

**BONNES PRATIQUES DE
FABRICATION DE L'ENSILAGE
POUR UNE MEILLEURE MAÎTRISE DES RISQUES SANITAIRES**

27-31, avenue du
Général Leclerc
BP 19, 94701
Maisons-Alfort cedex
Tel 01 49 77 13 50
Fax 01 49 77 90 05
www.afssa.fr

Janvier 2004

L'ensilage est une technique de conservation des fourrages largement répandue dans notre pays. Si sa réalisation conduit très généralement à un produit fini d'excellente qualité, la complexité des mécanismes biochimiques et de la cinétique bactérienne qui conduisent à un fourrage stable et de bonne conservation, ne doit pas faire oublier l'existence de possibles répercussions sanitaires à la fois pour l'animal et pour l'homme.

Les conclusions du rapport Alimentation animale et sécurité sanitaire des aliments, publié par l'AFSSA en juillet 2000, avaient souligné le souhait de développer des bases scientifiques pour l'établissement de guides de bonnes pratiques pour la fabrication et l'utilisation de l'ensilage.

Le présent document, rédigé à l'initiative du Comité d'Experts Spécialisé Alimentation animale par un collège d'experts venant d'horizons très divers (INRA, instituts techniques, administration, écoles vétérinaires) a essentiellement une finalité pédagogique. Il se veut explicatif sur tous les aspects techniques qui président à la réalisation de l'ensilage, et informatif sur les précautions à prendre et les risques à maîtriser.

Chacune des six parties qui composent ce document peut être parcourue indépendamment des autres, ce qui explique que certains points soient évoqués plusieurs fois, mais pas nécessairement sous le même angle de vue.

L'essentiel du document se réfère à l'ensilage des fourrages verts : l'évolution du fourrage ensilé est abordé en premier lieu, puis l'orientation des processus fermentaires avec une place particulière pour les agents d'ensilage. Tous les aspects de la mise en œuvre du chantier d'ensilage sont ensuite abordés. L'appréciation de la qualité finale du produit clôt l'étude des fourrages ensilés. Une place relativement importante a été réservée aux ensilages des co-produits humides qui, certes, n'ont pas le poids économique des ensilages de fourrages verts, mais dont l'intérêt est essentiel en période de déficit fourrager, et pour lesquels la collecte des informations est plus délicate du fait de sa dispersion. Une attention particulière a été portée pour fournir quelques réponses à des situations pratiques parfois inattendues.

Cette synthèse se termine par des recommandations résumant les points critiques essentiels qu'il convient de bien mémoriser pour une meilleure maîtrise des risques.

Bernard-Marie PARAGON

Composition du Groupe de travail

Président du groupe de travail :

Monsieur Bernard Marie PARAGON
Ecole vétérinaire d'Alfort

Membres du groupe de travail :

Monsieur Jean-Paul ANDRIEU
INRA de Clermont - Theix

Monsieur Philippe BRUNSCHWIG
Institut de l'Elevage

Monsieur François GAILLARD
CEMAGREF

Monsieur Daniel GRIESS
Ecole vétérinaire de Toulouse

Monsieur Vincent HEUCHEL
Institut de l'Elevage

Monsieur Bernard PIRIOU
Direction Départementale et Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

Monsieur Philippe WEISS
Institut technique des céréales et fourrages

Secrétariat scientifique :

Madame Sandrine VALENTIN
Agence française de sécurité sanitaire des aliments

Que les participants de ce groupe de travail soient remerciés pour la disponibilité et la compétence dont chacun a pu faire preuve.

Introduction	7
1 Définition	7
2 Importance en France	7
3 Justification de ce travail	7
4 Limites de ce travail	8
Evolution d'un fourrage ensilé.....	9
1 Activité enzymatique : phase initiale	9
2 Activité bactérienne : phase fermentaire	11
2.1 Entérobactéries : fermentation acétique	11
2.2 Bactéries lactiques : fermentation lactique	11
2.3 Bactéries butyriques : fermentation butyrique.....	12
3 Activité fongique : phase post-fermentaire	12
3.1 Moisissures	12
3.2 Levures	13
Orientation des processus fermentaires.....	14
1 Pourquoi et comment éviter la présence d'oxygène et maintenir l'anaérobiose ?	14
1.1 Conséquences de la présence d'air sur la conservation des fourrages	14
1.2 Comment limiter la présence et la circulation d'air ?	14
2 Pourquoi et comment contrôler la teneur en matière sèche ?	15
3 Quelle valeur d'acidification rechercher ?	20
3.1 pH de stabilité.....	20
3.2 Vitesse d'acidification	21
3.3 Facteurs favorables à l'acidification	22
4 Maîtrise de l'acidification par l'usage des agents d'ensilage	25
4.1 Agents chimiques	25
4.2 Agents microbiologiques	26
4.3 Substrats sucrés ajoutés	27
4.4 Substrats sucrés néoformés par action enzymatique	28
Mise en œuvre	30
1 Etat de la parcelle	30
2 Critères de choix du fourrage et de la date de récolte	30
3 Matériel d'exploitation	31
3.1 Fauche du fourrage	31
3.2 Fanage et andainage	32
3.3 Récolte	32
3.4 Stockage	33
3.5 Désilage et distribution	38
4 Techniques d'ensilage : direct avec ou sans conservateurs, après ressuyage ou préfanage	40
5 Devenir des effluents	40
5.1 Une production variable	40
5.2 Un effluent concentré et polluant	41
5.3 La maîtrise des jus d'ensilage.....	41
Appréciation de la qualité du produit fini	45
1 Valeur nutritive : comparaison avec le produit de départ (pertes et gains)	45
1.1 Composition chimique et valeur énergétique des fourrages conservés	45
1.2 Valeur azotée des fourrages conservés	46
1.3 Ingestibilité des fourrages conservés.....	46
1.4 Evolution des constituants minéraux majeurs dans les fourrages conservés	47
2 Caractéristiques organoleptiques et qualité de conservation.....	48

2.1	Caractéristiques organoleptiques	48
2.2	Qualité de conservation	48
3	Ingestibilité et granulométrie.....	51
4	Sécurité sanitaire : germes et moisissures indésirables.....	53
4.1	Contamination des fourrages par <i>Listeria monocytogenes</i>	53
4.2	Contamination des fourrages par les germes butyriques	56
4.3	La contamination des fourrages par les levures et les moisissures	56
4.4	Prévention du risque fongique	58
4.5	Contamination des fourrages par les STEC	59
Ensilages de coproduits humides		61
1	Pulpe surpressée de betterave.....	63
1.1	Caractéristiques de la pulpe.....	63
1.2	Ensilage de la pulpe surpressée	64
2	Drêches de brasserie.....	66
2.1	Caractéristiques des drêches.....	66
2.2	Conservation des drêches de brasserie par ensilage.....	67
3	Coproduits de la pomme de terre	67
3.1	Tubercules	67
3.2	Coproduits de l'industrie de la pomme de terre	68
4	Les fruits et légumes.....	72
4.1	Les fruits et légumes en l'état.....	72
4.2	Les coproduits de la conserverie	73
5	Coproduits d'origines diverses.....	74
5.1	Maïs doux ensilé	74
5.2	Racines d'endives	75
5.3	Pulpe de tomate	75
6	Quelques coproduits également utilisables	76
7	Maïs grain humide	77
8	Blé ensilé humide	77
Cas pratiques et questions/réponses		78
Recommandations		81
1	La préparation de l'ensilage.....	81
2	La récolte du fourrage.....	81
3	Le stockage du fourrage	82
4	La distribution de l'ensilage	83
Références bibliographiques		85
Lexique		88
Annexes		91

Tableau 1 : Evolution enzymatique et microbiologique d'un fourrage vert ensilé	10
Tableau 2 : Teneur en matière sèche du fourrage vert sur pied en fonction du stade physiologique au 1 ^{er} cycle de végétation (INRA, 1978).....	15
Tableau 3 : Valeurs de pH de stabilité de la masse du fourrage en fonction de la teneur en matière sèche	20
Tableau 4 : Teneur en glucides solubles et pouvoir tampon des principaux fourrages (complété d'après Demarquilly, 1986).....	23
Tableau 5 : Effet du niveau d'incorporation de l'acide formique sur la composition des ensilages de ray grass – trèfle après 50 jours de conservation (Mc Donald et al., 1991).....	25
Tableau 6 : Qualité de conservation des ensilages de ray-grass avec les agents microbiologiques homologués (MH) en comparaison des ensilages témoin (sans agent –SA, et avec acide formique – AF) et en fonction de la teneur en glucides solubles à la récolte (Andrieu, 1998).....	27
Tableau 7 : Quantité de mélasse de betteraves à apporter suivant la teneur en glucides solubles du fourrage pour ramener son taux de glucides solubles à 11-12 % et ne pas pénaliser le développement des bactéries lactiques inoculées (fourrage à 20 % de MS) (Andrieu J. P., communication personnelle)	27
Tableau 8 : Type d'agents d'ensilage nécessaires pour améliorer les fermentations (Andrieu, communication personnelle).....	28
Tableau 9 : Caractéristiques de films utilisés pour les ensilages en balles.....	35
Tableau 10 : Repères de densité des ensilages par fourrage selon sa teneur en MS (en kg de MS / m ³)	38
Tableau 11 : les différentes techniques d'ensilage d'herbe (conditions de récolte, contraintes) (JP Andrieu, communication personnelle)	40
Tableau 12 : Modifications relatives de la composition chimique, de la digestibilité de la matière organique et de la valeur UFL des fourrages conservés par rapport au fourrage vert (INRA, 1981) ...	45
Tableau 13 : Valeur protéique d'un fourrage récolté.....	46
Tableau 14 : Modifications possibles de la composition minérale suivant les conditions de récolte en ensilage et en foin par rapport aux fourrages verts correspondants (en %, INRA 1981).....	47
Tableau 15 : Barème INRA d'appréciation de la qualité de conservation des ensilages (1988).....	49
Tableau 16 : Qualité des fourrages pressés enrubannés et teneur en MS (moyenne de 180 analyses, CEMAGREF-Institut de l'Elevage-INRA-ITCF, 1993).....	50
Tableau 17 : Caractéristiques de croissance de <i>Listeria monocytogenes</i> (Brackett, 1988 ; Larpent, 1995 ; Lou et Yousef, 1999).....	54
Tableau 18 : Qualité de conservation de l'ensilage et risque de contamination du lait par <i>Listeria monocytogenes</i> (Sanaa et al., 1993)	54
Tableau 19 : Les bonnes pratiques pour la prévention des risques de contamination bactérienne des ensilages.....	55
Tableau 20 : Fréquence de contamination de différents fourrages par <i>Listeria monocytogenes</i>	56
Tableau 21 : Quantités de coproduits disponibles pour l'alimentation animale en 2000.....	62
Tableau 22 : Composition chimique de la pulpe surpressée à la sortie de l'usine (n=522)	64
Tableau 23 : Caractéristiques fermentaires de la zone centrale de 47 silos issus de 6 usines	65
Tableau 24 : Composition chimique des drêches fraîches surpressées	66
Tableau 25 : Caractéristiques de conservation de l'ensilage de drêches surpressées (n=5)	67
Tableau 26 : Composition chimique des tubercules de pomme de terre (n=10).....	68
Tableau 27 : Caractéristiques de conservation des coproduits de la pomme de terre	70

Tableau 28 : Caractéristiques de conservation de l'ensilage de coproduits de conserverie.....	73
Tableau 29 : Composition chimique et qualité de conservation de l'ensilage de maïs doux ensilé (n=28)	74
Tableau 30 : Composition chimique moyenne des racines d'endives (n=10)	75
Tableau 31 : Composition chimique moyenne de la pulpe de tomate (n=15)	76
Figure 1 : Différentes étapes d'évolution d'un ensilage (d'après Pitt et Sniffen, 1985).....	13
Figure 2 : Cinétiques de dessiccation d'une plante en conditions maîtrisées : cas du ray-grass italien sous un flux d'air à 20°C, 50 % d'humidité relative et une vitesse de 1 m par seconde (d'après Jones, 1979).....	17
Figure 3 : Objectifs des teneurs en matière sèche repères en fonction de la technique d'ensilage retenue.....	18
Figure 4 : Relation entre la teneur en matière sèche et la quantité des produits de fermentation dans les ensilages d'herbe (acide lactique + AGV + alcools) (JP Andrieu, communication personnelle)	19
Figure 5 : Evolution des principaux phénomènes se produisant dans le fourrage vert mis en silo en fonction du pH (d'après Virtanen, 1949).....	21
Figure 6 : Cinétique de l'acidification dans un ensilage direct selon la nature du fourrage vert de départ et/ou les conditions de préparation (Demarquilly, 1986)	22
Figure 7 : Appréciation de l'aptitude à ensiler des fourrages en fonction du rapport entre la teneur en glucides solubles et le pouvoir tampon et la teneur en MS du fourrage (Weissbach et <i>al.</i> , 1973)	23
Figure 8 : Aptitude à l'ensilage des fourrages en fonction de leur teneur en sucres et de leur pouvoir tampon.....	24
Figure 9 : Production par hectare d'UFL et de PDI en fonction de l'âge de la plante (P. permanente. 1 ^{er} cycle – Orcival 1000 m) (INRA, 1978).....	31
Figure 10 : Effet de la teneur en matière sèche du fourrage récolté sur la production d'effluents (L. t ⁻¹ d'après Mc Donald P. et <i>al.</i> , 1991) – (% MS récoltée, Dulphy et Andrieu, 1976).....	41
Figure 11 : Modifications quantitatives et qualitatives au sein du fourrage vert pendant la conservation par ensilage : exemple du maïs.....	46
Figure 12 : Influence de la conservation, du stade de récolte par ensilage du dactyle 1 ^{er} Cycle sur l'ingestibilité par une vache laitière de 600 kg produisant 25 kg de lait (INRA, 1988).....	47
Figure 13 : Ingestibilité relative d'ensilages d'herbe par des vaches laitières (Demarquilly et <i>al.</i> , 1998)	52

L'ensilage est une technique de conservation des fourrages par tassement et fermentation acide. Connue depuis l'antiquité, remise à l'honneur en France à la fin du XIX^{ème} siècle, largement développée par les Scandinaves et les Américains du Nord, cette technique de conservation a connu un essor significatif dans notre pays dès la fin des années 60 associé à celui du machinisme agricole et au développement de la culture du maïs. La conservation de l'herbe par ensilage s'est développée en accompagnement de l'intensification et de la rationalisation de la production fourragère.

La libre disposition d'une base fourragère permanente est une priorité physiologique pour les ruminants, consommateurs prioritaires de fourrages, et une priorité économique pour l'éleveur, les fourrages verts fournissant l'apport énergétique et azoté le moins coûteux.

Dans le contexte climatique français, la cyclicité de la pousse de l'herbe induit deux périodes de manque : un déficit parfois conséquent en période estivale, mais surtout un arrêt plus ou moins long de la pousse en période hivernale selon la région agricole. Il existe donc un besoin incontournable de constitution de stocks fourragers. La gestion de ce déficit hivernal de fourrages verts a conduit traditionnellement l'éleveur à faire appel à la conservation des excédents printaniers par dessiccation (fanage). Cependant, les aléas climatiques et les contraintes techniques de ce système fourrager constituent des limites sérieuses à la gestion raisonnée des apports. L'ensilage des fourrages constitue une réponse à la fois fiable et économique permettant d'optimiser la gestion annuelle de la production fourragère.

1 Définition

Le terme "ensilage" désigne tout à la fois :

- La technique de conservation des aliments par acidification anaérobie contrôlée.

Ensilage : technique de conservation par voie humide, faisant appel à l'anaérobiose et à une fermentation acidifiante à dominante lactique afin de minimiser les pertes de matière sèche, de valeur alimentaire et d'éviter le développement de micro-organismes indésirables.

Les fourrages verts (herbe, maïs plante entière, céréales immatures) ou coproduits humides issus des industries agroalimentaires et des cultures (pulpes de betterave, déchets de conserverie de légumes, retraits...) peuvent ainsi être conservés durablement,

- Le produit fini, stabilisé grâce à un pH acide et variablement conditionné (silo taupinière, silo couloir, silo boudin ou balles enrubannées).

2 Importance en France

Du fait de sa facilité exceptionnelle à être ensilé, le maïs plante entière, appelé aussi maïs fourrage, est et demeure la principale source française de fourrages conservés pour les ruminants. Environ 1,4 million d'hectares en culture de maïs fourrager, soit 17,5 millions de tonnes de matière sèche, sont disponibles pour l'affouragement hivernal et estival des troupeaux (campagne 1999-2000 - source SCEES). Plus de 80 % des vaches laitières en consomment pendant toute ou partie de l'année.

Les estimations relatives aux fourrages verts sont plus approximatives. Il existe 7 millions d'hectares de prairies permanentes et 2,3 millions d'hectares de prairies temporaires. Il est possible d'estimer qu'entre 10 à 15 % de la production totale d'herbe est valorisée sous forme d'ensilage ce qui représente près de 2,5 millions de tonnes de matière sèche de fourrages verts.

3 Justification de ce travail

Pour tout aliment résultant d'un processus complexe d'élaboration, la qualité du produit fini est tributaire du strict respect de la méthodologie mise en œuvre. Ceci est particulièrement vrai pour l'ensilage, aliment fourrager, résultat d'un processus fermentaire complexe conduisant normalement à l'obtention d'un produit fini sain et de valeur nutritionnelle voisine du fourrage initial, mais pouvant conduire accidentellement à un produit de valeur nutritive résiduelle mauvaise à médiocre et/ou

vecteur d'un risque sanitaire, toxique ou infectieux. C'est la prise en compte de ce risque sanitaire qui a conduit le Comité d'Experts Spécialisé Alimentation Animale lors de la réunion du 18 septembre 2001 à créer un groupe de travail devant faire le point sur la réalité de ce risque et les modalités de son contrôle en rédigeant un guide des « Bonnes pratiques de fabrication de l'ensilage pour une meilleure maîtrise des risques sanitaires ».

A condition de produire et de récolter un fourrage de qualité, la réalisation d'un ensilage correct passe d'abord par la connaissance des processus biochimiques et microbiologiques qui dirigent la fermentation, et ensuite par la maîtrise des processus fermentaires dans le sens favorable à la bonne conservation du produit fini. Cette connaissance préalable constitue le point de départ de ce document. Cela conduit logiquement à la mise au point d'une technique précise dont les points forts seront ensuite rappelés. Le suivi rigoureux de sa mise en œuvre concerne tout aussi bien le choix et la sélection des fourrages, le choix du matériel, le recours éventuel aux conservateurs, la maîtrise des effluents. Seul le respect de règles strictes peut garantir la qualité nutritionnelle et sanitaire du produit fini tout comme sa bonne adaptation aux exigences des animaux en production. Ce dernier aspect clôturera cette synthèse.

4 Limites de ce travail

L'objectif de ce guide est d'identifier, à partir des données accumulées et de l'expérience acquise, les informations pertinentes en matière de maîtrise des risques potentiels.

Ce guide n'a pas vocation à constituer un recueil exhaustif regroupant toutes les informations disponibles dans la littérature relative aux modalités de réalisation, à la valeur alimentaire et à la valorisation zootechnique des ensilages.

Evolution d'un fourrage ensilé

Lorsque l'on entasse un fourrage vert fraîchement coupé, on observe naturellement 3 phénomènes plus ou moins marqués :

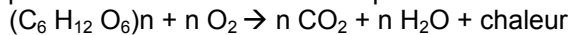
- une élévation de la température,
- un tassement,
- un écoulement de jus.

Ces modifications traduisent l'évolution biochimique et bactérienne du fourrage ainsi traité (Tableau 1) et sont dues à l'activité enzymatique des cellules végétales et celle des bactéries.

1 Activité enzymatique : phase initiale

Les cellules du tissu végétal encore intact continuent à développer leur activité métabolique et à respirer aussi longtemps qu'elles disposent de l'oxygène retenu dans la masse du fourrage et que la teneur en eau est suffisante.

Les réactions d'hydrolyse constituent l'étape première de l'évolution du fourrage. Elles concernent principalement les glucides de réserve, mais épargnent l'essentiel de l'amidon. Les glucides simples disponibles (glucose et fructose) vont constituer un combustible de choix pour les réactions de respiration selon le modèle classique :



Le dégagement de chaleur et l'épuisement de l'oxygène entraînent une désorganisation cellulaire avec éclatement des lysosomes (vésicules intra cellulaires riches en hydrolases).

Les réactions de protéolyse se développent alors, transformant les protéines en peptides, puis en acides aminés eux-mêmes susceptibles de subir une désamination (libération d'ammoniac). Le taux d'azote soluble peut ainsi doubler en quelques heures. La mort de la cellule va intervenir progressivement et altère la perméabilité sélective des membranes. Une partie du contenu des cellules peut ainsi s'écouler et accroître les pertes de matière sèche contenue dans les jus.

La combustion précoce des sucres intervient donc au détriment du développement de la fermentation lactique anaérobie, principal moteur de l'acidification du fourrage.

Dans la masse fourragère ainsi transformée et de façon synchrone, les micro-organismes vont entrer en action selon leurs possibilités de développement et les caractéristiques du milieu, la compétition entre organismes jouant pleinement.

Tableau 1 : Evolution enzymatique et microbiologique d'un fourrage vert ensilé

Phase et ferments mis en jeu	Conditions de développement				Substrats attaqués et résultats
	pH	Temp.	H ₂ O	O ₂	
✖ Enzymatique Hydrolyse des glucides Respiration Protéolyse	> 3 >4	20-30 °C	+++	+++	Glucides solubles → glucose, fructose glucose, fructose + O ₂ → eau + CO ₂ + chaleur protéines → acides aminés
✖ Fermentaire ACETIQUE 1.Coliformes 24-48h 2.Streptocoques 48-72h <i>Leuconostoc</i> LACTIQUE Lactobacillus 3°-5°j homofermentaire : <i>L. plantarum</i> hétérofermentaire : <i>L. brevis</i> BUTYRIQUE (sporulés) <i>Clostridium butyricum</i> <i>Clostridium tyrobutyricum</i> <i>Clostridium sporogenes</i>	> 5,5 opt 6,5 < 5 opt. 4 > 4 > 5	20-40 °C 10-50 °C 20-40 °C 20 °C	+++ +/- +++ +++	+/- -- - -	Glucides solubles → ac. acétique + alcool + CO ₂ Glucides solubles → ac. lactique seul Glucides solubles → ac. lactique + ac. acétique + alcool Lactates → ac. butyrique + H ₂ O Protéines → ac acétique + ac. propionique , NH ₃ , CO ₂
✖ Post-fermentaire MOISSISSURES <i>Byssoschlamys nivea</i> <i>Fusarium graminearum</i> ... LEVURES <i>Candida krusei</i>	>5 > 4	20 °C 20 °C	+/- +	+++ ++	Glucides solubles + ac. organiques → CO ₂ + H ₂ O + chaleur ac. organiques + O ₂ → ac. acétique + CO ₂ + H ₂ O + chaleur Glucides solubles→ alcool + CO ₂

2 Activité bactérienne : phase fermentaire

Après la récolte, en présence d'air et tant que l'acidification du fourrage n'est pas suffisante pour bloquer les processus fermentaires, la microflore aérobie présente sur le fourrage se développe. Ces réactions présentent peu d'intérêt pour la conservation car elles gaspillent de la matière sèche mais elles s'arrêtent avec la raréfaction de l'oxygène.

Cette phase aérobie peut intervenir également chaque fois que de l'air peut pénétrer dans le tas de fourrage, en cours de conservation et lors de la reprise de l'ensilage.

2.1 Entérobactéries : fermentation acétique

Il s'agit en général d'une flore aérobie épiphyte : entérobactéries (*Enterobacter*, *Klebsiella*...), levures, moisissures. Les entérobactéries sont les premières à prendre le relais car elles sont aérobies facultatives. Leur activité fermentaire, qui s'exerce au détriment des glucides solubles, génère avec un rendement médiocre de l'acide acétique (qui induit un début d'acidification), des alcools et du gaz carbonique. Au bout de 24-48 heures, les streptocoques et les *Leuconostoc* prennent le relais, mais la disparition totale de l'oxygène et la baisse du pH induite par l'accumulation d'acide acétique les font disparaître après 72 heures maximum. Les entérobactéries dégradent aussi la matière azotée en ammoniac.

Ces fermentations sont responsables d'une part de pertes d'éléments nutritifs, et d'autre part d'un ralentissement de l'acidification du fourrage, en diminuant la quantité de sucres utilisables par les bactéries lactiques. Tant que le pH de stabilité n'est pas atteint, les flores indésirables comme les germes butyriques ou les *Listeria* peuvent se développer.

2.2 Bactéries lactiques : fermentation lactique

L'acidification progressive favorise la multiplication des ferments lactiques et cela d'autant plus que l'anaérobiose est respectée. Ces micro-organismes micro-aérophiles sont généralement peu abondants dans la flore épiphyte. Leur nombre peut varier cependant très largement (de 10^3 à 10^7 ufc par gramme de fourrage) selon les conditions d'environnement, le type de fourrage et la localisation géographique. Ce nombre est d'importance dans la mesure où la conservation du fourrage par ensilage ne repose que sur cette seule présence de bactéries lactiques indigènes sur le substrat. Cela donne par contre la possibilité de recourir à des agents d'ensilage qui compléteront l'action des bactéries lactiques épiphytes afin de maîtriser la microflore de l'ensilage.

Si les conditions du milieu sont favorables, à savoir : anaérobiose, température comprise entre 10 et 40°C, quantité suffisante de sucres fermentescibles, pH inférieur à 6..., leur développement va être explosif et l'acidification rapide qui va en résulter (pH rapidement inférieur à 4) va bloquer le développement des autres espèces et stabiliser l'ensilage.

La vocation première de ces ferments est la formation d'acide lactique à partir des glucides solubles. Mais le rendement de cette transformation varie selon qu'il s'agit de :

- Bactéries homofermentaires, c'est-à-dire qui ne produisent que de l'acide lactique à partir du glucose et du fructose avec une efficacité supérieure à 90 %. C'est le cas notamment de *Lactobacillus plantarum* et de *Lactobacillus casei*. De façon accessoire, *Lactobacillus plantarum* semble avoir la capacité de réduire les nitrates en nitrites puis en ammoniac ce qui n'est pas sans importance lors de la récolte de fourrages en période très sèche, condition reconnue comme favorable à un taux élevé de nitrates.

- Bactéries hétérofermentaires qui, avec les mêmes substrats, produisent à côté de l'acide lactique (rendement inférieur à 45 %) de l'acide acétique, de l'éthanol, de l'hydrogène et du gaz carbonique. Cela concerne essentiellement des germes du genre *Leuconostoc*, mais aussi certains lactobacilles (*Lactobacillus brevis*).

Cette capacité différente, selon le type de flore dominante, rend difficile la prévision de la quantité de sucres disponibles nécessaires à l'acidification, ainsi que le temps nécessaire à la stabilisation de l'ensilage (pH inférieur à 4). Dans les conditions optimales, avec des fourrages naturellement riches en glucides solubles, le taux d'acide lactique atteint 4 % de la matière sèche en 5 jours et se stabilise entre 6 et 7 % en moins de 2 mois.

Si les conditions ne sont pas favorables (pauvreté en glucides, aérobie résiduelle importante, acidification initiale faible, flore lactique épiphyte hétérofermentaire), l'acidification ne se fait que lentement (par exemple 4 % d'acide lactique après un mois) ce qui laisse la porte ouverte à une

déviation fermentaire. En effet, si le pH n'atteint pas 4 très rapidement, la conservation va suivre un cours différent.

2.3 Bactéries butyriques : fermentation butyrique

Présentes dans l'ensilage sous forme de spores, les bactéries butyriques (*Clostridium butyricum*, *tyrobutyricum*) peuvent germer sous réserve d'une humidité suffisante (supérieure à 70 %) et d'une acidité faible (pH > 4,4). Leur développement se fait à partir des éléments nutritifs initiaux résiduels (sucres, acides aminés, protéines...) mais aussi au détriment des produits de fermentation (lactate essentiellement) ce qui induit un véritable renversement de tendance.

Cette fermentation a ainsi une triple conséquence défavorable :

- Perte de valeur nutritive par catabolisme massif des constituants azotés : désamination des acides aminés en acides α cétoniques et ammoniac, décarboxylation des acides aminés en amines biogènes (putrescine, cadavérine...), réduction/oxydation (dite de Stickland) des acides aminés en acides gras volatils, gaz carbonique et ammoniac
- Diminution de l'acidité du milieu : deux molécules de lactate ne restituent qu'une seule molécule d'acide butyrique plus du gaz carbonique avec élévation concomitante du pH, ce qui ne peut qu'accélérer le processus vers des fermentations indésirables
- Détérioration des qualités organoleptiques (appétence) et sanitaire du fourrage.

En conclusion, au cours de cette phase fermentaire, il conviendra de privilégier au maximum la fermentation lactique, en limitant l'importance de la fermentation acétique initiale, étape inévitable et véritable, mal nécessaire de la conservation par ensilage. En revanche, il sera indispensable de contrôler strictement le risque fermentaire butyrique qui constitue la principale hypothèque sur la qualité finale du produit.

➡ POINTS A RETENIR

L'obtention d'un ensilage correct dépend donc de la maîtrise des fermentations successives jusqu'à la stabilisation lactique qui constitue la bonne fermentation. Les éléments nécessaires à une acidification satisfaisante sont un substrat glucidique fermentescible et une flore lactique. Dans tous les cas, il est impératif de réaliser une anaérobiose rapide de la masse de fourrage par un tassement énergique et la maintenir grâce à la couverture étanche du silo pour une stabilisation durable du fourrage. La fermentation acétique initiale est une étape inévitable, qui devra être limitée. Il est de même indispensable de contrôler strictement le risque fermentaire butyrique qui constitue la principale hypothèque sur la qualité finale du produit. Pour ce faire le silo devra être étanche le plus tôt possible et le rester le plus longtemps possible.

3 Activité fongique : phase post-fermentaire

Un second risque, mineur cependant, guette l'ensilage : celui de la prolifération fongique qui caractérise la phase post-fermentaire. Elle est le fait de moisissures et de levures dont la prolifération peut être observée soit pendant le stockage si le silo est insuffisamment tassé ou imparfaitement étanche, mais surtout lors de l'ouverture du silo, soit par ré-oxygénation du front d'attaque si l'avancement de celui-ci est trop lent.

3.1 Moisissures

Une soixantaine d'espèces de champignons a été isolée des ensilages, mais très peu peuvent effectivement se développer au sein du fourrage bien conservé. On admet en effet classiquement qu'elles sont aérobies strictes et qu'aucun développement mycélien notable ne peut se réaliser du fait du tassement initial de la masse fourragère et de l'anaérobiose qui en découle. Certaines espèces peuvent cependant donner lieu à une croissance mycélienne, certes lente, mais effective et au prix d'une morphologie profondément altérée. C'est le cas notamment de *Byssoschlamys nivea* et de quelques *Fusarium*. C'est à la périphérie du silo, dans les poches d'air éventuellement présentes et surtout dans la zone de ré-oxygénation du front d'ensilage que la prolifération peut être significative, que la sporulation peut prendre place et que sont probants les signes de cette altération (dyscoloration de l'ensilage et présence de mycotoxines).

3.2 Levures

Les levures présentes sur la plante au champ sous forme sporulée ne sont actives dans la phase initiale d'ensilage que sous réserve de disposer de sucres solubles (glucose) qu'elles transforment en alcools et gaz carbonique.

C'est le cas notamment de *Candida krusei*. La concurrence très forte des entérobactéries puis des bactéries lactiques limite normalement cette prolifération même si cette fermentation peut se poursuivre à bas niveau en phase anaérobie. Ce risque existe plus fréquemment avec le maïs fourrage, car l'activité amylasique des levures fournit le glucose nécessaire à partir de l'amidon. Cette production d'alcool peut être significative mais le taux final est susceptible d'une révision à la baisse du fait de la reprise possible de ce substrat par des bactéries acétiques ou *Acetobacter* qui, en présence d'oxygène, oxyderont l'alcool en acide acétique.

Pour l'essentiel l'oxygénation du fourrage relance l'activité des levures qui dans ces conditions peuvent attaquer des substrats plus divers et en particulier les acides organiques (succinique, citrique, lactique). Ces levures étant très tolérantes vis-à-vis des pH acides, il est clair que l'étanchéité insuffisante du silo et l'avancée trop lente du front d'ensilage constituent des facteurs très favorables à leur croissance et à leur multiplication. La présence simultanée dans un ensilage de levures utilisant l'acide lactique et de bactéries oxydant l'éthanol caractérise ainsi une certaine instabilité du fourrage dans sa phase finale de conservation.

L'évolution enzymatique et microbiologique de l'ensilage (Figure 1) est donc la résultante d'une multiplicité de transformations dont seul un petit nombre va dans le sens d'un produit fini de qualité. Le fourrage porte en lui les éléments nécessaires à l'installation d'une bonne fermentation, glucides solubles et micro-organismes producteurs de lactates. Mis en tas à l'abri de l'air, l'évolution du fourrage sera spontanément favorable. Mais il conviendra, si besoin est, d'orienter les processus fermentaires dans le sens désiré.

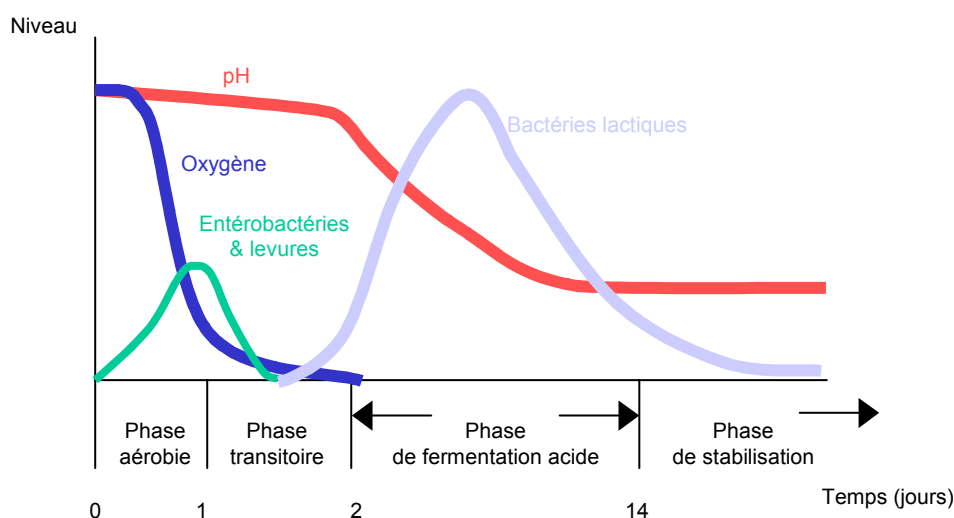


Figure 1 : Différentes étapes d'évolution d'un ensilage (d'après Pitt et Sniffen, 1985)

➡ POINTS A RETENIR

Les processus fermentaires d'un ensilage peuvent dévier à la suite d'un tassement insuffisant, de la réoxygénation accidentelle d'une partie de la masse par une rupture de l'étanchéité de la couverture ou lors de la reprise. Il se développe alors des moisissures ou des levures à la périphérie du silo ou autour des poches d'air. Le développement de ces organismes provoque une altération de l'ensilage se traduisant par la coloration anormale de la partie concernée et la présence éventuelle de mycotoxines.

Orientation des processus fermentaires

1 Pourquoi et comment éviter la présence d'oxygène et maintenir l'anaérobiose ?

1.1 Conséquences de la présence d'air sur la conservation des fourrages

La présence d'air dans le silo ne permet pas une conservation correcte du fourrage et doit impérativement être limitée au mieux durant toute la vie de l'ensilage. Après la récolte, l'air s'oppose à une acidification rapide du fourrage en retardant la croissance et l'activité fermentaire de la flore lactique anaérobie. Par la suite, cela peut conduire à une acidification insuffisante pour bloquer le développement de micro-organismes anaérobies indésirables, comme les germes butyriques ou les *Listeria*. Enfin, la présence d'oxygène favorise la prolifération des moisissures et des levures.

1.2 Comment limiter la présence et la circulation d'air ?

1.2.1 Dans les ensilages

Lors de la récolte et de la confection, le hachage du fourrage doit être suffisamment fin : pour le maïs, pas plus de 1 % de brins supérieurs à 2 cm et pour l'herbe, brins de 4 à 6 cm. Le fourrage haché finement se tasse plus facilement, d'où une anaérobiose plus rapide dans le silo, favorable aux fermentations lactiques anaérobies nécessaires à l'acidification rapide des fourrages. La confection du silo doit se faire rapidement, si possible dans la journée. Le silo doit être fermé hermétiquement, avec une bâche plastique neuve et de bonne qualité (bâche labellisée). La bâche doit être correctement plaquée sur le fourrage, au moyen de sacs de sable ou de galets, pour prévenir les entrées d'air.

Lors de la conservation, il faut veiller à préserver la bâche plastique de toute agression physique (grêle, oiseaux, sangliers, chats, déplacement d'animaux) et des rayons UV. Pour cela, elle doit être recouverte d'une bâche supplémentaire usagée et d'un filet de protection.

Lors de la reprise et de la distribution, le front d'attaque doit rester net, pour minimiser la surface de fourrage exposée à l'air. La bâche est maintenue correctement plaquée au-dessus du front d'attaque, pour éviter les infiltrations d'air en profondeur du silo. La vitesse d'avancement doit être suffisante, le front d'attaque ne devrait pas rester plus de deux jours sans avancer. Pour cela, le nombre et la largeur des silos doivent être adaptés à l'effectif du troupeau (cf. Chapitre 4.3.4.1), et au calendrier d'alimentation des vaches (pendant les périodes de pâturage ou de tarissement, la consommation d'ensilage diminue). Les refus dans l'auge, ou aux abords du silo, se dégradent rapidement et doivent être éliminés tous les jours.

Les bâches labellisées NF films plastiques à usage agricole

La marque NF, accompagnée du symbole « Tête de bovin » constitue pour l'utilisateur l'assurance de la qualité d'un produit certifié. Le marquage du film plastique garantit que les contraintes spécifiques à son utilisation ont été vérifiées par un laboratoire indépendant : le LNE. Les principales vérifications concernent :

Pour tous les films

- dimensions (longueur, largeur et épaisseur de 25 µm pour les films étirables et 130 ou 150 µm en film ensilage)*
- caractéristiques mécaniques (allongement et traction)*

Selon le type de film :

- résistance à la perforation*
- résistance à la déchirure*
- vieillissement artificiel*
- aptitude à l'emploi*

1.2.2 Dans les balles rondes enrubannées

Des films plastiques de bonne qualité, solides et non poreux, doivent être utilisés. Des précautions doivent être prises lors de la manipulation et de l'empilement des balles pour leur stockage, afin d'éviter que les films ne se déchirent ou ne se trouent. Dans les fourrages enrubannés, l'absence de hachage de l'herbe rend les glucides peu disponibles pour l'acidification lactique. Ce handicap doit être compensé par une forte élévation de la pression osmotique, qui est obtenue par un préfanage beaucoup plus poussé que dans les autres types d'ensilages.

➔ POINTS A RETENIR

La présence d'air dans le silo s'oppose à une acidification rapide et suffisante du fourrage, indispensable pour assurer sa bonne conservation. Dès la confection, elle sera limitée par un hachage fin, permettant un tassement régulier et énergique du fourrage et par une fermeture rapide et étanche du silo. Lors de la reprise, le front d'attaque doit rester net et avancer suffisamment rapidement. Enfin, l'élimination des refus dans l'auge ou aux abords du silo doit s'envisager tous les jours.

2 Pourquoi et comment contrôler la teneur en matière sèche ?

La teneur en matière sèche du fourrage au moment de la récolte joue un rôle important sur le processus de fermentation, l'évolution des micro-organismes indésirables et les pertes occasionnées lors de la conservation.

En faisant abstraction de la pluviométrie subie lors de la récolte, la nature du fourrage et son stade de récolte influent de façon plus ou moins importante sur la teneur en matière sèche de la plante à la récolte et sur le niveau de dessiccation atteint au moment de la mise en silo (Tableau 2).

Tableau 2 : Teneur en matière sèche du fourrage vert sur pied en fonction du stade physiologique au 1er cycle de végétation (INRA, 1978)

	Stade physiologique de la plante au 1er cycle de végétation g de MS par kg de fourrage vert			
	Fin montaison	début épiaison	épiaison	floraison
Prairie permanente de plaine	155	172	202	192
Prairie permanente Auvergne	167	162	204	217
Brome	171	176	180	236
Dactyle	161	163	167	227
Fétuque élevée	192	195	209	230
Ray-grass anglais	157	164	165	197
Ray-grass d'Italie	164	165	178	275
Moyenne graminées	167	172	188	217
		début bourgeonnement	bourgeonnement	floraison
Luzerne		162	176	217
Trèfle violet		128	143	180
Céréales plantes entières		stade laitieux	stade pâteux	stade pâteux-vitreux
Avoine		318	383	
Blé		347	368	
Maïs		229	273	321

Pour tous les fourrages, la teneur en matière sèche de la plante augmente avec le stade de maturité. Cette évolution est liée à la proportion de limbes qui diminue au profit des tiges plus riches en matière sèche. A l'épiaison, les prairies permanentes présentent une teneur en matière sèche plus élevée que les ray-grass anglais. Le trèfle violet a une teneur en matière sèche particulièrement faible quel que soit le stade.

Lorsque la teneur en matière sèche est inférieure à 250-260 g par kilogramme de fourrage, les fourrages récoltés en ensilage libèrent des jus en quantité proportionnelle à leur taux d'humidité, lesquels entraînent une partie des constituants solubles de la plante (glucides, azote et minéraux).

La pluviosité provoque une réduction variable de la teneur en matière sèche de la plante dans une proportion allant 5 à 40 % suivant l'intensité des précipitations. Une part importante de cette eau de pluie (superficielle sur la plante) s'écoule rapidement pendant et juste après la récolte en entraînant par lessivage une partie des constituants solubles et de l'agent d'ensilage éventuellement incorporé.

