0,1555 \text{ MAT} + 0,0123 \text{ AMI} + 0,9984 \text{ DCS}$

M4 : $UFV = - 9,12 + 0,1475 \text{ MAT} + 1,1992 \text{ DCS}$

Le maïs ensilage est surtout utilisé pour l'alimentation des ruminants, en raison de sa richesse en énergie, et du rôle double qu'il joue par son apport en énergie et en fibre.

En dehors des caractéristiques variétales pour la digestibilité et la valeur énergétique, des différences peuvent exister en fonction de certains facteurs.

Les équations de prédiction de la valeur alimentaire, par leur application directe permettent de cerner la qualité nutritionnelle du maïs au moment de la récolte, les conditions de végétation étant variables selon les zones géographiques et les caractéristiques climatiques.

2. Facteurs de variation de la valeur alimentaire

Plusieurs facteurs peuvent modifier la valeur alimentaire du maïs ensilage. Ces facteurs sont d'ordre génétique, climatique, agronomique, ou même liés aux pratiques de l'ensilage.

Suite à la conservation du maïs, la valeur alimentaire de départ peut changer d'une manière plus ou moins notable. Il s'agit dans ce cas des pratiques pour la mise en œuvre de l'ensilage.

2.1. Facteurs de variation de la valeur nutritive

2.1.1. Choix des variétés

La variabilité génétique des hybrides pour la digestibilité de la matière organique (dMO) de la plante entière, liée principalement à leurs valeurs énergétiques, réside surtout à la variation de la dMO des parois cellulaires des tiges. La digestibilité des grains (amidon) est quasi totale (Hébert *et al.*, 1996).

Entre hybrides génétiquement différents, les valeurs énergétiques sont variables. Démonstré par les tests réalisés par l'INRA sur une multitude d'hybrides de maïs, cultivés dans les mêmes conditions, la plage de variation de la valeur énergétique est de l'ordre de 0,75 à 1,01UFL, avec cependant une moyenne estimée à 0,90UFL (Barrière, cité par Cailliez, 1999). Une même variété n'exteriorise pas le même potentiel énergétique, quand il s'agit de zones géographiques différentes (Sampoux et Veron, 1996), d'où la nécessité d'adapter, suivant le lieu, les variétés ayant la possibilité d'exprimer de bonnes valeurs énergétiques. Ces valeurs sont obtenues par une productivité élevée de la plante entière et en particulier par une proportion élevée de grains.

Le choix se portera dans ce cas sur la capacité de la variété choisie à assurer de bons rendements du point de vue quantitatif et qualitatif dans une situation géographique donnée. Il s'agit de l'adaptabilité de la variété dans des conditions climatiques caractéristiques du milieu.

Dans les zones où les conditions climatiques sont contraignantes, de basses températures ou des risques de sécheresses, les variétés de maïs précoces sont préconisées, du fait de leur aptitude à pousser dans des conditions assez extrêmes (Benoist, 1989). Ce sont des variétés aptes à assimiler les différents composés avec des cumuls de températures et de luminosité moindres.

Le choix inapproprié d'une variété trop tardive aura pour conséquence, en plus d'une productivité médiocre, une faible teneur en matière sèche et en grain. Il en résulte une moindre proportion d'amidon, due au ralentissement de l'activité photosynthétique. Par ailleurs, ces variétés trop tardives sont récoltées à forte teneur en eau, engendrant lors de la conservation, des pertes sous forme de jus, et donc la perte des constituants hautement solubles et très digestibles (Argillier et Barrière, 1996).

2.1.2. Densité

Le nombre de plantes de maïs par hectare conditionne le rendement des plantes, le nombre d'épis et leurs taille, ainsi que le nombre de grains produits par épi. Il s'agit que les plantes puissent puiser du sol les éléments nutritifs en quantités suffisantes sans pour autant créer une compétitivité entre elles. Ainsi l'obtention d'un certain rendement quantitatif et

aussi qualitatif par maximisation de la teneur énergétique est assurée par le respect de la densité lors de la mise en culture.

Les densités trop élevées induisent d'une part une compétition non seulement des plants pour puiser les éléments nutritifs et l'eau dans le sol, mais il y a encore compétitivité au niveau de la plante entre l'épi et la panicule lors de leur formation (Boyat et al., 1984). Ce déséquilibre entre les organes reproductifs a pour conséquence un décalage de leur formation, favorisant le nombre d'ovules avortés. Il en résulte une forte proportion de plantes sans épi et de plantes dont la teneur en grain est très faible.

En outre, une culture trop dense induit l'ombrage des feuilles en situation inférieure sur les plantes. Les surfaces foliaires se trouvent incapable de capter assez de lumière pour le déroulement normal de la photosynthèse. Ceci entrave le métabolisme azoté des feuilles, et induit une moindre teneur en protéines de la partie végétative et une moindre teneur en sucres de la plante (Barloy, 1984b).

2.1.3. Fertilisation

Le besoin du maïs en azote et en éléments minéraux est primordial. L'assurance du déroulement normal des métabolismes au sein de la plante tient en la présence de ces éléments. Ainsi, le déroulement normal de la végétation assure un bon rendement et une bonne qualité nutritive (Berger, 1962 ; Rouanet, 1984).

Pour renouveler les pertes engendrées dans le sol par les différents facteurs extérieurs (lessivage par les pluies), et au niveau de la plante par les mécanismes physiologiques de la végétation, il est indispensable de couvrir ces besoins.

Exceptée la teneur en azote de la partie végétative de la plante, qui diminue au cours du développement du maïs, et quelle que soit la dose apportée à la végétation, le rendement en grains et la teneur en protéines brutes peuvent être affectés. Dans ce cas, ce sont les besoins du maïs qui ne sont pas complètement satisfaisants.

Dans de bonnes conditions du milieu et de fertilisation, le remplissage normal des grains maintient la teneur en azote totale de la plante entière. A maturation, les grains de maïs détiennent les 2/3 de l'azote absorbé par la plante au cours de la végétation.

L'apport insuffisant d'azote et/ou de minéraux, en particulier après floraison, peut induire le ralentissement de l'activité photosynthétique. Il en résulte une moindre accumulation d'amidon au niveau des grains. La proportion d'amidon n'arrivant pas à son seuil optimum, engendre une densité énergétique faible de la plante entière.