Depuis une dizaine d'années, la récolte de l'herbe en ensilage direct a régressé. Actuellement, dans une majorité de cas, le fourrage séjourne sur le sol plus ou moins longtemps après la fauche pour augmenter son taux de matière sèche. Cette pratique appelée « préfanage » permet de récolter le fourrage avec des teneurs en matière sèche très variables. En France, lorsque le fourrage reste au sol pendant un temps court (<24 h) et que la teneur en matière sèche est proche de 25 %, on utilise le qualificatif « ressuyage ». La nature et la quantité de fourrage présente au moment de la fauche, son conditionnement (type de faucheuse, fanage) et les conditions météorologiques (ensoleillement, vent, humidité de l'air) sont autant de facteurs qui vont interagir sur la dessiccation du fourrage. Pour les céréales plantes entières, la teneur en matière sèche subit une augmentation continue à partir de la formation du grain. Au stade physiologique optimum pour la récolte (stade pâteux-vitreux pour le maïs et laiteux-pâteux pour l'avoine ou le blé), la teneur en matière sèche de ces fourrages sur pieds (32 à 35 %) correspond au niveau recherché pour assurer une excellente conservation par la technique d'ensilage. Dans la pratique, la détermination de la teneur en matière sèche des céréales plantes entières sur le champ et l'observation de l'état de maturité du grain permettent de définir la période idéale de récolte. En conséquence, les céréales plantes entières sont récoltées directement sur pied ce qui facilite le chantier par rapport aux ensilages d'herbe. Le maïs fourrage est récolté en ensilage direct au stade pâteux - vitreux du grain.

○ **Perte d'eau au niveau de la plante (cas de l'herbe)**

La proportion d'eau à évaporer est plus ou moins élevée suivant la teneur en matière sèche visée à la récolte. Le temps nécessaire à cette évaporation va être plus ou moins long suivant les conditions météorologiques et la résistance qu'oppose la plante à sa dessiccation.

Lorsque la plante vieillit, la proportion de tige augmente, la teneur en eau diminue et dans ce cas, son évaporation devient plus difficile. La dessiccation de la plante se fait par deux voies différentes :

- Les stomates, qui permettent une perte d'eau rapide par simple évaporation qui atteint au maximum 20 à 30 % de l'eau présente dans la plante au moment de la fauche (Harris et Tullberg, 1980).
- La cuticule, qui protège la plante. La perte d'eau au travers de la cuticule, notamment à cause des cires, est donc beaucoup plus lente qu'à travers les stomates ouverts.

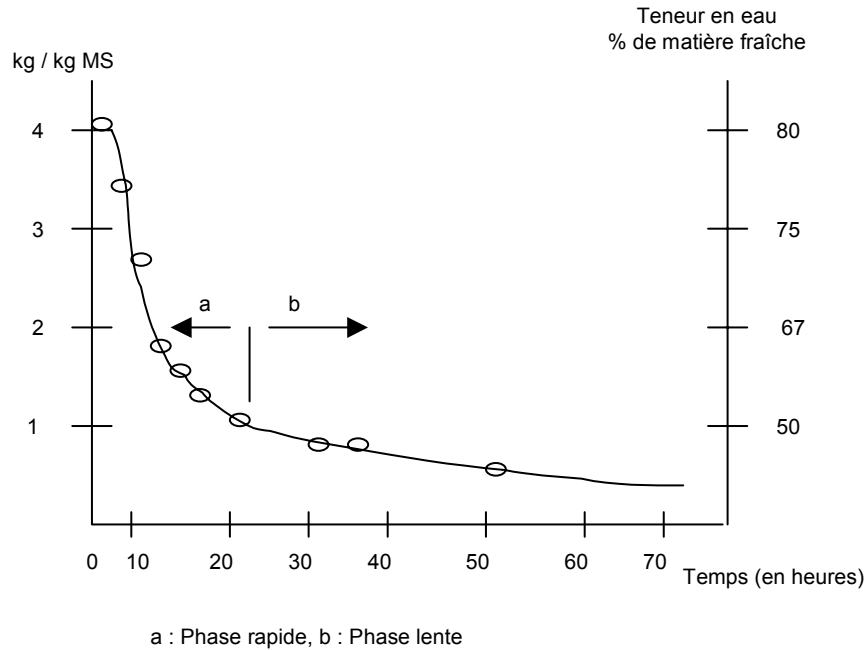


Figure 2 : Cinétiques de dessiccation d'une plante en conditions maîtrisées : cas du ray-grass italien sous un flux d'air à 20°C, 50 % d'humidité relative et une vitesse de 1 m par seconde (d'après Jones, 1979).

En conditions semi-artificielles et standardisées, les travaux de Jones (Figure 2) mettent en évidence des différences de vitesse de séchage :

- Pour une plante donnée, entre les feuilles et les tiges et suivant le stade de végétation et le stade physiologique
- Entre les différentes plantes, la fétuque se dessèche beaucoup plus vite que les ray-grass ou la fléole.

○ Perte d'eau de l'herbe après la fauche (séjour au sol)

La quantité d'herbe présente au moment de la fauche modifie la vitesse de séchage en liaison avec le système de fauche et le conditionnement du fourrage au sol. Par exemple, pour un ray-grass anglais avec une faucheuse conditionneuse à fléaux, la teneur en matière sèche du fourrage après 8 h de séchage au sol est multipliée par 3 (par rapport à sa valeur de départ) si la quantité d'herbe est de 15 t /ha et seulement par 2,2 pour 30 t /ha. La répartition maximale du fourrage fauché sur le sol augmente sa vitesse de séchage. Les faucheuses conditionneuses endommageant la cuticule du fourrage facilitent la perte d'eau par la plante.

Dans un laps de temps plus ou moins long après la fauche, des manipulations du fourrage sont souvent nécessaires pour activer le séchage. Le fanage est pratiqué en fonction du conditionnement du fourrage au moment de la fauche (retournement de l'andain ou du fourrage déposé sur le sol). A l'approche de la teneur en matière sèche souhaitée pour la récolte, la mise en andains du fourrage permet dans certaines situations de limiter le séchage.

La manipulation du fourrage au sol doit cependant faire l'objet d'une attention particulière car elle peut être une source importante de contamination du fourrage par l'apport de terre (entraînant la présence de *Clostridium*, *Listeria*...) et augmenter les pertes de matière sèche au sol. Les pertes mécaniques liées à la respiration de la plante représentent environ 5 à 7 % de la matière sèche quel que soit le fourrage si la teneur en matière sèche est inférieure à 50 %, mais au dessus de cette teneur, ces pertes augmentent davantage pour les légumineuses (feuilles) que pour les graminées pour atteindre respectivement 13-17 % et 7-9 % lorsque la teneur en matière sèche se situe vers 70 à 80 %. En ce sens, il est préférable de limiter le nombre de fanages et donc de les effectuer à bon escient.

○ Les conditions météorologiques au moment de la récolte

Le choix de la date de récolte est effectué en fonction des prévisions météorologiques qui sont très changeantes au 1er cycle de végétation (mois de mai et début juin). Actuellement, les prévisions météorologiques sont assez fiables sur 48 h, ce qui laisse le temps de réaliser la récolte dans des conditions satisfaisantes : la présence du fourrage sur le sol pendant 24 à 36 h permet d'obtenir une teneur en matière sèche comprise entre 25 et 30 %. Pour obtenir une teneur en matière sèche de 50 à 55% (valeur recommandée dans le cas de l'enrubannage) la période de séchage est plus longue (de 48 à 72 h) et l'incertitude sur les conditions météorologiques augmente alors la difficulté pour sécuriser la récolte. La présence de vent raccourcit le temps de dessiccation.

Contrôle de la teneur en eau

Il n'existe pas de méthodes précises pour contrôler instantanément la teneur en eau d'un fourrage. En général, l'appréciation de la teneur en eau est effectuée par toucher et torsion d'une poignée de fourrage (Annexe 2). Par expérience, il est possible de déterminer approximativement la teneur en matière sèche d'un fourrage lorsque cette dernière se situe entre 18 et 30 %, en revanche cela devient très aléatoire lorsque l'on veut obtenir une teneur entre 50 et 60 % (fourchette des teneurs recommandées pour l'enrubannage). La technique du four à micro-ondes mise au point par l'Institut de l'Élevage (Annexe 3) permet de déterminer la teneur en matière sèche d'un fourrage avec une bonne précision (± 2 points). Cette méthode ne semble malheureusement pas utilisée dans la pratique (difficulté de mise en œuvre par l'agriculteur ou vulgarisation insuffisante). Dans tous les cas, la représentativité de la teneur en matière sèche du fourrage moyen d'une parcelle est très difficile à obtenir (surtout en cas de pré-séchage) et pour palier cette hétérogénéité il est nécessaire de réaliser un nombre élevé de prélèvements (ce qui n'est pas simple dans la pratique). La maîtrise de la teneur en eau du fourrage à la récolte est un point essentiel pour garantir la qualité de conservation et la qualité hygiénique des ensilages. Pour cette raison, un appareillage permettant de déterminer facilement et rapidement la teneur en eau constituerait un outil de décision important pour sécuriser la récolte de l'herbe en ensilage.

Les nombreuses expérimentations effectuées sur les ensilages d'herbe et de céréales plantes entières permettent de définir les fourchettes des valeurs de la teneur en matière sèche (Figure 3), en fonction des différents types ensilages, pour favoriser une bonne qualité de conservation.

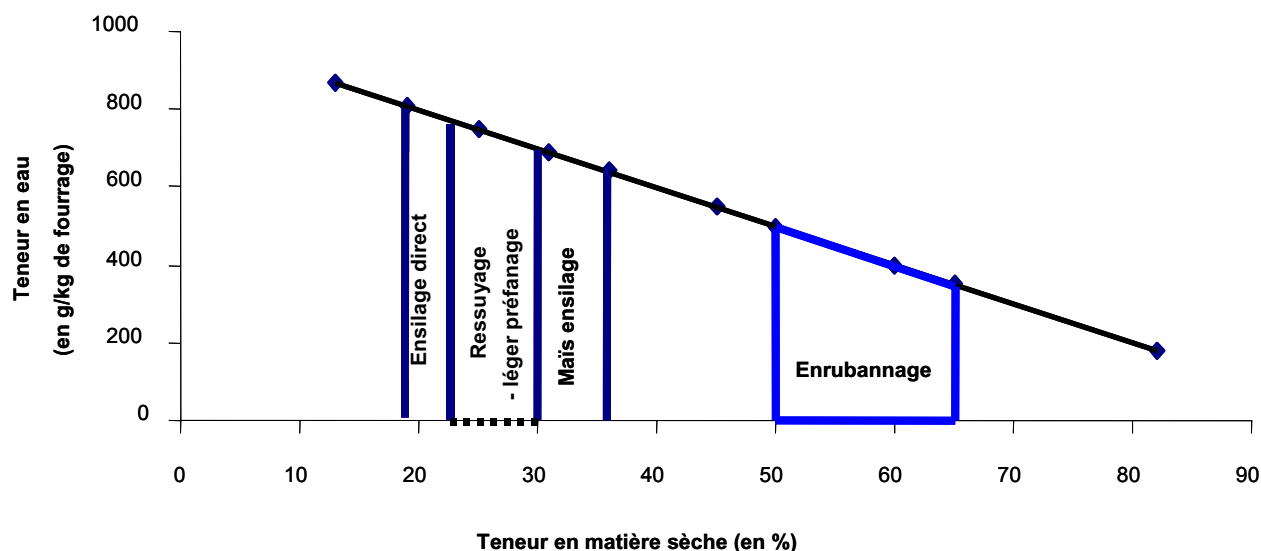


Figure 3 : Objectifs des teneurs en matière sèche repères en fonction de la technique d'ensilage retenue

La quantité de produits de fermentation formés dans les ensilages d'herbe (acide lactique + acides gras volatils + alcools) est d'autant plus importante que la teneur en matière sèche est faible (Figure 4). En outre, l'incorporation d'acide formique réduit la quantité de produits de fermentation formés.

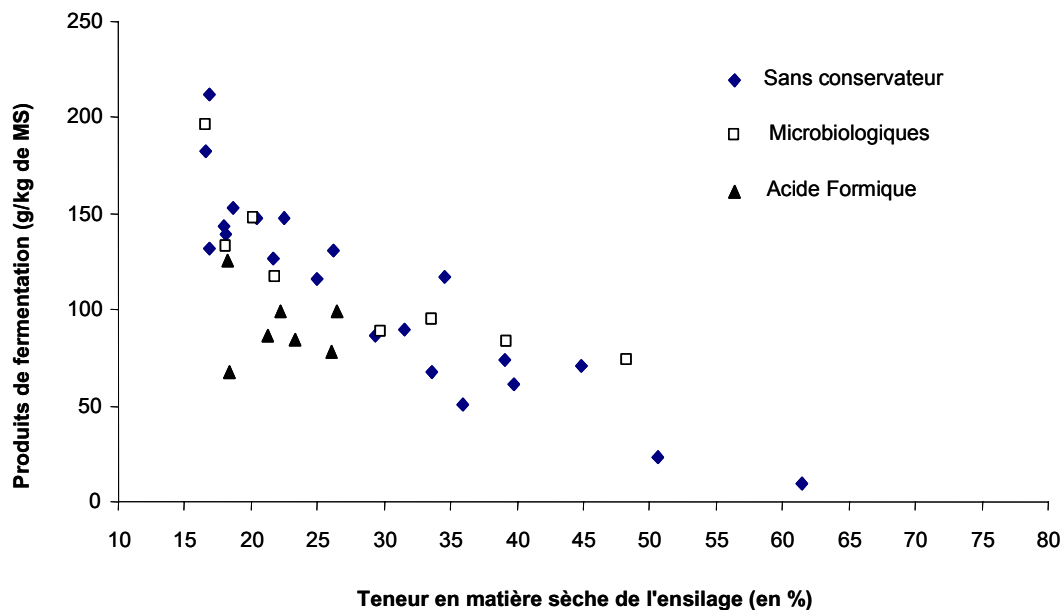


Figure 4 : Relation entre la teneur en matière sèche et la quantité des produits de fermentation dans les ensilages d'herbe (acide lactique + AGV + alcools) (JP Andrieu, communication personnelle)

Lorsque la teneur en matière sèche est faible (inférieure à 17-18 %), il devient difficile d'obtenir une bonne qualité de conservation, les pertes importantes dans les effluents des glucides solubles et de l'agent d'ensilage éventuellement incorporé pénalisent les fermentations favorables à l'obtention d'une bonne qualité de conservation

Aw = activité de l'eau

Toute l'eau présente dans un aliment et donc dans un fourrage n'est pas entièrement disponible pour les micro-organismes présents dans cet aliment. Cette eau est plus ou moins retenue, notamment par les produits qui augmentent la pression osmotique. Une partie de l'eau est ainsi retenue en formant une mono-couche à la surface des molécules : elle est appelée « eau liée » par opposition à l'eau libre qui garde ses propriétés solvantes, sa réactivité chimique et surtout sa disponibilité pour permettre la croissance des micro-organismes. Au sein d'un aliment (fourrage par exemple), il s'établit donc un équilibre entre les quantités d'eau liée et d'eau libre. La concentration en vapeur d'eau de l'atmosphère en équilibre avec celle de l'aliment, est exprimée en humidité relative (HR) ou en activité de l'eau (Aw), et rend compte de cet équilibre.

L'Aw est déterminée par le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau de l'aliment (Pw) et la pression partielle de la vapeur d'eau pure à la même température (Pw°) : $Aw = Pw / Pw^\circ$

Cette notion d'activité de l'eau est très utilisée en microbiologie car elle permet de prendre en compte la sécheresse physiologique d'un substrat (ce qui correspond à la pression osmotique qui y règne) et donc la quantité d'eau disponible pour assurer la vitalité des micro-organismes. Quand l'Aw devient inférieure à 1 (le fait d'être égal à 1 doit être exceptionnel), cela signifie que les composants chimiques de l'aliment mobilisent partiellement l'eau présente, ce qui diminue sa capacité à se vaporiser et donc à être disponible pour la croissance microbienne. En deçà de 0,9 le développement de nombre de bactéries est bloqué (sauf celui des bactéries halophiles) ; en deçà de 0,8 c'est le développement des moisissures qui est inhibé (sauf celui des moisissures xérophiles). Dans le cas des fourrages classiques, la connaissance de l'Aw en plus de la teneur en matière sèche peut s'avérer intéressante lorsque cette dernière se rapproche de la valeur seuil pour obtenir une conservation par la voie sèche (foin). Dans ces conditions, l'utilisation de sel (substrat très hygroscopique) permet de retenir une fraction de l'eau qui en cas de disponibilité favoriserait le développement de micro-organismes indésirables (spores bactériennes, moisissures, levures...).

➔ POINTS A RETENIR

La conservation de l'ensilage est facilitée quand la teneur en MS est de l'ordre de 25-30 %. Dans cette plage, les écoulements de jus et les risques de contamination sont réduits au minimum. La dessiccation de la plante après la fauche dépend essentiellement des conditions météorologiques, mais la nature du fourrage et son stade de récolte (déterminant du niveau de maturité et du rendement) influent aussi sur la vitesse de séchage. Dans la mesure du possible le chantier de récolte doit être mis en œuvre lorsque les conditions météorologiques prévues dans les 36-48 heures à venir pour un ensilage classique et 48 à 72 heures pour un ensilage enrubanné sont favorables à la dessiccation. L'utilisation d'une faucheuse conditionneuse, et la juste adéquation entre la répartition et les manipulations du fourrage sur le sol vont permettre d'accélérer le processus de dessiccation. Ces manipulations doivent être limitées et réalisées avec soin pour éviter la perte de feuilles et la contamination du fourrage par de la terre qui contient les spores butyriques défavorables à la qualité de l'ensilage. L'objectif de teneur en MS détermine la technique d'ensilage employée : pour l'herbe, l'ensilage est direct entre 18 et 20 %, il est ressuyé entre 20 et 25 % et préfané entre 25 et 35 % ; avec l'enrubannage, la teneur en MS est comprise entre 50 et 65 %. Pour l'ensilage de maïs, la teneur en MS recherchée en France s'étend de 30 à 35 % (entre 35 et 40 %, la valeur alimentaire n'est pas améliorée mais l'augmentation de la teneur en matière sèche rend le tassement plus difficile et augmente le risque d'instabilité de l'ensilage).

3 Quelle valeur d'acidification rechercher ?

L'acidification de la masse du fourrage récolté est nécessaire pour assurer sa conservation. L'abaissement du pH (le pH initial de l'herbe verte varie de 6 à 6,5) va progressivement sélectionner le niveau d'activité des bactéries et des autres micro-organismes présents sur le fourrage et réduire sa protéolyse. L'acidification doit être suffisante pour assurer un état stable pendant toute la durée de conservation du fourrage.

3.1 pH de stabilité

Le pH de stabilité fixe le niveau minimal d'acidification à atteindre en fonction de la teneur en matière sèche pour obtenir un milieu de fermentation en équilibre qui bloque les modifications chimiques et/ou enzymatiques dans la masse du produit ensilé (Tableau 3). L'acidification doit également être réalisée le plus rapidement possible pour assurer l'inhibition des fermentations indésirables productrices d'acides gras volatils (acétique, propionique, butyrique) et d'alcools et pour réduire la dégradation des protéines du fourrage.

Tableau 3 : Valeurs de pH de stabilité de la masse du fourrage en fonction de la teneur en matière sèche

(Pour être stable, l'ensilage d'herbe coupe fine doit présenter un pH inférieur au seuil indiqué)

Matière sèche (g/kg)	pH
150	≤ 4,00
200	4,00
250	4,20
300	4,30
350	4,50
400	4,60
450	4,80
500	5,00

NB : Pour les ensilages de maïs plante entière avec une teneur en matière sèche de 32 à 35 % le pH doit normalement être inférieur à 4.

3.2 Vitesse d'acidification

La Figure 5 montre l'évolution des principaux phénomènes qui se produisent dans le fourrage vert mis en silo en fonction du pH.

Lorsque le pH baisse de 6,5 à 5, le développement des *Clostridium* sp. est réduit de 80 % et la dégradation des protéines du fourrage est diminuée de 40 %, alors que l'activité des ferments lactiques reste pratiquement à son optimum. En dessous d'un pH de 5, le développement de la microflore indésirable (coliformes, ferments lactiques hétérofermentaires...) est aussi considérablement réduit puis inhibé. Dans ces conditions, seule la fermentation lactique peut continuer à se développer dans la mesure cependant où elle dispose d'un substrat suffisant en glucides solubles. Lorsque l'acidification atteint un pH de 4, la protéolyse de la plante et les fermentations productrices d'acides gras volatils sont stoppées. Ces mécanismes montrent bien l'intérêt d'obtenir une acidification rapide du fourrage ensilé pour garantir sa qualité. L'augmentation de la teneur en matière sèche du fourrage à la récolte (niveau de préfanage > 30-35 % de MS) réduit le développement des fermentations et la dégradation des protéines si la vitesse de séchage est suffisamment rapide. Cependant, cette diminution de la protéolyse peut être remise en cause si le fourrage est contaminé en *Clostridium* protéolytiques et si la teneur en MS est inférieure à 50 %.

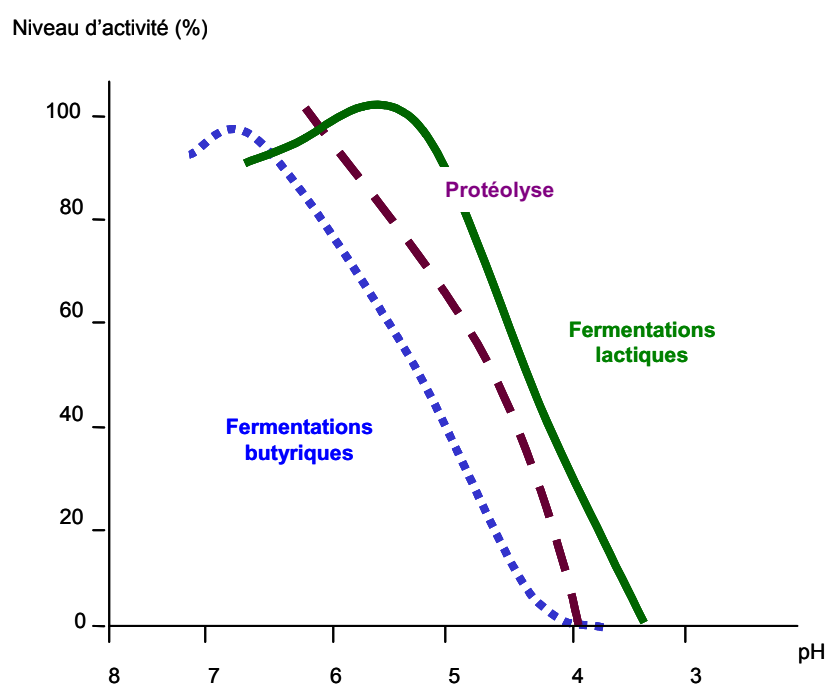
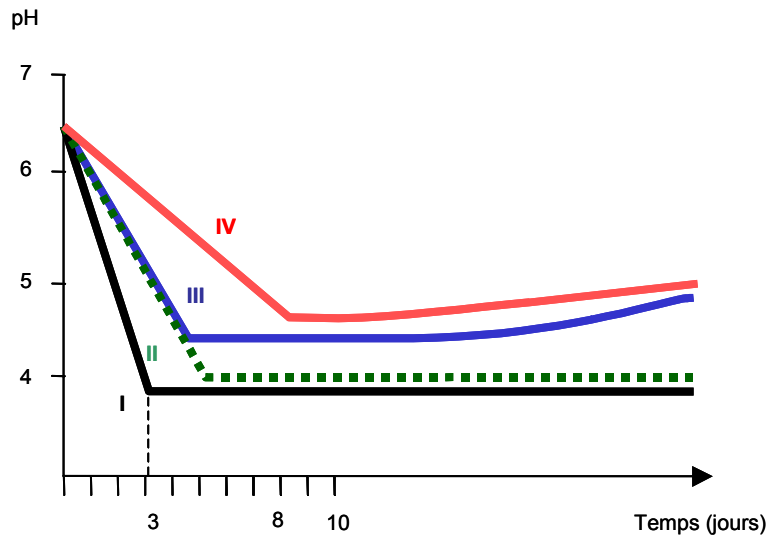


Figure 5 : Evolution des principaux phénomènes se produisant dans le fourrage vert mis en silo en fonction du pH (d'après Virtanen, 1949)

La Figure 6 montre les différentes évolutions que peut prendre l'acidification dans un ensilage direct suivant la nature du fourrage vert de départ et/ou les conditions de préparation.



I : bonnes conditions de préparation de l'ensilage, teneur en sucres suffisante et pouvoir tampon très faible. Le pH descend très rapidement et se stabilise ensuite en dessous de 4,0. L'ensilage est stable et sa qualité de conservation excellente. C'est le cas typique de l'ensilage maïs plante entière.

II : bonnes conditions de préparation de l'ensilage, teneur en sucres suffisante mais pouvoir tampon plus élevé. Le pH descend assez rapidement et se stabilise à 4,0. L'ensilage est stable, contient peu ou pas d'acide butyrique mais peut contenir un peu trop d'azote ammoniacal (% de N total) et d'acide acétique. C'est le cas fréquent des ray-grass récoltés avant ou dès l'apparition des premiers épis.

III : bonnes conditions de préparation mais teneur en sucres insuffisante. Le pH s'arrête avant 4,0 parce que la fermentation lactique n'a plus de sucres à sa disposition. Après un temps de latence, la fermentation butyrique démarre et fait progressivement remonter le pH. L'ensilage est instable, la dégradation des protéines va augmenter ainsi que la production d'acides gras volatils.

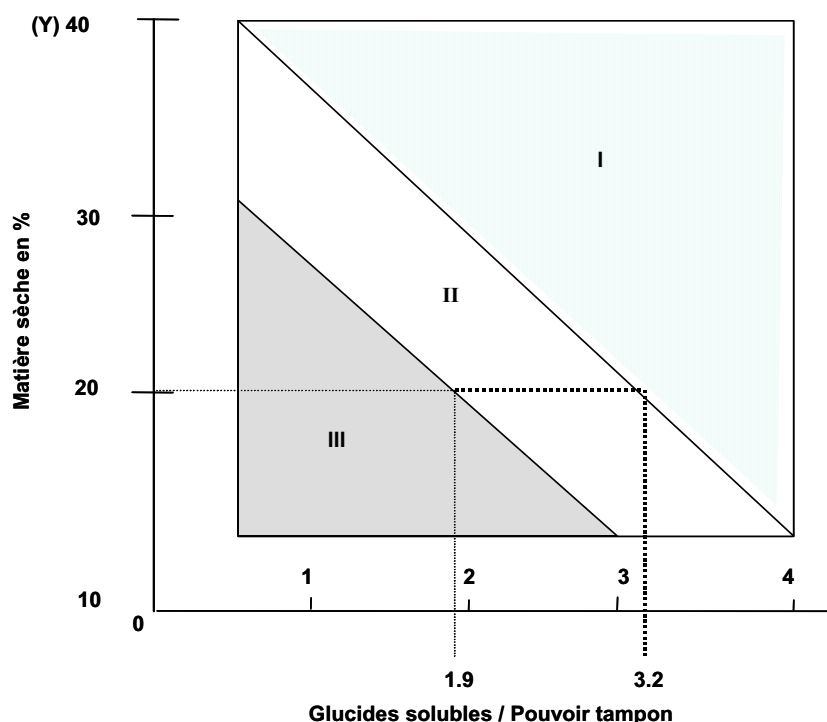
IV : mauvaises conditions de préparation de l'ensilage et/ou pouvoir tampon trop élevé. Le pH descend trop lentement ce qui laisse le temps à la microflore hétérofermentaire de se développer et aux spores butyriques de germer. La fermentation butyrique démarre, prend progressivement le dessus sur la fermentation lactique et fait remonter le pH. L'ensilage est instable, la dégradation des protéines et la production d'acides gras volatils vont être plus importantes que dans le cas précédent.

Figure 6 : Cinétique de l'acidification dans un ensilage direct selon la nature du fourrage vert de départ et/ou les conditions de préparation (Demarquilly, 1986)

3.3 Facteurs favorables à l'acidification

Comme cela vient d'être évoqué, la teneur en glucides solubles (glucose, fructose, saccharose, fructosanes) et le pouvoir tampon du fourrage conditionnent la vitesse et le niveau d'acidification du fourrage ensilé. Une classification du niveau de la qualité de conservation a été proposée par Weissbach et al. (1973) en fonction du rapport entre la teneur en glucides solubles et du pouvoir tampon et de la teneur en matière sèche du fourrage (Figure 7 et Figure 8).

Le pouvoir tampon d'un fourrage représente sa capacité à résister à un abaissement de son pH. Il est d'autant plus élevé que la plante est riche en matières azotées et en minéraux. Le pouvoir tampon se mesure par le nombre de mg d'acide lactique par gramme de matière sèche nécessaire pour amener le pH du fourrage à 4.



Qualité de l'ensilage : I = Bon II = Incertain III = Mauvais

Figure 7 : Appréciation de l'aptitude à ensiler des fourrages en fonction du rapport entre la teneur en glucides solubles et le pouvoir tampon et la teneur en MS du fourrage (Weissbach et al., 1973)

La qualité de conservation d'un fourrage ensilé à 20 % de matière sèche (sans ajout d'un agent conservateur) a une forte probabilité d'être :

- bonne si le rapport entre glucides solubles et pouvoir tampon est supérieur à 3,2,
- mauvaise si ce même rapport a une valeur inférieure à 1,9 plus ou moins insuffisante dans l'intervalle de ces valeurs.

Tableau 4 : Teneur en glucides solubles et pouvoir tampon des principaux fourrages (complété d'après Demarquilly, 1986)

Espèces	Stade de récolte	Teneur en glucides solubles (GS) g/kg	Pouvoir Tampon (PT)	GS/PT	Teneur en MS indicative pour obtenir un bon ensilage*
Luzerne	début bourgeonnement	60 (40-80)	150 (120-180)	0,4	42
RG anglais	début épiaison	150 (120-200)	90 (70-105)	1,7	31
Dactyle	début épiaison	70 (50-90)	85 (70-95)	0,8	39
Fétuque élevée	début épiaison	100 (80-120)	80 (70-90)	1,2	35
Maïs pl. entière	Début vitreux	100 (70-120)	50 (45-55)	2,0	29

* La teneur en matière sèche (Y) nécessaire pour que l'ensilage (sans ajout d'un agent d'ensilage) soit de bonne qualité est calculée en fonction du rapport glucides solubles/pouvoir tampon (X) suivant l'équation de Weissbach et al. (1973) : $Y (\%) = 45 - 8X$

L'ensilage de maïs, avec un rapport GS/PT de 2 doit avoir une teneur en MS supérieure à 29 % pour espérer obtenir une bonne qualité de conservation, ce qui est généralement le cas et explique sa qualité de conservation satisfaisante (Tableau 4). Pour les autres fourrages mentionnés la teneur en MS théoriquement requise pour assurer une bonne qualité est supérieure à 31 %, ce qui montre la nécessité d'un séchage au sol et/ou l'utilisation d'un agent d'ensilage efficace. Pour ces fourrages, lorsque la teneur en MS à la récolte est supérieure à 32-35 %, le tassement de l'herbe à la récolte devient plus difficile (notamment avec des brins longs) et peut poser des problèmes de stabilité

aérobie à la reprise (sauf dans le cas de l'enrubannage), le risque de développement des spores butyriques est nettement plus élevé. La récolte de ces fourrages dans une fourchette de matière sèche de 25 à 30 % avec utilisation d'un agent d'ensilage efficace est nettement plus fiable pour assurer une bonne qualité de conservation dans les silos (couloirs, taupes, boudins).

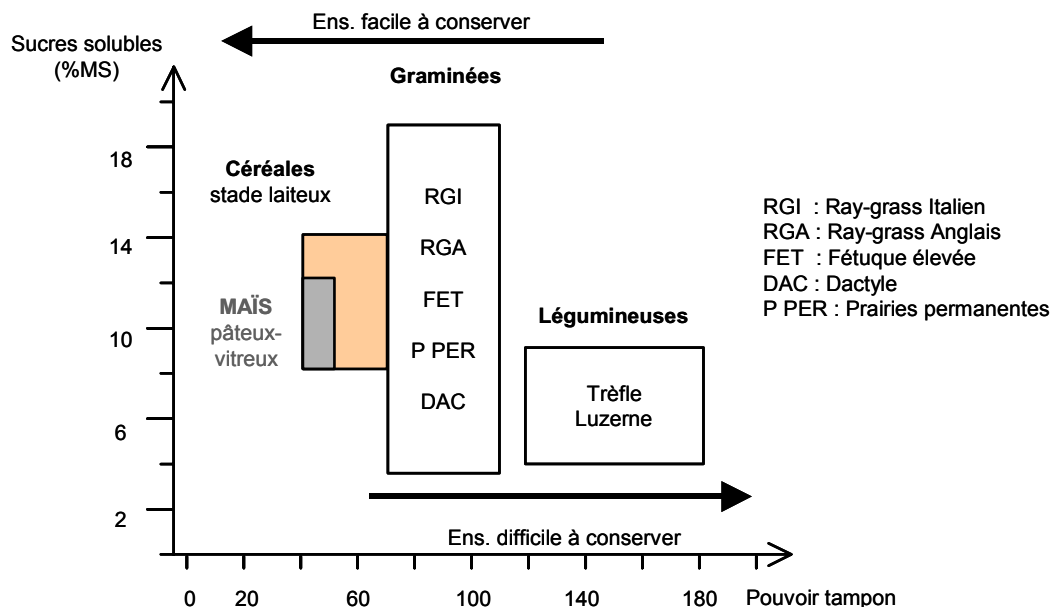


Figure 8 : Aptitude à l'ensilage des fourrages en fonction de leur teneur en sucres et de leur pouvoir tampon

➔ POINTS A RETENIR

La réussite d'un ensilage repose sur l'acidification rapide de la masse du fourrage grâce au développement des fermentations lactiques et sur la stabilisation du pH, qui assure la bonne conservation de l'ensilage. Ce pH est atteint par exemple dans un délai de 3 jours pour le maïs et de 5 à 6 jours pour l'herbe comme le ray-grass récolté au début de l'épiaison.

La teneur en glucides solubles et le pouvoir tampon de la plante conditionnent la facilité d'acidification de la masse. Les fourrages comme le maïs et le ray-grass, riches en glucides solubles et à faible pouvoir tampon, sont faciles à ensiler. A l'opposé, la luzerne et le dactyle contenant peu de glucides solubles et à pouvoir tampon élevé, sont difficiles à ensiler et il est alors indispensable d'avoir recours à des agents chimiques d'ensilage pour obtenir une acidification efficace.

Pour l'herbe, le pH de stabilité augmente avec la teneur en MS du fourrage récolté : avec une herbe à moins de 30 % MS, l'acidification est facilitée par l'emploi d'agents d'ensilage.

4 Maîtrise de l'acidification par l'usage des agents d'ensilage

4.1 Agents chimiques

Agent d'ensilage : tout produit incorporé au moment de la confection du silo, susceptible d'agir favorablement sur le processus d'ensilage et ses conséquences telles que : l'acidification, la stabilité aérobie, la production de jus d'ensilage, la valeur alimentaire. Il existe différentes catégories d'agents d'ensilage : les agents chimiques d'ensilage, les agents microbiologiques d'ensilage, les agents microbiologiques et enzymatiques d'ensilage.

Innoculant : transcription en français du terme américain désignant les agents microbiologiques d'ensilage.

Additif : substance incorporée à l'aliment qui agit sur l'aliment (additif technologique) ou sur l'animal (additif zootechnique). Son utilisation est régie par la directive 70/524/CEE. Les agents d'ensilage ne font actuellement pas partie des additifs mais devraient en faire partie dans le projet de règlement en cours d'élaboration.

Additif conservateur : substances qui facilitent la conservation des denrées alimentaires et correspondent à une catégorie d'additifs non destinés à l'ensilage.

4.1.1 Acides

Les premiers agents chimiques utilisés pour acidifier les ensilages ont été les acides minéraux (acides sulfurique et chlorhydrique). En raison d'une part, des risques de brûlures pour le personnel et de leur corrosivité sur le matériel d'incorporation et de récolte, et d'autre part, d'incidences néfastes sur la santé des animaux (déminéralisation osseuse...), la quasi totalité a désormais été remplacée par des acides organiques (acides faibles) comme l'acide formique.

L'acidification artificielle obtenue par l'incorporation d'acide formique doit être suffisante pour réduire la dégradation des protéines du fourrage et la production d'acide acétique dans l'ensilage (Tableau 5).

Tableau 5 : Effet du niveau d'incorporation de l'acide formique sur la composition des ensilages de ray grass – trèfle après 50 jours de conservation (Mc Donald et al., 1991)

	Acide formique (L / tonne de fourrage)					
	0	0,33	0,83	1,67	3,40	6,40
pH	3,87	3,77	3,67	3,81	3,88	3,80
Azote soluble (% N total)	73,5	71,5	67,5	64,2	59,9	53,8
Azote ammoniacal (% N total)	9,5	7,9	5,9	4,6	1,2	1,2
Ac. acétique (g/kg MS)	28,8	24,1	18,9	13,3	4,5	3,1

L'incorporation de 3,5 litres d'acide formique par tonne de fourrage permet d'abaisser instantanément le pH des graminées aux environs de 4,5.

Compte tenu du pouvoir tampon plus élevé de la luzerne, pour obtenir une bonne qualité de conservation, la dose nécessaire d'acide formique à incorporer s'élève à 5 L par tonne de fourrage.

L'acide formique très couramment utilisé dans le monde sert de référence pour apprécier l'efficacité d'autres agents d'ensilage de type chimique, microbiologique ou microbiologique et enzymatique.

4.1.2 Bactériostatiques

En principe, ces produits stoppent toutes fermentations ou tout au moins les fermentations nuisibles, par un effet bactériostatique total ou sélectif.

De nombreux produits ont été essayés (antibiotiques, sulfate de cuivre, dérivés quaternaires de l'ammonium, formiate de calcium...), mais ils se sont révélés peu intéressants en raison de leur prix de revient ou de leur toxicité pour le bétail compte tenu des doses nécessaires pour qu'ils soient efficaces.

Le formol¹ (solution de formaldéhyde à 35 %) fait exception. Il est efficace pour la conservation de l'ensilage à la dose de 6 à 7 litres par tonne pour les graminées et 10 litres pour la luzerne. Mais à ces doses, il produit un tannage trop important des protéines qui diminue leur digestibilité dans l'intestin. Il réduit également l'ingestibilité de l'ensilage et sa stabilité à l'ouverture des silos. En conséquence, le formol ne peut être utilisé qu'en plus petite quantité (1 à 1,5 L par tonne de fourrage) en association avec de l'acide formique (mélange 2/3 acide + 1/3 formol).

Le sel constitue également une exception. S'il n'influe en aucune façon sur le pH de l'ensilage, il peut exercer un rôle favorable en agissant sur la pression osmotique et en bloquant ainsi les fermentations indésirables. En couverture de silo (3 kg/m³ en zone superficielle) son action bactériostatique permet de réduire significativement la contamination butyrique.

Depuis une dizaine d'années, une nouvelle catégorie d'agent d'ensilage utilisant des acides partiellement neutralisés sous forme de sels (nitrites, sulfates) associés avec des composants à base de formol (hexaméthylènetétramine, formiates...) est apparue sur le marché. Ces produits ont l'avantage d'être peu corrosifs pour le matériel, et pour certains d'entre eux, leur efficacité pour améliorer la conservation peut approcher celle obtenue avec l'acide formique. La présence de nitrite permet de réduire le développement des spores butyriques. La diversité de composition et des doses d'incorporation de ces différents produits ne facilite pas l'appréciation de leur efficacité. Il importe donc de les tester rigoureusement pour apprécier leur capacité à améliorer la qualité de conservation et la valeur alimentaire des ensilages (notamment l'effet sur l'ingestion).

4.2 Agents microbiologiques

Lorsque la teneur en glucides solubles du fourrage est supérieure à 11-12 % de la matière sèche et que le pouvoir tampon n'est pas trop élevé (cas des ray-grass et du maïs plante entière) une acidification rapide et suffisante du fourrage ensilé est possible si la microflore homofermentaire lactique d'origine épiphyte est suffisamment présente ($>10^5$ ufc/g de fourrage). C'est généralement le cas pour les ensilages de maïs plante entière lorsqu'ils sont récoltés avec une teneur en matière sèche de 32 à 35 % (stade pâteux-vitreux du grain).

Pour les ray-grass, une bonne qualité de conservation est rarement obtenue car la vitesse d'acidification est insuffisante en raison d'un développement trop lent de la fermentation lactique (Tableau 6). La population microbienne lactique d'origine épiphytique est quantitativement moins bien représentée pour les ray-grass (10^2 à 10^3 ufc/g de fourrage) que dans le cas des maïs plante entière (10^4 à 10^5 ufc/g de fourrage). Pour pallier ce déficit de ferments lactiques naturellement présents sur les ray-grass, il est possible d'inoculer une quantité importante de bactéries lactiques (10^5 à 10^6 ufc/g de fourrage) au moment de la récolte. Ces bactéries lactiques doivent cependant être rigoureusement sélectionnées pour leur capacité à se développer rapidement dans les conditions physico-chimiques particulières de fermentation du fourrage (pH, température, pression osmotique...). De nombreux agents microbiologiques homologués existent actuellement sur le marché et permettent d'obtenir une qualité de conservation comparable à celle obtenue avec l'acide formique dans la mesure où ils sont correctement utilisés (dose d'application, incorporation homogène et utilisation sur des fourrages faciles à ensiler).

¹ Rapport sur les risques liés à l'utilisation du formaldéhyde en alimentation animale. (Afssa, janvier 2004)

Tableau 6 : Qualité de conservation des ensilages de ray-grass avec les agents microbiologiques homologués (MH) en comparaison des ensilages témoin (sans agent –SA, et avec acide formique – AF) et en fonction de la teneur en glucides solubles à la récolte (Andrieu, 1998)

		Teneur en glucides solubles (g/kg MS)				
		59	91	109	131	150
Composition du fourrage récolté						
Teneur en MS (g/kg)		135	155	161	151	162
Cendres (g/kg MS)		131	110	110	113	107
MAT (g/kg MS)		142	129	122	125	109
CB (g/kg MS)		285	280	276	264	256
Caractéristiques fermentaires des ensilages						
Azote ammoniacal (% N total)	SA	10,7	8,2	9,3	8,9	8,0
	AF	7,4	6,3	6,7	6,4	6,0
	MH	9,2	7,4	7,0	6,7	6,1
Acide acétique (g/kg MS)	SA	48,1	38,9	40,0	44,8	38,4
	AF	22,6	17,4	23,7	15,1	24,5
	MH	39,8	21,7	18,3	19,9	21,7

4.3 Substrats sucrés ajoutés

Pour les fourrages qui n'ont pas suffisamment de glucides solubles (<11-12 % de la MS), l'efficacité des agents microbiologiques diminue fortement et il devient nécessaire de combler ce déficit en rapportant des sucres (mélasse, lactosérum...) pour ne pas pénaliser le développement de la fermentation lactique. La quantité de sucres à apporter est importante pour les fourrages qui contiennent peu de glucides solubles (luzerne et dactyle). Dans ces conditions, le coût de cette incorporation devient vite prohibitif et difficile à réaliser (main d'œuvre supplémentaire pour répartir correctement le produit). Dans le cas de certaines prairies permanentes contenant 7,5 à 8 % de glucides solubles dans la matière sèche, cette méthode pourrait être envisagée dans la mesure où la distribution du complément glucidique (mélasse, lactosérum) serait mécanisée pour réduire la difficulté du travail (Tableau 7).

Tableau 7 : Quantité de mélasse de betteraves à apporter suivant la teneur en glucides solubles du fourrage pour ramener son taux de glucides solubles à 11-12 % et ne pas pénaliser le développement des bactéries lactiques inoculées (fourrage à 20 % de MS) (Andrieu J. P., communication personnelle)

Fourrage	Teneur en glucides (en g/kg de MS)	Quantité de mélasse (kg/tonne de fourrage)
Luzerne Dactyle	30	32 à 36
	40	28 à 32
	50	24 à 28
	60	20 à 24
	70	16 à 20
Trèfle Pr. permanentes	80	12 à 16
	90	8 à 12
	100	4 à 8
	110	0 à 4
Ray-grass	120	0

L'apport de glucides solubles complémentaires pour les fourrages déficitaires doit être accompagné d'une inoculation en bactéries lactiques pour assurer la qualité de conservation. La mélasse apporte 0,5 kg de sucres par kilogramme brut et le lactosérum 0,75 kg par kg de matière sèche.

L'incorporation de céréales dans les ensilages d'herbe pour obtenir des glucides solubles supplémentaires a été étudiée par l'apport soit de céréales sous la forme de grains germés ou de grains broyés en présence d'amylase. Ce procédé n'a pas permis d'améliorer la qualité de conservation dans la mesure où l'hydrolyse de l'amidon est insuffisante et lente ce qui ne permet pas d'augmenter la vitesse d'acidification de l'ensilage. Par ailleurs, si la reprise de l'ensilage est trop lente, des moisissures se développent assez rapidement sur la partie des céréales qui n'a pas été transformée.

4.4 Substrats sucrés néoformés par action enzymatique

Pour éviter les inconvénients liés à un apport extérieur de sucres, des recherches ont été effectuées en utilisant des enzymes cellulolytiques (cellulases) susceptibles de dégrader une partie de la cellulose et des hémicelluloses des plantes en sucres simples utilisables pour les ferments lactiques. Les complexes enzymatiques purifiés (pour éviter des effets protéolytiques sur la plante) sont en général associés aux agents microbiologiques d'ensilage (Tableau 8) pour élargir leur champ d'activité à des fourrages qui ne contiennent pas assez de glucides solubles. Dans les ensilages, les conditions de pH et surtout de température ne sont pas très favorables pour obtenir une activité importante des enzymes, et leur coût élevé limite les quantités utilisables. Actuellement, les enzymes proposées permettent dans le meilleur des cas de récupérer 1 à 2 % de glucides supplémentaires dans le fourrage. Cependant comme l'hydrolyse des parois est lente, ces sucres néoformés ne sont pas disponibles rapidement. En revanche, la lyse rapide des parois cellulaires peut conduire à une meilleure disponibilité des sucres contenus dans la plante en vue de l'utilisation par les bactéries lactiques.

Cas particulier : utilisation d'agents pour améliorer la stabilité aérobie des ensilages.

A l'ouverture du silo, lorsque la reprise de l'ensilage est trop lente (front d'attaque) la présence d'air peut entraîner un redémarrage des fermentations lié essentiellement à un développement des levures. La stabilité aérobie d'un ensilage est inversement liée à sa qualité de conservation, les ensilages bien conservés sont plus fragiles. Quelques agents d'ensilage ont été testés pour augmenter la stabilité aérobie des ensilages de maïs, ils permettent de retarder de plusieurs jours la reprise des fermentations. Ces produits (agents chimique ou microbiologique) incorporés au moment de la récolte augmentent les teneurs en acides acétique et/ou propionique et dans certains cas en 1,2 propanediol, qui réduisent le développement des levures. Leur utilisation peut être pertinente dans les ensilages de maïs utilisés en période chaude (silos de report), cependant il ne peuvent en aucun cas palier les déficiences d'un tassement insuffisant de l'ensilage ou une vitesse de désilage beaucoup trop lente.

Tableau 8 : Type d'agents d'ensilage nécessaires pour améliorer les fermentations (Andrieu, communication personnelle)

Fourrage	% MS à la récolte	Type d'agents homologués recommandés
Luzerne et dactyle	< 35 %	agents chimiques
Prairies permanentes (à base notable de dactyle)	< 30 %	agents chimiques
Fétuque élevée	< 25 %	
Prairies permanentes (peu de dactyle)	< 30 %	agents chimiques ou agents microbiologiques et enzymatiques
Fétuque élevée	25 à 30 %	
Ray-grass (anglais – hybride)	< 30 %	agents chimiques ou agents microbiologiques
Maïs plante entière	30 à 36 %	inutile

➡ POINTS A RETENIR

La teneur en matière sèche du fourrage récolté et son aptitude à être ensilé permettent de définir une stratégie d'utilisation des agents d'ensilage. L'efficacité des agents d'ensilage homologués est liée à leurs conditions d'utilisation (type de fourrage, respect des doses, homogénéité d'incorporation) et au respect des consignes incontournables que sont le tassement du fourrage, la non incorporation de terre, l'herméticité du silo, etc.

L'acidification de la masse du fourrage peut être accélérée et maîtrisée par l'emploi de divers agents d'ensilage. L'acide formique, qui sert de référence comme agent d'ensilage, est utilisé à raison de 3,5 L par tonne de graminées et de 5 L par tonne pour les légumineuses.

Le recours à l'inoculation par des bactéries lactiques sélectionnées peut s'envisager pour les fourrages suffisamment riches en glucides solubles (>12 % de la MS). De nombreuses préparations homologuées existent sur le marché et permettent d'obtenir une qualité de conservation semblable à celle obtenue avec l'acide formique, si elles sont bien utilisées.

Des substrats sucrés comme la mélasse, le lactosérum... peuvent être ajoutés aux fourrages manquant de glucides solubles pour faciliter la fermentation lactique. Cela peut s'envisager pour des ensilages de prairies permanentes, mais devient prohibitif pour les légumineuses vues les doses à utiliser indépendamment de la difficulté de mise en œuvre.

L'emploi d'enzymes cellulolytiques capables de dégrader en partie la cellulose et les hémicelluloses des plantes en glucides solubles a été proposé. Les résultats des agents d'ensilage associant bactéries lactiques et enzymes restent limités compte tenu de la lenteur de la dégradation des parois et des conditions peu favorables à l'activité enzymatique. Leur utilisation est efficace pour les fourrages légèrement déficitaires en sucres tels les prairies naturelles pauvres en dactyle et qui contiennent 8 à 11 % de glucides solubles dans la MS.

Mise en œuvre

1 Etat de la parcelle

Quel que soit le type de récolte, mais *a fortiori* lorsqu'il s'agit de l'ensilage, les parcelles de fourrage doivent être « propres ». Cela signifie que les émergences de terre (taupinières) et/ou de résidus de fumier (lisier) sont absents. Leur incorporation avec le fourrage pendant la récolte présente un risque important d'introduction de spores butyriques (Clostridies) et de *Bacillus*, d'entérobactéries et de *Listeria* ; par ailleurs cette pollution augmente le pouvoir tampon ce qui ralentit voire diminue l'acidification. Une surveillance des parcelles doit être effectuée régulièrement pour les préserver de toutes dégradations. Les épandages de fumure organique doivent être effectués au moins 2 mois avant la récolte et être parfaitement exécutés pour ne pas laisser des paquets résiduels (un passage de herse est parfois nécessaire pour activer leur disparition). Quoi qu'il en soit, une vérification des parcelles à récolter dès le début de la pousse de l'herbe doit permettre de définir si elles sont aptes à être ensilées.

Dans une moindre mesure, la fumure azotée appliquée avant la récolte du 1er cycle ne doit pas être trop élevée car elle tend à diminuer la quantité de glucides solubles de la plante et sa teneur en matière sèche et à augmenter son pouvoir tampon. La réduction de la fumure de 180 kg à 60 kg N/ha permet de multiplier le rapport glucides solubles / pouvoir tampon par 1,5 à 2.

2 Critères de choix du fourrage et de la date de récolte

Les fourrages utilisés dépendent principalement des conditions pédo-climatiques des exploitations. Dans les régions où la culture du maïs est économiquement possible, l'ensilage de maïs est nettement dominant en raison de sa bonne valeur alimentaire et de sa facilité de conservation. La période optimale pour la récolte du maïs plante entière se situe lorsque le grain est au stade pâteux-vitreux, ce qui correspond à une teneur en matière sèche de la plante proche de 35 %. Dans ce cas, l'herbe est principalement réservée au pâturage. En revanche dans les zones herbagères de production laitière (Est de la France, régions de demi-montagne) la pratique de l'ensilage d'herbe est relativement importante lorsque son utilisation n'est pas interdite. Dans ces zones une grande partie de la production fourragère est constituée de prairies permanentes. Lorsqu'il y a des prairies temporaires, il s'agit habituellement de dactyle, de luzerne (sud du Massif Central), de ray-grass purs ou en mélange avec du trèfle. L'aptitude à l'ensilage (par exemple ray-grass anglais au lieu du dactyle) n'est pas un critère de choix pour l'agriculteur qui privilégie plutôt la pérennité, la productivité, la résistance à la sécheresse...

Le stade végétatif du fourrage est en général le repère pour fixer la date de récolte. L'ensilage doit d'ailleurs son développement au fait qu'il permet d'effectuer la récolte au stade optimum de la valeur alimentaire du fourrage, ce qui est beaucoup plus aléatoire avec la fenaison traditionnelle.

La Figure 9 met en évidence l'évolution de la quantité d'énergie (UFL) et d'azote (PDI) par ha en fonction du stade végétatif de l'herbe de prairie permanente en zone de demi-montagne. Le nombre de jours entre les différents stades est sensiblement le même quel que soit le lieu, et seule la date de réalisation varie (pour la région normande, le stade début épiaison est atteint vers le 10 mai alors qu'il est proche du 25 mai sur les plateaux auvergnats). La période la plus propice à la récolte par ensilage se situe entre le stade début épiaison et l'épiaison car elle permet d'obtenir un fourrage avec une bonne densité énergétique et azotée tout en assurant un rendement assez élevé. Une récolte plus précoce peut cependant être intéressante si les conditions climatiques du lieu permettent le préfanage de l'herbe : la quantité d'herbe moins importante rend le séchage plus rapide et le déficit de production au 1er cycle est en grande partie compensé par les repousses (qui peuvent être alors récoltées plus facilement en foin).

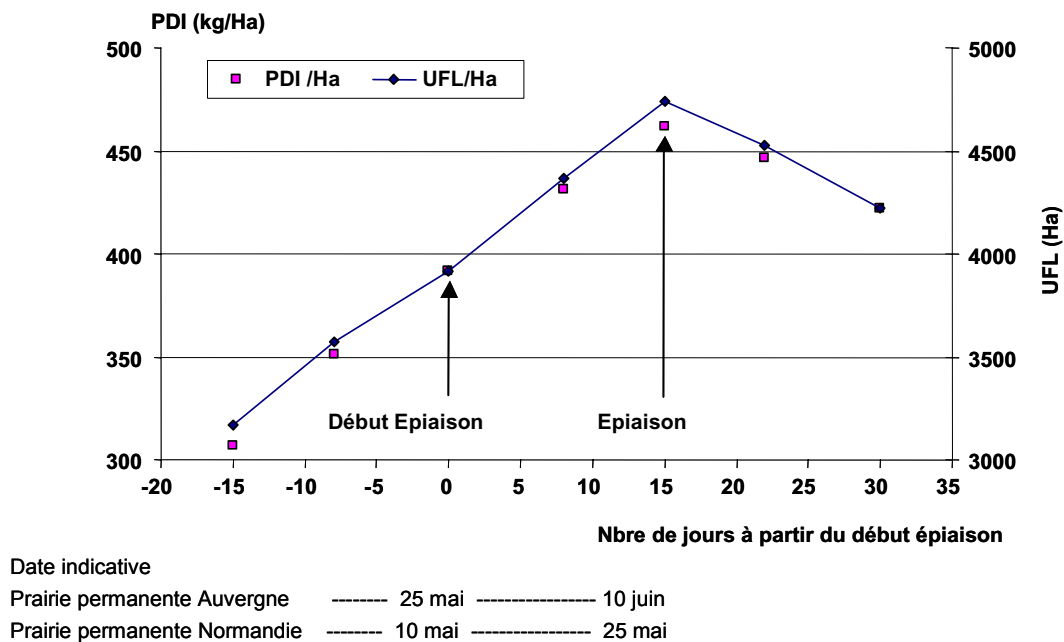


Figure 9 : Production par hectare d'UFL et de PDI en fonction de l'âge de la plante (P. permanente. 1^{er} cycle – Orcival 1000 m) (INRA, 1978)

➔ POINTS A RETENIR

L'état de propreté des parcelles à récolter (absence de taupinière, de résidus de fumier et de déchets végétaux divers) a un impact important sur la qualité de conservation et sur la qualité sanitaire du fourrage récolté. En fonction de la valeur alimentaire souhaitée pour le fourrage, le suivi du stade végétatif de l'herbe ou du maïs permet de définir la période optimale de récolte. Cependant, la réalisation de la récolte nécessite des conditions météorologiques favorables et en conséquence dans la pratique, les meilleurs compromis entre les prévisions météorologiques, la valeur du fourrage, et la technique de récolte doivent être recherchés.

3 Matériel d'exploitation

L'ensilage, de la réalisation à la distribution (Schéma 1), est le résultat d'un long processus de transformation qui implique les opérations mécaniques suivantes :

- la fauche du fourrage,
- le fanage et/ou l'andainage afin de diminuer les quantités d'eau récoltées,
- la récolte : le ramassage le hachage et le chargement,
- le transport, le tassement et la réalisation d'un silo étanche et qui le reste,
- la reprise et la distribution de l'ensilage.

Chaque intervention contribue à la qualité finale du produit car les différents traitements mécaniques engendrent des pertes et des risques de contamination directement liés aux conditions climatiques du moment.

La mécanisation joue un rôle fondamental et multiple à tous les niveaux du processus de l'ensilage. L'organisation des chantiers d'ensilage doit s'adapter aux caractéristiques des machines de plus en plus puissantes et performantes; il en est de même pour la reprise et la distribution aux animaux.

3.1 Fauche du fourrage

Cette action sépare la partie du végétal à récolter du reste de la plante. La fauche doit être suffisamment haute pour :

- faciliter la circulation de l'air sous le fourrage,
- obtenir un fourrage sain. Les différents organes chargés de travailler ou de ramasser le fourrage ne doivent pas entrer au contact du sol et des déchets végétaux présents au sol (contaminations), Photo 1, Schéma 2, Schéma 3,
- permettre la repousse du fourrage.

L'augmentation de la largeur de travail provoque un accroissement des risques de contamination car l'outil de travail épouse moins bien la surface d'un sol non totalement plan. De ce fait, certaines zones peuvent être partiellement travaillées avec des risques de perte alors que dans d'autres zones où les outils viennent au contact du sol les risques de contamination sont réels. Cependant les évolutions récentes (Gaillard, 2002) dans la construction du matériel de grande largeur permettent de supprimer ces inconvénients car de plus en plus elles font appel à l'assemblage de petits sous éléments relativement indépendants les uns des autres voire même totalement séparés. Ainsi des tracteurs peuvent être équipés de 3 faucheuses indépendantes, deux à l'arrière et une frontale.

3.2 Fanage et andainage

Ces opérations ont pour but d'accélérer la dessiccation du fourrage sur le sol et de préparer la reprise du fourrage par l'organe de ramassage des engins de récolte. Les machines utilisées pour ces opérations cherchent à concilier vitesse d'avancement et largeur de travail afin de réduire les temps de chantier tout en obtenant une bonne qualité de travail. Cette dernière est caractérisée par :

- l'absence d'incorporation de terre,
- le rassemblement total du fourrage fauché de manière à ne laisser qu'un minimum de parties végétales au sol qui risquent d'être récoltés lors des cycles suivants, cette présence étant une source potentielle de contamination ultérieure (Photo 3, Photo 4, Photo 5).

3.3 Récolte

Elle comprend : le ramassage, le tronçonnement par un système de hachage plus ou moins sophistiqué et le chargement. Trois types de machines sont utilisés : les ensileuses, les autochargeuses et les presses à balles rondes ou à balles cubiques selon le mode de stockage souhaité.

3.3.1 Ensileuses

Les ensileuses diffèrent par la longueur de hachage des fourrages :

○ Ensileuses à coupe longue ou mi-longue

Ensileuses à fléaux sont équipées d'un rotor doté de fléaux cuillers à effet de souffle qui coupent l'herbe sur pied, la tronçonnent sommairement et l'envoient dans une remorque.

Ces machines ne devraient plus être utilisées pour récolter l'herbe en vue d'ensilage parce qu'elles incorporent beaucoup trop de terre et qu'elles ne récoltent qu'en direct. Cependant, cet outil peut être utilisé pour l'affouragement journalier des animaux avec de l'herbe fraîche.

Ensileuses double coupe sont équipées de fléaux en S ou L sans effet d'aspiration qui tronçonnent le fourrage. Ce dernier est projeté dans une vis sans fin qui alimente un plateau hacheur équipé de quelques couteaux où le fourrage est recoupé puis éjecté dans une remorque.

Ces machines disparaissent car malgré une meilleure propreté de l'herbe récoltée, le tronçonnement est encore trop long compte tenu de la faible teneur en matière sèche du fourrage récolté en direct et la conservation n'est pas satisfaisante.

○ Ensileuses à coupe fine ou récolteuses hacheuses chargeuses.

Ce matériel s'est développé avec l'ensilage de maïs qui implique un tronçonnement plus fin (réglage à 6 mm environ) que celui pour l'herbe (réglage de 2 à 3 cm).

Une tête de récolte interchangeable, adaptée au produit, le rassemble et alimente l'organe de coupe composé de couteaux et d'un contre couteau au travers d'un bloc régulateur. Le produit haché est expulsé par soufflerie vers une trémie de transport (Photo 6, Schéma 8).

L'augmentation du coût des ensileuses en relation avec la croissance des puissances pour la récolte du maïs nécessite d'augmenter la surface récoltée par machine. Ceci entraîne :

- une difficulté de bien adapter la période d'ensilage au stade idéal de la récolte,

- l'obligation d'augmenter la taille des andains pour être en accord avec la puissance disponible. Une perte d'efficacité dans la dessiccation en découle.

La puissance disponible permet de réduire la longueur des brins pour faciliter le tassement et de répondre ainsi à un débit supérieur d'ensilage à l'entrée du silo. Cependant un tronçonnement trop fin accroît le risque d'acidose.

Par ailleurs, plus un fourrage est récolté humide plus il doit être tronçonné fin et plus il formera de jus.

3.3.2 Remorques autochargeuses

Ce sont des machines très simples dans leur principe. Un « pick up » ramasse le fourrage au sol et le conduit au travers d'un canal équipé d'un certain nombre de couteaux fixes. Après tronçonnage, le fourrage est convoyé mécaniquement dans la remorque.

En cas de mauvais réglage et/ou de fauche trop rase, le « pick up » apportera de la terre voir des déchets végétaux au fourrage ramassé. Ce matériel n'est pas utilisé pour le maïs plante entière car le tronçonnement n'est pas assez fin.

Le tronçonnement moyen obtenu (7 à 15 cm selon les machines) implique :

- une dessiccation plus poussée qu'en coupe fine,
- l'ensilage d'un produit feuillu plus facile à tasser,
- une bonne technicité dans le chargement et le tassement.

3.3.3 Presses à grosses balles rondes ou parallélépipédiques

Les presses ramassent grâce à un « pick up » le fourrage mis en andains. Le flot du fourrage est conduit au niveau d'une rangée de couteaux ou non, selon l'équipement du matériel. Le produit haché ou non est alors acheminé dans la chambre de la presse où il est fortement tassé et lié puis éjecté (Photo 7, Photo 8, Photo 9, Schéma 4).

En cas de mauvais réglage et/ou de fauche trop rase, le « pick up » ramasse de la terre, voire des déchets végétaux avec le fourrage. Par ailleurs, comme le produit est tassé au fur et à mesure qu'il est ramassé, il n'y a pas de mélange des parties sèches et humides de l'andain qui se retrouve tel quel sans homogénéisation. Il faut donc veiller à avoir un andain très homogène car les zones les plus humides sont généralement contaminantes.

La balle doit être réalisée correctement afin d'éviter des zones où le film ne pourra pas appuyer fermement sur l'ensilage. La forme en diabolo ou en ovoïde est à proscrire compte tenu de l'enrubannage à effectuer ultérieurement.

Ces matériels ne sont pas utilisés pour le maïs plante entière car le tronçonnement n'est pas assez fin.

3.4 Stockage

3.4.1 Différents types de stockage

Ils répondent au même principe : le stockage en anaérobiose d'un produit qui fermente, mais ils induisent une organisation, une mécanisation et des investissements totalement différents les uns des autres.

○ Silos tours ou silos verticaux

Ils sont mentionnés ici pour mémoire car ils ne sont pratiquement plus utilisés en France. Le fourrage est stocké dans une structure verticale. Le tassement se fait par auto tassement. L'étanchéité est généralement bien maîtrisée.

Ils sont caractérisés par un investissement lourd et figé avec généralement un débit limité tant à la mise en silo qu'au désilage. Ces caractéristiques aggravées par la survenue de problèmes majeurs dès le moindre incident n'ont pas permis un développement important et durable de cette technique. Un des rares avantages de ces silos tient en l'automatisation possible de la distribution, l'ensilage sortant toujours du même point.

○ Silos horizontaux

Ils se sont largement généralisés grâce à une adaptabilité bien supérieure, une mécanisation performante et l'utilisation d'un film plastique qui assure l'étanchéité (Photo 10).

Il existe deux principaux types de silos horizontaux : les silos taupinières et les silos couloirs (Gaillard, 1992a). Les seconds se différencient des premiers par la présence de parois latérales.

L'absence de parois sur les silos taupinières engendre des avantages et des contraintes. Les limites spécifiques aux différents types de silo sont :

- Sur les silos couloirs :
 - Les parois sont fixes et il est difficile d'augmenter le volume du silo,
 - Les parois sont des sécurités lors du tassement, mais peuvent provoquer des points de faiblesse dans l'herméticité des silos,
 - Les parois limitent les projections lors du désilage, mais sont gênantes pour certaines désileuses qui sont plus larges que leur organe de coupe. Dans le cas de désilage mécanisé, les parois parfaitement verticales permettent de régler la désileuse en position haute sans risquer de toucher la paroi lors de la descente de l'outil de désilage.

- Sur les silos taupinières

L'absence de parois limite la hauteur du silo et chaque mètre carré de film va recouvrir un faible volume d'ensilage : 0,75 m³ (au lieu de 2 à 3 m³ en silo couloir). A capacité égale la surface du film est beaucoup plus importante avec de ce fait un risque accru de perforations. En l'absence de parois verticales, beaucoup de projections d'ensilage peuvent également être notées, ce qui entraîne une pollution importante du site si on n'y prend pas garde.

Règles générales de bonne conduite des silos :

Les silos doivent être confectionnés hors sol sur des terrains sains qui permettent de travailler dans de bonnes conditions tant lors de la confection que lors de la reprise de l'ensilage (Schéma 5). Dans le sens de la longueur, une seule pente du fond est suffisante ; elle est de 2 % pour un désilage mécanisé, et de 4 % pour un libre service. Il faut aussi commencer le désilage dans la zone la plus basse afin que les eaux de pluie ou les fèces des animaux s'éloignent naturellement du front de coupe.

Le fourrage en vrac est réparti en fines couches par un engin répartiteur-tasseur, afin de faciliter le tassement et d'obtenir un ensilage plus dense garant d'une meilleure acidification et limitant les pertes en cas de rupture d'étanchéité.

L'étanchéité est obtenue par application de films plastiques qui doivent être plaqués au mieux sur le fourrage. Pour cela, ils doivent être chargés. La terre est déconseillée et les pneumatiques sont à proscrire. Ces derniers présentent généralement une efficacité de tassement insuffisante et ils contiennent des fils métalliques. Le fumier est à proscrire car il attire de nombreux animaux qui peuvent trouer le film et faciliter ainsi l'entrée de souillures. Par contre les sacs de sable partiellement remplis afin d'épouser la forme du silo sont recommandés.

Un fourrage sain à la mise en silo doit le rester durant la période de confection de celui-ci, durant la période de conservation et jusqu'à la distribution. Pour cela il faut éviter tout risque de souillure liée à l'incorporation de terre et limiter au maximum l'introduction d'air dans l'ensilage.

Les risques au niveau du silo sont les suivants :

- l'incorporation de terre lors de la réalisation : il est déconseillé de rouler sur le silo avec la remorque afin d'éviter l'apport de terre et le risque d'enlèvement de la remorque. Dans ce cas, la perte de temps s'ajoute à la destruction du tassement déjà fait ;
- un remplissage mal conduit : pour l'éviter le déchargement des remorques doit avoir lieu en bout de silo sur une aire propre avec paillage de la zone de circulation du tracteur tasseur hors du silo. Un tracteur avec une fourche ou un engin répartiteur reprend le fourrage et le dispose en fines couches qui se tassent facilement de par leur faible épaisseur ;
- la contamination de l'ensilage : pour les silos taupinières, la contamination peut se faire par le sol lorsqu'il n'est pas recouvert d'un film étanche². L'eau de ruissellement ou le contact même du sol peut amener un certain nombre de produits solubles au contact de l'ensilage. La contamination peut également provenir de l'eau de pluie qui se charge au contact des produits et matériaux disposés sur la couverture. Cette contamination se fait au travers des trous du film de couverture ;
- les entrées d'oxygène par les trous (accidentels, animaux, dégradation prématurée du film...).

Les pertes sont largement amplifiées dans les cas où le film ne plaque pas sur l'ensilage. En effet, l'espace film ensilage forme des passages préférentiels. Il suffit de les supprimer ou de les réduire pour améliorer la conservation en cas d'incidents sur la bâche. Pour cela, il faut au moins assurer des placages transversaux parfaits du film espacés tous les 5 mètres environ dans le sens de la longueur. Des sacs de sable non totalement pleins pour qu'ils épousent la forme du silo mis bout à bout et

² Note du 18 octobre 2001 relative au problème de l'affleurement de minerai de plomb en Moselle et conséquences possibles pour la santé des consommateurs lorrains

formant des arceaux constituent une bonne garantie. Ainsi, en cas de trous, la pénétration de l'air reste limitée et ne peut atteindre le fond du silo dès le jour de l'ouverture. Comme précaution supplémentaire, il convient de désiler le silo dans le sens inverse du vent dominant soufflant durant la période d'utilisation.

Cas particulier du silo presse

Il existe quelques modèles de silos presses qui permettent une mécanisation de la réalisation de ces silos horizontaux constitués de gaines. Un rotor charge et comprime le fourrage haché dans une gaine qui se déroule au fur et à mesure qu'elle se remplit. Des résultats récents sont excellents. Les points forts sont :

- sitôt que le fourrage est rentré dans la gaine il est en milieu étanche. Les processus fermentaires peuvent démarrer. L'oxygène extérieur ne peut plus rentrer,
- le fourrage est mis dans une gaine et le silo est donc totalement hermétique à l'air et aux remontées de pollutions diverses,
- le fourrage est plaqué contre la gaine sans laisser d'espace. Il n'y a plus de film qui flotte et en cas de trou, l'air ne peut circuler librement que de façon très limitée. De même, lors de l'ouverture, la circulation de l'air est réduite au minimum,
- la section étant limitée cela permet une vitesse d'avancement élevée garante d'une limitation de reprise de fermentation au désilage.

○ **Ensilage en balles et l'enrubannage**

Tableau 9 : Caractéristiques de films utilisés pour les ensilages en balles

Ensilage en balles					
Type de film	Enrubannage et BRE				
technique	Sacs	meules	Enrubannage mono balle	Enrubannage en continu	Enrubannage en gaine
film	non étirable		étirable		
Type de film	Gaine soudée d'un coté pour former un sac	Bâche de couverture	film étirable	film étirable	Gaine étirable
Nombre de balles par unité de conservation	1	+ de 20	1	Pas de limite technique	40
Epaisseur du film en micromètre	135 à 150	135 à 150 (2 fois)	80 à 100	130 à 150	100
Quantité de film par balle en kg	2,4	0,5	0,8 à 1	0,6	0,5

L'idée de l'ensilage en balles n'est pas récente (Gaillard, 1984). L'utilisation de sacs et la réalisation de meules pour la conservation de ces balles (Gaillard, 1986) ont connu des développements locaux qui ont été finalement arrêtés devant la difficulté de conserver un emballage exempt de trous. L'enrubannage s'est développé à la fin des années 1980 (Gaillard et Zwaenepoel, 1987). Il a connu un fort développement grâce aux 5 caractéristiques suivantes :

- utilisation du même matériel de récolte que celui nécessaire pour le foin et la paille,
- mécanisation de la pose du film,
- absence de structure de stockage à volume figé,
- adaptation à la bonne gestion du pâturage (récolte de parcelles en excédent),
- réduction voire suppression des parties inconsommables.

Ensilage en balles : Les balles, individuellement ou non et ce quel que soit leur forme ou leur taille, sont enfermées dans une enveloppe étanche à l'oxygène. L'enveloppe d'une épaisseur comprise entre 75 et 150 micromètres peut être constituée d'une couche unique ou dans le cas des films étirables de plusieurs couches de films fins en laizes.

Enrubannage : pose d'un film plastique étiré sur une balle. Le film assure par lui même et dans certains cas avec l'aide d'autres balles une enveloppe suffisamment étanche à l'oxygène de l'air. La pose d'un film étiré sur une balle conduit au placage du film sur l'ensilage et gêne considérablement la circulation de l'air entre le film et l'ensilage. Cette zone, quand elle existe, est la source potentielle de développement des pertes visibles.

Les balles rondes enrubannées ou BRE : Les balles rondes récoltées humides sont mises sous une enveloppe étanche constituée de film étirable lors de l'opération de l'enrubannage. Les balles cubiques peuvent aussi être assimilées aux BRE en ce qui concerne de nombreux aspects mis à part la partie enrubannage qui bien souvent fait appel à des machines spécifiques.

L'enrubannage monoballe : Chaque balle ronde ou cubique est enrubannée individuellement. Par extension on peut l'appliquer à un ensemble limité de balles carrées qui sont regroupées afin de former un volume de section carrée qui facilite l'enrubannage tout en réduisant la consommation de film.

L'enrubannage en gaine : Consiste à enrubanner une série de balles rondes ou cubiques mises bout à bout en contact par les faces planes. L'enveloppe est constituée par une gaine étirable, étirée avant la rentrée des balles et qui se resserre ensuite sur les balles. La fermeture est réalisée à chaque extrémité par des nœuds. La longueur maximale est limitée par la longueur de la gaine (de l'ordre de 50 m soit une quarantaine de balles).

L'enrubannage en continu : Consiste à enrubanner une série de balles rondes ou cubiques mises bout à bout en contact par les faces planes. L'enveloppe est constituée par plusieurs laizes de film étirable posée(s) en spirale autour de la face ronde. Cinq voir six couches sont recommandées. La longueur du silo n'est pas limitée par la technique.

Il existe trois catégories de machines : enrubanneuse monoballe, en continu et sous gaine. Elles reposent toutes sur un même principe : pose d'une enveloppe composée d'un film plastique tendu et plaqué sur l'ensilage pour limiter la circulation de l'air entre le film et l'ensilage. L'enveloppe peut être composée d'une gaine unique ou de films étirables et collants mis en multi couches (4 couches ou plus, Photo 11, Photo 12, Schéma 6).

En ce qui concerne l'enrubannage mono balle (Photo 11), le principe est le suivant : la balle présente peu à peu ses différentes faces au film étirable (schéma 1). Pour cela elle subit au moins 2 rotations par rapport au film, une sur son axe horizontal et une sur l'axe vertical. Sur ce dernier axe, selon les machines, c'est la balle ou la (les) bobine(s) de film qui tourne(nt). La synchronisation des vitesses entre les deux axes doit être parfaite afin d'obtenir le recouvrement prédéfini et ce quelles que soient les vitesses de rotation. Le taux d'étirage est voisin de 55 à 65 %. Les enrubanneuses à bras tournant permettent des vitesses de pose de film plus importantes car elles évitent les problèmes de balles mal centrées ou qui se déplacent latéralement sur la table en cours d'enrubannage (Schéma 7).

Les enrubanneuses en continu (Photo 13) sont composées de 3 parties : une zone de chargement, une zone d'enrubannage de la périphérie des balles et la zone de déchargement des balles comprimées les unes contre les autres face plane sur face plane. Pour les balles carrées, il est possible de mettre de front plusieurs balles pour constituer une section plus importante et réduire la consommation de film. Il faut mettre 6 couches de film pour limiter les pertes. Le taux d'étirage est identique à celui de l'enrubannage monoballe. Ces 6 couches représentent encore une économie de 25 % par rapport à l'enrubannage monoballe de 4 couches car on économise le film sur les faces planes ce qui représente la moitié de la consommation pour une balle ronde de 120 cm par 120 cm et 56 % pour des balles de 150 de diamètre sur 120. Les avantages : machine très rapide (2 à 4 fois plus rapide que les monoballes) économie de film, pas de contrainte liée au film pour la longueur des stockages. Technique particulièrement bien adaptée au stockage dans les parcelles. Prend cependant beaucoup de place dans les cours de ferme par rapport au stockage des balles enrubannées individuellement et stockées les unes sur les autres.

Une variante de l'enrubannage en continu utilise une gaine étirable qui enserre les balles mises bout à bout. La machine comprend les 3 zones précédentes. La zone d'enrubannage comprend un élargisseur de gaine qui permet de faire pénétrer la balle. Une fois insérée dans la gaine, l'élargisseur est enlevé et la gaine vient s'appliquer sur la balle. Le taux d'étirage final va dépendre du diamètre des balles mais il doit être supérieur à zéro si l'on veut que le film s'applique sur la balle et limiter ainsi les pertes en cas de perforation. Les avantages : machine simple, rapidité de pose et pas de dérèglement mais la longueur des stockages dépend de la longueur des gaines (50 m environ soit une quarantaine de balles).

Les recommandations de bonnes pratiques découlent des conditions décrites plus haut et concernent les cinq points suivants :

- Humidité du produit ensilé

Une teneur en matière sèche d'au moins 50 % est recommandée pour éviter le développement de germes butyriques. Cette teneur élevée en matière sèche permet à des plantes qui s'ensilent mal comme la luzerne de parfaitement se conserver. Les balles plus humides et surtout celles réalisées sur des andains hétérogènes en matière sèche pourront probablement être fortement contaminées par les germes butyriques. Les balles plus sèches sont quant à elles plus agressives vis à vis du film.

- Balles bien cylindriques

Les balles rondes doivent être régulières et parfaitement cylindriques afin que le film puisse être posé régulièrement sans manque de couches ni de surépaisseur. Toute malposition de film se traduit par une possibilité d'entrée d'air.

Le liage des balles doit être de qualité. Le liage filet est préférable. Avec le liage filet, il faut éviter qu'une extrémité du lien soit libre, ne vienne entre des couches de film et forme ainsi un passage privilégié pour l'air.

- Réglage de l'enrubanneuse

Les règles suivantes doivent être respectées au niveau des enrubanneuses :

- hauteur du film à régler en fonction du diamètre de la balle,
- taux d'étirage d'au moins 60 %,
- au moins 4 couches de film (4 à 6), en respectant un recouvrement légèrement supérieur à 50 % de chaque largeur de film (laize). Ceci impose une pose des laizes 2 par 2.

L'idéal serait de poser le film le plus rapidement après la confection de la balle. Le report de quelques heures ou d'une nuit peut se faire sans trop de problèmes. Il faut simplement savoir que :

- les balles mises sur la face ronde se déforment et seront plus difficiles à enrubanner,
- le fourrage à la périphérie de la balle se dessèche et devient plus agressif vis à vis du film.
- Qualité et largeur des films

Le film doit être suffisamment étanche à l'air pour que l'enveloppe réalisée en plusieurs couches le soit aussi. L'air peut également s'infiltrer dans les plis que le film peut prendre lors de sa pose. Un test a été mis au point par le Cemagref pour vérifier l'étanchéité de l'enrubannage sur balle témoin et fait partie des caractéristiques de la Marque NF-Films des films plastiques à usage agricole (Gaillard, 1992b).

L'utilisation d'un film large n'a que des avantages pour une même consommation de film : amélioration de l'étanchéité de l'emballage, réduction du temps d'enrubannage et vrillage plus important du film qui le colle mieux à la balle. L'utilisation de 2 bobines accentue le vrillage et améliore la conservation en cas d'incidents sur la face ronde en cours de conservation.

- Stockage des balles (Photo 14)

Le stockage vertical des balles réduit les risques au cours de la conservation car il améliore et maintient au mieux l'étanchéité des balles. Le stockage doit être à l'abri des rongeurs et des oiseaux. Il permet d'identifier chaque lot de balles afin de raisonner au mieux la distribution. Il est recommandé de stocker les balles dans un délai de quelques jours après leur confection afin de maintenir une bonne adhérence du film sur la balle et de réduire les pertes en cas de percement. La manutention plus tardive des balles entraîne leur déformation irréversible qui laisse des espaces de circulation libre des gaz entre le film et l'ensilage.

3.4.2 Conduite et entretien ou suivi des silos ou des meules

Les différents éléments qui assurent la bonne conservation des fourrages doivent résister aux intempéries et aux dégradations diverses. Une rupture d'étanchéité doit être colmatée sans attendre. Elle peut entraîner des dégâts très importants si les précautions élémentaires n'ont pas été prises. De même, une lutte efficace contre les rongeurs doit être menée en supprimant les lieux de refuge ou en réalisant les silos loin de broussailles, de stocks de paille et de zones enherbées et en apportant des rodenticides à proximité du silo. Ceci est particulièrement indispensable pour les silos où le film n'est pas forcément parfaitement plaqué sur l'ensilage. L'utilisation de filets réduit considérablement les risques de perforation (oiseaux, chats, chiens...). Dans le cas des silos taupinières au champ une clôture peut être mise en place afin d'éviter le passage d'animaux domestiques.

Ainsi un silo doit être étanche à sa réalisation, le rester durant toute sa conservation et des précautions doivent être prises lors de son utilisation.

Devenir des plastiques, films, filets et ficelles

L'incinération maîtrisée dans des fours types à ordures ménagères permet de récupérer par kilogramme de plastique brûlé un peu plus de calories qu'un kilo de fuel.

Le recyclage est possible et devrait se développer si des débouchés nouveaux apparaissent. Le recyclage implique un tri et un transport économique. Les deux molécules polyéthylènes (films) et polypropylènes (ficelles et filets) qui ont du mal à être mélangées doivent être séparées dès que possible. La réduction du coût du transport peut passer par la densification des films comprimés par certaines presses à balles rondes classiques (Gaillard, 1988).

Le processus de recyclage comporte : un broyage, un nettoyage pour séparer le film des salissures (terre, déchets végétaux...) un séchage puis une fonte suivie d'une confection de granulés de régénérés. Ce processus est un peu plus complexe pour les films étirables qui possèdent un agent collant qui colle les impuretés. Par ailleurs cet agent a la caractéristique de fondre avant le film et de former des gaz inflammables. Ces difficultés sont maintenant résolues.

Le régénéré ne veut pas dire que les molécules cassées par le vieillissement soient remises à neuf. Ainsi ces régénérés doivent trouver une application adaptée à leur état. Par exemple, ils peuvent être utilisés dans l'une des couches de films épais multicouches.

3.5 Désilage et distribution

Durant l'utilisation d'un silo, quel que soit le mode de couverture et d'utilisation, il est indispensable de former un liseré le long du front d'attaque, avec des sacs de sable, pour éviter que l'air ne se glisse entre le film et l'ensilage. Dans le cas inverse, l'air rentrerait jusqu'au fond du silo et entraînerait le réchauffement rapide de la masse entière du silo à brève échéance.

L'air attaque aussi directement le front de coupe. Il est conseillé d'assurer une avancée de 15 cm par jour en hiver et de 25 cm en été pour éviter les échauffements excessifs. La densité de l'ensilage permet de prévoir la vitesse d'avancement du front de silo (Tableau 10).

Tableau 10 : Repères de densité des ensilages par fourrage selon sa teneur en MS (en kg de MS / m³)

	hauteur silo	20 % MS	25 % MS	30 % MS	35 % MS	40 % MS	50 % MS
ensilage de maïs (1)	2,20 m	-	-	220	225	225	-
ensilage d'herbe (2)	1,5 m	150	175	200	-	-	-
enrubannage (3)	Ø 1,20 m	-	-	180	190	200	220

(1) maïs contenant 30 % d'amidon – d'après Institut de l'Elevage-Chambres d'Agriculture, 1992

(2) ensilage en coupe fine – d'après Institut de l'Elevage-RNED Bovin, 1986

(3) balles rondes – d'après CEMAGREF-Institut de l'Elevage-INRA-ITCF, 1993

Les parties abîmées de l'ensilage doivent être enlevées et éloignées des silos sous peine de créer une zone fortement contaminée qui accroîtra des risques pour des conservations ultérieures.