2.1.4. Facteurs climatiques

Les aléas climatiques peuvent agir en cours de végétation (sécheresse, températures excessives ou insuffisantes, coups de froid...). Ces conditions auront des répercussions sur la qualité du maïs, par une baisse de la qualité de la partie végétative, ainsi qu'une moindre teneur en amidon des épis.

Un déficit hydrique, ou même des températures au dessous du seuil de besoin de la plante, intervenant surtout peu avant la floraison, et/ou durant le remplissage des grains, ralentissent la photosynthèse, entravant la production des grains, ainsi que la mobilisation des réserves jusqu'à leur niveau. Le ralentissement ou l'arrêt du remplissage des grains, aura pour conséquence une modification de leur poids, et par conséquent une faible teneur en amidon.

Les fortes températures ont des effets négatifs sur la proportion de la cellulose et sur sa digestibilité. En effet les fortes chaleurs stimulent le processus de lignification de la tige,

surtout quand elles interviennent à partir du stade 7-8 feuilles jusqu'à la phase de remplissage des grains (Andrieu *et al.*, 1993). La lignine est considérée comme un facteur limitant de la digestibilité des fourrages (Grand *et al.*, 1996).

2.1.5. Conservation

2.1.5.1. Effet de la conservation sur la valeur énergétique du maïs

Au cours de la conservation, seuls les sucres solubles sont dégradés. Les produits de la dégradation ne renferment que peu d'énergie, l'acide lactique étant le seul susceptible d'en apporter. De plus, les fermentations au cours de l'ensilage n'entraînent que des pertes de la matière sèche sous forme de gaz mais très peu de pertes en énergie (Demarquilly, 1983). Dans cette situation, les teneurs en cellulose-brute et en amidon se trouvent légèrement augmentées de manière passive (Demarquilly, 1994). Il en résulte que la conservation du maïs en ensilage préserve sa valeur énergétique.

2.1.5.2. Effet de la conservation sur la valeur azotée

Suite à la baisse rapide du pH dans le silo, la dégradation des protéines reste faible, mais la teneur en azote non protéique augmente légèrement. En raison de légères pertes de matière sèche au cours des fermentations, la teneur en matières azotées totales augmente légèrement mais de manière passive (Dulphy, 1984).

2.1.6. Lors du dessilage

L'ensilage préalablement bien tassé, les bactéries aérobies, les moisissures et les levures se développent à la surface exposée à l'air lors de l'ouverture du silo, attaquant alors la matière organique du fourrage.

Il est donc important de dessiler au moins sur 10 à 15 cm chaque jour (Harrison et Blauwieke, 1994) afin d'éviter leur propagation et leur développement à l'intérieur du silo, et ainsi éviter les pertes engendrées. De plus, les micro-organismes se développant après l'ouverture du silo, ont une action dépressive sur l'ingestion des ruminants.

2.2. Effets sur les quantités ingérées

Entre variétés de maïs, ou pour une même variété cultivée dans des conditions climatiques variables selon les années, les proportions des parties digestibles et indigestibles sont différentes.

La vitesse de dégradabilité du fourrage au niveau du rumen, y conditionne son temps de séjour, les ensilages les plus dégradables étant les mieux ingérés (Valentin *et al.*, 1997)

Le maïs destiné à l'ensilage, récolté à une bonne teneur en matière sèche (30 et 35 %), se conserve bien. L'intensité des fermentations conditionne les taux d'acides gras volatils produits. Cependant, les quantités ingérées diminuent lorsque la teneur en AGV est élevée (INRA, 1988). Les teneurs en acides gras volatils doivent être de l'ordre de moins de 20-30 g/kg MS pour l'acide acétique et sous forme de traces pour l'acide butyrique et l'alcool, de manière à favoriser l'appétabilité de l'ensilage (Demarquilly, 1983).

En général, l'ingestibilité de maïs sous forme d'ensilage ne diminue que de 5 % ou moins par rapport celle du maïs distribué en vert (Andrieu et Demarquilly, 1974).

La teneur en amidon du maïs, dépendante de la proportion de l'épi dans la plante, influe considérablement sur la digestibilité du fourrage. La comparaison de la distribution

d'ensilage de tiges et de feuilles de maïs, et, d'ensilage de plante entière de maïs, permet de constater de forts taux d'ingestibilité dans le cas d'ensilage de plante entière.

En considérant qu'au delà d'un épi par plante, les quantités ingérées ne changent pas ou diminuent légèrement (Andrieu et Demarquilly, 1974), l'éventuelle diminution peut être corrélée avec une moindre digestibilité des parois cellulosiques. Ceci s'explique par la moindre action de la flore cellulolytique, défavorisée au profit de la flore amylolytique, du fait des fortes proportions d'amidon (Emile *et al.*, 1996).

Un des facteurs limitant l'ingestibilité du maïs ensilage est sa faible teneur en matières azotées totales. Ceci est dû au fait que la flore du rumen, n'ayant pas suffisamment d'azote pour couvrir ses besoins (Demarquilly, 1994), a une activité ralentie. La complémentation en azote dégradable, quelle que soit sa source, augmente la vitesse de digestibilité du fourrage en améliorant l'activité des populations microbiennes du rumen, en particulier de la flore cellulolytique (Peyraud *et al.*, 1997), ce qui favorise l'ingestibilité.

La finesse de hachage intervient également pour la détermination des quantités ingérées par les bovins. Un hachage fin est favorable car il permet de faciliter le tassement du fourrage, ce qui conditionne la qualité de conservation. Par conséquent, les valeurs nutritives du fourrage se trouvent stabilisées. En revanche, les fourrages à brins longs sont ingérés en moindres quantités, car le temps entre la fin du repas et la reprise de la rumination est allongé (Demarquilly, 1983).

3. Utilisation de l'ensilage de maïs dans l'alimentation des bovins

Le choix de l'utilisation de l'ensilage de maïs pour l'alimentation des grands ruminants dépend de plusieurs facteurs. Il s'agit en premier lieu de pouvoir produire du maïs dans une situation géographique donnée et de pouvoir intégrer ensuite la culture de maïs en fonction de la taille des parcelles, donc en fonction de la taille des troupeaux à nourrir. Dans les régions où il est possible de faire de l'ensilage de maïs, les éleveurs peuvent encore choisir entre la valorisation d'autres fourrages avec ou sans association d'ensilage de maïs.