3.5.1 Libre service

Les animaux entrent dans le silo pour se nourrir. Celui-ci a une hauteur limitée par la taille des animaux : 1,8 m pour les bovins (Photo 15). Un râtelier mobile réduisant l'avancée des animaux est indispensable afin de limiter le piétinement de l'ensilage.

Malgré sa simplicité apparente, le libre service est assez exigeant : il faut rationner les animaux, créer des zones de circulation, enlever les refus et bien souvent construire un toit pour protéger le front de coupe. Le contrôle des consommations est quasi impossible. Dans certains cas, l'éleveur désile lui même et charge directement les auges positionnées au pied du front d'attaque.

3.5.2 Désilage

Le désilage mécanisé (Photo 16) comprend les 3 opérations suivantes :

- l'extraction de l'ensilage du silo (Photo 17) tout en préservant le reste de l'ensilage,
- le transport de l'ensilage et éventuellement le mélange avec d'autres aliments,
- la distribution (Photo 18).

La qualité du front de désilage joue un rôle important dans l'échauffement éventuel de l'ensilage dû au démarrage d'une nouvelle fermentation. Une coupe franche de l'ensilage sans ébranlement du tas limite les échauffements par rapport à l'arrachement concomitant avec un ébranlement en profondeur de l'ensilage.

Ces caractéristiques sont variables d'une machine à l'autre. Plus l'ensilage est mis au contact de l'air plus il faudra avancer vite dans le silo. Certaines désileuses projettent de l'ensilage qui est perdu pour les animaux mais qui peut favoriser la recontamination s'il n'est pas enlevé de la proximité des silos.

La densité du produit émiétté à l'intérieur de la trémie est divisée par 2 par rapport au silo. Ainsi le désilage et le chargement de la trémie se traduisent par une aération très importante de l'ensilage. Ceci implique une distribution sans attendre pour éviter les échauffements. Il en est de même pour les mélangeuses qui entraînent une très forte aération de l'ensilage. La mélangeuse doit assurer un mélange homogène des différents constituants (ensilage, minéraux, produits secs...) sans toucher à la structure des éléments fins.

L'utilisation d'ensilage implique aussi l'enlèvement des refus à l'auge.

Les alimentations mécanisées assurent la distribution de l'ensilage dans l'auge. Du point de vue sanitaire, elles présentent l'intérêt d'enlever automatiquement les refus avant la distribution suivante.

➡ POINTS A RETENIR

L'ensilage est une compétition entre les processus anaérobies et aérobies. L'ensilage a deux ennemis : les souillures et le défaut d'étanchéité, dont l'effet néfaste peut se manifester tant durant la confection de l'ensilage (de la récolte à la fermeture du silo) que durant la conservation ou lors de l'utilisation finale.

La récolte

Le fourrage doit être sain et ne pas être souillé de terre ou de déchets végétaux qui sont la conséquence d'une parcelle insuffisamment plane, mal conduite, d'une hauteur de fauche trop basse et/ou de mauvais réglages des appareils de coupe, de fenaison et de récolte.

Le fourrage doit être suffisamment tronçonné et ce en relation étroite avec sa teneur en matière sèche au moment de la récolte. Le fourrage récolté en direct doit être tronçonné finement pour permettre un bon démarrage des fermentations. Pour un fourrage préfané, un tronçonnement fin permet un bon tassement et améliore sa conservation.

La réalisation de silos

Le silo doit être réalisé dans un milieu sain préférentiellement sur une dalle de béton à l'abri des prédateurs et des risques de perforation.

L'ensilage doit être tassé et conservé étanche jusqu'à l'ouverture. Une surveillance avec bouchage des trous est indispensable. Des précautions doivent être prises pour limiter la circulation de l'air entre le film plastique et l'ensilage.

L'utilisation de l'ensilage

A la reprise le front d'attaque doit avancer suffisamment vite pour éviter le développement des moisissures et des fermentations indésirables. Des précautions doivent être prises pour limiter la pénétration de l'air dans le silo par le front d'attaque. L'avancement de celui-ci est fonction du fourrage mais aussi des conditions climatiques et de l'outil de désilage. Il faut aussi éloigner du silo les parties inconsommables et altérées afin d'éviter toute recontamination.

L'ensilage désilé doit être rapidement distribué et il faut veiller à retirer quotidiennement les refus des auges.

La propreté de la récolte du fourrage, la réalisation minutieuse de l'ensilage, une vitesse d'avancement rapide et une hygiène minimale des abords du silo constituent autant de gages d'une bonne maîtrise des problèmes sanitaires.

4 Techniques d'ensilage : direct avec ou sans conservateurs, après ressuyage ou préfanage

Suivant la teneur en matière sèche de l'herbe à la récolte, plusieurs techniques d'ensilages sont possibles plus ou moins polyvalentes les unes que les autres (Tableau 11). Ainsi, avec le même type de silo et de matériel (silo couloir + automotrice) il est possible de récolter de l'herbe en coupe directe, légèrement ou moyennement préfané ou du maïs plante entière. Dans le cas de l'enrubannage, le matériel de récolte devient beaucoup plus spécifique pour la récolte de l'ensilage (herbe avec une teneur en matière sèche comprise entre 50 et 65 %). Chaque méthode a des avantages et des inconvénients qui doivent être pris en compte pour connaître les risques encourus et les moyens à mettre en œuvre qui vont assurer son efficacité (niveau de préfanage, utilisation d'agents d'ensilage, importance du tassement, etc) Le tableau suivant récapitule les différentes techniques et les recommandations essentielles qui leur sont liées. Le nombre de jours au sol est indicatif pour des conditions météorologiques acceptables (temps couvert avec passages ensoleillés et absence de pluie). Un fourrage légèrement préfané est souvent qualifié de ressuyé dans la pratique.

Tableau 11 : les différentes techniques d'ensilage d'herbe (conditions de récolte, contraintes) (JP Andrieu, communication personnelle)

Dénomination	Ensilage direct	Ensilage ressuyé	Ensilage préfané	Enrubannage
% MS récolte	13-22 %	20-30 %	30-45 %	45-70 %
	Niveau de préfanage			
		léger	moyen	fort
Temps de séjour du fourrage au sol (jours)	0	0,5 à 1	1 à 2	2 à 3
Matériel de récolte	Automotrice Ens. tractée	Automotrice Ens. tractée	Automotrice Ens. tractée autochargeuse	Presse à balle carrée Presse à balle ronde Enrubanneuse
Types de silos	Couloir - taupinière	Couloir - taupinière gaine	Couloir - taupinière gaine	Balles enrubannées Meules, gaine
% MS idéal	> 19 %	25-30 %	≤35 %	>50 %
Agents d'ensilage	Utilisation d'agents chimiques, microbiologiques ou microbiologiques et enzymatiques à définir suivant le type de fourrage.		Peu utiles pour améliorer la qualité de conservation. Quelques produits peuvent réduire le développement des clostridies ou améliorer la stabilité aérobie à l'ouverture du silo.	
Conservation	Difficile si % MS <20	Assez facile à assurer. La teneur en MS permet un bon tassement	Selon les conditions de préfanage	
			Attention : tassement et fermeture du silo et vitesse du désilage	Qualité de l'enrubannage
Risques	Lessivage Effluents Baisse de l'ingestion	Normalement très limités	Développement plus important de spores butyriques (BRE MS< 45 %) et de <i>Listeria</i> (stabilité à l'ouverture levures, moisissures)	
Fiabilité du mode de récolte	Moyenne	Très bonne	Moyenne à très bonne	

5 Devenir des effluents

L'ensilage est susceptible de produire des jus dont le pouvoir polluant est très élevé. Cette pollution concerne au premier chef l'environnement. Il convient cependant de souligner que la maîtrise de ce risque essentiellement environnemental n'est pas sans conséquence sur la gestion sanitaire de l'élevage. La production de jus est liée à la teneur en MS du fourrage stocké, à la hauteur du silo, à l'importance du tassement et éventuellement du chargement. Le liquide qui s'échappe pendant ce processus est très concentré et très corrosif.

5.1 Une production variable

La production d'effluents de silos dépend essentiellement du taux de matière sèche du fourrage ensilé, des conditions de récolte et du type de fourrage ensilé :

Elle est inversement proportionnelle à la teneur en matière sèche :

- très faible à inexistante pour un taux de MS > 25 % ;
- très forte pour un taux de 15 à 16 %.

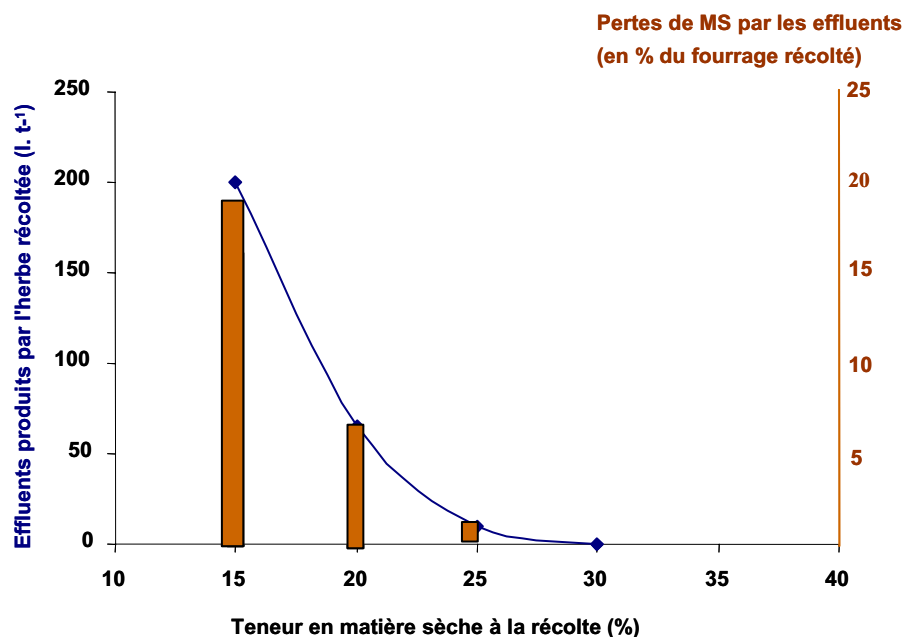


Figure 10 : Effet de la teneur en matière sèche du fourrage récolté sur la production d'effluents (L. t⁻¹ d'après Mc Donald P. et al., 1991) – (% MS récoltée, Dulphy et Andrieu, 1976)

La hauteur et/ou le chargement du silo augmentent sensiblement la quantité d'effluents.

Pour un ensilage d'herbe à 18 %, elle s'élève à 160 - 200 litres par m³ et pour un ensilage de maïs à 23 % à 40 à 60 litres par m³.

L'utilisation d'agents chimiques d'ensilage augmente la production d'effluents et accélère leur émission.

La production de jus liée à la fermentation débute dès les premiers jours. Le maximum est atteint dans les 3 à 5 jours suivant la fermeture du silo et la production cesse au bout d'environ trois semaines.

5.2 Un effluent concentré et polluant

Leur charge polluante peut atteindre 12 000 à 80 000 mg/L en DBO₅ (demande biochimique en oxygène en 5 jours), soit 200 fois supérieure aux eaux usées domestiques et 2 à 3 fois supérieure au lisier de bovins). Leur impact sur le milieu en cas de rejet peut donc être très fort.

Leur corrosivité est une conséquence directe de leur acidité : pH compris entre 3,7 et 5,5. Cette acidité est liée à la réserve de produits de fermentation (acide lactique, acétique) et aux éventuels additifs acides.

La forte concentration de l'effluent peut être diluée avec les eaux de pluies lorsque le silo est à l'extérieur.

5.3 La maîtrise des jus d'ensilage

La production de jus peut être limitée en intervenant sur la qualité de l'ensilage. C'est notamment le cas dans les circonstances suivantes :

- en ensilant plutôt en période sèche, en ressuyant ou en préfanant un fourrage dont la teneur en MS à la récolte est suffisamment élevée,
- en incorporant des substances absorbantes dans le silo et notamment de la pulpe de betterave déshydratée. L'incorporation peut varier de 50 kg de pulpe par tonne d'ensilage à 120 kg en fonction de l'humidité du produit de base et de l'objectif de réduction des jus.

Le mélange avec les eaux de pluies, sans influencer sur le flux polluant, augmente le volume d'effluents et complique leur gestion. La couverture fixe du silo limite les rejets mais est rarement réalisée.

La réussite du silo du point de vue de la collecte des jus doit être réfléchie lors du choix du site d'implantation et lors de sa réalisation et doit assurer la collecte et le stockage des jus :

- Terrain relativement plat sans forte pente,
- plate-forme en béton armé étanche,
- liaison mur – plate-forme étanche pour les silos-couloirs.

Pour les silos couverts, les jus doivent être collectés dans un caniveau frontal situé en bas de la plate-forme légèrement inclinée.

Pour les silos extérieurs, le caniveau frontal peut également servir à collecter les jus concentrés en période d'écoulements (qui correspond en général à la période de non exploitation du silo). Cependant, les jus pouvant se mélanger avec les eaux de pluies, il est souhaitable de dériver les eaux pluviales tombant sur les bâches du silo. En fonction du dispositif de collecte choisi (stockage spécifique ou non), l'installation d'une vanne ou d'un batardeau à gestion manuelle pourra être nécessaire. En cas de libre service, les jus se mélangeront avec les déjections solides et liquides.

Les jus de silos peuvent être stockés indépendamment. Des précautions sont à prendre concernant l'étanchéité et la nature du revêtement. Ils peuvent aussi être dirigés vers les fosses de stockage des lisiers et autres effluents ou vers les dispositifs d'élimination des eaux blanches, des eaux vertes ou des eaux pluviales tombant sur les aires d'exercice.

La destination normale des jus de silos purs ou dilués est l'épandage sur les sols agricoles.

Les jus concentrés ont une certaine valeur fertilisante (3 N, 1 P, 4 K) qui peut être utilisée sur certaines cultures, en prenant certaines précautions :

- Limiter l'apport à 25 m³/ha ;
- Ne pas épandre par temps trop chaud (température > 30°C) ;
- Eviter le contact avec la peau de l'opérateur.

Les jus mélangés avec d'autres effluents sont épandus en respectant les règles classiques de la valorisation agricole (décret du 27 août 1993 relatif à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole, décret 96/540 du 12 juin 1996 relatif aux déversements et à l'épandage des effluents des exploitations agricoles et arrêtes-types Etablissements classés, rubrique 2101-1, 2101-02, 2101-3).

Les jus d'ensilage représentent une pollution potentielle relativement forte, surtout pour les ensilages à taux de MS inférieur à 22 %.

Des précautions simples à respecter lors de la conception et de la réalisation et à pratiquer lors de l'utilisation des silos permettent de maîtriser ces effluents qu'il faut stocker avant leur épandage agricole.

Ainsi, il conviendra :

- d'ensiler si possible en période sèche et/ou de préfaner
- d'éviter le départ des jus vers le milieu naturel
- de collecter les jus concentrés ou de les traiter avec les autres effluents.

➡ POINTS A RETENIR

La confection de l'ensilage implique de bien maîtriser les différentes étapes du processus allant du choix de la parcelle à ensiler jusqu'à la distribution aux animaux.

Les parcelles retenues doivent être aussi planes que possible pour faciliter le travail des engins de coupe et de récolte de plus en plus imposants ; elles doivent également être propres, exemptes de taupinières, de résidus des exploitations antérieures afin d'éviter la contamination par la flore tellurique (notamment *Listeria* et germes butyriques).

Le choix des fourrages dépend des conditions pédo-climatiques de l'exploitation qui fixent le niveau de rendement des espèces fourragères et orientent le choix du système fourrager retenu. Ce dernier est en général exprimé par la proportion de maïs fourrage par rapport aux graminées ou à la prairie permanente.

La date de récolte se situe au stade optimum de la valeur alimentaire des fourrages qui est généralement atteint au début de l'épiaison pour les graminées, au début du bourgeonnement pour les légumineuses et à l'état pâteux-vitreux du grain pour le maïs. La date de récolte objectif dépend aussi des prévisions météorologiques dans les 36-48 heures après la fauche ainsi que de la disponibilité de l'entreprise de récolte à cette époque. La date de récolte doit être assez précoce pour assurer une repousse suffisante en début d'été ainsi qu'une bonne valorisation du pâturage.

Les engins utilisés sur les chantiers d'ensilage sont de plus en plus performants. La coupe doit se faire suffisamment haute pour récolter un fourrage sain et pour assurer des repousses sans pénaliser le rendement en matière sèche.

Le fanage et l'andainage du fourrage activent la dessiccation du fourrage et accélèrent la récolte proprement dite. Ces opérations se font avec des machines rapides et à grande largeur de travail qui permettent un débit de chantier élevé.

Selon le type d'ensilage la récolte s'effectue avec une ensileuse, une autochargeuse ou une presse à balles rondes ou cubiques. Les ensileuses à coupe longue (ensileuses à fléaux) ou à coupe mi-longue (ensileuses à double coupe) sont maintenant abandonnées, car elles ne permettent pas une conservation correcte de l'ensilage : brins longs difficiles à tasser, risque d'incorporation de terre... Les ensileuses à coupe fine (6 mm pour le maïs et 2 à 3 cm pour l'herbe) sont des engins très performants ramassant le fourrage fané sans problème grâce au pick-up. Le fourrage est ensuite compacté dans le bloc régulateur puis coupé plus ou moins finement selon le réglage par des couteaux régulièrement aiguisés ; enfin il est expulsé vers la remorque de transport grâce à une soufflerie.

Les remorques autochargeuses sont réservées à la récolte de l'herbe. Le fourrage fané est ramassé en andains à l'aide d'un pick-up et coupé en brins longs par des couteaux. Cette machine est moins performante en débit de chantier car elle doit aussi assurer le transport.

Les presses à grosses balles ramassent le fourrage en andains après un fanage soutenu avec un hachage ou non de 10 à 15 cm. Il est alors tassé énergiquement et lié dans la chambre de presse. Un film plastique est appliqué fortement sur sa surface par une enrubanneuse.

Le stockage de l'ensilage se fait dans des silos qui le protègent de l'air, de l'eau et des prédateurs et lui assurent une bonne qualité de conservation. Le stockage implique une organisation, une mécanisation et des investissements différents selon le mode de conservation retenu. Il se fait principalement en silos horizontaux dans lesquels le fourrage apporté en vrac est réparti en couches successives jusqu'à une hauteur de 1,50 à 3 m puis tassé mécaniquement. L'étanchéité est obtenue par l'application d'une bâche plastique imperméable, résistante à l'étirement et aux chocs. Le placage de la bâche sur la masse se fait à l'aide de sacs de sable ou de graviers.

Les silos sont construits sur un terrain sain généralement proche de l'élevage. Ils reposent préférentiellement sur une dalle de béton ou à défaut sur une bâche assurant une étanchéité vis à vis des infiltrations d'eau et des salissures provenant du sol. L'écoulement des eaux est obtenu grâce à une pente de 2 % pour un

désilage mécanisé et 4 % pour un libre service. Les silos comprennent ou non des parois latérales assurant la stabilité et la protection de l'ensilage et permettant d'atteindre une hauteur plus grande (jusqu'à 4 m).

L'ensilage en grosses balles, demande d'observer le même soin pour la confection des balles et le maintien de l'étanchéité en cours de stockage. Ce type d'ensilage permet aussi de donner un produit de bonne qualité, d'utiliser le même matériel que pour le foin, d'être bien mécanisé, de ne pas demander d'investissements pour le stockage et d'être bien adapté à la gestion du pâturage (récolte à la demande de petites parcelles en excédent). Pour ce type de conservation un préfanage poussé entre 50 et 65 % de MS, des balles bien faites de préférence avec un liage en filet bien appliqué, facilitent la manipulation. L'enrubannage se fait aussitôt la confection de la balle réalisée. La machine doit être bien réglée pour assurer l'application parfaite du film sur la balle : 4 couches de film est un minimum avec un recouvrement de 50 % et un taux d'étirage de 60 %. Le stockage se fait verticalement sur un sol sain.

Tous les éléments concourant à la protection des silos vis à vis des prédateurs (oiseaux, rongeurs...) et des incidents pouvant endommager la couverture doivent être pris en considération.

La reprise de l'ensilage se fait directement par l'animal dans le cas du libre service. Un râtelier mobile est placé devant le front du silo. Ce système est exigeant en surveillance du comportement des animaux et en travail pour l'extraction de l'ensilage, l'enlèvement des refus, le maniement des cornadis...

La reprise mécanisée comporte les opérations d'extraction, de transport, de mélange éventuel à d'autres aliments et la distribution. L'extraction reste l'opération sensible pour le devenir du silo à cause du risque d'ébranlement du front d'attaque entraînant des rentrées d'air qui provoquent la reprise des fermentations et le développement de moisissures. L'enlèvement de l'ensilage se fait par arrachement ou sectionnement selon l'outil utilisé. Le front d'attaque doit avancer assez rapidement, de l'ordre de 15 ou 25 cm par jour selon la saison et doit présenter une coupe franche sans fissurations pour éviter l'échauffement.

L'emploi d'une remorque mélangeuse demande un suivi des opérations pour s'assurer de l'homogénéité du mélange et éviter de réduire en trop fines particules le fourrage ce qui pourrait s'avérer préjudiciable au bon fonctionnement de l'appareil digestif des ruminants.

Compte tenu de la charge polluante élevée que représentent les jus concentrés, il est nécessaire d'en limiter la production (préfanage) et à défaut de garantir leur collecte et leur traitement avec les autres effluents.

En définitive la propreté de la récolte du fourrage, la réalisation minutieuse des différentes opérations d'ensilage, une vitesse d'avancement suffisamment rapide du front d'attaque à la reprise et une netteté minimale des abords du silo constituent autant de gages d'une bonne maîtrise des problèmes sanitaires.

Appréciation de la qualité du produit fini

1 Valeur nutritive : comparaison avec le produit de départ (pertes et gains)

1.1 Composition chimique et valeur énergétique des fourrages conservés

La composition chimique et la valeur énergétique des fourrages conservés sont plus ou moins modifiées par rapport à celle du fourrage vert récolté.

Dans les ensilages, les pertes de produits solubles dans les jus augmentent de façon passive la teneur des constituants chimiques dans la matière sèche, mais la digestibilité de la matière organique (dMO) est peu modifiée par rapport à celle du fourrage vert. Avec les foin, les manipulations (fanages, récolte) provoquent des pertes (feuilles) ce qui diminue les teneurs en MAT et la dMO au profit des parois (CB) (Tableau 12).

Tableau 12 : Modifications relatives de la composition chimique, de la digestibilité de la matière organique et de la valeur UFL des fourrages conservés par rapport au fourrage vert (INRA, 1981)

Fourrage	Mode de conservation	MAT (g/kg MS)	CB	dMO(1)	UFL (1)
Graminées					
	Ensilage :				
	direct sans conservateur	+ 4	+ 32	- 1,4	- 4,4
	avec conservateur(2)	+ 2	+ 24	+ 1,4	- 1,1
	préfané	- 3	+ 9	- 2,9	- 5,5
	Foin :				
	ventilé	- 6	+ 27	- 5,8	- 7,7
	fané au sol par beau temps	- 6	+ 16	- 5,7	- 7,9
Luzerne					
	Ensilage :				
	direct sans conservateur	- 10	+ 16	- 1,6	- 3,6
	avec conservateur(2)	- 10	+ 18	0	- 3,5
	Foin :				
	ventilé	- 16	+ 33	- 5,3	- 9,6
	fané au sol	- 42	+ 91	- 10,8	- 15,7

NB : (1) écart en % entre la dMO ou la valeur UFL de l'ensilage ou du foin et celle du fourrage vert correspondant. Un écart de dMO lié au stade de végétation permet de situer l'échelle de ces valeurs. Pour un fourrage vert de graminées à partir du stade début épiaison, un écart de 4 jours entraîne une baisse de la dMO de - 2,3 % et un écart de 10 jours une baisse de -5,6 %.

(2) conservateur efficace.

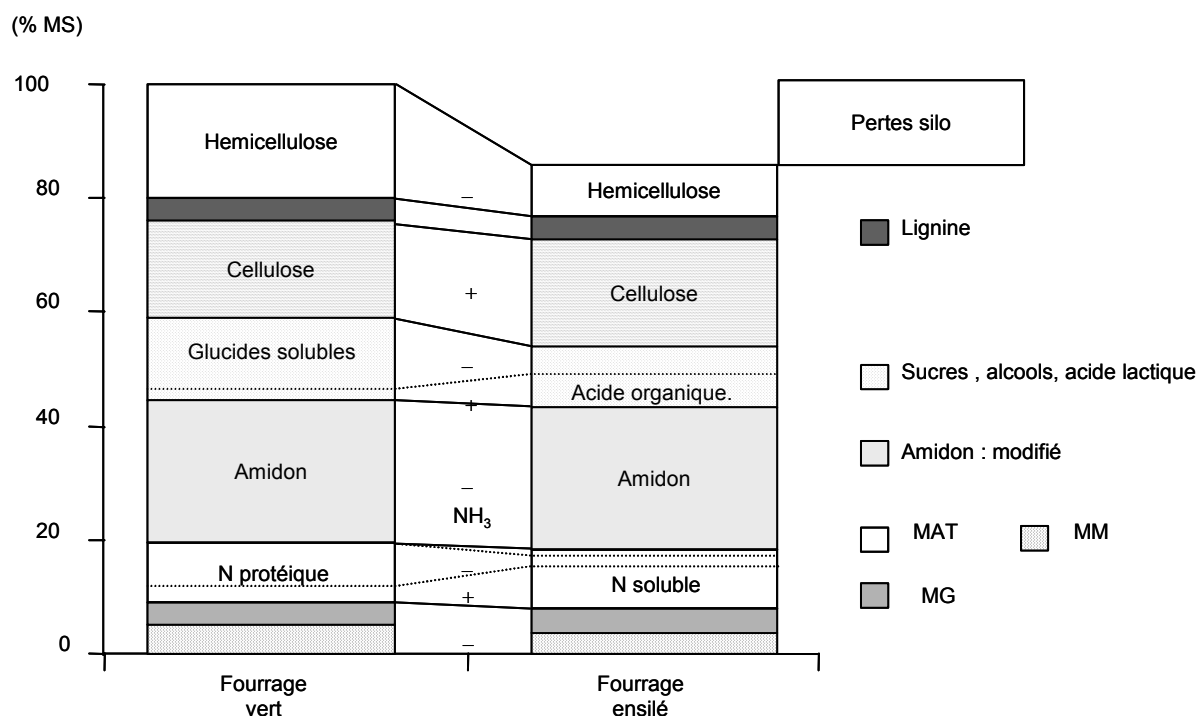


Figure 11 : Modifications quantitatives et qualitatives au sein du fourrage vert pendant la conservation par ensilage : exemple du maïs

1.2 Valeur azotée des fourrages conservés

La valeur azotée des fourrages est exprimée en quantité de protéines digestibles dans l'intestin grêle (PDI). Compte tenu des effets conjugués de la dégradabilité de l'azote des aliments et de la synthèse des protéines microbiennes (ruminants) il existe 2 valeurs PDI parallèles pour chaque aliment :

- la valeur PDIN qui représente sa valeur PDI s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable ;
- la valeur PDIE qui représente sa valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant de la synthèse microbienne.

La valeur azotée des ensilages est d'autant plus inférieure à celle des fourrages verts de départ que leur qualité de conservation est mauvaise et que l'intensité des fermentations a été importante.

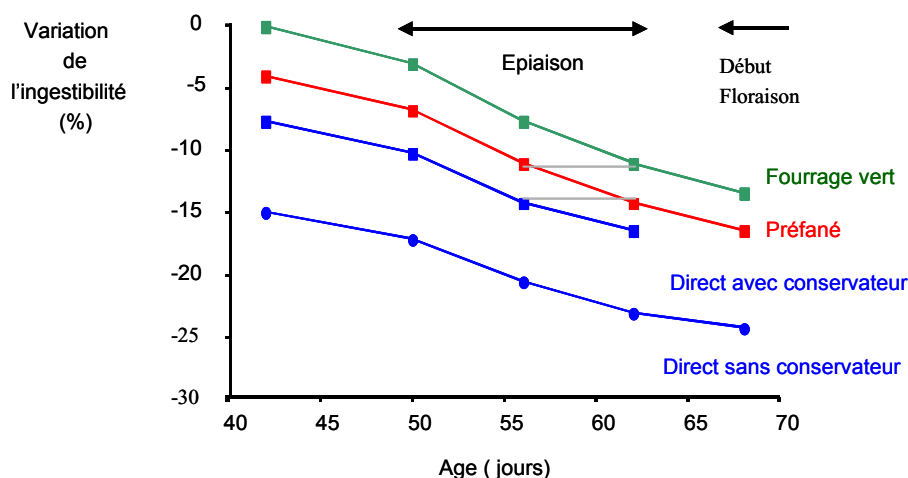
Tableau 13 : Valeur protéique d'un fourrage récolté

	Dactyle		Pr. permanente	
	PDIN	PDIE	PDIN	PDIE
	(g / kg MS)		(g / kg MS)	
Fourrage vert	100	90	94	89
Ensilage brins courts sans conservateur	90	67	85	65
Ensilage brins courts avec conservateur	93	79	88	80

1.3 Ingestibilité des fourrages conservés

Sauf rares exceptions, l'ingestibilité des fourrages conservés en ensilage est inférieure à celle des fourrages verts correspondants (Figure 13). Cette baisse d'ingestion varie en fonction de la teneur en matière sèche, de la finesse de hachage et de la qualité de conservation. Lorsque la teneur en matière sèche du fourrage récolté est faible, la quantité d'acide lactique et d'acides gras volatils produite par les fermentations peut être importante (> 150 - 200 g/kg MS) et avoir un effet négatif sur

l'ingestion. En comparaison, pour le foin séché au sol par beau temps, l'ingestibilité correspond à celle du fourrage vert mais elle peut être diminuée (de 5 à 15 %) avec un temps de séjour prolongé au sol et/ou des pertes de feuilles pendant la manipulation du fourrage (notamment pour les légumineuses).



Par convention J50 = stade début épiaison

Figure 12 : Influence de la conservation, du stade de récolte par ensilage du dactyle 1^{er} Cycle sur l'ingestibilité par une vache laitière de 600 kg produisant 25 kg de lait (INRA, 1988)

La diminution d'ingestibilité du fourrage vert de dactyle 1^{er} cycle en fonction de l'âge de la plante (stade de végétation) est d'environ 3,8 % par semaine. Par rapport à ce dernier, la baisse d'ingestibilité d'un ensilage préfané correspondant est inférieure à 5 % ce qui montre que son niveau d'ingestion est proche de celui de l'herbe sur pied qui a une semaine de végétation en plus. Cet exemple montre aussi dans le cas d'un ensilage direct que l'utilisation d'un conservateur efficace permet de réduire de 50 % la baisse d'ingestibilité.

1.4 Evolution des constituants minéraux majeurs dans les fourrages conservés

Par rapport aux fourrages verts correspondants, les constituants minéraux majeurs (Ca, P, Mg, Na, K) dans les fourrages conservés subissent des variations suivant la teneur en matière sèche pour les ensilages et le temps de séjour au sol pour les foins (Tableau 14).

Tableau 14 : Modifications possibles de la composition minérale suivant les conditions de récolte en ensilage et en foin par rapport aux fourrages verts correspondants (en %, INRA 1981)

	Ca, P, Mg	Na, K
Foin ventilé	0	0
Foins séchés au sol		
Beau temps	0	0
Mauvais temps	- 10 %	- 30 %
Ensilages		
Pas de jus (MS>25%)	+ 10 %	+10 %
% MS = 20-23 %	0	- 5%
% MS = 18 %	- 5 %	- 10 %
% MS = 13 %	- 20 %	- 35 %

➡ POINTS A RETENIR

En conclusion, par rapport aux fourrages verts correspondants, la valeur alimentaire (valeur énergétique, valeur azotée, valeur minérale, ingestibilité) des ensilages bien conservés n'est que faiblement diminuée. Cette diminution est comparable à celle des foin séchés au sol dans de bonnes conditions. En revanche, la valeur alimentaire est nettement plus réduite lorsque l'ensilage présente une mauvaise qualité de conservation.

Cela souligne l'importance que revêt une bonne maîtrise de la technique de conservation comme gage d'un produit fini dont la valeur finale peut ainsi avoisiner celle du fourrage vert initial.

2 Caractéristiques organoleptiques et qualité de conservation

2.1 Caractéristiques organoleptiques

Les caractères organoleptiques constituent les facteurs déterminant l'appétence. Un défaut de conservation peut entraîner une baisse voire un refus d'ingestion, donc une chute de production et l'apparition éventuelle de troubles de la santé. Une altération des caractères organoleptiques est généralement le reflet d'une déviation fermentaire indésirable.

La DLG (Deutsche Landwirtschaft Gesellschaft) propose la prise en compte de trois facteurs :

- L'odeur

Recherchée : odeur agréable, légèrement acide et aromatique (flaveur de fruits ou de pain frais)

(indice de la main : passée à l'eau, la main qui a manipulé l'ensilage, ne conserve pas d'odeur désagréable).

Rejetée : absence d'odeur ou odeur désagréable : franchement ou fortement acide, piquante, irritante, de rance, de brûlé (ensilage préfané), de moisi, ammoniacale ou putride.

(indice de la main : passée à l'eau, la main qui a manipulé l'ensilage, conserve une odeur désagréable).

- La consistance

Recherchée : Conservation d'une structure qui permet de reconnaître des fractions de tiges et de feuilles.

Rejetée : Absence de structure, consistance molle, pâteuse, gluante.

- La couleur

Recherchée : Couleur franche rappelant la couleur initiale du fourrage avec une teinte brune (couleur tabac blond).

Rejetée : Couleur étrangère souvent signe de contamination fongique.

Couleur modifiée : plus claire ou plus sombre.

Couleur altérée : absence de couleur (choucroute lavée) ou noire.

2.2 Qualité de conservation

2.2.1 Ensilages

○ Evaluation de la qualité des ensilages

Les études analytiques et l'utilisation par les animaux d'un nombre important d'ensilages ont permis de définir des barèmes d'appréciation de leur qualité. Il existe de nombreuses grilles d'appréciation de la qualité des ensilages qui aboutissent à des appréciations assez cohérentes de la qualité. Celle proposée par l'INRA est fondée sur 6 paramètres principaux (Tableau 15) :

- le pH,
- la teneur en acides gras volatils totaux (mmoles/kg MS),
- la teneur en acide acétique (g/kg MS),
- la teneur en acide butyrique (g/kg MS),
- la proportion d'azote sous forme ammoniacale dans l'azote total (en %),
- la proportion d'azote sous forme soluble dans l'azote total (en %).

Tableau 15 : Barème INRA d'appréciation de la qualité de conservation des ensilages (1988)

Appréciation	pH (1)	AGV totaux	Ac. Acét	Ac. Buty	Azote ammoniacal (% NT)			N Soluble
		(mmoles/kg MS)	g / kg MS		Maïs	Luzerne	Autres	(% N total)
Excellent	<4	<330	<20	0	<5	<8	<7	<50
Bon	<4,2	330 – 660	20 -40	<5	5-10	8-12	7-10	50-60
Médiocre	<4,4	660 – 1000	40 –55	>5	10-15	12-15	10-15	60-65
Mauvais	<5	1000 – 1330	55 –75	>5	15-20	16-20	15-20	>65
Très mauvais	>5	>1330	>75	>5	>20	>20	>20	>75

(1) Valeurs proposées pour des ensilages dont la teneur en MS est <= à 35 %. Si la MS est > 35 %, le pH n'est plus un indicateur valide de conservation.

Le pH est le révélateur de l'intensité de la fermentation lactique. Le pH optimum dépend de la teneur en matière sèche (MS) de l'ensilage. Pour assurer un tri efficace des microbes avec une teneur en MS égale ou inférieure à 30 p 100, le pH ne doit pas dépasser 4. Avec des teneurs plus élevées en MS, le pH peut augmenter proportionnellement, mais ne devrait pas dépasser 4,4 (risque de prolifération de *Clostridia* et/ou de *Listeria*). Un pH trop bas est défavorable à la croissance des lactobacilles, et selon les souches, leur multiplication est limitée pour une valeur comprise entre 3,2 et 3,8 ; il est donc conseillé de ne pas descendre en dessous de 3,8 lors de l'utilisation d'agents chimiques d'ensilage. Un pH trop acide, dans un ensilage riche en sucres, peut favoriser le développement des levures (mauvaise stabilité aérobie). Enfin il peut diminuer le pouvoir tampon du rumen et réduire la quantité d'ensilage consommée.

La mesure du pH au silo

Le pH, comme les autres paramètres d'appréciation de la qualité de conservation des ensilages, peut être mesuré au laboratoire à partir d'échantillons de fourrages prélevés sur le front d'attaque du silo. Il peut également être mesuré directement sur le terrain, permettant ainsi un diagnostic rapide et un conseil au producteur immédiat, notamment dans le cadre d'interventions réalisées par les techniciens agricoles dans les exploitations laitières confrontées à des problèmes de contamination du lait par les spores butyriques ou par *Listeria*.

Pour ce faire, il existe sur le marché des pH mètres portatifs très maniables, fiables, sensibles et précis. Ces appareils sont équipés d'une électrode permettant la mesure directe du pH en milieu solide, sans préparation de l'échantillon analysé. La mesure est lue sur un petit boîtier à affichage digital. Pratiquement, les mesures sont effectuées sur le front d'attaque des silos, en enfonçant l'extrémité de l'électrode dans le fourrage, à environ 5 cm de profondeur. Elles peuvent être réparties sur l'ensemble de la surface du front d'attaque, et permettent ainsi d'identifier les zones dans lesquelles le pH du fourrage est supérieur au pH de stabilité, et où les bactéries indésirables sont susceptibles de proliférer.

L'acide lactique est le principal responsable de l'abaissement du pH et de la qualité de l'ensilage. L'acide lactique provient de la dégradation anaérobie du glucose. Avec moins de 40 g par kg de MS, la fermentation lactique est insuffisante et en dessous de 25 g par kg de MS d'ensilage, l'appétence est mauvaise. Avec plus de 80 g par kg de MS, l'ensilage est trop acide, l'ingestibilité diminue et cela peut favoriser l'apparition d'une acidose ruminale chronique.

L'acide acétique est produit en début d'ensilage lors de la phase aérobie et hétérolactique, il ne devrait pas dépasser 20 g par kg de MS d'ensilage. Si la quantité est plus élevée, elle signe un retard de la fermentation lactique et une consommation concurrentielle des sucres au détriment des lactobacilles. Conséquence : la production d'acide lactique est pénalisée, l'acidification du fourrage est ralentie. La présence en quantité excessive d'acétates (supérieure à 40 g par kg de MS d'ensilage) donne une saveur vinaigrée peu appréciée des animaux qui peuvent diminuer leur niveau d'ingestion. L'effet négatif de ces bactéries s'exerce aussi sur les matières azotées ; il se manifeste par une augmentation de la proportion d'azote soluble. Enfin certaines entérobactériacées participent à la dégradation des acides aminés : elles accroissent la quantité d'ammoniac (NH₃) et secrètent également des endotoxines nocives.

L'acide butyrique est produit par les clostridies. Un bon ensilage ne devrait pas en contenir des teneurs supérieures à 0,1 g par kilogramme de MS. Parmi les clostridies non pathogènes, il existe deux catégories de clostridies :

- Les clostridies glucidolytiques (*Clostridium butyricum*, *Cl. tyrobutyricum*, *Cl. paraputrificum*) qui fermentent le glucose, l'acide lactique, les acides organiques avec formation d'acide butyrique et de gaz carbonique.
- Les clostridies protéolytiques (*Clostridium sporogenes*, *Cl. bifermentans*) qui désaminent les acides aminés en acide butyrique, gaz carbonique et ammoniac ou qui les décarboxylent en amines vasodilatatrices toxiques (histamine, putrescine, cadavérine...)

Il en résulte

- Une mauvaise conservation de l'ensilage par manque d'acide lactique et pH trop élevé,
- Un gaspillage de glucides et de protéines,
- Un risque pour la santé des animaux : diarrhée des veaux sous la mère à la suite de la contamination de la mamelle par les clostridies, listériose,
- Un risque de contamination du lait par des spores butyriques.

L'ammoniac est exprimé en azote ammoniacal en pour cent de l'azote total (%N-NH₃ /N total). Dans un bon ensilage il est de l'ordre de 4 à 7. Au-delà de 10 % et 20 % lors d'addition d'azote non protéique (ANP), il signe une protéolyse trop importante.

L'alcool, généralement exprimé en éthanol, est produit par les ferments lactiques hétérofermentaires (*Lactobacillus brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum*, *L. viridescens*) et/ou les levures. La présence d'éthanol entraîne celle d'autres alcools (méthanol...).

L'excès d'éthanol entraîne une insuffisance hépatique et une baisse de la production. Lorsque la quantité d'alcools est importante il peut en résulter une cirrhose hépatique. Les alcools non éthanol lors de la reprise aérobie confèrent une saveur très désagréable à l'ensilage et entraînent une chute d'appétence. Pour ces raisons, le taux d'alcool doit demeurer inférieur à 25 g par kg de matière sèche d'ensilage mais peut excéder 60 g.

Si l'on veut classer les ensilages, il est conseillé de procéder à une évaluation comparée de ces paramètres de conservation selon la grille d'appréciation donnée dans le Tableau 15.

2.2.2 Balles rondes pressées et enrubannées

L'absence de hachage et la richesse en matière sèche (MS) orientent différemment les processus enzymatiques et fermentaires : la densité du fourrage est d'environ 30 % plus faible, il reste donc une importante quantité d'air résiduel qui prolonge la respiration et retarde la fermentation. L'absence de libération du contenu cellulaire (absence de jus) ne met pas les sucres à la disposition des bactéries, la formation d'acides gras volatils reste modeste, la température liée à l'échauffement fermentaire est peu élevée (de l'ordre de 45°C avec une teneur en MS de 45 %) et les pertes en MS demeurent limitées. Dans ce milieu peu favorable à la prolifération bactérienne le meilleur critère de conservation reste la teneur en matière sèche (Tableau 16).

Il est préférable d'enrubanner des fourrages à plus de 35 % de MS, en dessous l'écoulement de jus dont l'évacuation n'est pas possible peut poser problème.

Tableau 16 : Qualité des fourrages pressés enrubannés et teneur en MS (moyenne de 180 analyses, CEMAGREF-Institut de l'Elevage-INRA-ITCF, 1993)

MS %	Azote soluble (% N total)	Azote ammoniacal (% N total)	Acide acétique (g/kg MS)	Acide propionique + butyrique (g/kg MS)
< 30	-	12,9	13,5	30,7
30 – 40	63,4	10,9	10,1	16,2
40 – 50	47,4	6,9	7,6	6,2
50 – 60	37,8	6,1	6,2	3,3
> 60	31,2	3,6	5,3	2,2

Il y a donc un intérêt à enrubanner des fourrages contenant plus de 45 % de MS, l'optimum se situant entre 60 et 65 %.

➔ POINTS A RETENIR

Il est possible d'apprécier l'appétence d'un ensilage selon les 3 caractéristiques que sont l'odeur qui doit être agréable, aromatique et légèrement acide, la consistance qui doit présenter une structure où les composants de la plante sont bien reconnaissables et enfin la couleur franche et brune.

La qualité de conservation d'un ensilage peut être estimée grâce à un barème d'appréciation proposé par l'INRA et établi à partir de la compilation des résultats des essais conduits sur l'ensilage. Le classement s'effectue à partir de 6 paramètres comprenant 5 classes d'appréciation allant d'excellent à très mauvais :

Le pH, révélateur de l'intensité des fermentations lactiques doit être inférieur à 4 pour les graminées et le maïs sans descendre au dessous de 3,8. Il est facile et peu onéreux à mesurer ;

L'acide lactique, responsable de l'abaissement du pH et garant de la qualité de conservation ;

L'acide acétique, indice d'une mauvaise orientation des fermentations, ne doit pas dépasser 20-25 g par kg de MS. Au dessus de 40 g, l'ensilage est mal consommé et les protéines se trouvent dégradées ;

L'acide butyrique, produit par les clostridies, doit se retrouver à l'état de traces (moins de 0,1 g par kg de MS d'ensilage) ;

L'ammoniac indique l'état de dégradation des protéines de l'ensilage et doit représenter moins de 5 % de l'azote total pour le maïs et de 6-7 % pour les ensilage d'herbe avec conservateur ;

L'alcool est produit par les ferments lactiques hétérofermentaires et les levures. L'excès (plus de 25 g par kilogramme de MS) provoque une chute d'appétit et de production généralement associée à une atteinte hépatique (cirrhose).

Pour les balles rondes l'orientation des fermentations est différente parce que le fourrage est haché en brins très longs et que la teneur en MS du fourrage est très élevée. Ainsi pour une teneur en MS comprise entre 50 et 65 % la proportion d'azote ammoniacal ne doit pas dépasser 8 à 10 %, celle en acide acétique 5 à 6 g par kg de MS et celle en acides propionique et butyrique doit rester inférieure à 3 g par kilogramme de MS.

3 Ingestibilité et granulométrie

La taille des particules influence la qualité de conservation et l'ingestibilité du fourrage. Plus un fourrage est haché finement, plus il est facile à tasser ; l'anaérobiose nécessaire à la bonne conservation de l'ensilage est favorisée. Pour un type d'animal et une teneur en MS donnée de l'ensilage, le fourrage est d'autant plus encombrant qu'il est peu haché, donc que ses particules sont grossières.

Un ensilage d'herbe en coupe fine est ingéré en plus grande quantité que le même fourrage récolté en brins longs au même taux de MS (Figure 13, Demarquilly et al, 1998). Pour que l'animal rumine suffisamment, il ne faut cependant pas rechercher une taille de particules trop fine. La longueur optimale des brins d'ensilage d'herbe est située entre 4 et 6 cm (brins courts).

Ingestibilité relative (%)

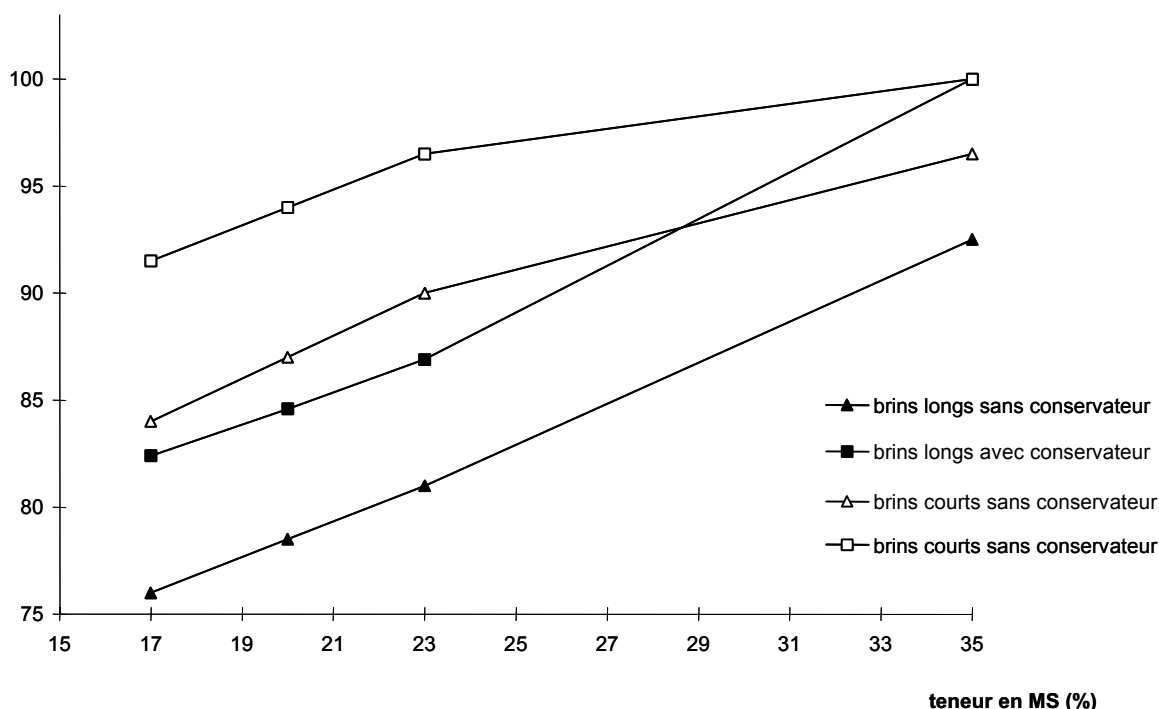


Figure 13 : Ingestibilité relative d'ensilages d'herbe par des vaches laitières (Demarquilly et al., 1998)

Au-delà de 40 % de MS la consommation des ensilages d'herbe en balles rondes n'est pas améliorée. Le tronçonnement en brins de 12 à 15 cm de longueur à la récolte n'améliore pas la conservation mais facilite la distribution de la balle à son ouverture.

Pour des ensilages de maïs destinés à des vaches laitières (Institut de l'Elevage – AGPM, 1995), il convient de préconiser :

- moins de 1 % de particules grossières, mesurant plus de 2 cm,
- 8 à 12 % de particules moyennes, de 1 à 2 cm,
- et moins de 50 % de particules très fines de moins de 6 mm.

La coupe de l'ensilage de maïs à la récolte doit être franche et les particules coupées non laminées. Pour l'obtenir, l'affûtage des couteaux de l'ensilage doit être réalisé après une demi-journée de chantier de récolte. Les différents réglages pour l'avancement et le transfert du fourrage sont faits pour empêcher l'étirement ou l'écrasement des brins par les différentes parties mécaniques de la chaîne de récolte.

La granulométrie d'un ensilage de maïs se mesure à l'aide du "tamisecoueur®" (ITCF, 1990, Annexe 4) ; cet outil simple permet d'évaluer en quelques minutes la granulométrie à la récolte pour régler, si nécessaire, la coupe de l'ensileuse en début du chantier.

Il faut éviter une granulométrie hétérogène, du type de celle caractérisée par 3 % ou plus de gros morceaux accompagnés de plus de 50 % de particules très fines (Institut de l'Elevage – AGPM, 1995). Celle-ci incite les animaux à trier et délaisser les gros morceaux à l'auge, les animaux qui ingèrent finalement un fourrage trop finement ont un risque d'acidose accru.

A la reprise de l'ensilage au silo, la granulométrie peut être remaniée par une "desileuse-fraise" dont les couteaux nombreux et affûtés ou la vitesse de rotation importante découpent les particules du fourrage fermenté. Sur des ensilages présentant des brins moyens à la récolte (13 % de particules moyennes et moins de 2 % de particules grossières), une reprise agressive par ce genre d'appareil peut cependant diviser par 2,5 la proportion des particules moyennes (5 %) sans remanier les particules grossières et en augmentant d'un tiers la part de particules très fines (Institut de l'Elevage, 1990). Cette dérive est évitée en ajustant les réglages du désilage au type de machine utilisé et au silo repris.

Lors du mélange mécanique de fourrages entre eux ou du fourrage et des concentrés à l'aide de "mélangeuses", il faut veiller à ne pas laminier les particules en pratiquant un mélange :

- de courte durée (3 à 5 mn selon les machines et les volumes),

- lent et tempéré pour éviter les chocs contre les parois, les compressions et étirements entre les pièces métalliques.

L'ordre d'introduction des aliments dans la mélangeuse permet de préserver la granulométrie des fourrages en chargeant d'abord les aliments à très faible granulométrie (aliments concentrés) puis ceux à granulométrie et fibrosité importantes (foin, paille). Les ensilages, un peu plus fragiles, sont introduits en 3^{ème} position. Lorsqu'il y a des coproduits (humides), ceux-ci sont introduits en dernier pour préserver leur structure souvent fragile.

➡ POINTS A RETENIR

La récolte de l'ensilage vise à hacher finement le fourrage vert pour faciliter le tassement et l'anaérobiose, facteurs de stabilité et de bonne conservation du fourrage en silo. La taille des particules est adaptée au type de fourrage (herbe, maïs) et au mode de récolte (silo, balles). Le hachage en brins courts est également favorable à une ingestion élevée des ensilages.

Une taille optimale des particules et une coupe franche sont requises pour assurer la rumination nécessaire au bon fonctionnement digestif des animaux. Les appareils de reprise de l'ensilage au silo et de distribution à l'auge ne doivent pas remanier la taille des particules ou leur fibrosité pour que la ration ne présente pas un risque acidogène accru.

4 Sécurité sanitaire : germes et moisissures indésirables

4.1 Contamination des fourrages par *Listeria monocytogenes*³

4.1.1 Nature du risque

La présence et le développement possibles de *Listeria monocytogenes* (Lm) dans les ensilages ont été rapportés dans de nombreuses études (Tableau 20). Les niveaux de contamination peuvent parfois être très élevés : des teneurs supérieures à 10⁷ Lm/g ont été observées. Toutefois, c'est essentiellement dans les zones mal conservées des ensilages, du fait de conditions de confection, de stockage ou de reprise défectueuses, que les *Listeria* sont présentes et peuvent se multiplier en quantité importante. Sur le plan sanitaire, cette contamination a deux conséquences :

- Concernant la santé animale, le risque d'apparition de listériose dans les troupeaux de ruminants consommant des fourrages contaminés. Les ensilages ont depuis longtemps été associés à cette pathologie, en particulier chez les ovins et les caprins.
- Concernant la santé publique, le risque de contamination du lait avant sa collecte et sa transformation et donc le risque de contamination des produits, notamment des fromages au lait cru. En effet, les animaux qui ingèrent un fourrage contaminé par *Listeria monocytogenes* ne sont le plus souvent pas infectés par cette bactérie et ne tombent pas malades, mais l'excrètent dans leurs fèces. Des conditions d'hygiène déficientes dans les étables ou pendant la traite peuvent alors conduire à une contamination du lait d'origine fécale.

L'origine et les facteurs de développement de la contamination des ensilages par *Listeria monocytogenes* (Lm) sont bien établis :

- Les *Listeria* sont fréquemment présentes, en quantité généralement faible (moins de 50 bactéries/g), dans la terre ou sur les fourrages verts qui constituent leur habitat naturel et sont les sources primaires de contamination. En fonction des parcelles, entre 0 et 70 % des prélèvements de fourrages seraient contaminés (Harteiser 1995, Corrot et al., 1998).

- Après la récolte et la confection de l'ensilage, les *Listeria* vont se développer si l'acidification du fourrage est trop lente ou reste insuffisante, notamment à cause de la présence d'oxygène, qui perturbe les fermentations lactiques (cf.0). Le développement de Lm dans les fourrages fermentés dépend également du taux de matière sèche et de l'activité de l'eau (Tableau 17) : l'effet de l'aérobiose est accentué par une faible teneur en matière sèche, ou au contraire diminué par la dessiccation.

Au-dessous du pH critique de croissance de Lm dans l'ensilage (qui se situe entre 4 et 5.5 selon la nature du fourrage, sa teneur en matière sèche, et la température), sa population diminue au fur et à mesure que se poursuit l'acidification. Toutefois, celle-ci n'engendre pas forcément un assainissement

³ Rapport de la Commission d'études des risques liés à *Listeria monocytogenes* (Afssa, juillet 2000)

complet vis à vis de Lm, qui peut survivre à des pH bien inférieurs. Si les conditions redeviennent favorables, sa croissance peut reprendre. C'est le cas lorsque la fermeture du silo n'est pas suffisamment étanche : l'air diffuse dans le fourrage et permet le développement de bactéries aérobies et de moisissures qui en utilisant l'acide lactique, provoquent une remontée du pH entraînant la croissance des Lm restées vivantes dans l'environnement proche de la source d'air. Ainsi, des essais en laboratoire sur fourrage artificiellement contaminé (10^6 Lm/g) montrent que malgré une acidification menant à un pH de 3,8, Lm est toujours capable de croître après 100 jours de stockage en conditions d'aérobiose. En revanche, en conditions d'anaérobiose, un pH inférieur à 4,2 était suffisant pour la détruire.

Tableau 17 : Caractéristiques de croissance de *Listeria monocytogenes* (Brackett, 1988 ; Larpent, 1995 ; Lou et Yousef, 1999)

	Croissance		
	Mini	Maxi	Optimum
Température (°C)	1	45	30-37
pH	5,6- 4,4 (à 30°C)	9,6	7-7,5
Oxygène	facultatif		micro-aérophile
A_w	0,90-0,93		0,97
NaCl (%)		10-12	

Dans la partie centrale de l'ensilage, le pH reste généralement bas et Lm est absente ou présente en très faible quantité. C'est dans les parties superficielles du silo, plus difficiles à tasser (pour en chasser l'air) et à couvrir hermétiquement, que les risques sont les plus élevés. La mesure du pH du fourrage, qui est un bon indicateur de la qualité de conservation de l'ensilage, peut être reliée à ce risque, et plus largement, au risque de contamination du lait (Tableau 18).

Par ailleurs, les résultats d'études épidémiologiques montrent que le risque de contamination du lait dans les exploitations augmente très significativement lorsque les conditions suivantes sont réunies : ensilages mal conservés et hygiène insuffisante dans les étables ou lors de la traite (Sanaa et al., 1993 ; Ménard et al., 1998). La comparaison des souches de *L. monocytogenes* isolées dans le lait et l'environnement des élevages étudiés confirme l'hypothèse que la source potentielle de contamination est l'ensilage mal conservé : les animaux qui le consomment excrètent *Listeria* dans leurs fèces, qui contaminent les litières et la peau des trayons ; le passage dans le lait s'effectue lors de la traite.

Tableau 18 : Qualité de conservation de l'ensilage et risque de contamination du lait par *Listeria monocytogenes* (Sanaa et al., 1993)

Evaluation de la qualité de conservation du fourrage	Elevages "cas" ¹ (n)	Elevages "témoins" ² (n)	OR ³	P ⁴
Centre de l'ensilage				
pH inférieur à 4	33	44		
pH supérieur ou égal à 4	23	9	2,9	0,02
Périphérie de l'ensilage				
pH inférieur à 4	9	27		
pH supérieur ou égal à 4	53	26	6,1	< 0,0001

¹Elevages ayant produit un lait contaminé par *L. monocytogenes* ; ²Elevages n'ayant pas produit de lait contaminé ; ³Odds ratio (rapport des chances, risque relatif) ; ⁴Association significative si $p < 0,05$.

NB : le rapport des chances, ou Odds ratio, est une mesure de la force de l'association entre le facteur et le danger étudié (ici, la présence de *Listeria* dans le lait). L'association est négative pour un rapport entre 0 et 1, et positive pour un rapport supérieur à 1. Si le rapport est égal à 3, par exemple, la probabilité de l'occurrence du danger est 3 fois plus élevée dans le groupe exposé que dans le groupe non exposé.

4.1.2 Un risque maîtrisable

Si, à l'échelle d'une zone de collecte, l'ensilage constitue indéniablement un facteur important de risque de contamination du lait par L.m, de nombreuses études montrent cependant que :

a. Tous les ensilages ne sont pas contaminés

La contamination initiale est liée à celle des sources primaires : terre et fourrages verts. S'il semble difficile aujourd'hui de maîtriser la contamination des fourrages verts, dont l'origine et les facteurs de variation sont mal connus, des mesures pratiques permettent en revanche d'éviter l'incorporation de terre dans les fourrages : suppression des taupinières dans les parcelles, réglage approprié de la hauteur des barres de coupe pendant la récolte, aménagement de la circulation des remorques de fourrage et des engins de tassement pendant le chantier d'ensilage. Dans les ensilages faits à partir de fourrages aptes à ce mode de conservation (teneur en sucre élevée ou faible pouvoir tampon) et bien réalisés, l'acidification due aux fermentations lactiques est rapide et permet d'atteindre en moins de 4 jours un seuil de pH de stabilité, qui doit non seulement empêcher le développement des *Listeria*, mais probablement aussi détruire en partie celles qui étaient présentes initialement.

C'est principalement dans les ensilages mal réalisés ou dans les couches superficielles du silo (c'est à dire dans moins de 10 % du fourrage) que les *Listeria* se multiplient :

Quelle que soit la nature du fourrage ensilé, la qualité de conservation de l'ensilage est conditionnée par deux étapes essentielles de sa confection : le tassage, qui doit être réalisé soigneusement et progressivement pendant le chantier pour évacuer le plus d'air possible, et une couverture hermétique en fin de chantier, qui protège le fourrage des infiltrations d'air et d'eau pendant la durée du stockage. Lorsque ces opérations sont correctement effectuées, la partie centrale du silo atteint rapidement un pH de stabilité qui empêche le développement des *Listeria*. Les couches superficielles du fourrage restent des zones vulnérables, dont il est plus difficile de maîtriser la qualité. Le tri et la non-distribution de ce fourrage aux animaux en production permettent d'éviter l'excrétion fécale, et donc de réduire les risques de contamination du lait lors de la traite (Tableau 19).

b. L'ensilage, même contaminé, ne constitue pas à lui seul un point critique vis à vis du risque de contamination du lait

Au-delà du tri et de la non-distribution des couches superficielles du fourrage, des pratiques rigoureuses d'hygiène dans les étables, pour éviter la contamination de la peau des trayons, puis lors de la traite, réduisent considérablement les risques de contamination du lait.

Tableau 19 : Les bonnes pratiques pour la prévention des risques de contamination bactérienne des ensilages

ETAPES	DANGER	PREVENTION
Récolte du fourrage	Incorporation de terre contaminée	Lutte contre les taupes Réglage de la barre de coupe
Confection du silo	Mélange de terre au fourrage Incorporation d'air	Circulation correcte des engins Nettoyage des roues de l'engin de tassement Tassage progressif par couches
Conservation de l'ensilage	Infiltrations d'air ou d'eau	Couverture hermétique du silo en fin de chantier
Reprise de l'ensilage	Reprise des fermentations sur le front d'attaque et le dessus du silo	Retrait progressif de la couverture Maintien d'un front d'attaque net
Distribution	Zones contaminées	Tri et non-distribution des parties superficielles ou altérées. Elimination des refus dans les auges

c. Un cas particulier : les balles rondes enrubannées (BRE)

D'après les résultats des quelques études aujourd'hui disponibles, les niveaux de contamination observés dans les BRE sont comprises entre moins de 50 et plus de 10^6 L.m/g. Elles sont plus souvent contaminées que l'ensilage d'herbe, vraisemblablement du fait d'un pH moyen plus élevé. Mais, les teneurs élevées en matière sèche sont en revanche associées à une baisse du niveau de contamination. C'est pourquoi les BRE examinées en France, qui ont des teneurs en matière sèche de l'ordre de 50 %, apparaissent moins contaminées que celles analysées à l'étranger, dont la teneur en matière sèche est généralement plus faible (environ 30 % de matière sèche).

Tableau 20 : Fréquence de contamination de différents fourrages par *Listeria monocytogenes*

Nature du fourrage	Caractéristiques	Nombre de prélèvements	% Présence Lm	Référence
Ensilage herbe	Silos tours majoritaires avec acide formique, fermes avec antécédents de listériose - Norvège	291 (113 fermes)	37,1	Gronstol, 1979
Ensilage herbe	Prélèvements centre du silo - Ecosse	206	2,5	Fenlon, 1985
BRE	Ecosse	27	22	
BRE	1 parcelle	27	70	Fenlon et al., 1989
Herbe	Prélèvements herbe sur pied, 2 parcelles - Ecosse	30 (1 ferme)	0	Fenlon et al., 1996
Ensilage herbe et maïs	Ensilage d'herbe (26%); ensilage de maïs (74%), fermes avec antécédents de listériose - France	65 (33 fermes)	53,8	Fensterbank et al., 1984
Ensilage de maïs	Alsace, France	203	17	Stahl et al., 1996
Ensilage herbe	Centre du silo et passages alimentaires	8 (4 fermes)	0	Husu et al., 1990a
Foin	Balles et couloir d'alimentation - Finlande	8 (4 fermes)	50	
Ensilage herbe	Centre silo (3 prélèvements de novembre à mai)	225 (80 fermes)	16	Husu, 1990b
Herbe pâturée	Herbe fraîchement coupée - Finlande	68 (68 fermes)	38,2	
Herbe	6 sites de prélèvements en France dans des zones avec climats et types d'herbe	51	39,2	Etude citée par Corrot et al., 1998
Ensilage herbe	différents Prélèvements sur 2 campagnes	119	7,6	
BRE		206	5,8	
Foin	de récolte	28	7,1	

➔ **POINTS A RETENIR**

Les *Listeria*, fréquemment présentes sur le sol et sur les fourrages verts, peuvent se multiplier et atteindre des concentrations considérables dans les ensilages ou les balles rondes enrubannées.

Mais, c'est essentiellement dans les zones mal conservées du fourrage, du fait d'une acidification (ensilages) ou d'une teneur en matière sèche (balles rondes) insuffisantes, que ces bactéries se développent. L'application rigoureuse des pratiques de confection, de stockage, et de reprise permettant d'assurer une bonne qualité de conservation est nécessaire et suffisante pour les éliminer.

4.2 Contamination des fourrages par les germes butyriques

Comme les *Listeria*, les germes butyriques peuvent se développer dans les ensilages ou les balles rondes enrubannées, si des précautions ne sont pas prises pendant leur confection, leur stockage ou leur distribution. L'origine de la contamination est essentiellement la terre incorporée au fourrage lors de sa récolte ou pendant la confection des ensilages. Les conditions de développement des germes butyriques dans les fourrages fermentés sont quasiment les mêmes que celles des *Listeria*, et des mesures similaires de prévention contre ce développement doivent donc être appliquées.

Les espèces rencontrées dans les fourrages ne sont pas pathogènes, et ne représentent pas un danger pour la santé publique. Les gruyères acides peuvent toutefois provoquer chez le consommateur une irritation buccale voire des aphtes. En revanche, la contamination du lait par *Clostridium tyrobutyricum* est responsable de problèmes technologiques en fabrication fromagère, en particulier pour les pâtes pressées cuites, dans lesquelles elle peut entraîner de graves défauts de texture et de qualité sensorielle.

4.3 La contamination des fourrages par les levures et les moisissures

Les levures sont des champignons microscopiques unicellulaires. Les moisissures sont des champignons microscopiques filamenteux. Ces micro-organismes se développent essentiellement sur des substrats riches en sucres, leur pouvoir cellulolytique étant limité. On les trouvera donc de

préférence sur les ensilages contenant des grains, tout particulièrement comme contaminants de l'ensilage de maïs.

4.3.1 Levures

Ce sont des micro-organismes qui se développent facilement sur un milieu aérobie riche en sucres mais qui se révèlent très tolérants aux conditions de milieu. La plupart peuvent se multiplier à des pH variant entre 3 et 8. Leur développement est possible dans un intervalle de température allant de 0°C à 37°C, ils peuvent envahir des ensilages à teneur en MS élevée (MS > 40 p 100).

Les levures (*Candida* sp.) se développent le plus souvent à la surface du silo, là où il y a de l'oxygène : sur le front d'attaque dans les 3 à 4 jours qui suivent l'ouverture, à la surface du silo si la bâche n'est pas appliquée d'une manière hermétique ou si elle est perforée. Elles peuvent aussi proliférer au sein de la masse ensilée si le tassement est insuffisant (fourrages préfanés) et si la quantité de sucres est élevée ou s'il existe des poches d'air, tant que l'oxygène n'a pas été consommé.

Elles transforment les sucres en alcools (éthanol et autres alcools), gaz carbonique et eau avec un dégagement de chaleur. L'éthanol est nocif pour le foie, les autres alcools rendent l'ensilage très inappétents et entraînent un refus important.

Si au départ de la phase anaérobie la teneur en levures atteint 10^5 ufc/g de MS d'ensilage, leur activité sera importante après l'ouverture du silo.

4.3.2 Moisissures

Elles sont naturellement présentes sur tous les fourrages ; leur nombre et leur nature peuvent varier avec les espèces végétales, la saison, la température. Elles sont aérobies strictes. Leur optimum de pH est de l'ordre de 5 et leur optimum de température va de 20°C à 35°C. En l'absence d'oxygène elles ne se développent pas et prennent une morphologie non identifiable, leur sporulation est inexistante et leur coloration est atypique mais dès qu'elles sont au contact de l'oxygène elles reprennent leur aspect normal en 36 à 48 heures. Dans les parties où elles ont eu le loisir de se développer, l'attention est attirée par des colorations anormales de l'ensilage (blanc, gris, gris verdâtre, bleu, rose, orangé, rouge brun). C'est cette pigmentation qui révèle souvent leur présence.

Les moisissures peuvent se défendre contre l'environnement et les autres micro-organismes en sécrétant des substances toxiques : les mycotoxines⁴. Souvent plusieurs moisissures peuvent sécréter la même mycotoxine et fréquemment elles en sécrètent un mélange plus ou moins complexe (les trichothécènes par exemple). Lorsque la moisissure a disparu, la ou les mycotoxines restent dans l'ensilage. Celles-ci peuvent être nocives pour les animaux lorsqu'elles sont présentes en quantité suffisante et sont absorbées avec la ration. Malheureusement la littérature n'a pas encore fixé des valeurs seuils de contamination pour les fourrages grossiers. Cette absence de normes précises découle de la difficulté de quantifier l'effet selon la dose, la durée d'ingestion et l'espèce animale. La majorité des moisissures productrices de mycotoxines connues sont séminicoles. Leur pouvoir cellulolytique étant réduit, elles sont plutôt présentes dans les ensilages qui renferment des grains notamment les ensilages de céréales immatures et les ensilages de maïs. Les ruminants en sont malgré tout assez bien protégés parce que la plupart entraînent l'inappétence de l'ensilage. La micropopulation ruminale en catabolisant de nombreuses molécules, contribue à la détoxification des mycotoxines. De plus, jusqu'à présent, il n'a pas été mis en évidence de risque de contamination pour le consommateur humain à partir de produits provenant d'animaux exposés à des contaminations mycotoxiques spontanées des ensilages de fourrages verts (SCAN, 2003).

ENSILAGE ET RISQUE FONGIQUE

Sur le front d'attaque, deux moisissures se développent facilement si celui-ci n'est pas renouvelé en moins de trois jours :

- *Aspergillus fumigatus (couleur grise-verdâtre), on connaît mal son pouvoir toxigène. Les ensilages contaminés peuvent engendrer des troubles digestifs, des hémorragies et souvent des avortements.*
- *Trichoderma viride (couleur jaunâtre puis verte). Il sécrète des trichothécènes, un ensemble de mycotoxines toxiques. L'intoxication se manifeste surtout par des troubles gastro-intestinaux : diarrhée avec des hémorragies.*

⁴ Une réflexion est engagée à l'Afssa sur les risques liés aux mycotoxines entrant dans la chaîne alimentaire humaine et animale

Dans le sein du silo on peut rencontrer de nombreuses espèces, les plus souvent citées étant les suivantes :

- *Fusarium spp (couleur blanche puis rose, voire orangée). On les rencontre surtout dans les ensilages préparés par temps très froid ou dans les ensilages qui ont gelés. Le genre Fusarium est susceptible de sécréter différentes mycotoxines ; plus de 20 mycotoxines sont identifiées ; les plus abondantes sont les trichothécènes qui possèdent un noyau sesquiterpène tétracyclique (les mieux connues sont le DAS ou Diacétoxyscirpénol, le DON ou Dioxynivalénol, la T2-Toxine), la zéaralénone et les fumonisines. Elles sont seules ou associées, leur association exerçant un effet potentialisateur.*

Parmi les symptômes on peut distinguer deux groupes de manifestations :

- *Ceux consécutifs à la zéaralénone (principalement dans l'ensilage de maïs). Il s'agit des troubles de la reproduction (infertilité, résorption fœtale, avortements). Les ruminants y semblent assez résistants contrairement aux porcins.*

- *Ceux découlant des autres trichothécènes où dominant : les troubles gastro-intestinaux avec nécroses et hémorragies ou coagulopathies, l'anémie, une leucopénie et une baisse de l'immunité*

- *Byssochlamys nivea (couleur blanche) sécrète de la patuline entraînant des lésions hémorragiques sur le tube digestif et qui pourrait également perturber la fermentation ruminale. D'autres moisissures secrétant de la patuline sont observées dans les ensilages : Paelomyces varioti, Penicillium granulatum.*

- *Aspergillus ochraceus (couleur blanche-jaunâtre) sous les climats tempérés (12° – 37°C) et Penicillium verrucosum dans les régions plus fraîches (4° - 30°C) en milieu riche en eau, sécrètent de l'ochratoxine A à tropisme hépatique et rénal, responsables d'hémorragies, de néphropathies et d'avortements et/ou de polydipsie et de polyurie. Les ruminants sont moins sensibles que les monogastriques.*

- *Geotrichum candidum (couleur blanche poudreuse) est inoffensif mais abaisse fortement l'ingestibilité par une odeur de moisi et une saveur désagréable, il peut même entraîner un refus d'ingestion.*

- *Mucor spp (blanc puis piqueté de gris) est inoffensif mais diminue fortement l'appétence.*

- *Monascus purpureus (couleur rouge brun) on ignore son pouvoir toxogène mais l'observation rapporte des manifestations d'inappétence.*

- *Ustilago maydis (charbon du maïs) est le plus fréquent à cause de la culture du maïs, mais il existe des parasites adaptés aux autres céréales fourragères orge et avoine (U. hordei et U. avenae) Les avis sont partagés sur leur toxicité, Ustilago renfermerait des alcaloïdes proches de ceux de l'ergot et pourrait occasionner des troubles digestifs et des avortements. Il est conseillé de ne pas ensiler des fourrages lorsque le taux de pieds charbonnés est supérieur à 20 p 100, de réserver cet ensilage à des bovins à l'engraissement et de l'éviter dans la ration des jeunes et des femelles gestantes. En cas de diarrhée arrêter la distribution.*

- *Puccinia graminis (rouille). Les opinions sont partagées, certains considérant que la toxicité est comparable à celle du charbon du maïs.*

- *Tilletia caries (les caries) peuvent entraîner des accumulations de spores riches en triméthylamines à odeurs et saveur très désagréables qui entraînent des refus ou des inappétences, leur ingestion a été accusée de provoquer des accidents digestifs et nerveux.*

- *Claviceps purpurea (L'ergot), chaque graminée possède un ergot adapté à sa morphologie florale. On connaît bien les graminées fourragères ergotées (dactyle, fétuques, ray-grass, avoine élevée, bromes, pâturins.....) Leur teneur en alcaloïdes vasomoteurs provoque des troubles digestifs, nerveux et de la reproduction.*

4.4 Prévention du risque fongique

Les levures nécessitent des sucres et la présence d'oxygène pour se développer. Le raccourcissement maximum de la phase aérobie, en début d'ensilage, par un tassement énergique évitera leur prolifération dans la masse du silo. Une fermentation lactique vigoureuse et précoce, privant le substrat de sucres solubles sera défavorable à une reprise aérobie lors de l'ouverture du silo. Un désilage régulier, avec un front d'attaque régulier et vertical de manière à réduire au maximum sa surface et un temps d'exposition à l'air au plus égal à 3 jours, le ramassage et une destruction des refus au moins tous les trois jours (mieux 3 fois par semaine) ne donneront pas aux levures la possibilité de se multiplier en abondance.

Pour bien faire et conserver l'ensilage, il faut éviter les temps très froids lors de l'ensilage, construire des silos bien isolés du froid (absence de risque de gel) et rejeter les fourrages charbonnés, rouillés, cariés ou ergotés.

Comme toutes les moisissures sont des aérobies strictes, il convient de limiter au maximum la présence d'oxygène : bien tasser et hacher finement pour éviter la formation de poches d'air, en particulier pour les fourrages riches en matière sèche, assurer une étanchéité parfaite du silo avec une bâche renouvelée à chaque chantier (absence de perforations), veiller à obtenir une surface régulière pour la meilleure application de la bâche.

Il faut également inspecter régulièrement le front d'ensilage pour détecter une coloration anormale.

En cas de détection de moisissures,

Si la contamination est limitée : plaques en surface et/ou poches bien circonscrites dans la masse, les éliminer et détruire les zones infestées en débordant largement parce que les mycotoxines peuvent diffuser. Eviter ces ensilages pour les vaches ou brebis en lactation, en gestation ou pour les jeunes, les utiliser préférentiellement pour les adultes à l'engraissement. En cas de problèmes, diminuer les quantités distribuées de moitié et compenser par du foin, puis augmenter progressivement les proportions pour revenir à une distribution normale en l'espace d'une quinzaine de jours si aucun trouble ne se manifeste. En cas de troubles arrêter l'utilisation de l'ensilage.

Les risques liés à l'ingestion d'ensilages moisissus sont heureusement minimes, la présence de grains les favorise. Les bovins sont en partie naturellement protégés par l'inappétence de ces ensilages et une destruction de certaines mycotoxines par la flore ruminale, tout au moins au début. L'anaérobiose obligatoire limite le développement des champignons microscopiques dans l'ensilage. Le meilleur moyen de lutte est d'assurer une anaérobiose précoce par un bon tassement et une fermentation lactique énergique en assurant l'étanchéité du silo. Le désilage devra être régulier et rapide en enlevant les refus de manière à éviter qu'ils ne traînent et favorisent des reprises aérobies. Enfin n'oublions pas l'observation régulière du silo et des animaux dont le comportement alimentaire est souvent le premier signe d'alarme.

4.5 Contamination des fourrages par les STEC⁵

Les ruminants constituent un des principaux réservoirs naturels connus des *Escherichia coli* producteurs de Shiga-toxines (STEC), et en particulier du sérotype O157 : H7. Ils sont généralement porteurs sains de ces bactéries, et peuvent les excréter en quantité importante dans leurs fèces, où elles survivent assez longtemps (quelques semaines).

Des travaux expérimentaux, réalisés avec de l'herbe artificiellement contaminée, suggèrent que de mauvaises conditions de conservation des ensilages peuvent favoriser la persistance des *E. coli* O157 chez les ruminants. En effet, les bactéries appartenant à ce sérogroupe sont résistantes à l'acidité, et peuvent survivre ou se multiplier dans les ensilages lorsque les conditions de confection ne permettent pas une fermentation lactique suffisante et conduisant rapidement au pH de stabilité. Ces travaux montrent également que les *E. coli* O157 ne survivent pas longtemps dans les ensilages correctement fermentés.

⁵ Bilan des connaissances relatives aux *Escherichia coli* producteurs de Shiga-toxines (STEC), Afssa, avril 2003

➔ **POINTS A RETENIR**

Différents micro-organismes indésirables peuvent se développer dans les ensilages et être à l'origine de troubles de la santé chez l'homme par contamination du lait (*Listeria*), de pathologies animales par ingestion d'ensilage (*Listeria*, levures, moisissures et leurs mycotoxines) ou de problèmes technologiques en fabrication fromagère (fromages à pâtes pressées) par des laits porteurs de germes butyriques.

La baisse de l'ingestibilité de ces ensilages et l'altération fréquente de leur couleur constituent souvent d'excellents avertissements.

L'origine de ces risques est bien établie et leur maîtrise est connue. Ils peuvent découler d'erreurs ou de négligences dans la réalisation et/ou la conservation de l'ensilage ou le désilage :

- mauvais état sanitaire des fourrages ensilés,
- incorporation de terre ou matériel malpropre,
- tassement insuffisant et présence d'oxygène,
- étanchéité défectueuse du silo,
- acidification trop lente ou pH trop élevé,
- mauvaise gestion du désilage.

En conclusion. Le respect des bonnes pratiques dans la réalisation de l'ensilage permet de maîtriser parfaitement les facteurs de risques microbiens.

Ensilages de coproduits humides

Le terme de "coproduit" est utilisé pour désigner des produits issus directement de certaines cultures ou générés par les activités des industries agroalimentaires. Ces produits, grâce à leur composition chimique intéressante et si leurs qualités sanitaire et hygiénique sont bonnes, peuvent être valorisés avantageusement dans l'alimentation des animaux plutôt que d'être mis en décharge et de représenter alors une charge supplémentaire pour le producteur et une nuisance pour l'environnement. Seuls sont proposés à l'alimentation animale des produits sains et en bon état de conservation. Dans ce cas, ils entrent dans la filière de l'alimentation animale et passent d'un statut de produits résiduels ou de produits déchus à un statut de matières premières alimentaires.

Leur valorisation par les animaux nécessite cependant de prévoir, coproduit par coproduit, un cahier des charges transparent entre les producteurs, les industriels et les éleveurs utilisateurs précisant les exigences des uns et des autres. L'utilisation d'additifs ou d'auxiliaires technologiques utilisés dans le procédé de production industriel et susceptibles de se retrouver dans les co-produits valorisés en alimentation animale doit notamment être envisagé. La connaissance des coproduits doit donc être aussi complète que possible tant sur le plan technique (quantités, disponibilité dans le temps et régularité d'approvisionnement, potentiel de conservation et conseils d'utilisation), que sur le plan qualitatif (composition chimique, valeur nutritive et qualité sanitaire connues et stables) et que sur le plan économique.

Les coproduits sont nombreux et variés

La grande majorité des productions végétales et des industries agroalimentaires engendrent des produits dérivés qui sont pour la plupart bien répertoriés et dont un grand nombre est facilement valorisé dans l'alimentation animale ; de plus les innovations de l'agroalimentaire induisent régulièrement de nouveaux coproduits qu'il est nécessaire d'étudier.

Selon leur origine, les coproduits peuvent se classer en 3 grandes catégories d'importance variable (Tableau 21) :

- les coproduits provenant directement des cultures sont représentés par les coproduits celluloseux (les pailles de céréales et dans une moindre mesure celles de pois), par les écarts de triage et par les retraits (pommes de terre de consommation, fruits et légumes), par des produits frais divers, etc. ;
- les coproduits issus des industries agroalimentaires sont de nature diverse et proviennent de l'industrie de la transformation des oléagineux, de la sucrerie, de la filière céréales, de la filière pomme de terre industrielle, de la brasserie, de la conserverie des fruits et légumes et de la filière lait, etc ;
- les coproduits d'origines diverses sont la plupart du temps très localisés. Ces sources peuvent s'avérer localement intéressantes pour les éleveurs ; ce sont par exemple les racines d'endives, les pulpes d'agrumes, les marcs de pomme, la pulpe de tomate, le maïs doux, les produits de 4^{ème} gamme et ceux de la filière viti-vinicole, etc.

La localisation des coproduits est fonction des cultures pratiquées dans chaque région mais aussi de l'implantation des usines de traitement. Ainsi les régions Nord-Pas de Calais et Picardie représentent un bassin important de coproduits à cause de leur spécialisation dans les cultures destinées à l'industrie agroalimentaire et de la présence des usines qui les traitent. Mais il existe une multitude d'usines réparties sur le territoire traitant des végétaux et dont les produits résiduels sont ou peuvent être valorisés par les animaux.

Tableau 21 : Quantités de coproduits disponibles pour l'alimentation animale en 2000

	Total (1000 x t MS)	Total (% du potentiel général)
Coproduits de cultures		
Coproduits ligno-cellulosiques	2250	16,4
Ecart de triages de fruits et légumes	137	1,0
Coproduits des industries agroalimentaires		
Transformation des oléagineux	6180	45,0
Industrie sucrière	2200	16,0
Filière céréales	1805	13,1
Pomme de terre industrielle	58	0,4
Brasserie	151	1,1
Conserverie des fruits et légumes	88	0,6
Filière lait	655	4,8
Origines diverses	210	1,5
Total général	13734	100

Source : Leclerc et *al.*, 2002

Les coproduits se présentent sous 2 formes qui vont déterminer leur utilisation ainsi que leur destination :

- **une forme sèche**, facile à stocker, à manipuler et à transporter, ce qui simplifie leur diffusion et leur confère plutôt une vocation pour l'industrie des aliments du bétail ;

- **une forme humide** qui rend difficile leur manipulation et les modalités de stockage, restreignant ainsi leur diffusion à cause du coût de transport élevé. Cette forme induit soit une utilisation directe en l'état qui est réduite dans le temps mais multiplie les approvisionnements, soit une utilisation différée impliquant une conservation par ensilage de quantités importantes.