Cependant, le maïs ensilage présente l'avantage d'assurer un bon niveau alimentaire des animaux en production ainsi que sa régularité. Il en résulte une sécurisation des productions laitières journalières et l'assurance de bonnes croissances en engraissement.

3.1. Utilisation et valorisation de l'ensilage de maïs dans les troupeaux laitiers

3.1.1. Niveau d'ingestion et productivité

L'alimentation des vaches laitières permet, d'une part, d'assurer le niveau productif au cours de la lactation, d'autre part, d'aider au maintien de la physiologie des animaux et à l'entretien de leur état corporel, durant la période productive et en dehors de celle-ci.

Au cours de la lactation, le niveau d'ingestion des vaches laitières présente des variations. Après le vêlage, la capacité d'ingestion est très faible et elle a tendance à augmenter jusqu'au troisième ou au quatrième mois de lactation. Au cours de cette période, les apports énergétiques et protéiques se trouvent inférieurs aux besoins d'exportation. En parallèle à ces déficits, la vache en lactation a tendance à mobiliser ses réserves afin de

combler les besoins de production. Ceci est d'autant plus important que les vaches sont productives.

A même niveau de production, la capacité d'ingestion peut varier selon le type de fourrage apporté. Elle est d'autant plus importante que la ration de base est digestible (INRA, 1988). Le maïs ensilage de qualité, apétant, de bonne teneur énergétique et suffisamment complétement en azote et en autres éléments (minéraux, oligo-éléments et vitamines), permet une bonne ingestibilité assurant une bonne part de la production du lait (**Tableau 6**). Il s'agit, surtout au départ de la période productive des vaches, d'assurer l'apport d'un maximum d'éléments nutritifs surtout énergétiques, à travers une ration d'assez bonne digestibilité, afin de permettre le bon démarrage de la production laitière.

Les hautes valeurs énergétiques du maïs assurent le maintien d'un certain niveau de lait. L'alimentation des vaches laitières en ensilage de maïs tient compte notamment des objectifs du niveau de production, des taux des différents composants (protéiques et gras). Comparativement à d'autres fourrages, tels que les ensilages d'herbes et le foin, l'ensilage de maïs permet des taux butyreux et protéiques plus élevés. Le fort taux butyreux est assuré par l'apport de bonne quantités d'amidon fermenté qui induit la formation de fortes proportions d'acides butyrique dans le rumen. L'acide butyrique intervient comme précurseur des composés gras du lait.

Tableau 6. Niveaux d'ingestion et quantités de lait, permises par l'ensilage de maïs offert en ration de base et à volonté à des vaches laitières multipares en pleine lactation - 25 kg de lait et 600 kg de poids vif - (source : INRA, 1988).

Teneur en MS (%)	UFL/kg MS	UEL/kg MS	Quantités ingérées kg MS	Production permise kg lait 4 % MG
20	0,85	1,28	10,5	9
25	0,90	1,22	11,5	12,5
30	0,90	1,13	13	15,5
35	0,90	1,03	15,5	20

3.1.2. Utilisation de l'ensilage de maïs pour l'alimentation des vaches laitières

L'ensilage de maïs constitue un bon fourrage de base pour l'alimentation des vaches laitières, en particulier pour les hautes productrices. Son utilisation est encore plus remarquable lorsque les conditions de conservation sont excellentes et favorables à sa bonne ingestibilité. Il en est de même pour sa haute valeur énergétique, qui est en partie dépendante des conditions de végétation.

Les quantités de lait produites par les vaches sont liées en partie à la valeur énergétique des fourrages. Pour les vaches hautes productrices, essentiellement en début de lactation, le maïs ensilage, par sa haute teneur énergétique et sa tendance à être bien ingéré, permet le maintien d'un certain niveau de production de lait. Les bonnes performances ne sont obtenues que si le maïs est correctement complétement, en particulier en azote et en minéraux. Le niveau productif est le reflet de la bonne valorisation du fourrage de base.

Les performances permises par l'ensilage de maïs font que celui-ci est largement retenu en alimentation des vaches laitières.

3.1.3. Effet de la teneur en grain du maïs sur les performances des vaches laitières

La teneur en grain ne conditionne pas à elle seule la valeur énergétique du maïs ensilage. La part de l'apport énergétique des parois cellulaires est importante et ne peut être valorisée que lorsque la teneur en amidon est optimale. La valorisation des apports énergétiques des deux constituants tient à équilibrer l'action de la flore cellulolytique et amylolytique au niveau du rumen.

La production laitière ainsi que les taux ne varient que très peu, avec un même maïs, qu'il soit riche ou appauvri en grains. Les mêmes performances sont obtenues jusqu'à une proportion minimale de grains de 40 % (Emile *et al.*, 1996). En revanche, la reprise de poids est plus faible avec des maïs moins riches en grains (**Tableau 7**).

Tableau 7. : Effet de la teneur en grains d'un même hybride sur les performances zootechniques des vaches laitières (Emile *et al.*, 1996)

	Maïs normal	Maïs appauvri
Teneur en grain (%)	48	41
Ingestion (kg MS)	16	15,9
Lait brut (kg)	22,8	22,9
Taux butyreux (g/kg)	44,4	44
Taux protéique(g/kg)	31,4	31,6
Reprise de poids (g)	288	215

3.1.4. Complémentation énergétique du maïs ensilage

La complémentation énergétique est de l'ordre de 1UFL par 2,3 kg de lait au delà de la quantité de lait permise par le fourrage (INRA, 1988). En début de lactation, il est difficile de combler le besoin énergétique des vaches. En revanche, au cours de la deuxième moitié de la lactation, la valorisation énergétique est supérieure grâce à une meilleure ingestibilité de la ration totale.

La valorisation des apports énergétiques du fourrage et des concentrés, suppose d'éviter les effets d'interaction et de forte substitution entre le fourrage et le concentré. Dans le cas du maïs ensilage, l'apport des concentrés énergétiques ne doit pas dépasser 25 % de la ration totale. Ceci est d'autant plus important que le maïs présente de fortes proportions d'amidon.

3.1.5. Complémentation azotée et minérale de l'ensilage de maïs

Par sa teneur faible en azote, la complémentation de l'ensilage de maïs en azote est une priorité. En effet, l'ingestion s'améliore avec l'augmentation de la proportion de MAT de la ration, mais seulement jusqu'à une teneur de 14 % de MAT dans la ration totale (Demarquilly, 1994).