Caractéristiques des coproduits humides

Les coproduits humides se caractérisent par une faible teneur en MS (généralement comprise entre 15 et 20 %). Cela a pour conséquence de leur conférer une faible valeur nutritive au kg brut, de limiter les quantités ingérées par les animaux, de rendre délicates leur manipulation, les conditions de stockage et la conservation et enfin d'accroître les coûts de transport. Ces coproduits sont généralement utilisés localement avec des circuits courts de commercialisation entre les industriels et les éleveurs. Pour réduire la quantité d'eau, des traitements peuvent être appliqués par les industriels, comme le surpressage de la pulpe de betterave (amélioré par l'addition d'adjuvants) qui la fait passer de 10-12 % de MS à 20-30 % ou la déshydratation qui est un traitement coûteux. Cette dernière, nécessitant beaucoup d'énergie, se rencontre généralement dans les usines de grande capacité. Elle est appliquée aux coproduits de bonne valeur nutritive comme les drêches de distillerie de blé, les drêches de brasserie, la pulpe de betterave ou celle de pomme de terre (Besancenot et *al.*, 2000)...

La composition chimique des coproduits et sa variabilité sont liées à celles de matières premières dont ils sont issus, aux traitements technologiques subis, aux mélanges pratiqués et parfois au conditionnement appliqué. Ainsi certains sont plutôt riches en cellulose brute (pelures de pomme de terre), d'autres en matières grasses (pulpe de tomates), en amidon (coproduits de la pomme de terre) ou en matières azotées (drêches de brasserie). Cette caractéristique va déterminer l'aptitude et la facilité de conservation. Ils se caractérisent aussi par une teneur en glucides solubles moyenne à faible, ce qui risque de limiter l'acidification de la masse de produit nécessaire à la conservation sur une longue durée.

Le calendrier de disponibilité des coproduits peut jouer également sur la conservation. Pour ceux disponibles toute l'année, l'approvisionnement en produit frais est régulier et l'utilisation se fait en l'état après un stockage succinct. Pour d'autres disponibles sur des périodes plus ou moins courtes, il faut envisager de les stocker et de les conserver par ensilage en vue d'une utilisation adaptée aux besoins des animaux et intégrée au système de production.

Les problèmes posés par la conservation des coproduits humides

La conservation en frais de certains coproduits humides (feuilles de salade,...) peut se faire en tas, mais reste limitée à quelques jours. Une conservation plus longue nécessite le recours à des techniques d'ensilage. A cause de leur faible teneur en MS et de leur texture peu ou pas fibreuse, la

plupart des coproduits ne peuvent s'ensiler qu'en petits silos, sur une faible hauteur et sans possibilité de tassage mécanique.

Les coproduits présentent des textures très différentes en rapport avec l'origine botanique et avec les traitements subis lors des différentes transformations. Ainsi la texture va du liquide visqueux sans consistance des pelures de pommes de terre, à une pâte de faible consistance s'agglomérant facilement dans le cas de la pulpe de pommes de terre, ou à une masse assez cohérente dans le cas des pulpes de betteraves. La texture du produit concerné va faciliter la conservation sous forme d'ensilage. Ainsi la pulpe de betterave, se présentant en cossettes, nécessite de suivre des pratiques de confection semblables à celles mises en œuvre pour les fourrages verts : confection rapide et étanchéité du silo, précautions lors de la reprise de l'ensilage, mais aussi maîtrise des émissions d'effluents. A l'opposé, les pelures de pomme de terre se présentant sous une forme pâteuse demandent moins de précautions d'étanchéité vis à vis de l'air que les ensilages d'herbe : leur masse compacte et imperméable aux gaz garantit l'étanchéité et l'assèchement de la partie superficielle du silo provoque la formation d'une croûte superficielle protectrice ; enfin la présence de glucides garantit une acidification suffisante de la masse assurant une conservation satisfaisante. En plus, ces caractéristiques permettent leur emploi comme couverture des silos de maïs ou de pulpe de betterave.

D'une façon générale, la faible teneur en matière sèche des coproduits nécessite des mesures importantes d'étanchéité de l'aire de stockage et de récupération des jus d'écoulement.

A défaut de disposer d'un référentiel de caractéristiques fermentaires des ensilages de coproduits, comme c'est le cas des fourrages, des pulpes de betterave surpressées ou des drêches de brasserie, il est recommandé pour apprécier la qualité de conservation des ensilages de coproduits humides de se référer à celui proposé par l'INRA.

1 Pulpe surpressée de betterave

La pulpe, constituée par les cossettes de betterave, est obtenue après épuisement du sucre à l'eau chaude. Elle se caractérise par une teneur en MS très faible, de l'ordre de 10 à 12 %, et par une température élevée atteignant 55 à 60°C. Ainsi, elle ne peut se tasser et sa conservation par ensilage génère des écoulements importants de jus dégageant une odeur nauséabonde et entraînant des pertes considérables. La pulpe est souvent considérée comme un aliment à part entière et non de remplacement faisant partie du système alimentaire au même titre que l'ensilage de maïs

C'est pourquoi la pulpe est pressée en vue d'éliminer une partie de l'eau qu'elle contient et de faciliter son transport et sa conservation par ensilage. La composition chimique moyenne de la pulpe surpressée est indiquée dans le Tableau 22. La teneur en MS est alors portée en moyenne à 24 % et elle devient suffisamment élevée pour permettre la réussite de l'ensilage ; elle reste néanmoins très variable, puisque les valeurs extrêmes observées vont de 17 à 32 %, ce qui peut expliquer les difficultés parfois rencontrées pour assurer une bonne conservation. L'avenir s'oriente vers des valeurs moyennes en MS de 26-27 % que l'on rencontre actuellement dans certaines usines, ce qui garantit une qualité sanitaire et une présence réduite en spores butyriques.

1.1 Caractéristiques de la pulpe

Les traitements subis par les cossettes au cours de l'extraction du sucre et du conditionnement en vue d'obtenir la pulpe surpressée vont déterminer sa qualité. La pulpe surpressée est un produit instable comportant des atouts dont il va falloir tirer parti mais aussi des inconvénients dont il faudra tenir compte.

La température de la pulpe est un bon critère d'appréciation de sa qualité. L'épuisement en sucre, se faisant vers 70°C, la température de sortie de la presse se situe à 65-70°C. Compte tenu du temps entre la sortie de la presse et l'arrivée sur l'exploitation qui ne doit pas dépasser 8 à 12 heures, la température de livraison doit être comprise entre 45 et 50°C. Une température inférieure à 40°C révèle une durée de stockage trop longue sur la plate-forme de l'usine ou dans le camion et laisse supposer un démarrage incontrôlé des fermentations.

Le pH de la pulpe surpressée à la sortie de l'usine est compris entre 5 et 5,5. La pulpe contient peu de sucres solubles, 5 % en moyenne avec des extrêmes de 0,4 à 11 %. Il faut donc tirer parti

rapidement de ces sucres résiduels pour garantir l'acidification lactique de la masse ; celle-ci, favorisée par la température, se fait très vite dans les 48 heures suivant la mise en silo (Corrot, 1989).

Tableau 22 : Composition chimique de la pulpe surpressée à la sortie de l'usine (n=522)

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Matière sèche (%)	24	17 à 32
MAT (%MS)	8,9	6,9 à 13,8
Cendres (%MS)	6,7	3,9 à 14,3
Cellulose brute (%MS)	21	18 à 26
Sucres solubles (%MS)	5	0,4 à 11

Source : Banque de données IO7, 2001

La teneur en cendres, qui ne doit pas dépasser 8 % de la MS, est en partie liée aux traitements technologiques employés lors de l'épuisement des cossettes. Ainsi pour augmenter le rendement du pressage, les industriels ajoutent des acidifiants et des adjuvants sous forme de sulfates d'alumine ou de calcium, qui ne gênent pas les fermentations. L'addition en quantité élevée ou mal ajustée de ces produits se traduit sur les animaux par des apports excessifs de soufre, de calcium ou d'alumine qui peuvent conduire à des baisses de performances liées à des troubles digestifs et à des carences secondaires en phosphore et en oligo-éléments. La présence de quantités de calcium, en augmentant le pouvoir tampon de la pulpe, réduit la vitesse d'acidification, donc risque d'abaisser la qualité de conservation de la pulpe. La teneur en cendres ou mieux celle en aluminium et/ou en calcium des lots de pulpe doit être communiquée aux utilisateurs pour les inciter à corriger la complémentation en phosphore et en minéraux de la ration. En aucun cas la teneur en aluminium soluble de la pulpe ne doit dépasser 1 g/kg MS et celle en soufre 3 g/kg MS.

La teneur en cendres traduit aussi la présence de terre, conséquence des diverses manipulations effectuées lors du process : comme le lavage défectueux des betteraves, l'addition après pressage des verts et racines mal lavés, un séjour prolongé et parfois négligé sur l'aire de stockage de l'usine, etc.

La pulpe contient des micro-organismes divers. D'abord des *Lactobacillus* dont la population peut varier de 10^2 jusqu'à 10^9 ufc par g de MS et dont la température optimale de croissance se situe vers 44°C. Ils trouvent ainsi de bonnes conditions pour un développement rapide dès le 2^{ème} jour après ensilage, ce qui va abaisser le pH en dessous de 4 et empêcher la prolifération des germes butyriques et autres bactéries indésirables.

Contenant peu de germes butyriques à la sortie du surpressage (10 à 20 spores/g), la pulpe est rapidement contaminée dès la livraison (10^3 spores/g) si les conditions défavorables sont réunies : présence de terre dans les cossettes incorporée à différentes périodes du process industriel, stockage défectueux à l'usine, délais de livraison trop longs, etc. Quoi qu'il en soit, avec la pulpe surpressée le risque de contamination en butyriques s'avère beaucoup plus grand qu'avec l'ensilage de maïs (Ratier et al., non daté).

1.2 Ensilage de la pulpe surpressée

Pour réussir l'ensilage de pulpe, il faudra donc tenir compte à la fois des caractéristiques liées à l'usine et des recommandations et des précautions à prendre pour la confection d'un ensilage de fourrage. Ainsi tout ce qui concourt à livrer la pulpe le plus rapidement possible après le pressage et à réaliser au plus vite le silo dans de strictes conditions de propreté vis à vis de la terre doit être mis en œuvre. La maîtrise du développement des spores butyriques dans les ensilages de pulpe reste la principale difficulté à surmonter.

Evolution des paramètres en cours de conservation

La pulpe surpressée arrivant entre 45 et 50°C sur l'exploitation, sa température va décroître régulièrement durant les 20 premiers jours pour se stabiliser à la température ambiante. Dans ces conditions la fermentation lactique va se développer très vite dans les 48 heures après la confection du silo, empêchant l'essor des spores butyriques. Le pH de la pulpe supérieur à 5 va ainsi diminuer brutalement à 4 ou un peu en dessous par suite de la formation importante d'acide lactique.

Un refroidissement trop lent de la masse confère à la pulpe une couleur jaunâtre et un aspect gras. Cette altération des pulpes, dites "grasses", est due à l'action de bactéries qui hydrolysent les pectines en pH bas et température élevée (Besancenot et al., non daté).

Les valeurs indicatives de produits fermentaires (Tableau 23) montrent une variation très large autour de la moyenne. L'acide butyrique se trouve en quantités parfois élevées, traduisant une mauvaise qualité de conservation de l'ensilage liée à la présence de spores butyriques en grand nombre ; actuellement cette situation se rencontre moins souvent compte tenu des précautions prises par les usines pour le stockage et lors de la livraison. A la différence des ensilages d'herbe, l'azote est moyennement dégradé en azote ammoniacal (celui-ci varie de 3 à 6 % de l'azote total).

Tableau 23 : Caractéristiques fermentaires de la zone centrale de 47 silos issus de 6 usines

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Matière sèche (%)	21,7	16,6 - 24,1
Cendres (%MS)	7,2	6 – 10,5
Acide acétique (g/kg MS)	21,6	12,8 – 49,6
Acide propionique (g/kg MS)	3	1,4 – 5
Acide butyrique (g/kg MS)	14,6	5,6 – 30,6
Alcools (méthanol + éthanol) (g/kg MS)	6	0,9 – 11,6
pH	4	3,5 – 4,4
Spoires (ufc/g)	4340	130 – 400 000

Source : Besancenot et al., 1991

Peu nombreux à la sortie de la sucrerie, les *Clostridium* apparaissent 30 jours après ensilage en nombre variable de 10^3 à 10^6 ufc par gramme de matière sèche. Ils sont localisés dans la zone périphérique de silo, plutôt qu'au cœur. La contamination est liée à l'usine, aux modalités de la production, à la durée de stockage et aux délais de livraison ; elle est liée aussi aux opérations de l'ensilage proprement dit qui doivent être réalisées dans de bonnes conditions de propreté et de rapidité.

Les levures et les moisissures sont présentes dans l'ensilage de pulpe. S'ils ne se développent pas de façon importante, ils sont sans effet sur la qualité de conservation, la valeur alimentaire de l'ensilage et les performances zootechniques.

De nombreuses espèces de levures ont été recensées dans l'ensilage de pulpe; elles suivent un développement identique aux lactobacilles : croissance rapide du nombre de levures acidophiles dans les 2 jours après l'ensilage, suivie d'un palier puis d'une décroissance.

Les moisissures sont peu nombreuses à la sortie de l'usine. La flore fongique aérobie présente lors de la confection du silo se développe peu en anaérobiose, mais elle reprend de l'activité à l'ouverture du silo. Ces fermentations néfastes sont favorisées par :

- une très faible teneur en sucres de la pulpe (moins de 2 %), d'où l'intérêt d'un ajout de mélasse ;
- une température inférieure à 40°C à la mise en silo, suite à un stockage prolongé ou à un excès de manipulations ;
- une stérilisation plus ou moins importante de la pulpe en sucrerie.

Pratique de l'ensilage de pulpe de betterave

La pulpe provenant de l'usine est déchargée sur la plate forme bétonnée devant le silo. Elle est aussitôt reprise par un tracteur-tasseur, équipé de roues jumelées si possible, qui l'étale en couches successives horizontales ou obliques et la tasse en même temps. Le tassage du silo se révèle d'autant plus indispensable que la teneur en MS de la pulpe est élevée. Aussitôt rempli, le silo est recouvert d'une bâche plastique neuve appliquée uniformément sur la masse par du lest. La réussite du silo nécessite une bonne organisation du chantier entre le livreur et l'éleveur. Elle demande également de disposer du matériel nécessaire, de travailler avec soin et rapidité et d'adapter la grandeur du silo aux besoins de l'élevage.

Des glissements de masses d'ensilage ou des fissurations importantes à l'arrière du front d'attaque se rencontrent notamment en cas d'une teneur en MS insuffisante, du tassage imparfait ou irrégulier, d'infiltrations d'eau de pluie, de défauts d'imperméabilité, etc. Ces fissurations provoquent généralement le développement de moisissures soit à partir des espèces présentes dans la pulpe soit par contamination externe. Ces altérations sont susceptibles de diminuer la valeur alimentaire de

l'ensilage en réduisant l'appétence, mais risquent aussi de provoquer des troubles digestifs et de réduire les performances.

L'emploi d'agents d'ensilage ne se justifie pas si les caractéristiques de la pulpe à la livraison sont correctes et évidemment si les règles de confection d'un ensilage sont respectées. L'incorporation d'un agent de conservation sous forme de ferments lactiques ou d'acide formique n'améliore pas la conservation et ne présente pas d'intérêt économique. L'apport de sel à raison de 3 kg par m² mélangés aux dernières couches du silo est recommandé pour prévenir le développement des moisissures sur le dessus du tas.

La pulpe surpressée peut être enrichie en azote pour la rééquilibrer. Comme elle est pauvre en azote soluble, les formes d'azote non protéique ont été utilisées : ainsi l'ammoniaque, dont l'action a été jugée positive sur des pulpes contenant plus de 23 % de MS, (enrichissement en azote et stabilisation du front d'attaque). Quant aux vinasses de mélasse incorporées à l'ensilage, elles sont sans effet positif sur la conservation.

2 Drêches de brasserie

Les drêches de brasserie correspondent à un mélange de divers produits issus de la fabrication de la bière. Au cours du processus de fabrication, les produits suivants sont obtenus :

- les poussières de malt lors de la préparation du malt,
- les drêches de malt recueillies après la filtration du brassin et contenant 20 à 30 % de MS selon qu'elles subissent ou non un pressage mécanique modéré,
- les drêches de houblon qui sont amères et les troubles gros et fins obtenus par filtration du moût après houblonnage et cuisson; elles peuvent être mélangées aux drêches de malt,
- enfin après la fermentation, les levures et les adjuvants de filtration sont séparées par filtration de la bière; ces produits présentent un faible taux de MS (de 7 à 15 % selon le stade d'obtention) et sont incorporés dans les drêches pour les enrichir en MAT ou sont vendus à des entreprises spécialisées dans le traitement des levures (Arnold et al., 1991).

Ainsi, les caractéristiques des drêches changent selon le type de bière produite (blonde ou brune), selon la brasserie d'origine et selon l'année. Elles sont commercialisées fraîches aux élevages proches des usines soit à la demande en vue d'une utilisation continue en l'état, soit en une seule fois en vue d'être ensilées. Déshydratées, elles sont alors commercialisées pour l'alimentation du bétail.

2.1 Caractéristiques des drêches

Les drêches fraîches sont un produit instable qui ne peut se conserver que quelques jours en tas. Elles se caractérisent par leur richesse en MAT, une teneur en cendres basse leur conférant un pouvoir tampon faible; elles présentent une teneur en cellulose brute élevée et ne contiennent pratiquement pas de glucides solubles (Tableau 24).

La teneur en MS des drêches, de l'ordre de 20 % avant surpressage, atteint 25 à 30 % après. A 20 %, les pertes de MS sous forme de jus sont importantes. Les enquêtes récentes sur des drêches prélevées à l'usine ou chez les éleveurs montrent que la teneur moyenne en MS a tendance à s'accroître par l'augmentation du minimum. Il en est de même pour la teneur en MAT. La mise en tas provoque la diminution rapide du pH, l'augmentation des quantités d'azote ammoniacal et d'acide acétique. Si le stockage se prolonge au-delà de 7 jours, une altération se produit sous l'effet des levures et des moisissures.

Tableau 24 : Composition chimique des drêches fraîches surpressées

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Matière sèche (%)	26,6	18,9 – 30,4
MAT (%MS)	25,7	19,6 – 30,6
Cendres (%MS)	4,1	2,7 – 5,1
Cellulose brute (%MS)	18	14,3 – 21,2
Sucres solubles (%MS)	1	0,7 – 1,3
Matières grasses (%MS)	6,9	5,7 – 9,3
pH	3,92	-

Source : base de données IO7, 2001

2.2 Conservation des drêches de brasserie par ensilage

Les drêches s'ensilent et se conservent facilement à condition de respecter les 3 précautions habituelles préconisées pour l'ensilage, à savoir :

- récupération rapide des drêches après la filtration ou le surpressage. Un délai maximum de 12 heures entre la sortie d'usine et la mise en silo est conseillé ;
- étanchéité du silo vis à vis de l'air et de l'eau en préférant un silo construit en dur plutôt qu'un silo taupinière; le tassement des drêches n'est pas obligatoire ;
- ajustement de la taille du silo aux besoins du troupeau, à la disponibilité du produit au niveau de la brasserie et enfin à l'équipement de manutention de l'ensilage.
- adaptation de la hauteur du silo à la consistance du produit (maximum : 0,8 à 1,2 m)

Dans ces conditions la conservation évolue dans un sens favorable, mais les produits de fermentations restent modestes : pH voisin de 4, présence d'acides gras volatils et d'alcools en quantités peu importantes, dégradation modérée de l'azote (Tableau 25).

Tableau 25 : Caractéristiques de conservation de l'ensilage de drêches surpressées (n=5)

	Moyenne
Matière sèche (%)	27
Acide lactique (g/kg MS)	30
Acide acétique (g/kg MS)	3
Acide propionique (g/kg MS)	1
Acide butyrique (g/kg MS)	Traces
Alcools (g/kg MS)	6
Azote ammoniacal (% N total)	1
Azote soluble (% N total)	7
pH	3,9

INRA, 1988

Les pertes de MS en conservation se situent entre 20 et 25 %. Elles proviennent essentiellement des écoulements de jus, et ce d'autant plus que la MS de l'ensilage est faible, mais aussi des fermentations; ces dernières représenteraient environ 10 %, quelle que soit la teneur en MS de l'ensilage.

3 Coproduits de la pomme de terre

La pomme de terre génère deux catégories de coproduits qui peuvent trouver un débouché dans l'alimentation animale, soit des tubercules en l'état, soit des produits résiduels issus des industries de la transformation. Les premiers proviennent du triage des pommes de terre hors normes pour la consommation humaine effectué au moment de la commercialisation ou des retraits d'excédents pratiqués à certains moments de la campagne. Les seconds, dérivés de la transformation des tubercules, présentent une apparence et une composition très variées selon le type d'industrie.

3.1 Tubercules

La récolte des pommes de terre s'échelonne de mai à fin août pour les primeurs et de septembre à octobre pour les pommes de terre de conservation destinées à la consommation et pour les féculières destinées à l'industrie agroalimentaire. Les primeurs ne se conservent que peu de temps, alors que celles destinées à la consommation et les féculières sont stockées et conservées jusqu'à la récolte suivante. Les disponibilités fluctuent dans le temps en fonction de la récolte et dans l'espace à cause de la dispersion des lieux de stockage et de traitement des tubercules.

La teneur en matière sèche du tubercule varie avec le type de production : 13 à 18 % pour les primeurs, 17 à 23 % pour les pommes de terre de conservation et 24 à 30 % pour les féculières. La teneur en MS explique les difficultés rencontrées pour la conservation du tubercule seul.

Tableau 26 : Composition chimique des tubercules de pomme de terre (n=10)

	Moyenne
MAT (% MS)	11
Cendres (% MS)	5
Amidon (% MS)	65 - 70
Cellulose brute (% MS)	3
Matières grasses (% MS)	< 1
Phosphore (g/kg de MS)	2
Calcium (g/kg de MS)	0,4
Potassium (g/kg de MS)	24

Source : Morel d'Arleux et al., 2001

La teneur en amidon des tubercules est particulièrement élevée et celle en MAT assez modérée, ce qui révèle une valeur énergétique importante et une valeur azotée modeste. La pomme de terre est peu fournie en cellulose brute et dépourvue de matières grasses. Elle contient peu de phosphore et très peu de calcium, mais présente une teneur très élevée en potassium. Cette dernière caractéristique induit un effet laxatif sur les animaux et conduit à limiter l'incorporation des tubercules dans la ration des vaches à 35-40 kg brut par vache et par jour (Tableau 26). Pour les mêmes raisons, l'apport simultané de plusieurs aliments riches en potassium est déconseillé.

La pomme de terre renferme un alcaloïde toxique, la solanine. Celle-ci, à l'état de traces dans les tubercules non germés et maintenus à l'obscurité, augmente rapidement sous l'effet de la lumière et de la germination. Cela peut limiter le niveau d'incorporation des tubercules dans la ration des vaches, bien qu'il ne semble pas exister de sensibilité particulière des ruminants à la solanine.

Pendant l'hiver, l'approvisionnement de l'éleveur est continu. Les tubercules peuvent être conservés en l'état sur une durée limitée de 1 à 2 mois. Le tas doit être à l'abri des gelées, de l'humidité, de la lumière et de la chaleur. Le gel rend les pommes de terre molles, noires et inappétentes, la lumière les fait verdier avec production de solanine, enfin la chaleur et l'humidité accélèrent la germination. Dès le printemps, il est difficile, voire impossible, de les conserver en l'état autrement que par ensilage, car l'augmentation de la température provoque le démarrage de la germination, de la respiration et le développement de maladies cryptogamiques et bactériennes.

Pour une conservation supérieure à 2-3 mois ou pendant la période estivale, les pommes de terre doivent être ensilées. Pour cela, il faut choisir des tubercules crus, propres sans terre ni cailloux et non abîmés. Ils peuvent s'ensiler seuls après un broyage grossier. Dans ce cas, les pertes par jus sont considérables, et il est indispensable de les récupérer pour des raisons de protection de l'environnement, mais aussi pour leur richesse en MAT.

Les pommes de terre peuvent s'ensiler associées à un fourrage humide sous forme entière en lits alternés de 20 à 30 cm de pommes de terre pour 30 à 50 cm de fourrage humide (ensilage de maïs, ensilage d'herbe préfané ou pulpe de betterave). Cette formule nécessite la disponibilité simultanée des 2 composants du silo et ralentit notablement le débit de chantier. La conservation des tubercules est bonne; à la reprise, ceux-ci apparaissent confits et sont très appréciés des animaux.

Elles peuvent être ensilées avec un fourrage sec, comme du foin ou de la paille. Dans ce cas, le fourrage est mélangé avec les tubercules (proportion de 10 kg de foin pour 90 kg de pommes de terre) dans une remorque mélangeuse-hâcheuse qui va broyer les pommes de terre et la paille; le tout est projeté sur le silo en couches successives et tassées au tracteur. Le silo est ensuite rapidement couvert d'une bâche en plastique étanche à l'air et à l'eau adhérent uniformément à la masse. L'emploi d'un agent de conservation n'est pas justifié. Si l'on respecte les règles de confection d'un ensilage (rapidité, étanchéité et adéquation du silo aux besoins), celui-ci présente un état de conservation satisfaisant et est bien consommé par les animaux.

3.2 Coproduits de l'industrie de la pomme de terre

Typologie des différents coproduits disponibles

Les coproduits générés par l'industrie de la pomme de terre peuvent être classés en deux grandes catégories selon la nature du processus de transformation utilisé :

Les **coproduits crus** (150 000 à 180 000 tonnes par an) représentés en majorité par la pulpe de féculerie, par les écarts de tri et les screenings, ainsi que par l'amidon cru.

La pulpe de féculerie provient de l'extraction de l'amidon et se présente sous forme humide (pulpe en l'état ou surpressée) ou sous forme sèche (pulpe déshydratée) ; elle est parfois enrichie en protéines par les eaux de végétation. La production est de l'ordre de 80 000 tonnes.

Les écarts de triage sont retirés à l'arrivée à l'usine (sous-calibres, tubercules difformes, verdis) ou en cours de process (fausses coupes irrégulières, tubercules épluchés trop petits ou tachés). Ce coproduit représente entre 50 000 et 80 000 tonnes selon les campagnes.

L'amidon cru est obtenu par centrifugation des eaux de lavage après découpe des pommes de terre pour la fabrication de frites, chips ou garnitures diverses. Les volumes produits sont relativement peu importants.

Les **coproduits cuits** (environ 140 000 tonnes par an) sont composés principalement par les pelures associée à plus ou moins d'amidon ou de l'amidon seul :

La pelure vapeur est issue de l'épluchage à la vapeur des tubercules après leur lavage (industrie des frites surgelées). Les tubercules, placés dans une chambre pressurisée, sont soumis pendant un temps très court à de la vapeur sous pression provoquant une cuisson superficielle. Cette couche, éliminée par brossage, constitue la pelure vapeur. Elle est commercialisée en l'état ou en mélange avec des écarts de triage...ou encore en association avec d'autres aliments comme la luzerne déshydratée fournissant matière sèche et azote. La pelure vapeur représente annuellement environ 75 000 tonnes.

La purée-pelure est obtenue par pelage à la vapeur sous pression suivi d'un brossage plus ou moins prononcé du tubercule, (fabrication de pommes de terre épluchées sous vide, de purée déshydratée) pour assurer une présentation irréprochable. En fin de campagne, le brossage est plus intensif et contribue à augmenter la quantité d'amidon présent dans le coproduit. Le tonnage produit annuellement est de l'ordre de 35 000 tonnes.

La purée raclée est récupérée en fin de chaîne de déshydratation (industrie des flocons pour purées), sur le 5^{ème} satellite, c'est-à-dire sur le cinquième rouleau sécheur servant à éliminer définitivement et totalement toutes les impuretés (morceaux liés, pelures,...). La purée raclée est riche en amidon et en cellulose. L'industrie des flocons en produit annuellement quelque 30 000 tonnes.

Le stockage et la conservation

Les coproduits de la pomme de terre se conservent sans problème majeur sur des durées assez longues. Les coproduits crus, se présentent sous une forme plutôt ferme et sont donc faciles à transporter. L'approvisionnement des élevages est réalisé par les éleveurs qui se fournissent directement dans les usines. En revanche pour les coproduits cuits, plutôt liquides, l'approvisionnement se fait généralement par entreprise en camion étanche ou en citerne.

La durée de stockage est fonction du type de coproduits. La pulpe, disponible de septembre à décembre, se stocke généralement en quantités importantes en silos exploités sur une durée de trois à six mois. Les coproduits cuits, disponibles toute l'année, sont stockés en quantités moindres sur des périodes courtes de l'ordre de un à deux mois. A cause de leur état semi-liquide, ces coproduits sont en effet difficiles à stocker et à manipuler.

Les deux types de coproduits peuvent être distribués sans problème aux animaux dès la livraison. Au cours du stockage, il se développe au sein de la masse des fermentations anaérobies qui sont de même nature que celles des ensilages de fourrages et qui assurent l'acidification du tas et sa bonne conservation. Le niveau des fermentations est peu élevé et variable d'un type de produit à l'autre. La texture de ces coproduits est telle qu'elle ne permet généralement pas à l'air d'entrer dans la masse et de provoquer des déviations fermentaires.

Tableau 27 : Caractéristiques de conservation des coproduits de la pomme de terre

	Pulpe de féculerie	Pulpe enrichie en protéines	Purée-pelure	Pelure vapeur	Mélange pelure/luzerne déshydratée
Nombre de silos	3	1	2	2	3
Nombre d'analyses	6	3	9	3	7
Matière sèche (%)	17,9 (16,6-18,8)	19,6 (18,5-20,8)	13,7 (8,3-18,6)	13,1 (11,3-14,7)	23,1 (21,4-24,6)
pH	3,7 (3,2-5,0)	4,2 (4,1-4,4)	3,6 (3,3-3,9)	4,0 (3,9-4,1)	4,1 (3,9-4,4)
Acide lactique (g/ kg MS)	130 (8-360)	n.d.	93 (21-193)	89 (68-124)	88 (73-112)
Acide acétique (g/ kg MS)	16 (10-22)	33 (23-38)	17 (2-67)	15 (11-24)	21 (18-32)
Acide propionique (g/ kg MS)	3,4 (2,2-5,5)	1,4 (1-1,6)	< 0,2	0,23 (0,1-0,7)	0,1 (0,04-0,3)
Acide butyrique (g/ kg MS)	1,7 (0-3,2)	absence	< 0,2	0,23 (0,1-0,7)	0,1 (0-0,4)
Alcools (g/ kg de MS)	6 (3-10)	n.d.	39 (4-108)	11 (2-13)	7 (5-11)
Azote ammoniacal (% N total)	0,23	6,7 (6,2-7,2)	n.d.	2,5 (1,7-3,6)	1,3 (0,9-1,6)
Spores butyriques (ufc par g de produit brut)	400 (36-1500)	200	n.d.	150 (36-2400)	1200 (40-4000)

Source : Morel d'Arleux et al., 2001

() valeurs extrêmes - n.d. : non déterminé

Le Tableau 27 rassemble les valeurs moyennes et extrêmes des caractéristiques fermentaires déterminées en cours de conservation pour les différents coproduits utilisés dans des essais sur animaux. Ils présentent un pH de l'ordre de 4, ce qui définit un bon état de conservation en relation avec des teneurs parfois élevées en acide lactique. Les teneurs en acide acétique sont importantes et rappellent plutôt celles observées dans les ensilages de graminées. Les acides propionique et butyrique sont souvent présents et parfois en quantités non négligeables. L'azote contenu dans les coproduits est peu dégradé en azote ammoniacal ce qui indique un bon état de conservation. En définitive, la qualité de conservation des différents coproduits est convenable et satisfaisante sous réserve que le stockage soit réalisé dans de bonnes conditions.

A la sortie de l'usine, les coproduits sont généralement exempts de terre puisque les tubercules sont lavés à l'entrée. La contamination butyrique de l'ensilage se fait donc au moment de la réalisation du silo et peut se développer si les conditions de conservation sont mauvaises. Le respect de règles élémentaires de confection des silos permet de limiter le risque de contamination.

Le stockage des coproduits de la pomme de terre est souvent peu commode, en particulier pour les produits cuits. La manipulation se fait la plupart du temps avec un tracteur muni d'une pelle à godet parfois munie d'une vis distributrice. Elle peut s'envisager à l'aide d'une pompe pour un stockage en cuve ou en fosse.

A - Pulpe de féculerie

La pulpe de féculerie et la pulpe enrichie en protéines sont faciles à transporter. La texture et la consistance sont satisfaisantes pour permettre une conservation sans problème en silos couloir ou en silo taupinière. Le stockage en un silo boudin dans une gaine plastique par une ensileuse de type « rotopress » ne se justifie pas techniquement. La pulpe en tas se conserve bien à condition d'éviter l'éboulement du front d'attaque. Les hauteurs de stockage possibles sont les suivantes : 0,8 à 1,0 m pour des pulpes à 19-20 % de matière sèche et de 1,0 à 1,5-2 m pour des pulpes à plus de 25 % de matière sèche. Au-delà, les risques d'éboulement augmentent, entraînant des pertes liées aux reprises de fermentation. Comme il est impossible de tasser de tels silos, il est vivement recommandé de bien lisser la surface avant la couverture par une bâche plastique étanche et bien appliquée sur la

masse de l'ensilage. Dans ces conditions, l'emploi d'un conservateur ne se justifie pas. Les écoulements de jus sont faibles, surtout si la teneur en MS est supérieure à 22-25 %.

La reprise se fait avec un tracteur muni d'une pelle à godet en évitant de secouer le front d'attaque afin de limiter les fissurations du tas, surtout si la pulpe est enrichie en azote, à cause d'un redémarrage toujours possible des fermentations.

B - Pelure vapeur

- Stockage en silo

La pelure vapeur se conserve sans problème en silo durant un à deux mois. A cause de son état liquide, elle se stocke en silo de faible hauteur réalisé sur une surface bétonnée rendue étanche par une bâche plastique. Les bords sont constitués par les murs du silo couloir ou par des grosses balles de paille sur lesquelles s'appuie la bâche. La hauteur de stockage dépasse rarement 0,40 à 0,70 m. Il se forme une croûte protectrice dans les deux ou trois jours qui suivent le stockage. Dans la mesure du possible, il est recommandé de protéger la surface de la pluie à l'aide d'une bâche tendue dès la réalisation du silo pour favoriser la formation de la croûte, éviter la dilution du produit déjà humide et limiter les écoulements de jus. Ces derniers doivent obligatoirement être collectés pour être en conformité avec la législation sanitaire (PMPOA). La teneur en matière sèche évolue peu en cours de stockage. La pelure ne gèle pas en hiver. Le produit ensilé ne dégage pas de mauvaises odeurs en cours de conservation.

Il est aussi possible de stocker la pelure dans des fosses creusées dans le sol et rendues étanches. La hauteur de stockage est alors plus élevée et les résultats de conservation sont satisfaisants. La reprise se fait avec une vis sans fin. Avec ce type de stockage et sans couverture du silo, la pluie reste un handicap car elle a tendance à s'accumuler dans la fosse et à diluer le produit.

En été, il est recommandé de plaquer une bâche plastique sur la surface pour la protéger des mouches et limiter le développement des vers.

Pour améliorer le stockage et réduire les écoulements de jus des silos de pelure vapeur, différents coproduits secs (coproduit de l'amidonnerie du maïs par exemple) peuvent être incorporés afin d'augmenter le taux de matière sèche. Des bouchons de luzerne déshydratée à 18 % de MAT peuvent être incorporés à la pelure dans la proportion 11 kg de bouchons pour 89 kg de pelures. Le mélange se conserve bien en silo car une croûte superficielle (non consommable) se forme sur 3 à 4 cm d'épaisseur. Le mélange atteint environ 23 % de MS et seuls de faibles écoulements de jus ont été observés en tout début de stockage.

- Stockage en citerne

Le stockage peut se faire dans une citerne ou dans une cuve de récupération, inclinée ou située en hauteur pour faciliter l'écoulement par gravité. Le produit se décante progressivement, la pelure surnageant au-dessus d'un produit très aqueux qui est récupéré puis éliminé. On recueille ensuite la pelure pour la distribuer aux animaux. En trois à quatre semaines, le taux de matière sèche de la pelure vapeur passe de 12 % à 18 %.

Ce type de stockage peut s'envisager sur une durée de trois à quatre mois tout en assurant une bonne conservation, même en été.

C - La purée-pelure

Le transport se fait en citerne ou en benne étanche compartimentée pour limiter le ballant. Le produit est acide (pH 3,5 à 3,8) et altère à la longue les matériaux de stockage et de distribution. Il est donc recommandé de bien protéger les parois de stockage en ciment ou métalliques. Le stockage peut se faire dans une fosse ou un trou creusé dans le sol rendu étanche par une bâche plastique, avec ou sans couverture. En l'absence de couverture, les risques de dilution du produit augmentent avec la pluie, entraînant une diminution du taux de matière sèche. La reprise se fait soit avec un tracteur équipé d'un godet soit plus facilement avec une pompe à colimaçon ou de type « roue ouverte ».

Le coproduit peut aussi être stocké sur une plate-forme bétonnée rendue étanche par une bâche plastique maintenue à l'aide de ballots de paille, sur une hauteur de 0,40 à 0,70 m. Dans ce cas, la reprise se fait avec un tracteur équipé d'un godet.

Enfin, l'utilisation d'une citerne pour le stockage peut aussi s'envisager, la reprise se faisant avec une pompe comme dans le cas du stockage en fosse.

Quel que soit le mode de stockage, ce produit peut être conservé sur une durée allant de un à huit mois. Pour une conservation de longue durée, il est recommandé de protéger le silo de la pluie.

La bâche biologique

L'utilisation de la pelure vapeur ou de la purée-pelure comme couverture d'ensilage, à la place d'une bâche plastique, est une pratique relativement courante au Royaume-Uni, en Belgique, et qui se développe en France. Dès la fin de la réalisation du silo (maïs fourrage, pulpe de betterave surpressée, pulpe de féculerie...) le coproduit, acheminé par camion citerne, est épandu à l'aide d'une lance sur la surface du silo. Il est impératif que celle-ci soit bien plane et que les murs du silo couloir dépassent d'au moins 30 à 40 cm pour d'éviter tout écoulement. Les deux extrémités du silo sont couvertes soit par une bâche plastique soit par une couche de coproduit retenue à la base par des ballots. L'épaisseur de la couche de coproduit varie de 20 à 30 cm.

Le suivi de tels silos, s'ils sont bien confectionnés, montre que la masse de l'ensilage présente un bon état de conservation. Il montre également que la zone d'ensilage immédiatement sous le coproduit présente une teneur en MS plus faible (effet d'aspiration) pouvant dégrader légèrement la conservation comme cela est observé parfois avec les silos couverts d'une bâche plastique. Les reprises de fermentation et la contamination en spores butyriques sont ici supérieures à celles de la masse de l'ensilage, qui elle présente un bon état de conservation.

La bâche biologique peut être sujette à fissuration lors de périodes sèches, ce qui entraîne une certaine perméabilité à l'air et le risque d'infiltration d'eau... Dans ce cas, il est recommandé d'apporter une nouvelle couche de pelures.

4 Les fruits et légumes

A certaines périodes de l'année les éleveurs peuvent disposer de fruits et de légumes en quantités plus ou moins importantes. Ces coproduits proviennent des écarts de triage de la commercialisation et/ou des retraits opérés lorsque le marché est saturé. Ils proviennent également des industries de la conserverie, et dans ce cas ils se trouvent soit sous leur forme originelle soit sous une forme fragmentaire. Les fruits et les légumes concernés sont nombreux et très diversifiés.

Tous ces coproduits se caractérisent par une disponibilité variable dans le temps et dans l'espace et par un grand nombre d'espèces végétales. L'utilisation directe en frais est souvent aléatoire et délicate ; pour un usage prolongé, il est nécessaire de les stocker en silo. Ces végétaux sont riches en énergie et plutôt peu pourvus en azote, notamment les pommes. Leur teneur en composants solubles et facilement fermentescibles est généralement un atout pour la réussite de l'ensilage. Par contre, leur faible teneur en MS, de 11-13 % en moyenne avec des extrêmes de 5 % minimum et n'excédant pas 15 %, limite la facilité de réussite de l'ensilage et crée des problèmes importants d'écoulement de jus à prendre en compte. Quatre coproduits ont été étudiés, un fruit, les pommes de retrait et 3 légumes, les carottes, les pois-carottes et les haricots verts de conserve. Les conclusions obtenues sur l'aptitude et la réalisation de l'ensilage de ces produits peuvent vraisemblablement être étendues à d'autres fruits ou légumes.

4.1 Les fruits et légumes en l'état

Ils proviennent des écarts de triage effectués lors du conditionnement pour la vente ou des retraits pratiqués lorsque la récolte est excédentaire. Dans ce dernier cas et quelle que soit leur destination, décharge ou alimentation animale, ils sont en général dénaturés par un agent dénaturant autorisé en alimentation animale, comme le vert brillant, l'huile de foie de morue... Dans les zones de production, les transactions sont souvent organisées par l'interprofession ou par les organismes de développement.

Les pommes de retrait se trouvent généralement disponibles de septembre à décembre, parfois jusqu'en mai dans les zones de production fruitière importante. Les carottes produites dans les Landes et dans l'Ouest de la France sont disponibles d'octobre à avril sous forme d'écart de triage ou de retrait. Ces 2 végétaux bien pourvus en sucres solubles fermentescibles contiennent peu de fibres. Il est donc difficile et déconseillé de les ensiler seuls, même après broyage, sous peine de subir des pertes élevées par jus. Il faut donc les ensiler en mélange avec des fourrages secs hachés (paille, foin...) ou de les associer à de l'ensilage (herbe, maïs, pulpe de betterave surpressée...). Il est recommandé d'utiliser les carottes lavées pour limiter l'apport de terre et réduire au maximum la contamination en spores butyriques, spécialement si les ensilages sont destinés aux vaches laitières (Aurejac et al., 1990, Anglade et al., 1990).