La vache en lactation a des besoins accrus en minéraux, en particulier en phosphore et en calcium. Au cours de la période productive, les besoins en minéraux sont surtout conditionnés par le niveau productif de la vache car leur exportation dans le lait est considérable. Le maïs, par ses faibles teneurs en ces éléments, est loin d'assurer les besoins d'exportation. Cependant, la complémentation éventuelle de l'ensilage de maïs avec d'autres

fourrages, permet l'apport supplémentaire d'éléments minéraux, en quantités variables selon les fourrages.

3.1.6. Quelques contraintes d'utilisation de l'ensilage de maïs

L'alimentation des vaches laitières en ensilage de maïs peut présenter certains inconvénients. Comme toute ration favorable à la reprise du poids des vaches au cours de la deuxième moitié de lactation, l'ensilage de maïs en ration unique peut favoriser l'apparition d'oedèmes mammaires.

Les vaches productrices, alimentées à l'ensilage de maïs incorrectement corrigé, notamment en éléments azotés et minéraux, peuvent présenter des non délivrances fréquentes.

La possibilité d'utiliser d'autres fourrages en association avec de l'ensilage de maïs constitue une sécurité. L'apport de chaque fourrage dans la ration peut contribuer à la complémentarité en un ou plusieurs éléments, pour lesquels d'autres fourrages sont déficitaires. En somme l'utilisation de l'ensilage de maïs avec d'autres fourrages peut atténuer les risques des erreurs de calcul de rations (Institut de l'élevage, 1998).

3.1.7. Systèmes alimentaires

La place de l'ensilage de maïs dans les systèmes alimentaires en production laitière dépend de plusieurs paramètres. Il s'agit en grande partie de la possibilité d'intégrer la culture de maïs au niveau de l'exploitation. Celle-ci est conditionnée, d'une part, par les conditions du milieu, d'autre part, par le choix des éleveurs quant à la valorisation des disponibilités fourragères suivant le potentiel productif du troupeau et des exigences des filières laitières.

Cependant, l'utilisation de l'ensilage de maïs pour l'alimentation des vaches laitières dépend de plusieurs paramètres :

- les surfaces disponibles dans l'exploitation pour la mise en culture du maïs, qui doivent être en cohérence avec la taille du troupeau laitier, afin d'assurer la disponibilité et le maintien du régime alimentaire dans un but d'optimisation des potentiels productifs. Les surfaces à disposer en maïs tiennent compte des surfaces déjà utilisés pour d'autres fourrages en particulier celles des pâturages.
- le niveau de production du troupeau laitier, qui oriente sur le choix fourrager. Dans ce cas, l'objectif essentiel est de maintenir le niveau productif et de permettre l'entretien des vaches laitières. Les vaches hautes productrices ont davantage besoin de rations de base hautement énergétiques.

3.1.8. Intégration de l'ensilage de maïs dans les régimes alimentaires en fonction des saisons

3.1.8.1. Régimes hivernaux

En hiver, l'alimentation des ruminants est basée sur l'utilisation des stocks fourragers (Chenais *et al.*, 1996). Le choix du fourrage à distribuer aux vaches, dépend du stade physiologique. Ainsi, pour les vaches en pleine lactation, l'apport alimentaire doit subvenir aux besoins de production. Le maïs ensilage, comparativement à d'autres fourrages (ensilage d'herbe, foin) constitue le meilleur aliment de base pour maintenir les performances des vaches laitières en priorité. Les performances permises par l'ensilage de maïs sont le fait de son ingestibilité et de ses teneurs énergétiques supérieures. En plus le maïs est avantageux par sa facilité de distribution et de complémentation.

Certains systèmes favorisent la distribution simultanée d'ensilage de maïs et d'ensilage de graminées ou de légumineuses. Non seulement cette pratique permet l'utilisation en même temps de deux stocks fourragers, évitant ainsi des transitions alimentaires occasionnées par une distribution successive de deux fourrages différents, mais l'effet est associatif par la richesse en énergie de l'ensilage de maïs, et l'apport en quantité de l'azote par l'ensilage de l'herbe. Cette pratique permet de diminuer les suppléments azotés.

3.1.8.1.1. Effet des rations mixtes sur l'ingestion et la production laitière

La distribution simultanée d'ensilage de maïs et d'ensilage d'herbe (graminées ou légumineuses) de bonne qualité, permet une augmentation des quantités ingérées, en particulier dans le cas des ensilages de graminées. En revanche, l'ingestion se trouve souvent maintenue au même niveau avec des rations associant de l'ensilage de maïs et de légumineuses, ou lorsque le maïs est distribué seul.

En général cette pratique permet une production laitière à un bon niveau comparable à celui permis par l'ensilage de maïs. Néanmoins avec des régimes apportant de l'ensilage de trèfle violet, les quantités de lait produites se trouvent légèrement améliorées (**Tableau 9**).

Ces bonnes performances sont obtenues lorsque le maïs est apporté à plus du tiers du régime (Chenais *et al.*, 1996) (**Tableau 8**). Au delà de 40 % d'ensilage de graminées dans la ration totale, l'ingestion a tendance à baisser. De plus de bons résultats de production ne sont atteints que lorsque l'herbe est récoltée au stade début épiaison pour les graminées et au stade début bourgeonnement pour les légumineuses (Parrassin *et al.*, 1979). Lorsque le maïs est apporté à une proportion de 2/3 de la ration totale (ration mixte), la production laitière est maintenue, voire améliorée par rapport à la distribution du maïs ensilage seul.

Tableau 8. Effet de l'introduction d'une proportion plus ou moins grande d'ensilage de maïs à de l'ensilage d'herbe (d'après Phipps et Weller) (source : Chenais *et al.*, 1996)

	Ration d'ensilage d'herbe seul	Ration mixte (% maïs dans la ration)		
		25	50	75
ingestion totale d'ensilage (kg MS)	7,8	8,2	8,5	9,6
Lait (kg)	23,8	24,7	24,9	26,4
Taux butyreux (g/kg)	38,6	39,3	37,9	37,6
Taux protéique (g/kg)	29,9	30,5	30,6	30,3

Tableau 9. Comparaison de l'ensilage de maïs en plat unique avec des régimes mixtes : ensilage de maïs + ensilage de graminées ou de légumineuses (Chenais *et al.*, 1996).