Les pommes ou les carottes peuvent être introduites entières dans l'ensilage en couches successives à la confection du silo, et dans ce cas l'ensilage d'herbe préfané ou l'ensilage de maïs conviennent bien. Elles peuvent être mélangées après broyage à l'ensilage lors de la réalisation du silo dans les proportions suivantes : avec des fourrages secs, la proportion peut être de 1 kg de paille

pour 6 kg de coproduit, avec de l'ensilage de maïs, la proportion se situe à 60-70 % de maïs pour 40 à 30 % de coproduit afin d'atteindre un mélange de l'ordre de 25 % de MS. Le mélange est réalisé de façon satisfaisante par une pailleuse-hacheuse. Le réaménagement de silos déjà confectionnés en vue d'y introduire des coproduits est plutôt déconseillé. A condition de tasser le mélange régulièrement par couches de 20 à 30 cm, de terminer le silo par une couche de maïs de 50 cm d'épaisseur et de le couvrir rapidement et de façon étanche, la qualité de conservation donne satisfaction. La durée de conservation peut aller jusqu'à 6 à 7 mois sans problème.

4.2 Les coproduits de la conserverie

Ils sont constitués par les écarts de nettoyage et de triage (feuilles, tiges, gousses, légumes non conformes), les refus d'entrée en usine pour excès de maturité, les fractions d'éboutage pour les haricots verts. La multiplication des constituants et parfois l'association à d'autres légumes (comme les petits pois-carottes) a pour conséquence une hétérogénéité de la composition des coproduits. Ceux-ci sont disponibles sur des périodes variables selon la nature du coproduit et les zones de récolte (Bretagne et Picardie pour les principales) : d'août à octobre pour les haricots verts et de juin à septembre pour les petits pois. La commercialisation se fait la plupart du temps directement entre l'industriel et l'éleveur : le contrat doit garantir la régularité d'approvisionnement, la qualité sanitaire du produit.

Récemment un procédé de pressage du coproduit après broyage a permis d'améliorer considérablement la teneur en MS qui, à la livraison, passe de 12 à 18 % (extrêmes de 16 à 22 %) pour les pois-carottes et de 10 à 15 % (extrêmes de 13 à 18 %) pour les haricots verts. Ce procédé permet d'homogénéiser la teneur en MS des livraisons et de réduire de façon notable les écoulements de jus sans les annuler complètement. La teneur en MAT est élevée : 22 % de la MS pour les pois-carottes et 15,5 % pour les haricots verts, azote principalement sous forme soluble (respectivement 65 % et 30 % de l'azote total). La teneur en cellulose brute est faible dans les 2 cas (de l'ordre de 20 % de la MS en moyenne avec des extrêmes allant de 16 à près de 22 %). Ces 2 coproduits sont bien pourvus en calcium (15 % pour le haricot et 8 % de MS pour le pois). Ces caractéristiques rendent leur conservation par ensilage possible mais délicate. Compte tenu de la haute fermentescibilité de ces produits et de leur production en période estivale, il est impératif de réaliser le silo dans les meilleurs délais après le pressage. L'ensilage se fait sans agent de conservation, impérativement sur une dalle bétonnée, inclinée et équipée d'un aménagement de récupération des jus. Les écoulements de jus peuvent être réduits en améliorant encore le pressage, en incorporant de la pulpe sèche dans l'ensilage ou en étalant de la paille broyée sur le fonds du silo. Ces silos de taille modeste doivent être couverts hermétiquement dès la fin de réalisation (Chapoutot et al., 1990).

Tableau 28 : Caractéristiques de conservation de l'ensilage de coproduits de conserverie.

Moyenne (valeurs extrêmes)	Pois-carottes (n=7)	Haricots verts (n=6)
Matière sèche (%)	21,4 (19,7 à 22,8)	16 (15,6 à 16,5)
Acide lactique (g/kg MS)	46,7 (22,2 à 63, 5)	16,7 (8,5 à 21,5)
Acide acétique (g/kg MS)	69,2 (53,9 à 106,3)	83,8 (71 à 98)
Acide propionique (g/kg MS)	2,3 (1 à 5)	8,9 (4,6 à 13,6)
Acide butyrique (g/kg MS)	0,6 (0,3 à 1,2)	1,4 (0,4 à 3,5)
Alcools (g/kg MS)	33,2 (20,3 à 53,9)	38,4 (30,5 à 44,9)
Azote ammoniacal (% N total)	9 (6,3 à 11,1)	8,6 (7,6 à 9,9)
pH	4,3 (4,2 à 4,4)	4,3 (4,2 à 4,4)

Source : Pilard, 2000

Après 2 à 8 mois de conservation, les caractéristiques de conservation des ensilages des pois-carottes sont bonnes (Tableau 28). Le pH est un peu supérieur à 4, la teneur en acide lactique garantit une bonne orientation des fermentations, ce que montre la très faible présence d'acide butyrique. L'azote est moyennement dégradé en azote ammoniacal. Malgré une forte odeur d'acide acétique et d'alcool, ces ensilages sont néanmoins bien acceptés par les vaches laitières. Il ressort également de ces observations de silos que la reprise en fermentation du front d'attaque est rapide, ce qui implique de ne pas dépasser 1 m de hauteur à la confection pour éviter les éboulements à la reprise et de bien dimensionner le silo pour assurer une vitesse d'avancement rapide du front d'attaque.

Les haricots verts sont moins prisés par les éleveurs et requièrent une bonne maîtrise de la conservation par ensilage ; en effet la présence de tiges augmente le risque de contamination

butyrique. Après 4 à 6 mois de conservation les caractéristiques observées sont à peu près satisfaisantes : pH à la limite de la stabilité, présence importante d'acide acétique et parfois d'acide butyrique. La stabilité des ensilages n'est pas meilleure qu'avec les pois-carottes, ce qui est une raison pour confectionner rapidement de petits silos hermétiques, de faible hauteur et bien dimensionnés aux besoins du troupeau. Ces ensilages sont bien acceptés par les vaches laitières et des bovins à l'engraissement.

5 Coproduits d'origines diverses

5.1 Maïs doux ensilé

La production du maïs doux est surtout localisée dans le Sud-Ouest où elle représente 23 000 hectares. Le maïs doux est récolté en épi entier (avec spathes et pédoncules). Après retrait des grains destinés à la consommation humaine, les résidus (47 % de spathes, 31 % de rafles et 22 % de diverses fractions qui sont des bouts de grains) constituent le coproduit et représentent environ 300 000 tonnes. Celui-ci, disponible en frais de juillet à mi-octobre, est mis à la disposition des éleveurs en l'état ou bien est broyé et pressé par l'entreprise avant commercialisation. Cela engendre alors d'autres coproduits comme l'amidon cru et des jus de presse.

Le coproduit proposé est pressé et broyé et l'amidon récupéré est réintroduit ; l'incorporation d'un agent de conservation microbiologique, réalisé par certaines usines ne se justifie pas *a priori*. Récolté moins de 48 h avant livraison, le produit doit présenter une couleur verte et un état de fraîcheur satisfaisant. La durée de confection du silo ne doit pas excéder une journée et la fermeture intervenir en fin de chantier. La teneur en MS moyenne observée lors de la confection d'un silo expérimental est en moyenne de 22 % avec des extrêmes allant de 20 à 25 % ; dans cette situation il n'est pas observé d'écoulement de jus.

Tableau 29 : Composition chimique et qualité de conservation de l'ensilage de maïs doux ensilé (n=28)

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Matière sèche du produit à la livraison (%)		
Produit en l'état		15 à 18
Produit pressé et broyé		20 à 25
Composition chimique		
MAT (% MS)	9	7 à 10
Amidon (% MS)	13	11 à 15
Cendres (% MS)	4	2 à 6
Cellulose brute (% MS)	28	22 à 32
Phosphore (g/kg MS)	2,7	1,5 à 3,6
Calcium (g/kg MS)	1,1	0,4 à 2,7
Qualité de conservation		
MS (%)	22,1	20 à 23
pH	3,7	3,6 à 4
Acide lactique (g/kg MS)	70	27 à 138
Acide acétique (g/kg MS)	61	12 à 112
Acide butyrique (g/kg MS)	Traces	
Alcools (g/kg MS)	43	23 à 74
Azote ammoniacal (%/Ntotal)	8,7	7 à 13
N soluble% N total	60	56 à 63

Source : Legarto et al., 1991

Le coproduit est pauvre en azote mais riche en cellulose brute et contient une proportion non négligeable d'amidon. C'est donc un aliment intéressant pour son énergie mais de médiocre valeur azotée (Tableau 29).

Le maïs doux se conserve bien sous forme d'ensilage et présente des caractéristiques de conservation proches d'un bon ensilage de maïs : pH inférieur à 4 en relation avec une teneur importante mais variable en acide lactique ; la teneur en acide acétique est particulièrement élevée et

l'on note l'absence d'acide butyrique. La présence d'éthanol est importante. La dégradation de l'azote se révèle du même ordre que celle des ensilages d'herbe sans conservateur mais sans plus. Le broyage réalisé par l'usine entraîne une proportion importante (70 % dans le cadre d'un essai) de particules dont la taille est inférieure à 1 mm (Legarto et al., 1999).

La perte de MS observée en cours de conservation est du même ordre que celle couramment observée avec un ensilage de maïs, atteignant environ 17 %.

5.2 Racines d'endives

Le forçage des racines d'endives donne un chicon qui est destiné à la consommation humaine et une racine consommable par les animaux après décrochage. La production d'endives est traditionnellement localisée dans le Nord-Pas de Calais et dans une moindre mesure en Picardie; cette production se trouve pour une plus faible part dans d'autres régions comme la Bretagne. Le tonnage national disponible se situe entre 400 et 500 000 tonnes de racines. Celles-ci sont principalement disponibles en continu pendant la période de forçage qui va de septembre à mai.

Tableau 30 : Composition chimique moyenne des racines d'endives (n=10)

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Matière sèche (%)	14	12 à 18
MAT (% MS)	6	4 à 8
Cendres (% MS)	8	6 à 11
Cellulose brute (% MS)	10	6 à 18
Phosphore (g/kg MS)	3	2 à 4
Calcium (g/kg MS)	4	2 à 4
Potassium (g/kg MS)	35	20 à 40

Source : Cochet et al., 1991

Le coproduit présente une composition chimique assez variable. La teneur en MS est basse et varie selon le stade de récolte, le type de forçage; ceci rend difficile la conservation sur une longue durée. Les racines d'endives sont assez riches en fibres digestibles contenant par ailleurs peu de lignine (2 à 3 % de la MS) et riches en glucides solubles simples, ce qui lui procure une valeur énergétique élevée, en revanche, elles sont pauvres en MAT. La teneur en cendres peut atteindre des valeurs élevées reflétant le fait que les racines sont mal nettoyées de la terre, ce qui est préjudiciable à la consommation par les animaux et favorise le risque de contamination butyrique du lait. La présence de potassium en quantités importantes leur confère un effet laxatif et contribue au salissement des litières (Tableau 30).

La conservation durant l'hiver peut s'envisager sur une période de 1 à 2 mois à condition que les racines soient exemptes de terre, de racelles, de feuilles d'épluchage et de racines pourries. Au delà de ce délai, les racines brûlent les sucres et dégagent de la chaleur entraînant des pertes de MS et une dégradation des protéines et de la qualité hygiénique du produit.

Les racines se conservent à l'extérieur en silo de 1 à 1,5 m de hauteur sur une plate forme bétonnée en pente légère pour évacuer les eaux de pluie; il n'est pas utile de couvrir le tas. Les racines ne gèlent qu'en dessous de - 5°C, il est donc prudent de prévoir une couverture efficace qui sera ôtée dès que la température remonte. Au dégel les racines se dégradent rapidement.

Au printemps la remontée de la température accélère la dégradation des racines même stockées propres, si bien qu'il est illusoire de vouloir les conserver plus de 3 à 4 semaines.

L'endive au forçage reçoit différents traitements fongicides ou insecticides qui peuvent éventuellement entraîner la présence de résidus dans les racines. Les doses de traitement employées et la distribution en quantités limitées aux animaux ne doivent pas engendrer de répercussions sur leur santé, les doses trouvées étant toujours inférieures à la limite maximale de résidu.

5.3 Pulpe de tomate

L'industrie de fabrication des concentrés de tomate extrait les jus des fruits par pression et donne la pulpe de tomate composée de peaux, pépins et pédoncules parfois mélangés à des feuilles. La production de tomates est effective de juillet à octobre, ce qui rend la pulpe disponible durant cette

courte période et nécessite de la conserver, si l'on souhaite différer son utilisation sur une période plus longue. La production est très localisée sur quelques départements du Languedoc, de l'Aquitaine et de la Provence. Compte tenu de sa faible teneur en MS, la pulpe a une utilisation limitée en l'état. La déshydratation peut permettre une utilisation plus large sur le territoire.

La composition chimique du coproduit varie très largement d'une usine à l'autre en relation avec la variété utilisée, les méthodes de récolte, les technologies d'extraction utilisées.

Tableau 31 : Composition chimique moyenne de la pulpe de tomate (n=15)

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Matière sèche (%)	27	20 à 35
MAT (% MS)	22	18 à 26
Cendres (% MS)	5	3,5 à 6
Cellulose brute (% MS)	34	27 à 41
Matières grasses (% MS)	15	12 à 19
Phosphore (g/kg MS)	3	
Calcium (g/kg MS)	3	1,8 à 4,2
Cuivre (mg/kg MS)		15 à 20
Soufre (mg/kg MS)		1,7 à 1,9

Source : Hacala et al., 1990

La composition de la pulpe de tomate classe ce coproduit parmi les aliments moyennement riches en énergie comme semble l'indiquer la teneur en cellulose brute et ce malgré une forte teneur en matières grasses. Elle est également classée parmi les aliments riches en MAT et l'azote est peu soluble (en moyenne 35 %). Il faut noter la présence importante de cuivre et de soufre, vraisemblablement en relation avec les traitements anticryptogamiques reçus par le fruit (Tableau 31).

La pulpe est un produit relativement acide (pH compris entre 3,4 et 4) qui se conserve sans problème en silo. Il est recommandé de la stocker sur une surface inclinée, en béton de préférence, pour faciliter l'écoulement des jus s'il y en a. La pulpe peut être tassée pour éviter la formation de poches d'air dans la masse, notamment quand la teneur en MS est élevée. Enfin la surface du tas doit être lissée à la planche ou au pied puis être recouverte d'une bâche étanche bien appliquée. Dans ces conditions la conservation peut s'envisager sur plusieurs mois sans problèmes.

6 Quelques coproduits également utilisables

Les cannes de maïs restant sur le champ après la récolte du grain peuvent être ramassées et conservées sous forme d'ensilage. Cette récolte est envisageable en cas de pénurie fourragère. Les cannes sont difficiles à récolter car souvent écrasées par les machines et souillées par la terre. Ce produit est pauvre en MAT (5 à 7 % de la MS) mais riches en cendres (plus de 10% à cause de la terre récoltée) ; en revanche, il contient des glucides solubles et de l'amidon en quantité non négligeable et est bien pourvu en cellulose brute (30 à 37 % de la MS) : c'est donc un aliment utilisé pour apporter des fibres dans une ration bien pourvue en énergie, en azote et en minéraux (Assaoul et al., 1990).

L'ensilage doit se faire aussitôt après la récolte du grain pour éviter une teneur en MS trop élevée (supérieure à 30 %) nuisant au tassage. Le hachage fin facilite le tassage et garantit une conservation semblable à celle du maïs plante entière, sous réserve de l'absence de terre.

Il est possible de presser les cannes de maïs en balles rondes après ressuyage (MS de l'ordre de 45-50 %) et de leur incorporer de l'ammoniaque, ce qui va améliorer la teneur en MAT aux alentours de 12-14 % ainsi que la qualité de conservation (Chenost et al., 1990).

Les feuilles et collets de betterave représentent ce qui reste de la plante après récolte des betteraves. Ce produit peu riche en MS (17 %) contient beaucoup de cendres (20 à 25 %, jusqu'à 30 % s'il est sale) provenant de la terre ramassée lors de la récolte sur le sol. Il renferme peu de cellulose brute mais il est bien pourvu en MAT. Sa valeur énergétique et azotée est moyenne. Il est très riche en potassium (30 g/kg de MS), ce qui le classe dans les aliments laxatifs.

Les feuilles et collets de betterave sont disponibles sur une courte période en octobre-novembre. Ils peuvent être distribués en vert après hachage ou bien ensilés. Le produit riche en eau se conserve assez mal par ensilage, émettant des jus en quantités ; pour y remédier l'incorporation de paille entière

ou broyée peut s'envisager. Les recommandations habituelles de réalisation du silo s'appliquent, notamment celle de veiller à récolter un produit propre contenant le moins de terre possible.

7 Maïs grain humide

Le maïs grain stocké à un taux d'humidité de 32 % se conserve bien en ensilage après broyage à la récolte. Il est ensuite utilisé par les porcs et les bovins.

La récolte est effectuée à la moissonneuse-batteuse quand l'humidité du grain est comprise entre 30 % et 38 %. Le grain réceptionné dans une fosse est broyé au fur et à mesure de la récolte. La mouture est enfin propulsée par un "cyclone" sur le silo qui est rempli en couches successives ; le tassement est réalisé avec un tracteur dédié à cette opération. La fermeture du tas doit être rendue étanche comme pour les autres fourrages conservés par ensilage. Un ensilage de maïs grain humide réussi (mouture fine, absence de terre, bon tassement, anaérobiose) ne nécessite pas l'utilisation d'agent d'ensilage.

La granulométrie, combinée à l'humidité du maïs, joue un rôle important dans le tassement. Une mouture comportant 80 % de particules inférieures à 2 mm de diamètre est idéale (AGPM, 2000). La mouture doit être plus fine pour un grain à 30 % d'humidité ou moins ; elle doit être plus grossière pour un grain plus humide (35 % et plus).

Un maïs grain récolté à 28 % d'humidité ou moins doit être re-humidifié par aspersion juste avant le broyage pour obtenir un taux d'humidité du grain stocké de 32 %.

Le mode de stockage est adapté aux besoins du troupeau alimenté avec ce type d'aliment. Le silo taupinière convient à un élevage qui utilise occasionnellement du maïs grain humide ensilé ou qui le découvre. Il nécessite beaucoup de soins pour assurer la propreté du chantier et l'accessibilité par tous les temps. Le silo couloir convient bien à un troupeau plus grand utilisateur de cet aliment. La largeur du silo est adaptée aux possibilités de tassement et la hauteur ajustée aux besoins journaliers du troupeau ; l'avancement du front de silo doit être de plus de 5 cm en hiver et plus de 10 cm en été. Le silo tour en béton est adapté aux grandes unités d'élevage, porcines en particulier.

8 Blé ensilé humide

L'objectif de cette technique est de récolter le grain de blé encore humide et de le stocker en silo couloir hermétique après aplatissage. Avec le grain se trouve mélangés une partie des enveloppes et du rachis de l'épi, mais pas la paille. Le produit se trouve ainsi enrichi en fibres, ce qui ne nuit nullement à la qualité de la conservation, en réduit légèrement la valeur énergétique mais doit participer à l'amélioration de la valeur hygiénique de la ration dans laquelle il est incorporé.

La récolte doit se faire dès que le stade du grain est compris entre le stade pâteux et le stade de la maturité physiologique, sa teneur en MS est alors de l'ordre de 60 %. A ce stade, la variation de la teneur en MS du grain est rapide ; il faut donc bien la surveiller. Ce niveau de MS est atteint lorsque la somme des températures cumulées depuis l'épiaison atteint 750-800°C. Il peut également être repéré par l'observation de la plante : la paille commence à se dessécher à la base, les nœuds restant encore verts ; le grain jaunit, résiste à la pression et se laisse encore facilement fendre par l'ongle. En cas de dépassement du stade, il est recommandé de rajouter de l'eau dans le produit pour favoriser son tassement et sa conservation ; les aplatisseurs à haut débit utilisés sur ces chantiers sont équipés de buses facilitant l'incorporation d'eau.

La récolte se fait à la moissonneuse batteuse après modification de quelques réglages : la vitesse du batteur est réglée à 1100-1200 tours par minute, la ventilation est portée au maximum et la grille inférieure de séparation est maintenue ouverte. Le grain récolté est transporté vers le silo où il est aplati à l'aide d'un aplatisseur à grand débit.

Comme pour l'ensilage d'herbe, le silo est confectionné rapidement, en une journée et dans de bonnes conditions de propreté : il est placé sur une dalle bétonnée, bien tassé au tracteur puis couvert hermétiquement dès la fin du chargement.

Si toutes ces opérations sont bien respectées, le blé se conserve facilement et présente des caractéristiques fermentaires proches de celles d'un ensilage de maïs bien conservé : fermentation lactique importante (45 g par kilogramme de MS en moyenne) assurant un pH de l'ordre de 4, absence d'acide butyrique et une dégradation modeste de l'azote en azote ammoniacal.

Le blé ainsi conservé est bien accepté par les animaux, que ce soit en production laitière pour compléter les rations ou pour l'engraissement en constituant la base de la ration.

Cas pratiques et questions/réponses

➔ **Au printemps, l'herbe pousse vite, je dois mettre les animaux au pâturage alors qu'il me reste plus de 10 % de mon silo ? Que faire ?**

La bonne exploitation du pâturage est prioritaire. Je referme le silo après avoir régularisé le front d'attaque et aspergé celui-ci d'un agent chimique d'ensilage. Le pied du silo est nettoyé. La bâche reste fortement plaquée sur le haut du silo et le long du front pour rétablir l'anaérobiose.

➔ **Aujourd'hui je n'ai plus d'ensilage. Je vais confectionner mon premier silo de l'année. Puis-je l'ouvrir immédiatement après confection ou dois-je attendre un certain temps ?**

L'ensilage nécessite d'attendre 3 semaines de fermentation pour disposer d'un produit stabilisé qui se conserve correctement. Pour éviter d'avoir un grand silo mal conservé parce que non stabilisé, je fabrique un petit silo qui sera immédiatement ouvert et consommé durant 3 semaines. On peut y ajouter un agent chimique d'ensilage pour le stabiliser plus rapidement.

Je constitue parallèlement le grand silo, qui est fermé après la récolte et ne sera ouvert qu'au bout d'un délai minimum de 3 semaines.

➔ **Je n'ai plus de dalle en béton disponible pour faire mon ensilage ; puis-je ensiler en "sandwich" en débâchant le dessus d'un silo existant ?**

Cette pratique présente des risques mais reste faisable à condition de disposer d'un silo sur lequel un tracteur pourra monter pour assurer le chargement et le tassement. Une organisation minimum est nécessaire avant l'ouverture du silo à charger, en disposant de plusieurs remorques de fourrage vert en attente. Dès l'ouverture effectuée, le contenu de ces bennes est étalé sur tout le silo et le tassement est entamé immédiatement. Le fourrage fermenté précédemment ne doit pas être remanié par un outil de reprise (fourche, chargeur).

Le silo ainsi complété est chargé, régulièrement et bien tassé, puis fermé hermétiquement dans la journée pour ne pas risquer de fermentations indésirables dans la partie déjà conservée.

➔ **Au bout de combien de temps puis-je ouvrir mes balles rondes d'ensilage d'herbe ?**

On peut les utiliser dès leur récolte, si la balle ronde est distribuée dans la journée après son ouverture. Une fois la balle ouverte, les fermentations vont redémarrer par suite de l'introduction d'air entre les brins.

➔ **Mon maïs sur pied est contaminé par le charbon du maïs. Puis-je le faire consommer par les animaux après ensilage ?**

L'acidification importante qui apparaît dans l'ensilage par suite des fermentations anaérobies neutralise les spores du charbon du maïs des inflorescences. Si l'ensilage de maïs que j'ai constitué est stabilisé et bien conservé, je peux distribuer ce fourrage à mes animaux. Il est cependant conseillé de ne pas ensiler des fourrages lorsque le taux de pieds charbonnés est supérieur à 20 p 100, de réserver cet ensilage à des bovins à l'engraissement et de l'éviter dans la ration des jeunes et des femelles gestantes. En cas de diarrhée, arrêter la distribution.

➔ **J'ai une désileuse qui hache finement l'ensilage à la reprise ; pour obtenir une ration moins moulue puis-je hacher le maïs fourrage plus grossièrement à la récolte ?**

Le hachage grossier du maïs fourrage à la récolte rend la réalisation du tassement au silo plus difficile et compromet la qualité de conservation de l'ensilage. Dans ce cas, il est préférable de continuer de récolter un maïs vert haché finement et d'adapter les réglages du désilage pour ne pas re-découper l'ensilage.

Avec un désileuse à fraise, la descente sur le front du silo sera ralentie, ainsi que la rotation de la fraise.

➔ **J'ai un appareil de distribution qui fabrique une ration en bouillie ; pour obtenir une ration moins moulue puis-je hacher les fourrages plus grossièrement à la récolte ?**

Les fourrages plus grossiers ont plus de mal à bien se conserver parce qu'il est plus difficile de bien les tasser à leur mise en silo. Ces fourrages plus grossiers continueront malgré tout d'être réduits en particules fines et sans forme si les conditions de distribution (mélange, recyclage, déchargement) ne sont pas modifiées. Selon le type d'appareil, la vigueur de l'action mécanique et/ou sa durée doivent être révisées.

Il est par ailleurs possible d'adapter les pratiques de distribution en fournissant un apport de 1 à 1,5 kg de foin ou 0,5 à 1 kg de paille.

➔ **Mes silos ont été inondés pendant plusieurs jours. Puis-je distribuer les ensilages aux animaux ?**

Si le silo était fermé, la pénétration de l'eau et de ses contaminants dans le silo est limitée ; à l'ouverture vérifier l'importance d'entrée d'eau (hauteur de silo mouillée, humidité de la partie basse). Un tel silo peut être ouvert en prenant la précaution de ne pas distribuer la partie basse si la pénétration de l'eau a été importante.

Si le silo était déjà ouvert et qu'il n'a pas bougé par effet de flottaison, la partie non souillée peut être distribuée ; il est raisonnable de mettre au fumier la partie non consommable.

➔ **Quelle taille de silo prévoir pour l'hiver ?**

Je veux constituer un silo de maïs fourrage qui sera distribué en hiver à un troupeau de 40 vaches à raison de 12 kg de MS/jour/vache pendant 120 jours, avec du foin et des concentrés. La quantité de maïs fourrage prélevée quotidiennement est de 480 kg de MS ce qui correspond à un volume de 2,1 m³ environ (480 kg / 230 kg de MS par m³). Pour que le front d'attaque avance de 15 cm par jour, la surface optimale du front d'attaque sera de 14 m² (2,1 m³ / 0,15 cm par jour). Cette surface correspond par exemple à une largeur de 7 m et une hauteur de 2 m. Le volume total à prévoir est de 250 m³ (480 kg par jour / 120 jours / 230 kg de MS par m³) ; la longueur du silo sera de 18 m environ (250 m³ / 14 m²).

➔ **Quelle taille de silo prévoir pour l'été ?**

Je veux constituer un silo de maïs fourrage qui sera distribué à un troupeau de 40 vaches en complément du pâturage à raison de 6 kg de MS/jour/vache pendant 90 jours, avec des concentrés. La quantité d'ensilage d'herbe prélevée quotidiennement est de 240 kg de MS ce qui correspond à un volume de 1,3 m³ environ (240 kg / 180 kg de MS par m³). Pour que le front d'attaque avance de 20 cm par jour, la surface maximale du front d'attaque sera de 6,5 m² (1,3 m³ / 0,20 cm par jour). Cette surface correspond par exemple à une largeur de 5 m et une hauteur de 13 m. Le volume total à prévoir est de 120 m³ (240 kg par jour / 90 jours / 180 kg de MS par m³) ; la longueur du silo sera de 19 m environ (120 m³ / 6,5 m²).

➔ **Quelles précautions mettre en œuvre quand je décide en fin mai-début juin de récolter en plante entière ensilée une culture initialement mise en place pour le grain ?**

La culture de céréale ou de protéagineux est susceptible d'avoir reçu un traitement de type fongicide, insecticide ou ralentisseur de croissance ("raccourcisseur") ; l'utilisation de tels produits nécessite que le délai d'attente réglementaire soit observé entre son application et la récolte. Ce délai, exprimé en nombre de jours ou semaines, est inscrit sur le mode d'emploi qui accompagne le produit utilisé.

➔ **Je suis producteur en agriculture biologique⁶ ; quelle quantité d'ensilage puis-je distribuer à mes animaux ?**

En agriculture biologique l'utilisation d'ensilages peut constituer au maximum 50 % de la MS de la ration quotidienne. L'introduction d'ensilage de maïs ne doit pas représenter plus de 33 % de la MS de la ration journalière consommée (Cahier Charges REPAB - J.O.R.F. 30/08/2000).

⁶ Rapport sur l'évaluation nutritionnelle et sanitaire des aliments issus de l'agriculture biologique. Afssa, juillet 2003.

➔ Je suis producteur en agriculture biologique ; l'ensilage que je distribue à mes animaux peut-il contenir un auxiliaire de fabrication d'ensilage ?

En agriculture biologique l'utilisation d'auxiliaires de fabrication d'ensilage (agent d'ensilage) est énoncée dans une liste établie (Cahier Charges REPAB - J.O.R.F. 30/08/2000) et mise à jour. Actuellement, les agents d'ensilage autorisés sont le sel de mer et le sel gemme (également utilisés comme aliments minéraux) et les bactéries lactiques, acétiques, formiques et propioniques. Les acides ne sont pas autorisés dans ce contexte de production.

➔ Je retire des refus de l'auge de mes vaches laitières ; puis-je les distribuer à d'autres animaux ?

Si les refus sont constitués d'aliments encore consommables par les vaches, parce que je leur distribue la ration à volonté chaque jour (c'est à dire 3 à 5 % de plus que la consommation attendue), ces surplus quotidiens peuvent être distribués à des animaux moins exigeants, tels que des génisses de renouvellement. La ration de ces animaux doit ensuite être complétée selon leurs besoins.

Si les refus sont constitués d'aliments non consommables par les vaches, parce que la ration ne leur est pas distribuée à volonté ou bien les refus sont constitués d'éléments tels que des parties mal conservées (comportant de la terre ou des moisissures) ou résultant d'un tri préférentiel par les animaux (tiges dures ou longues, inflorescences ou feuilles desséchées et inappétentes, espèces non consommées par ces animaux), ces refus doivent être jetés.

L'ensilage permet la conservation des fourrages verts ou des coproduits humides sur des durées plus ou moins longues. Toutes les opérations mises en œuvre pour réaliser un ensilage doivent concourir à garantir au mieux la valeur nutritive du produit conservé et sa qualité sanitaire, mais aussi à préserver l'environnement. Le manque de rigueur dans la réalisation de l'ensilage peut entraîner le développement de micro-organismes indésirables susceptibles d'avoir des répercussions sanitaires chez l'homme (contamination du lait par des *Listeria*), chez l'animal (présence de *Listeria*, de moisissures, de mycotoxines ou de levures dans l'ensilage destiné à être consommé). Cette présence peut entraîner également des problèmes technologiques en fabrication fromagère par des laits vecteurs de germes butyriques. Le développement de flores indésirables dans l'ensilage peut aussi induire des déviations fermentaires plus ou moins importantes provoquant l'apparition de substances diverses à l'origine d'intoxications plus ou moins graves des animaux consommateurs, mais cela reste l'exception. Le manque de maîtrise de la fabrication de l'ensilage va donc avoir des répercussions alimentaires, sanitaires et économiques. Par ailleurs, l'écoulement de jus en provenance des silos peut constituer un risque de pollution pour l'environnement et contribuer à une dégradation de l'hygiène de l'élevage.

Le suivi des recommandations suivantes intervenant à chaque étape de la fabrication de l'ensilage doit permettre de limiter les dérives précédemment citées.

1 La préparation de l'ensilage

• Choisir la parcelle adéquate

Les parcelles sur lesquelles sont cultivés les fourrages, doivent être :

- propres (absence de taupinières, de résidus de fumier et de déchets végétaux divers) afin de ne pas influencer négativement sur la qualité de conservation du fourrage,
- aussi planes que possible pour faciliter le travail des engins de coupe et de récolte et dont le sol doit supporter leur passage sans se dégrader,
- bien entretenues, elles font l'objet d'une vérification au début de la période de pousse afin de s'assurer qu'elles sont aptes à être ensilées.

2 La récolte du fourrage

• Choisir le matériel de récolte convenable

La récolte des fourrages se fait avec des machines à grande capacité de travail qui permettent un débit de chantier élevé mais qui doit rester compatible avec les capacités de tassement du fourrage. Selon le type d'ensilage retenu par l'éleveur, la récolte s'effectue avec une ensileuse, avec une autochargeuse ou avec une presse haute densité à balles rondes ou parallélépipédiques. Les caractéristiques de chaque machine sont en adéquation avec l'obtention d'un débit optimal du chantier.

- Les ensileuses à coupe fine (réglage des couteaux à 6 mm pour le maïs et à 2-3 cm pour l'herbe) sont des engins très performants ramassant le fourrage éventuellement fané à grande vitesse. Généralement mises en œuvre par des entreprises de récolte, elles sont donc à privilégier pour réaliser collectivement et rapidement des silos de grand volume.

- Les remorques autochargeuses, utilisées pour la récolte de l'herbe, sont moins performantes en débit de chantier. Elles sont bien adaptées à la récolte de parcelles de surface moyenne et à la confection individuelle de silos de volume moyen.

- Les presses à balles rondes (ou parallélépipédiques), utilisées pour la récolte de l'herbe, présentent des débits de chantier modestes. Elles sont bien adaptées pour des surfaces moyennes ou petites à ensiler, correspondant à des quantités variables d'herbe selon la saison.

Les ensileuses à coupe longue (ensileuses à fléaux) ou à coupe mi-longue (ensileuses à double coupe) ne permettent pas une conservation correcte de l'ensilage (brins longs difficiles à tasser,

risque d'incorporation de terre...). Leur utilisation n'est donc pas souhaitable, même s'il est possible de faire des ensilages préfanés de bonne qualité avec une ensileuse double coupe.

- **Bien récolter le fourrage**

- **Déterminer la date de récolte optimale**

La date de récolte optimale constitue un compromis entre la valeur alimentaire et le rendement par hectare des fourrages qui est généralement atteint :

- au début de l'épiaison pour les graminées,
- au début du bourgeonnement pour les légumineuses,
- à l'état pâteux-vitreux du grain pour le maïs.

L'herbe doit être coupée assez précocement pour assurer une repousse suffisante en début d'été ainsi qu'une bonne valorisation du pâturage ultérieur. La date de récolte dépend également des conditions météorologiques qui doivent être favorables à la dessiccation rapide du fourrage dans le cas d'un préfanage. Celui-ci est d'autant plus rapide que la quantité de fourrage présente au sol est plus faible. La prise en compte des bulletins météorologiques à destination des agriculteurs est un élément important de décision pour choisir le moment optimal de récolte.

- **Choisir la bonne taille de hachage du fourrage**

Dans le cas des ensilages à coupe fine en silos couloir ou taupinière, la bonne conservation repose sur l'acidification rapide de la masse du fourrage qui est favorisée par un hachage fin. Le fourrage récolté doit donc être haché finement pour permettre un bon démarrage de la fermentation : brins moins de 2 cm de long pour l'ensilage de maïs, et moins de 5 cm pour l'ensilage d'herbe. Cependant, un hachage trop fin peut favoriser une acidose digestive chez l'animal.

Dans le cas des ensilages à l'autochargeuse ou avec une presse, le fourrage est plus sec et peu ou pas haché.

3 Le stockage du fourrage

- **Réaliser un bon tassement du fourrage**

La présence d'air dans le silo s'oppose à l'acidification rapide du fourrage, indispensable pour assurer sa bonne conservation. Un tassement régulier et énergique de ce dernier (et cela d'autant plus que sa teneur en matière sèche est élevée) et une fermeture rapide et étanche du silo permettent de limiter la présence d'air.

Pour obtenir un bon tassement du fourrage lors du stockage en silos horizontaux, il faut :

- apporter le fourrage en vrac au pied du silo,
- le répartir en couche mince sur toute la longueur du silo et le tasser régulièrement avec un engin réservé à cette tâche.

L'étanchéité est obtenue par l'application d'une bâche plastique imperméable, résistante à l'étirement et aux chocs. Dans les silos couloirs, il est nécessaire de placer des bâches le long des parois et de les rabattre sur le haut du silo pour éviter des prises d'air ou des infiltrations d'eau sur les bordures. Le placage de la bâche sur la masse se fait à l'aide de sacs remplis de sable ou de graviers. Les pneus sont déconseillés et notamment ceux à carcasse métallique au regard du risque pour l'environnement et la santé de l'animal. Ils sont inadaptés pour assurer une bonne étanchéité du silo. Ce dernier doit en effet être rendu étanche le plus tôt possible et le rester jusqu'à la reprise.

- **Utiliser des agents d'ensilage pour certains types de fourrages**

La teneur en glucides solubles et le pouvoir tampon de la plante conditionnent la facilité d'acidification de la masse et par conséquent la qualité de conservation du fourrage. Les fourrages comme le maïs et le ray-grass, riches en glucides solubles et à faible pouvoir tampon, sont faciles à ensiler. A l'opposé, la luzerne et le dactyle contenant peu de glucides solubles et à pouvoir tampon élevé sont difficiles à ensiler. Il est alors indispensable d'avoir recours à des agents d'ensilage pour obtenir une acidification efficace. Les agents d'ensilage améliorent la qualité des fermentations

lorsque la teneur en matière sèche des fourrages de graminées à la récolte est inférieure à 30 % et celle des fourrages de légumineuses lorsqu'elle est inférieure à 35 %.

L'efficacité des agents d'ensilage homologués est liée à leurs conditions d'utilisation (type de fourrage, respect des doses, homogénéité d'incorporation) et au respect des consignes incontournables que sont en particulier le tassement du fourrage, la non incorporation de terre, l'étanchéité du silo, etc.

Les agents d'ensilage autorisés sont de type chimique, microbiologique et/ou enzymatique (Il existe une liste des agents d'ensilage homologués et autorisés par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales).

Des substrats sucrés peuvent être ajoutés aux fourrages manquant de glucides solubles pour faciliter la fermentation lactique en même temps que des agents microbiologiques. Cela peut s'envisager pour des ensilages de prairies permanentes, mais devient prohibitif pour la luzerne et le dactyle vu les doses à utiliser et la difficulté accrue de mise en œuvre.

- **Adapter le mode de stockage au fourrage**

- **Stockage en silo**

Les silos doivent être construits sur un terrain sain proche de l'élevage et reposer préférentiellement sur une dalle de béton ou à défaut sur une bâche assurant une étanchéité vis-à-vis des infiltrations d'eau et des salissures provenant du sol. L'écoulement des effluents est obtenu grâce à une pente de 2 % pour un désilage mécanisé et 4 % pour un libre service. Les silos peuvent comporter ou non des parois latérales assurant la stabilité et la protection de l'ensilage. Leur présence autorise une hauteur de silo plus grande et un meilleur tassement du fourrage.

La taille du silo est choisie en fonction de la quantité du fourrage qui sera quotidiennement distribuée pour assurer un avancement du front d'attaque du silo de 15 cm/jour en hiver et 20 cm/jour en été.

- **Stockage en balles**

L'ensilage en grosses balles demande d'observer le même soin que pour la confection des silos et notamment le maintien de l'étanchéité en cours de stockage. Pour ce type de conservation un préfanage poussé entre 50 et 65 % de MS est recommandé. Des balles de forme régulière avec un liage en filet bien appliqué, facilitent la manipulation. L'enrubannage est effectué aussitôt après la confection de la balle. La machine doit être bien réglée pour assurer l'application parfaite du film sur la balle : 4 couches de film sont un minimum avec un recouvrement de 50 % et un taux d'étirement de 60 %. Le stockage se fait verticalement sur un sol sain.

Tous les éléments concourant à la protection des silos et des balles vis-à-vis des prédateurs (oiseaux, rongeurs...), ou d'autres incidents pouvant endommager la couverture doivent être mis en œuvre (filets de protection, clôture, etc.).

4 La distribution de l'ensilage

- **Maintenir une bonne qualité du fourrage désilé**

L'avancement du front d'attaque du silo après son ouverture doit être tel qu'il permette d'éviter le développement des moisissures et des fermentations indésirables. Des précautions doivent être prises pour limiter la pénétration de l'air dans le silo par le front d'attaque (bâche fortement appuyée au dessus du front d'attaque). L'avancement de celui-ci est fonction du fourrage mais aussi des conditions climatiques et de l'outil de désilage. Il est aussi nécessaire d'éloigner du silo les parties inconsommables et altérées afin d'éviter toute recontamination.

Alimentation des animaux en libre-service. Un cornadis mobile doit être placé devant le front du silo. Ce système exige une surveillance du comportement des animaux, un travail pour l'effondrement de l'ensilage, l'enlèvement des parties non consommables et des refus, le maniement des cornadis.

Alimentation mécanisée des animaux. La reprise de l'ensilage au silo est l'opération la plus sensible pour le devenir du silo à cause du risque d'ébranlement du front d'attaque qui peut entraîner des entrées d'air provoquant des altérations d'origine bactérienne et fongique. L'enlèvement de l'ensilage se fait par arrachement ou sectionnement selon l'outil utilisé. Le front d'attaque doit avancer assez rapidement, de l'ordre de 15 ou 20 cm par jour selon la saison. Il doit présenter une coupe franche sans fissuration pour éviter l'échauffement. L'ensilage désilé doit être rapidement distribué et auparavant il faut veiller à retirer quotidiennement les refus des auges.

Chacun s'accorde sur le fait qu'une bonne maîtrise de la technique d'ensilage est le gage d'une meilleure maîtrise sanitaire en élevage. Il convient cependant de ne pas perdre de vue que l'objectif premier de la fabrication d'ensilage à la ferme est la production d'un fourrage conservé de bonne qualité nutritionnelle afin de gérer le déficit hivernal de fourrage vert.