Régime comparé au maïs	Ensilage de graminées		mixte : ensilage de maïs / ensilage de graminées		mixte : ensilage de maïs / ensilage de trèfle violet		mixte : ensilage de maïs / ensilage de luzerne	
	Ens. maïs	Ens. herbe	Ens. maïs	Mixte	Ens. maïs	Mixte	Ens. maïs	Mixte
Caractéristiques des ensilages								
Ens. maïs								
% MS	30,5 (23 - 40)		29,9 (23 - 37)		33,2 (22 - 40)		33,2 (29 - 38)	
% CB	18,7 (16,8 - 22,6)		19,2 (14,8 - 24,5)		21 (18,5 - 24,2)		20,3 (19 - 22,7)	
Ens. herbe								
% MS	27,6 (17 - 57)		25,9 (15 - 42)		29,9 (16 - 53)		31 (21 - 55)	
% CB	28,3 (19 - 33,4)		28,1 (19 - 33,7)		24,8 (21,6 - 28,7)		28,1 (26 - 30)	
% ens. Herbe dans la ration	0	100	0	35,3 (27 - 48)	0	45,2 (37 - 62)	0	44,6 (28 - 49)
Quantités ingérées								
ensilage	13,7	11,6	13,5	12,9	13,1	12,8	13,6	13,4
autres fourrages	0,3	0,5	0,1	0,2				
concentré	2,6	2,8	3,8	3,8	4,2	4,6	3,5	3,8
Ration totale	16,6	14,9	17,4	16,9	17,3	17,4	17,1	17,2
performances								
Lait brut	18,6	18,2	22,9	22,9	22,9	23,5	19,8	19,2
TB	42,1	39,3	40,6	40,6	40,1	38,3	44,9	44,5
TP	31,1	30,1	30,3	30,3	31	30,1	35,2	34,2
Gain de PV (g/j)	160	- 40	60	- 60	- 190	- 150	390	270

3.1.8.1.2. Effets des rations mixtes sur les taux et la reprise du poids

L'effet des rations mixtes (ensilage de maïs et ensilage d'herbe), sur les taux butyreux et protéiques, et sur la reprise de poids, dépend de la famille prairiale, graminées ou légumineuses, utilisée en ensilage (**Tableau 9**).

En comparaison avec une alimentation à base d'ensilage de graminées, le maïs ensilage en ration mixte avec de l'ensilage de graminées, n'apporte qu'une faible amélioration du taux protéique. En revanche, le maïs ensilage en ration mixte avec un ensilage de légumineuses, entraîne des taux, butyreux et protéique, généralement plus faibles que ceux permis par l'ensilage de maïs seul.

L'état corporel des vaches laitières ne s'améliore en général qu'avec des rations d'ensilage de maïs. Les rations mixtes, favorables à la production, ne permettent pas les mêmes reprises de poids.

3.1.8.2. Intégration de l'ensilage de maïs au pâturage

En saison de pâturage, l'intégration de l'ensilage de maïs pour l'alimentation des vaches en production, est dépendante des systèmes d'exploitations et des situations plus ou moins favorables à la mise à l'herbe (**Tableau 10**).

Dans le cas où les vêlages sont synchronisés avec les saisons de pâturage, le rôle du maïs est de mieux valoriser la pâture et ainsi d'améliorer l'ingestion des animaux en début de lactation. Le maïs ensilage doit assurer théoriquement un apport énergétique complémentaire au pâturage, lui-même assurant l'apport protéique, permettant ainsi l'utilisation efficace de l'azote apporté par l'herbe.

Pour une valorisation appropriée des pâturages, et, un maintien, voire une amélioration, de la production laitière à un bon niveau, l'apport du maïs ensilage ne doit pas excéder une proportion de 25 % de la ration totale (Holden *et al.*, 1995). De faibles quantités de maïs apportées favorisent l'ingestion de l'herbe, d'où sa valorisation au niveau de l'exploitation. Ceci est d'autant plus important que l'herbe est de bonne qualité.

En conditions limitant l'apport de l'herbe, le maïs ensilage en complémentarité permet la sécurisation des productions.

3.1.8.2.1. Pâturage de printemps

En période de grande disponibilité fourragère, la priorité passe par l'utilisation des parcours pâturables. Le but est de valoriser l'herbe qui se trouve en grande quantité et dont la qualité est satisfaisante. L'utilisation du maïs ensilage en cette période n'a pas d'influence sur les performances (**Tableau 11**). Cependant l'utilisation du maïs ensilage est pratiquée dans certains systèmes dans le but de maintenir le niveau alimentaire, évitant des changements brusques de l'alimentation de base dans le cas de perturbations climatiques contraignant la présence permanente des vaches sur parcours. Ceci est d'autant plus important que les aléas climatiques interviennent sur de longues périodes.

La distribution de faibles quantités d'ensilage de maïs, au moment où les vêlages sont bien avancés par rapport à la pousse de l'herbe au printemps, favorise l'ingestion de l'herbe.

3.1.8.2.2. Sur pâturages d'automne - été

L'apport du maïs ensilage, en périodes favorables à la pousse de l'herbe, favorise l'ingestion totale des fourrages, mais n'a que peu d'effet sur la production laitière et le taux protéique, mais augmente le taux butyreux.

La condition de la bonne valorisation des fourrages pour le maintien de la régularité de la production laitière consiste en la distribution d'ensilage de maïs au moment du pâturage. Il s'agit de permettre la synchronisation de la digestion énergétique apportée pour sa grande part par le maïs et celle des protéines apportées par le pâturage.

Avec des vêlages qui coïncident avec la période favorable aux pâturages d'été, l'amélioration de l'ingestibilité de l'herbe tient dans l'apport de faibles quantités d'ensilage de maïs, à moins de 4 kg MS (**Tableau 11**). Il s'agit de favoriser l'ingestion afin de permettre des apports énergétiques satisfaisants. Il en est de même en milieu de lactation, où la complémentarité en ensilage de maïs permet l'amélioration de la production laitière sans pour autant modifier les taux. Dans d'autres situations, l'ensilage de maïs apporté en complémentarité au pâturage permet une faible amélioration de la production laitière et une augmentation des taux protéique et butyreux.

Certaines pratiques valorisent le pâturage et tolèrent une baisse de la production laitière par un apport unique d'herbe. La distribution ultérieure en hiver de l'ensilage de maïs

en aliment de base permet une compensation de la production laitière et soutient les performances.

Dans les systèmes où les vêlages sont prévus en périodes défavorables aux pâturages, l'utilisation de l'ensilage de maïs, plutôt que d'autres stocks fourragers, est plus intéressante. Il s'agit dans ce cas d'améliorer l'ingestion de la vache et de l'aider au bon démarrage du cycle productif.

Tableau 11. Effet de l'apport de l'ensilage de maïs en complément du pâturage selon la saison et la quantité d'herbe disponible (Chenais *et al.*, 1996)

Saison	printemps		été -automne				automne	
	pâturage/pât. +Ens. de maïs	pât. + Ens maïs	pât. + Ens. herbe	pât. + Ens. maïs	Herbe	Maïs	pât. +Ens maïs	Ens. maïs
Type comparaison			pât. + Ens. d'herbe/ pât. + Ens maïs (pâturage limité)		Régime pât./ régime à dominante maïs (Vêlages d'été)		Ens. maïs/ pât + Ens. maïs VL en fin de lactation	
Consommation								
Herbe pâturée (%RB)	100				51	15		0
Ens. maïs (kg MS)		4,9		5,2			7,9	13
Ens. herbe (kg MS)			4,2					
Performances								
Lait brut (kg)	20	20,4	20,7	22,2	31,1	31,2	14,5	13,4
TB (g/kg)	37,7	38,9	36,3	36,9	39,2	39,5	44,7	45,1
TP (g/kg)	31,3	31,6	29,3	29,8	29,1	29,2	35,4	34,9

3.1.8.3. Période de tarissement

Une des conditions d'un bon démarrage de la production laitière, est l'assurance d'une bonne alimentation de la vache au cours de la période qui précède le vêlage (Chenais *et al.*, 1996). En cette période, il s'agit de faciliter la reconstitution des réserves corporelles, qui seront en partie mobilisées en cours de production. L'affouragement au pâturage, de bonne qualité et à grande disponibilité, est suffisant pour assurer les besoins au delà de l'entretien des vaches.

La distribution de maïs ensilage, durant la période de tarissement et de gestation, présente l'avantage d'éviter le stress de transition au cours de la lactation. En revanche, les vaches nourries sur pâturage avant le vêlage, doivent subir une période transition de 15 jours au minimum avant celui-ci, pour être ensuite, complètement ou en partie, alimentées à l'ensilage de maïs durant la période productive.

Au cours de la période de tarissement des vaches laitières, alimentées à l'ensilage de maïs, le rationnement doit être rigoureux afin d'éviter leur engraissement excessif. Cependant, au niveau de l'exploitation, les vaches laitières se trouvent prioritaires quant à l'utilisation de l'ensilage de maïs. Les vaches tarées se contentent largement d'un apport d'ensilage d'herbe ou d'herbe sur prairies, à condition d'être convenablement complémentées.

3.2. *Utilisation et valorisation de l'ensilage de maïs dans les ateliers d'engraissement*

3.2.1. Capacité d'ingestion et influence sur les performances

La quantité d'énergie assimilable par les taurillons est conditionnée par la quantité de fourrage ingéré. Indépendamment des capacités d'ingestion caractéristiques des races (Van Nespen *et al.*, 1997), l'ingestion est aussi liée au type de fourrage considéré. Dans le cas du maïs ensilage, les quantités ingérées dépendent de certains paramètres : teneur en MS, finesse de hachage, qualité de conservation...

Les quantités ingérées des animaux en croissance baissent au cours de l'évolution de leur poids. Cette baisse est d'autant plus importante que la teneur en matière sèche est élevée (entre 32 et 35 % MS) (Malterre, 1976).

Les gains de poids sont davantage remarquables pour des teneurs en MS comprises entre 25 et 30 %, alors qu'elles sont moins importantes entre 30 et 35 %. L'amélioration de la vitesse de croissance entre ces deux plages de valeurs de MS sont respectivement de l'ordre de +56 g/j et +14 g/j. En conséquence, le maïs est mieux ingéré et mieux valorisé pour des teneurs en matière sèche ne dépassant pas 30 %.

Le maïs ensilage est d'autant plus consommé qu'il est plus finement haché, et que la conservation s'est convenablement effectuée. Par contre le hachage trop fin, n'apporte pas une amélioration des performances (**Tableau 12**).

Les quantités de fourrages ingérées sont également déterminées par le niveau de complémentation (effet de substitution concentré/fourrage). Ce rôle est d'autant plus important que l'apport du concentré est grand.

Tableau 12. Influence de la finesse de hachage et de l'éclatement des grains de l'ensilage de maïs (39,6 % MS, 48 % de grains) sur la quantité ingérée et les performances des taurillons (d'après Raymond et Al, 1990) (source : Demarquilly, 1994).

Hachage	Normal (6 mm)		Insuffisant (13 mm)	
	avec	sans	avec	sans
Eclateur de grains				
Proportion de brins < 1 cm (%)	84	79	79	66
Grains intacts en % des grains totaux	1,4	21,9	1,6	22,1
Quantités ingérées totales (kg MS) ensilage + 1 kg concentré	7,06	7,04	6,94	6,97
Gain de poids vif (g/j)	1179	1197	1204	1128

3.2.2. Complémentation azotée

L'apport d'azote non protéique en complémentation de l'ensilage de maïs devrait suffir. Ceci est dû au fait que le maïs ensilage par sa bonne valeur énergétique, permet une bonne utilisation de l'azote. Dans le cas des animaux qui se caractérisent par des développements plus importants de la musculature (races à viande), l'utilisation des tourteaux paraît plus judicieux. L'apport en protéines indispensables pour les micro-organismes du rumen, permet de meilleurs croissances.

Les recommandations en MAT sont de l'ordre de 12 à 14 % MS de la ration totale. De plus l'apport suffisant en matière azotées, permet l'accroissement des quantités ingérées de maïs.

3.2.3. Complémentation énergétique

Le maïs ensilage est mieux ingéré lors d'apports de moindres quantités de compléments énergétiques. Il s'agit de limiter les effets de substitution du maïs ensilage par des apports trop élevés en concentrés. Les apports énergétiques supplémentaires sont d'autant moins importants que le maïs est riche en amidon (**Tableau 13**).

Tableau 13. Correction de maïs ensilage pauvre en grains (source : AGPM, 1991).

Amidon (% MS)	Grain (%)	Valeur UFV/kg MS	Correction en céréales (kg/animal/jour)	
			150 - 300 kg	300 kg à l'abattage
30	45	0,8 - 0,82	0	0
24	38	0,79	0,4	0,5
20	33	0,76	0,6	1,0
16	28	0,74	1,0	1,5
13	23	0,72	1,3	2,0
<13	<20	<0,7	1,3	2,0

3.2.4. Complémentation du maïs ensilage au blé

L'utilisation de l'ensilage de maïs en complément avec 2,5 kg de blé pour des taurillons issus de troupeaux laitiers (**Tableau 14**), et avec 4 kg dans le cas de taurillons de races à viande (**Tableau 15**), paraît favorable (Mourier *et al.*, 1996). Il s'agit de limiter légèrement le gain de poids vif. Ceci se traduit par un engraissement sur une durée optimale, avec cependant une meilleure qualité carcasse sans excès de gras. De plus une complémentation en blé, conduit à réduire les quantités de maïs ensilage à distribuer. Cette réduction permet son utilisation sur une plus grande période. Le blé par sa teneur en azote entraîne une réduction des quantités de correcteurs azotés.

De plus, pour les races à viande, l'utilisation du maïs ensilage complémenté avec 4 kg de blé, permet des performances comparables à la consommation à volonté de blé et de paille. Cette pratique permet une réduction de la période d'engraissement de quelques jours et un rendement carcasse légèrement amélioré.

Tableau 14. Bilans de production de taurillons croisés (Charolais x Holstein) avec trois niveaux d'utilisation du blé en complémentation au maïs. (source : Mourier *et al.*, 1996)

Apport de blé (kg/j) à partir du poids vif de 150 kg	0,5	1,5	2,5
poids de carcasse (kg)	385	375	365
rendement en carcasse (%)	55,8	56	56,2
poids vif au début (kg)	60	60	60
poids vif à l'abattage (kg)	690	670	650
durée d'engraissement (j)	575	535	500
croissance moyenne (g/kg)	1095	1140	1180
Quantités d'aliments par animal			
aliment d'allaitement (kg)	40	40	40
Granulés 1 ^{er} âge (kg)	50	50	50
foin (kg)	20	20	20
maïs ensilé (kg MS)	2815	2325	1935
blé (kg)	295	705	1035
tourteau de soja (kg)	470	435	370
C.M.V. (kg)	82	74	72

Tableau 15. Bilans de production : jeunes bovins charolais avec ensilage de maïs et trois niveaux d'emploi de blé. (source : Mourier *et al.*, 1996)

Apport de blé (kg/j)	0,5	2	4
Apport de tourteau de soja (kg/j)	1,2	1,1	1
poids de carcasse (kg)	420	410	400
Rendement en carcasse (%)	58,3	58,6	58,8
poids au début (kg)	300	300	300
poids à l'abattage (kg)	720	700	680
Durée (j)	330	300	265
croissance (g/j)	1270	1340	1430
quantités d'aliments par animal			
ensilage de maïs (kg MS)	2185	1640	1140
blé (kg brut)	165	575	955
tourteau de soja (kg brut)	395	325	265
C.M.V. (kg brut)	63	57	55

CONCLUSION

La possibilité d'intégration de la culture de maïs au niveau de l'exploitation tient essentiellement aux conditions du milieu et aux exigences de la culture. L'utilisation du maïs en ensilage de la plante entière pour l'alimentation des bovins est une pratique très répandue. Il s'agit de constituer des stocks fourragers, de bonne valeur alimentaire. Il a également été souligné la possibilité de prévision de cette valeur, grâce à la mesure de la teneur en différents éléments nutritifs et à l'application d'équations.

En outre, cette pratique tient à la réussite de la culture dans de bonnes conditions mais aussi au respect des bonnes pratiques de mise en place de la conservation.

Enfin, le niveau d'intégration de l'ensilage de maïs dans les systèmes alimentaires des élevages laitiers dépend de plusieurs facteurs : les saisons, les niveaux productifs des animaux, les systèmes alimentaires habituels et la valorisation d'autres ressources fourragères. Dans les ateliers d'engraissement des taurillons, l'utilisation du maïs ensilage dépend des objectifs des croissances et de la qualité de la carcasse recherchée.

L'intégration du maïs ensilage dans les systèmes alimentaires des élevages permet donc l'assurance d'une certaine autonomie des exploitations en stocks fourragers de bonne qualité, quel que soit le type d'élevage. Cependant, la qualité de ce fourrage est davantage mise en évidence dans les élevages à haut potentiel productif, où le choix de la variété est primordial puisqu'il doit permettre d'adapter la culture à la situation géographique tout en permettant l'assurance des rendements.

Liste des références bibliographiques

- AGPM, 1981. Encyclopédie pratique du maïs.
- AGPM, 1991. Le maïs ensilage. 35p.
- Andrieu J.P., 1995. Prévion de la digestibilité et de la valeur énergétique du maïs fourrage à l'état frais. *INRA Productions animales*, **8** (4) : 273-274
- Andrieu J.P., Demarquilly C., 1974. Valeur alimentaire du maïs fourrage. *Annales zootechniques*, **23** (1) : 1-25
- Andrieu J.P., Aufrère J., 1996. Prévion à partir de différentes méthodes (physique, chimique et biologiques) de la digestibilité et de la valeur énergétique de la plante de maïs à l'état frais. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p. 61-69.
- Andrieu J.P., Demarquilly C., Dardenne P., Barrière Y., Lila M., Maupetit P., Rivière F., Fermanias N., 1993. Composition and nutritive value of whole maize plants feed fresh to sheep. I. Factors of variation. *Annales zootechniques*, **42** : 221-249
- Argillier O., Barrière Y., 1996. Valeur alimentaire et inscription des variétés de maïs ensilage aux catalogues officiels en Europe. *Fourrages*, **146** : 131-140
- Bal M.A., Coors J.G., Shaver D., 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science*, **80** : 2497-2503
- Barloy J., 1984a. Phase germination, levée et implantation. *In* : Physiologie du maïs. INRA, p. 13-48
- Barloy J., 1984b. Biologie de l'élaboration du rendement. *In* : Physiologie du maïs. INRA, p. 163-180
- Barrière Y., 1997. Le maïs de demain, un maïs spécifique pour nourrir les ruminants. *Fourrages*, **150** : 171-189
- Benoist V., 1989. Maïs ensilage : 24h pour réussir. *Cultivar 2000*, **248**, 77p
- Berger J., 1962. Maïze production and manuring of maïze. Zurich, Suisse, Centre d'Etude de l'Azote , 315p.
- Boyat A., Ramdoyal K., Kaan F., and Panouille A., 1984. Densité de peuplement et prolificité en épis. *In* : Physiologie du maïs. INRA, p199-204
- Cabon G., 1996. Diversité des évolutions de composition chimique du maïs dans les semaines précédant la récolte indicateurs du stade physiologique. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p. 43-50
- Cailliez B., 1999. Valeur alimentaire, une note pour chaque variété. *Cultivar*, **Hors-série, janvier 1999** : 20-25

- Castillon P., 1996. La fertilisation azotée assurée, comment gérer la fertilisation phosphorique et potassique du maïs ensilage. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p. 413-414
- Chenais F., Le Gall A., Legarto J., Kerouanton J., 1996. Place du maïs ensilage dans le système d'alimentation laitier. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p. 123-136
- Dardenne P. and Agneessens R., 1996. Détermination de la valeur nutritive du maïs ensilage par spectrométrie dans le proche infrarouge. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p. 51-60
- Demarquilly C. 1983. Conservation et utilisation des fourrages : incidences pathologiques. Académie d'agriculture de France (extrait du procès verbal de la séance du 5 octobre 1983), 993-1012
- Demarquilly C. 1987. Conservation des fourrages. *In* : Séminaire Régional sur les Fourrages et l'Alimentation des Ruminants, N'Gaoundéré, Cameroun, 16-20 novembre 1987. I.R.Z. / I.E.M.V.T., p601-621
- Demarquilly C., 1994. Facteurs de variation de la valeur nutritive du maïs ensilage. *INRA productions animales*, 7 (3): 177-189
- Demarquilly C. and Andrieu J. P., 1988. Les fourrages. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, 16, 315-344
- Demarquilly C., Andrieu J. P., 1996. Quelques rappels sur les mesures effectuées pour connaître la valeur nutritive des ensilages de maïs. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p23-33
- Demarquilly C., Dulphy J.P., Andrieu J.P., 1998. Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage. *Fourrages*, 155 : 349-369
- Dulphy J.P., 1984. La technique de l'ensilage. *Plasticulture*, 63 : 2-14
- Emile J. C., Barrière Y., Traineau R., 1996. Effets de la teneur en grain sur la valeur énergétique et les productions laitières. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p375-376
- Grand C., Grenet E., Besle J.M., 1996. La lignification : un processus modulable en relation avec l'amélioration de la digestibilité. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p347-354
- Harrison J.H., Blauwieke R., 1994. Fermentation and utilization of grass silage. *Journal of Dairy Science*, 77 : 3209-3235
- Hart J.M., Marx E.S., Christensen N.W., Moore J.A., 1997. Nutrient management strategies. *Journal of Dairy Science*, 80 : 2659-2666
- Hébert Y., Argillier O., and Barrière Y., 1996. Tolérance à la verse en végétation et caractéristiques de la valeur alimentaire chez le maïs fourrage. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p355-362

Holden L.A., Muller L.D., Lykos T., Cassidy T.W., 1995. Effect of corn silage supplementation on intake and milk production in cows grazing grass pasture. *Journal of Dairy science*, **78** (1) : 154-160

INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. R.Jarrige Ed., 1988. INRA, Paris, 471p.

Institut de l'élevage, 1998. La place de l'ensilage maïs dans les systèmes fourragers laitiers. Institut de l'élevage, 55p.

Malterre C., 1976. Utilisation du maïs sous différentes formes pour la production de viande de jeunes bovins. *Bulletin technique C.R.Z.V.Theix - I.N.R.A.*, **24** : 63-74

Mayombo A.P., Dufrasne I., Hornick J.L., Diez M., Istasse L., 1997. Influence du stade de maturité de la plante de maïs récoltée pour ensilage sur la composition, la digestibilité apparente, les caractéristiques de fermentation dans le rumen et les performances zootechniques chez le taurillon à l'engraissement. *Annales zootechniques*, **46** : 43-55

Mourier C., Cadot M., Institut de l'élevage, 1996. Place du maïs ensilé et du blé dans l'alimentation des jeunes bovins. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p.47-164

Ndikumanal L., Lumpungu K., 1987. Effets du fractionnement de l'azote uréique en présence de phosphore et de potassium sur la culture du maïs. *Tropicultura*, **5** (1): 7-10

Parrassin P.R., Hoden A., Journet M., Bazard C., Faivre P., Marquis B., 1979. Utilisation comparée des ensilages d'herbe et des ensilages de maïs par les vaches laitières. *Bulletin technique C.R.Z.V.Theix - I.N.R.A.*, **38** : 35-42

Peyraud J.L., Le Liboux S., Vérité R., 1997. Effet du niveau et de la nature de l'azote dégradable sur la digestion ruminale d'un régime à base d'ensilage de maïs chez la vache laitière. *Reproduction, Nutrition, Développement*, **37** : 313-328

Rouanet G., 1984. Le maïs. Paris, Maisonneuve et Larose, 142p. (coll. Le technicien d'agriculture tropicale 2)

Sampoux J. P., Veron P., 1996. Possibilité de sélection conjointe pour la digestibilité in vitro, le rendement en plante entière, et la précocité d'ensilage du maïs. *In* : Colloque maïs ensilage, Nantes, 17-18 septembre 1996. AGPM, p309-317

Subreville G., 1986. La culture du maïs. ENSA / Abidjan, 44p.

Valentin S., Cateland B., Barrière Y., 1997. *In* : Quatrième Rencontres, Recherches, Ruminants, Paris, 4-5 décembre 1997. Institut de l'élevage, **4** : 95

Van Nespen L., Maitre P., Paruelle J.L., 1997. Niveaux d'ingestion et efficacité des apports énergétiques des taurillons à l'engrais recevant une ration à base d'ensilage de maïs. *In* : Quatrième Rencontres, Recherches, Ruminants, Paris, 4-5 décembre 1997. Institut de l'élevage, **4** : 79-82