Mais, aucun ensilage, fut-il parfaitement conservé, ne peut constituer à lui seul une ration de base équilibrée. Aussi est-il nécessaire de corriger les déséquilibres préexistants en associant ce fourrage, dans la ration finale, à d'autres fourrages et/ou à divers aliments concentrés. Ce rééquilibrage ne pourra se raisonner que sur la base d'une bonne connaissance de la valeur alimentaire effective de l'ensilage produit sur l'exploitation. Compte tenu des variations normales de la composition des fourrages, on ne saurait pour cela recourir à la seule consultation de tables de composition moyenne. Une analyse alimentaire et une analyse qualitative préalables à l'utilisation d'un fourrage ensilé constitue un élément déterminant de sécurité d'emploi de ce type de fourrage.

Références bibliographiques

- AGPM, Guide Production et utilisation du maïs grain humide à la ferme, 2000, 48 pages.
- Andrieu J.P., 1998. Efficacité des conservateurs biologiques d'ensilage : résultats des essais d'homologation. Fourrages, 155, 377-382.
- Anglade, Confessons, Houssin B, Morel d'Arleux F., Lhommée M., 1990. Carotte. Fiche Comité des Coproduits, 2 p.
- Arnold P., Sangel, Blanchart G., Cadot M., Cheverry M., Chillon A, Doreau B., Franck, Koller, R. Morel d'Arleux F., Parrassin P.R., Roussel, Ruelle, Sauvart D., 1991. Les drêches de brasserie. Synthèse Comité des Coproduits, 38 p.
- Assyaoui S, Cadot M., Gaillard F., Grenet N., Morel d'Arleux F., Rossier, 1990. Canne de maïs. Fiche Comité des Coproduits, 2 p.
- Aurejac R., Gaillard F., Gontier D., Morel d'Arleux F., Meschy F., L'honiflor, 1990. Pomme de retrait. Fiche Comité des Coproduits, 2 p.
- Banque de données de l'alimentation animale IO7 de l'AFZ. Version 4.2, 2001.
- Besancenot J.M., Cadot M., Corrot G., Maitre C., Morel d'Arleux F., Taccard M., 1991. La pulpe surpressée. Synthèse Comité des Coproduits, 41 p.
- Besancenot J.M., Le Stang J.P., Morel d'Arleux F., Wyart J., 2000. Les coproduits d'origine végétale des industries agroalimentaires. Brochure Comité des Coproduits, ADEME et Institut de l'Elevage 76 p.
- Besancenot J.M., Morel d'Arleux F., Taccard M., non daté. Un aliment plein d'énergie : la pulpe de betterave surpressée. Brochure USICA, 18 p.
- Brackett R.E., 1988. Presence and persistence of *Listeria monocytogenes* in food and water. Food Technology, avril 1988, 162-164, 178.
- CEMAGREF-Institut de l'Elevage-INRA-ITCF, 1993. Entre foin et ensilage : l'enrubannage, 42 p.
- Chapoutot P., Leroy J.M., Meschy F., Morel d'Arleux F., Quievreux M., 1990. Sous produit de petits pois de conserverie. Fiche Comité des Coproduits, 2 p.
- Chenost M., Gaillard F., Grenet N., Lafaye D., Morel d'Arleux F., Petit M., 1990. Canne de maïs traitée à l'ammoniac. Fiche Comité des Coproduits, 2 p.
- Cochet J.P., Laville J., Marle M., Morel d'Arleux F., Quievreux M., Van de Weghe E., 1991. Les racines d'endives. Synthèse Comité des Coproduits, 15 p.
- Corrot G., 1989. Pulpes surpressées ensilées : étude de la contamination butyrique, essai d'amélioration de la qualité. Etude ITEB, 67 p.
- Corrot G., Champouillon M., Clamen E., 1998. Qualité bactériologique des balles rondes enrubannées. Maîtrise des contaminations. Fourrages, 156, 411-429.
- Demarquilly C., 1986. L'ensilage et l'évolution récente des conservateurs. Bulletin Technique du CRZV de Theix, N°63, 5-12.
- Demarquilly C., Dulphy J-P., Andrieu J-P., 1998. Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage. Fourrages, 1998, 155, 349-369.
- Dulphy J-P, Andrieu J-P, 1976. Bilan de conservation des ensilages d'herbe. Bulletin Technique du C.R.Z.V. de Theix N° 25, p 33-34.
- Fenlon D.R., 1985. Wild birds and silage as reservoirs of *Listeria* in the agricultural environment. J. Appl. Bacteriol., 59, 537-543.
- Fenlon D.R., Wilson J., Weddel J.R., 1989. The relationship between spoilage and *Listeria monocytogenes* contamination in bagged and wrapped big bale silage. Grass Forage Sci., 44, 97-100.
- Fenlon D.R., Wilson J., Donachie W., 1996. The relationship between diet and excretion of *Listeria monocytogenes* in meat producing animals. J. Appl. Bacteriol., 81, 641-650.
- Fensterbank R., Audurier A., Godu J., Guerrault P., Malo N., 1984. *Listeria* strains isolated from sick animals and consumed silage. Annales Recherche Vétérinaire, 15, 113-115.

- Gaillard F., 1984. La confection de silos d'ensilage en grosses balles. *Plasticulture*, 63, 45- 56.
- Gaillard F., 1986. Ensilage balles rondes en France, *BTMEA*, 3-4, 23-37.
- Gaillard F., Zwaenepoel P., 1987. L'ensilage de balles rondes sous film étirable, *BTMEA*, 6, 37-46.
- Gaillard F., 1988. Les films plastiques bientôt récupérés, *Sciences et Vie*, 848, 99.
- Gaillard F., 1992a. Stockage et conservation de l'alimentation animale, *Les plastiques en agriculture*, 479-492.
- Gaillard F., 1992b. Mesure de l'étanchéité des films étirables pour l'ensilage. Actes du 12^{ème} congrès international des plastiques en agriculture, H40-H 51.
- Gaillard F., 2002. Compte rendu de la démonstration Grassland, mai 2002 (Royaume Uni) Nouveautés machines, films..., actes de la Commission Plastique élevage, 7- 11.
- Gronstol H., 1979. Listeriosis in sheep-isolation of *Listeria monocytogenes* from grass silage. *Acta Vet. Scand.*, 20, 492-497.
- Hacala S., Aurejac R., Chapoutot P., Jullien J.P., Morel d'Arleux F., 1990. La pulpe de tomate. Fiche Comité des Coproduits, 2 p.
- Harteiser M., 1995. Quelques observations sur l'évolution de la contamination des ensilages de maïs en *Listeria monocytogenes*. Compte rendu Institut de l'Elevage.
- Husu J.R., Seppänen J.T., Sivela S.K., Rauramaa A.L., 1990a. Contamination of raw milk by *Listeria monocytogenes* on Dairy farms. *J. Vet. Med.*, B37, 268-275.
- Husu J.R., 1990b. Epidemiological studies on the occurrence of *Listeria monocytogenes* in the feces of Dairy cattle. *J. Vet. Med.*, B 37, 276-282.
- INRA, 1978. Alimentation des Ruminants. INRA Publications, C.N.R.A. route de Saint-Cyr 78000 – Versailles. 597 pages.
- INRA, 1981. Prévision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants. Ed. INRA publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. 471 pages.
- Institut de l'Elevage-RNED Bovin, 1986. Le point sur "l'ensilage d'herbe coupe fine ressuyé ou préfané pour le troupeau laitier", Institut de l'Elevage-RNED Bovin, 1986, 39 p.
- Institut de l'Elevage, 1990. Les chaînes d'affouragement en ration complète pour vaches laitières, B. Goutte, C. Martineau, Juin 1990, mémoire d'ingénieur, 64 p + annexes.
- Institut de l'Elevage-Chambres d'Agriculture, 1992. Tables de densité maïs ensilage, Institut de l'Elevage-Chambres d'Agriculture, 1992, document technique, 6 p.
- Institut de l'Elevage-AGPM, 1995. Le point sur "l'ensilage de maïs pour les vaches laitières", Institut de l'Elevage-AGPM, septembre 1995, 88 p.
- ITCF, 1990. Tamisecoureur®. Finesse de hachage de l'ensilage de maïs, ITCF-AGPM, 1990, document technique 4 p.
- Jones L., 1979. The effect of stage of growth on the rate of drying of cut grass at 20°C. *Grass and Forage Science*, 36, 17-23.
- Larpen J.P., 1995. Les *Listeria*. In Lavoisier Tec&Doc, Paris, France. 1-25.
- Leclerc M.C., Morel d'Arleux F., Weiss P., 2002. Volume et utilisation des coproduits secs et humides en France. Actes du symposium coproduits de Beauvais, 14 p.
- Legarto J., Morel d'Arleux F., Chenost M., 1991. Les déchets de maïs doux. Synthèse Comité des Coproduits, 16 p.
- Legarto J., Dubroca J., 1999. Valorisation des coproduits de maïs doux par les vaches laitières. Compte rendu d'essai Institut de l'Elevage, ARPEB n°9993115, 47 p.
- Lou Y., Yousef A.E., 1999. *Listeria*, listeriosis and food safety. In Marcel Dekker Inc, New York, U.S.A, 131-224.
- Mc Donald P., Henderson A.R., Heron S.I.E., 1991. The biochemistry of silage (2nd Edition) Chalcombe Publications, 13 Highwoods Drive, Marlow Borton, Marlow, BUCKS SL7 3PU.
- Ménard J.L., Ribaud D., Heuchel V., Zundel E., Pardon P., Audurier M., Audurier A., Verneau D., Pelloquin F., Bernard N., 1998. Réussir la Chèvre, 227, 33-37.
- Morel d'Arleux F., 1991. Les pommes de terre. Synthèse Comité des Coproduits, 19 p.

- Morel d'Arleux F., Weiss P., Souteyrat A., 2001. Les coproduits de l'industrie de la pomme de terre : une solution intéressante pour l'alimentation des ruminants. Brochure Comité des Coproduits, GIPT, ITCF et Institut de l'Elevage, 38 p.
- Pilard J.L., 2000. Coproduits de conserverie. Effet d'un procédé de pressage sur la conservation en ensilage de petits pois-carottes et haricots verts. Compte rendu d'essai Chambre d'Agriculture de la Somme et Comité des Coproduits, 14 p.
- Pitt R.E., Sniffen C.J., 1985. Ag. Engineering Ext. Bull. 452, Cornell Univ.
- Ratier F., Malvoisin Y., Coupey I., Petit E., non daté. La pulpe de betterave en Haute Normandie. Etude EDE 76 et 27, ARGDS, 66 p.
- Sanaa M., Poutrel B., Menard J.L., Serieys F., 1993. Risk factors associated with contamination of raw milk by *Listeria monocytogenes* in dairy farms. J. Dairy Sci., 76, 2891-2898.
- SCAN, 2003. Opinion of the Scientific Committee on Animal Nutrition on undesirable substances in feed.
- Stahl V., Garcia E., Hezard B., Fassel C., 1996. Maîtrise de la contamination par *Listeria monocytogenes* dans les exploitations laitières et l'industrie fromagère. Path. Biol., 44 (9), 816-824.
- Virtanen A.I., 1949. Conservation of green crops. Proc. United nations scientific conference on the conservation and utilisation of resources. Vol VI., 347-354.
- Weissbach F., 1973. Methode und Tabellen zur Schätzung der Vergärbarkeit, Agrarbuch, Leipzig.

Lexique

Age de la plante : Au 1^{er} cycle de végétation, l'âge est indexé sur le stade du début de l'épiaison des graminées ou du début de la floraison des légumineuses et arbitrairement fixé à 50 jours. Pour la prairie permanente, l'âge est exprimé en nombre de jours à compter du 15 avril pour les prairies de plaine (type Normandie) ou du 15 mai pour celles de montagne (type Auvergne). Pour les repousses, l'âge est exprimé par le nombre de jours écoulés depuis la précédente exploitation.

Andain : cordon longitudinal qui rassemble en lignes plus ou moins étroites un fourrage laissé en vrac au sol. Il facilite la reprise et limite la rehumidification nocturne.

Bactéries hétérofermentaires : les bactéries lactiques qui produisent de l'acide lactique + une autre substance, en général de l'alcool (éthanol ou méthanol) et/ou d'acide acétique.

Bactéries homofermentaires : les bactéries lactiques qui ne produisent que de l'acide lactique.

DBO₅ : demande biochimique en oxygène en 5 jours, ce paramètre constitue un élément caractéristique de la pollution organique.

Fibrosité : Cette caractéristique d'un aliment dépend de sa teneur en fibres "chimique" (composition en parois) et de la taille de ses particules (granulométrie). Plus un aliment est fibreux, plus il nécessite de rumination pour sa digestion ; la mastication s'accompagne de production de salive qui neutralise les conditions de fermentations dans le rumen.

Flore épiphyte : la flore bactérienne ou fongique qui se développe naturellement sur les plantes sur pied.

Halophile : se dit de micro-organismes se développant sur un milieu riche en sel (CINa).

Haylage : terme américain, contraction de hay (foin) et de silage (ensilage). Initialement il était donné pour un ensilage dont la teneur en matière sèche était voisine de 50 %. Cette technique était surtout utilisée avec les silos tours afin de limiter la prise en masse de l'ensilage en cas de fortes gelées. Ces niveaux de M.S. sont couramment atteints pour l'enrubannage mais on ne parlera de haylage que dans le cas d'enrubannage à fortes teneurs en M.S. (+ de 70 %).

Humidité relative : se réfère à la plus ou moins grande disponibilité de l'eau pour la croissance des micro-organismes présents dans un aliment. Elle se mesure par l'activité de l'eau (Aw).

MAAPAR = Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales

Pick up : appelé aussi ramasseur, cet organe réalise le ramassage de l'andain au moyen de dents souples ou non, articulées sur des barres transversales animées d'un mouvement cycloïde. Cet organe est généralement fixé à l'avant de l'appareil de récolte.

P.M.P.O.A : Le Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole vise à faire réaliser des travaux dans les bâtiments pour stocker les déjections et effluents d'élevage, à améliorer les pratiques d'épandage et de gestion de la fertilisation par les éleveurs. Ce programme s'applique à tous les élevages des zones d'action prioritaire et selon la taille de l'élevage dans les autres zones. Il bénéficie d'aides de l'Etat, des Collectivités Locales et des Agences de l'Eau (Décret 2002-26 du 4 janvier 2002 - Circulaires DEPSE/SDEA/C2002-7016 du 23 avril 2002 et DEPSE/SDEA/C2002-7038 du 6 août 2002).

Prairies annuelles : Ce sont des cultures occupant le sol au maximum 1 an, soit en culture principale, soit en dérobée. On y retrouve en culture pure le maïs fourrage, le chou fourrager, le colza fourrager, le ray grass d'Italie... et en association la vesce-avoine, etc. A productivité importante, ils sont soit conservés soit consommés en vert à des périodes de pénurie d'herbe.

Prairie artificielle : La prairie artificielle est une prairie à base de légumineuses pures (luzerne, trèfle violet, sainfoin, etc.). Sa durée d'exploitation n'excède généralement pas 6 à 10 ans, c'est une prairie assolée.

Prairie permanente : C'est une formation herbacée composée de végétaux spontanés ou semés. Elle est dans la plupart des cas le résultat de l'action de l'homme (anthropique) et à ce titre elle comprend les prairies temporaires anciennes semées depuis plus de 6 ans et les prairies artificielles très anciennes semées depuis plus de 10 ans. Elle peut être divisée en plusieurs catégories en fonction du niveau de productivité et du mode d'exploitation dominant :

- les landes, parcours et alpages à très faible productivité (≤ 1500 UF/ha) destinés au seul pâturage et sans entretien,
- les prairies et herbages de productivité bonne à moyenne (> 1500 UF/ha) : soit fauchées seulement car éloignées du centre de l'exploitation (foin et regain), soit pâturées seulement (animaux à l'entretien), soit pâturées et/ou fauchées,
- prairies de bon potentiel de production, à réserve en eau correcte et fertilisées (vaches laitières et troupeau allaitant).

Prairie temporaire : Elle correspond à des prairies d'herbe cultivée. Elle est composée soit de graminées pures monospécifiques ou en mélange (ray-grass, dactyle, fétuque, etc.), soit de l'association de graminées et de légumineuses (ray-grass/trèfle blanc, dactyle/luzerne, etc.). D'une durée d'exploitation inférieure à 6 ans, elle est considérée comme une culture et à ce titre rentre dans l'assolement. Elle est exploitée en pâture et en fauche pour l'ensilage et/ou le foin. Implantée sur des parcelles de bon potentiel de production et à bonne réserve en eau, elle atteint un niveau de production élevée de 8 à plus de 10 000 UF/ha.

Préfanage : Le préfanage est une pratique qui consiste à laisser sécher le fourrage sur le sol après la fauche. Suivant la durée de séchage, les conditions météorologiques et les manipulations effectuées, la teneur en matière sèche du fourrage varie considérablement au moment de la récolte. Cette teneur peut se situer entre sa valeur initiale (fourrage vert - 15 à 20 % de MS) et la valeur seuil (MS $> 82-85$ %) où le fourrage peut être conservé par la voie sèche (fenaçon). En France, lorsque le fourrage reste au sol pendant un temps court (< 24 h) avant sa récolte et que sa teneur en matière sèche est proche de 25 % on qualifie cette pratique de "réessuyage", elle correspond en fait à un léger préfanage.

Refus (surplus) : C'est la partie de la ration que les animaux n'ont pas consommée et qu'ils laissent à l'auge avant une nouvelle distribution. Quand le troupeau est alimenté réellement à volonté, en distribuant 3 à 5 % de plus que la consommation attendue, ces refus sont constitués d'éléments encore consommables ; on les appelle alors surplus, qui peuvent être distribués à d'autres animaux, à moindres besoins par exemple.

Ressuyage : cf. préfanage

Séminicole : se dit de la flore bactérienne ou fongique se développant sur les grains ou les graminées.

Stade de début épiaison (graminées) : apparition des épis hors de la gaine ; en pratique ce stade est atteint lorsque 5 à 10 % des plantes examinées sur une ligne de 1 m ont leurs épis sortis de la gaine.

Stade épiaison (graminées) : 50 % des plantes examinées sur une ligne de 1 m ont leurs épis sortis de la gaine.

Stade floraison (légumineuses) : 50 % des plantes examinées sur une ligne de 1 m ont des fleurs épanouies.

Stomate : ouverture microscopique dans l'épiderme d'une feuille (éventuellement d'une tige) assurant les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère.

ufc : unité formant colonie, abréviation exprimant le nombre de germes (flore bactérienne ou fongique) revivifiables par unité de masse (par gramme ou par kilogramme)

Xérophile : se dit de micro-organismes capables de se développer sur des substrats très pauvres en eau

Annexe 1 : Décision de création du groupe de travail et décision modificatrice.....	92
Annexe 2 : Détermination de la teneur en matière sèche du fourrage	94
Annexe 3 : Détermination de la teneur en matière sèche d'un fourrage avec un micro-onde.	95
Annexe 4 : Le tamis secoueur.....	99
Annexe 5 : Lectures complémentaires relatives à l'ensilage	100
Annexe 6 : Evolution des textes réglementaires concernant les silos et l'épandage d'effluents	101
Annexe 7 : Photos et schémas relatifs au matériel de récolte	102

Annexe 1 : Décision de création du groupe de travail et décision modificatrice

**DECISION N°2000-366
relative au groupe de travail « Guide de bonnes pratiques
de fabrication des ensilages »**

Le directeur général de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments

Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L. 1323-4 et R. 794-23.

Vu le décret n°99-242 du 26 mars 1999 relatif à l'organisation et au fonctionnement de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

Vu l'arrêté du 23 août 2000 relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

Vu l'arrêté du 30 août 2000 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

Vu le règlement intérieur de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

Décide :

Article premier. Il est créé sur proposition du comité d'experts spécialisé Alimentation Animale lors de la réunion du 18 septembre 2001, un groupe de travail dénommé « Guide de bonnes pratiques de fabrication des ensilages » chargé de l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques de fabrication des ensilages.

Article 2. Le groupe de travail mentionné à l'article premier est composé des membres suivants :

- Membres du comité d'experts spécialisé Alimentation Animale
 - M Jean-Paul ANDRIEU
 - M. Daniel GRIESS
 - M. Bernard-Marie PARAGON
- M. Philippe BRUNSCHWIG (Institut de l'Elevage)
 - M. François GAILLARD (CEMAGREF)
 - M. Vincent HEUCHEL (Institut de l'Elevage)
 - M. Bernard PIRIOU (DRASS)

Article 3. M. Bernard-Marie PARAGON est nommé président du groupe de travail mentionné à l'article premier.

Article 4. Les conclusions du groupe de travail seront présentées au comité d'experts spécialisé Alimentation Animale dans un délai d'un an.

Article 5. Le secrétariat du groupe de travail mentionné à l'article premier est assuré par la direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires.

Fait à Maisons Alfort, le 6 OCT. 2001

Le Directeur Général



Martin HIRSCH

Décision n°2002-101
relative au groupe de travail « Guide de bonnes pratiques de fabrication des ensilages »

Le directeur général de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,

Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L.1323-4 et R.794-23 ;

Vu le décret n°99-242 du 26 mars 1999 relatif à l'organisation et au fonctionnement de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 23 août 2000 relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 30 août 2000 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu le règlement intérieur de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

DECIDE :

Article premier. La composition du groupe de travail « Guide de bonnes pratiques de fabrication des ensilages » institué par la décision n° 2000-366 du 16 octobre 2001 est modifiée en ajoutant parmi ses membres :


1.

- Autre expert :

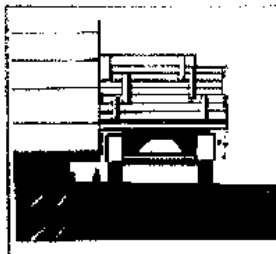
M. Philippe WEISS (Institut technique des céréales et fourrages)

Fait à Maisons-Alfort, le **29 MARS 2002**

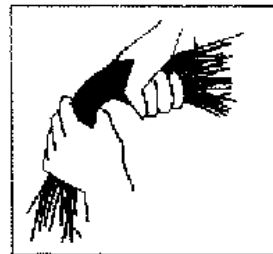
Le Directeur général de l'Agence française de
sécurité sanitaire des aliments


Martin HIRSCH

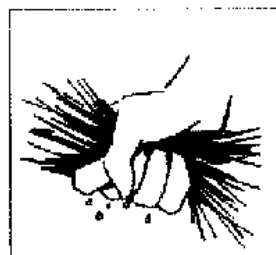
reconnaissez la teneur en matière sèche du fourrage



Le jus s'écoule des
remorques ou
d'une poignée



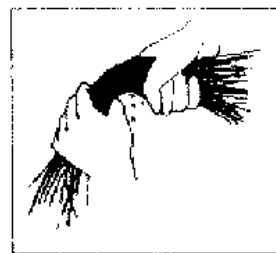
En tordant une
poignée, les doigts
s'humidifient
légèrement (pas
de gouttes)



Le jus s'écoule en
pressant une
poignée d'herbe



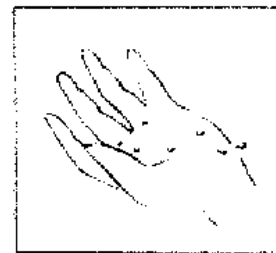
Humidité à
l'intérieur des tiges.
Pas d'humidité sur
les doigts en
tordant.



Le jus s'écoule en
tordant une
poignée d'herbe



Le fourrage est
souple mais
devient mat
comme du foin



En tordant une
poignée, les doigts
s'humidifient
(quelques gouttes)



Certaines feuilles
deviennent
cassantes



DÉTERMINATION DU TAUX DE MATIÈRE SÈCHE DES FOURRAGES AVEC UN FOUR À MICRO-ONDES

Descriptif de la méthode

La dessiccation d'un échantillon de fourrage peut être réalisée dans un four à micro-ondes ménager en 10 à 15 minutes (prélèvement d'échantillon non compris) sous réserve de respecter parfaitement les règles décrites ci-après.

Les résultats obtenus ont une précision suffisante pour être opérationnels au niveau d'une exploitation.

Par l'obtention de résultats immédiats et répétables cet outil de gestion des fourrages permet :

- une meilleure maîtrise de la qualité des ensilages par une aide à la décision de récolte (analyse des andains), particulièrement précieuse dans le cas de l'enrubannage ;
- un ajustement plus fin des rations grâce au suivi en continu des ensilages, mettant en évidence la variabilité et l'hétérogénéité des taux de MS.

Ne sont abordées ici que les analyses d'herbe prélevée sur andain et d'ensilage de maïs prélevé au silo.

MATÉRIEL

Prélèvement :

- Une balance ménagère électronique précise à 2 g (erreur + ou - 1 g) environ 300 F HT ;
- Sac plastique de poids connu ;
- Une grande feuille plastique (100 x 140 cm) .

pour l'herbe :

- Une pince à andain en bois (L 1 m 50 section 30 x 30 mm) ;
- Une paire de cisailles
- Un bac en plastique (ou un grand seau)

Analyses :

- Un four à micro ondes à antenne tournante ou plateau

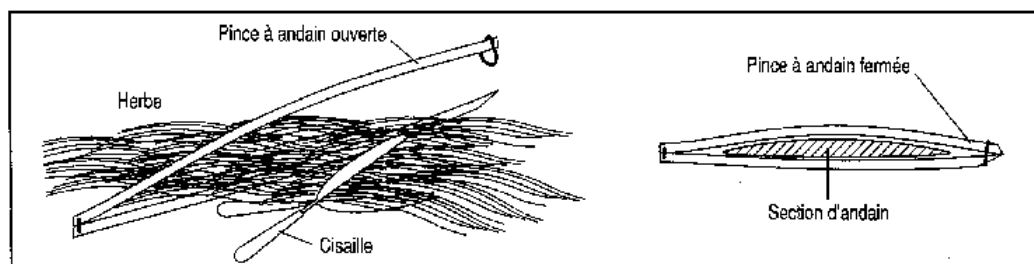
tournant avec thermostat et ventilation forcée - puissance indicative : 1300 Watt absorbés 1 600 F HT. ;

- Un chronomètre ou équivalent ;
- Un petit récipient de 100 CC environ (non métallique) pour appoint d'eau ;
- Un récipient à fourrage :

Herbe : récipient en plastique, résistant à la chaleur, rond, à fond sphérique et si possible ajouré (égouttoir à légumes) muni d'un pied (ou socle) diamètre environ 23 cm - profondeur environ 10 cm.

Maïs : plat rond en faïence (ou verre) diamètre 30 cm - profondeur environ 3 cm.

1^{re} RÈGLE : UN BON ÉCHANTILLONNAGE EST PRIMORDIAL



Herbe

Prise d'une section d'andain :

- L'andain est fortement serré entre les 2 branches de la pince.
- Le fourrage est sectionné de chaque côté de la pince sur toute l'épaisseur de l'andain en brins de 5 à 10 cm.
- Le fourrage est récupéré dans le bac plastique.

Constitution de l'échantillon :

- Le nombre de prises sera au minimum de 6 sur la parcelle et déterminé selon l'hétérogénéité de celle-ci (rendement, exposition, etc.). L'emplacement des prises sera choisi en vue d'une bonne représentativité de la parcelle.

Il est aussi possible de prélever plusieurs échantillons ou de cibler un secteur de la parcelle (Ex. : zone où le préfanage est le moins avancé).

- L'échantillon de base est homogénéisé dans le bac puis étalé en couche régulière sur la feuille plastique

- Par prise de nombreuses pincées de fourrage sur toute l'épaisseur de la couche on constitue un échantillon dont le poids est déterminé à l'aide de l'abaque N° 1. L'échantillon est si possible pesé sur le lieu de prélèvement afin d'ajuster son poids (80 à 180 grammes).

Maïs

- Un échantillon de base de 4-5 kg est constitué par

prises régulièrement réparties sur toute la hauteur du front d'attaque du silo après « rafraîchissement » de la surface du front en cas de dessèchement.

- Le maïs est homogénéisé et étalé en une couche régulière sur la feuille de plastique.

- Un échantillon de 160 à 190 grammes est constitué par prise de nombreuses pincées sur toute la surface de la feuille. Attention à prélever correctement les particules fines ou denses (grains).

- L'échantillon est si possible pesé sur le lieu de prélèvement.

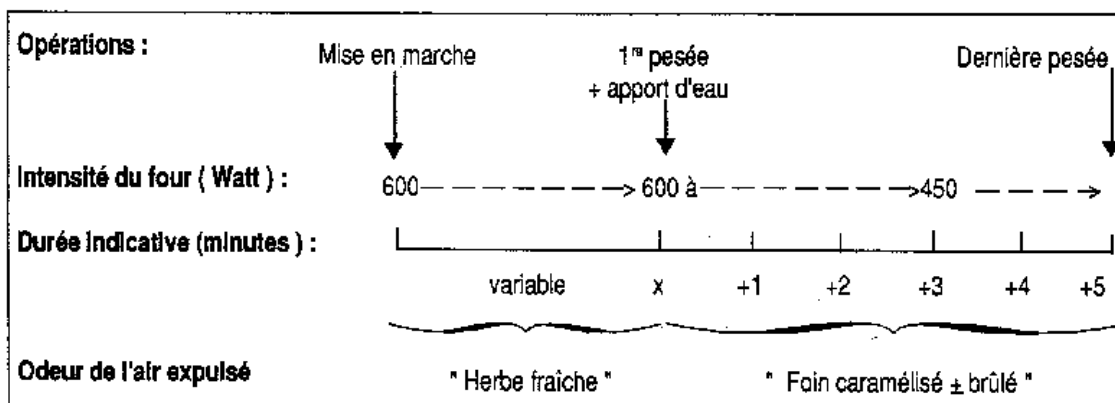
2^e RÈGLE : POUR ÊTRE PRÉCIS, SURVEILLER DE PRÈS LE SÉCHAGE

Herbe

Mise en place de l'échantillon : - la totalité du fourrage est introduite dans le récipient **en le détassant et en l'aérant avec un maximum d'homogénéité.**

- Le récipient est placé bien au centre de l'enceinte du four.
- Le four est mis en marche : Intensité de 600 Watt restitués.

Conduite de la dessiccation de l'échantillon (Herbe)



Le contrôle du poids de l'échantillon commence environ 5 mn avant la fin de l'analyse. Ce moment est déterminé, d'une part à l'aide de l'abaque N° 2, d'autre part par un changement caractéristique de l'odeur de l'air extrait : disparition de l'odeur originale du fourrage «herbe fraîche» ; apparition d'odeur de «foin sec caramélisé».

- Un récipient d'eau est introduit lors de la 1^{re} pesée.
- Les pesées sont ensuite effectuées à intervalles de 1 minute *.

* (le chrono est arrêté le temps de la pesée)

- L'échantillon est considéré sec lorsque le poids n'a pas évolué pendant 3 minutes (2 mn si la pesée est au gramme près).

Une odeur de brûlé peut apparaître 1 à 2 minutes avant la fin de l'analyse ainsi que quelques fumeroles lors de la pesée. Ce début de consommation doit être si

possible évité sinon très limité. Pour cela il est préférable de réduire plus ou moins la puissance restituée pendant les dernières minutes de dessiccation.

Maïs

Mise en place de l'échantillon :

- Mettre l'intégralité de l'échantillon dans le plat en étalant le fourrage régulièrement sur toute la surface et en l'aérant le plus possible.

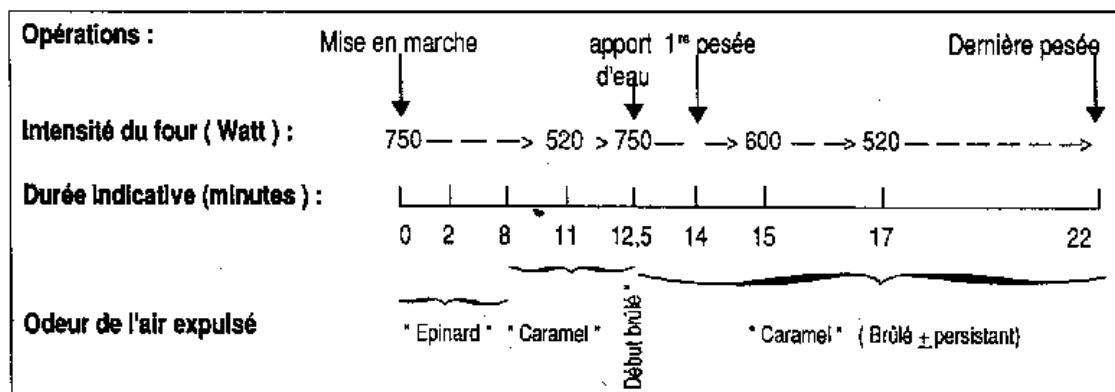
- Placer le récipient bien au centre de l'enceinte du four en le posant sur un support isolant (ex. : grille de décongélation)

- Mettre le four en marche : intensité 750 Watt

* Avec une balance précise à 1 g effectuer les pesées à intervalles de 40 secondes.

Avec une balance précise à 3 g effectuer les pesées à intervalles de 1 minute 30 secondes

Conduite de la dessiccation de l'échantillon (Maïs)



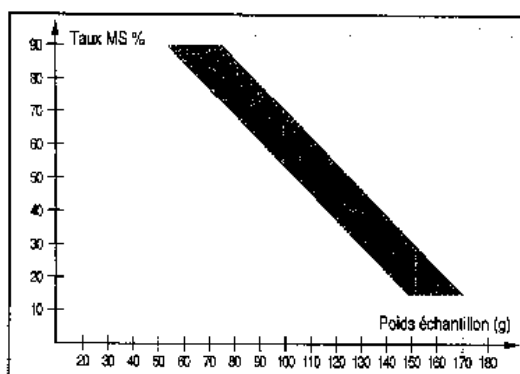
- L'intensité de départ est maintenue jusqu'à ce que l'air expulsé passe d'une odeur de fourrage frais à une odeur de fourrage sec caramélisé (8 à 12 mn).
- La puissance est alors réduite (520 Watt) jusqu'à l'apparition d'une légère odeur de brûlé (11 à 14 mn).
- Le récipient d'eau est alors introduit et le thermostat remplacé sur 750 Watt pour une durée de 2 à 3 mn.
- La première pesée de contrôle est effectuée 1 à 2 mn après l'apport d'eau puis à intervalles de 1 mn 1/2.
- L'échantillon est considéré sec après que le poids soit resté stable pendant 7 mn 1/2 (5 mn avec une balance précise à 1 gramme près).

Pendant cette dernière phase il est nécessaire de contrôler le début de consommation du fourrage en modulant l'intensité avec le thermostat et en renouvelant l'eau qui peut s'évaporer totalement.

CALCUL DES TAUX DE MS

Lors de la pesée finale, si l'on obtient un poids situé entre 2 unités, arrondir au gramme inférieur.

ABaque N°1 : Détermination du poids de l'échantillon d'herbe à constituer en fonction du taux de MS estimé du fourrage prélevé



Herbe :

MS supérieure à 40 % ne rien modifier ;
MS inférieure à 40 % **retrancher** systématiquement 1 point de MS au résultat calculé .

Maïs : Retrancher 1 point de MS au résultat calculé .

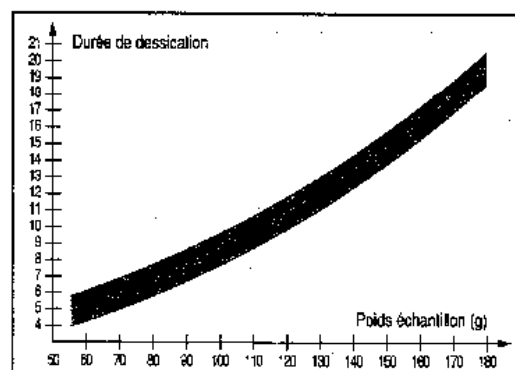
Ex : Poids sec/poids frais 75/150 g = 50 % -- 1 = 49 % MS

ÉTALONNAGE DU MATÉRIEL

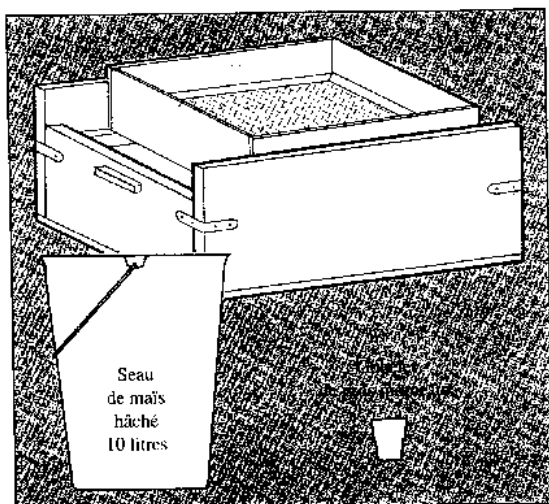
Le matériel utilisable pour cette analyse n'étant pas standardisé (four, récipients, etc.) il est indispensable de procéder à des essais de réglage et d'étalonnage avant toute utilisation opérationnelle :

- Repérage des réglages du four correspondant aux puissances recherchées (voir notice du vendeur).
- Mise au point des modalités de séchage propres au matériel disponible permettant de respecter les normes décrites ci-dessus.
- Familiarisation avec les «repères» permettant de reproduire et de répéter correctement la méthode .

ABaque N°2 : Estimation de la durée de dessiccation des échantillons d'herbe en fonction de leur poids (poids déterminé avec abaque n°1) - (puissance four : 600 Watt)



UN OUTIL TRES PRATIQUE POUR RÉGLER L'ENSILEUSE : LE TAMISECOUEUR - ITCF

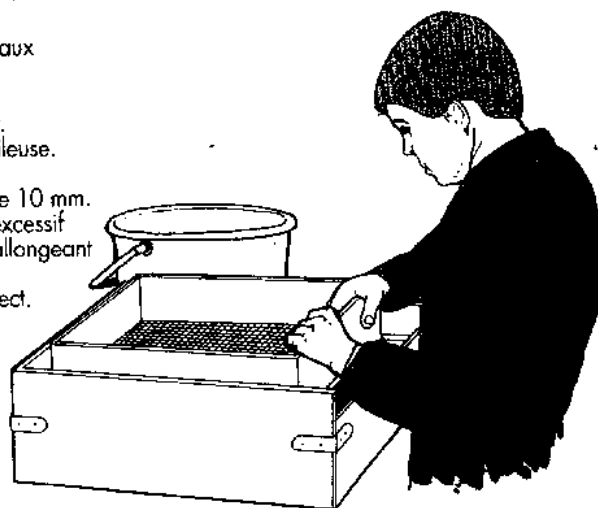


Il est composé de :

- un tamis à mailles carrées de 20 mm. Il retient au-dessus de ses mailles les gros morceaux,
- un deuxième tamis à mailles de 10 mm qui s'emboîte dans le précédent. Il permet d'estimer la quantité de particules moyennes.
- une caisse support qui reçoit le maïs bien haché traversant le tamis. Elle comporte des glissières latérales et ses extrémités servent de butées lors du secouage : 100 à 150 chocs en une minute.
- un seau de 10 l pour prélever l'échantillon.
- un gobelet de 15 cl qui sert d'unité de mesure.

LE FONCTIONNEMENT

- On prélève de quoi remplir un seau de 10 litres,
- On tamise la totalité de l'ensilage en secouant pendant 1 minute,
- On mesure avec le gobelet la quantité de gros morceaux restés sur le tamis à maille de 20 mm :
 - Si tout tient en 2 gobelets : le hachage est moyen.
 - S'il faut 3 gobelets ou plus : le hachage est insuffisant. Dans ces deux cas, il faut améliorer le réglage de l'ensileuse.
- Si tout tient dans un verre, on retamise avec la grille de 10 mm.
- Si l'on trouve moins de 5 gobelets : le hachage est excessif. Dans ce cas, on améliore le réglage de l'ensileuse en allongeant la longueur théorique de coupe.
- Si l'on trouve plus de 5 gobelets, le hachage est correct.



Annexe 5 : Lectures complémentaires relatives à l'ensilage

Handbook of plant and fungal toxicants. D'Mello J.P., 1997. CRC Press, Boca Raton, New York, 287-337.

Moisissures toxiques dans l'alimentation. Moreau C., 1974. 2nde Ed, Masson et Cie Ed., Paris, 471 p.

Les matériels de récolte des fourrages. collection formagri 1995 coordination Camille Cedra Cemagref.

La conservation des ensilages, 1979. Cabon G., Demarquilly C., Dulphy J.P., Gouet P., Meissonier E., Mudd T., Sauvant D., Soyeux Y., Todd H., Weiss P. CR de Journée CAAA, 222 p.

Annexe 6 : Evolution des textes réglementaires concernant les silos et l'épandage d'effluents

Concernant les silos,

La construction d'un silo est soumise à la demande d'un permis de construire.

1999 : Reconnaissance légale du principe de réciprocité des règles de recul (article L111-3 du code rural). Cette réciprocité donne les mêmes droits et contraintes à l'éleveur et aux tiers en particulier sur les distances.

La réglementation applicable aux élevages et en particulier aux silos dépend du nombre d'animaux. Le Règlement Sanitaire Départemental s'applique aux petits élevages ainsi qu'aux élevages soumis uniquement à déclaration dans le régime des Installations Classées. Pour les plus importants élevages, l'arrêté du 24 décembre 2002 s'applique.

L'arrêté du 11 février 2003 fixe les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de bovins soumis à autorisation (catégorie haute de la classe soumise à la Réglementation des Installations Classées) au titre du livre V du code de l'environnement. Les silos sont mentionnés dans la classe annexes de l'article 3. Cet arrêté aborde les chapitres suivants :

- localisation avec des distances à respecter (35 m à 500 m selon le cas)
- règles d'aménagement
- règles d'exploitation
- l'auto surveillance

Directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques. De nouvelles dispositions réglementaires relatives au contrôle de la pollution (ensilage, lisier et mazout destiné à une utilisation agricole) sont en cours d'élaboration par la Commission européenne

Concernant les effluents,

Décret du 27 août 1993 relatif à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole

Décret 96-540 du 12 juin 1996 relative aux déversement et à l'épandage des effluents des exploitations agricole et arrêtes-type Etablissements classés, rubrique 2101-1, 20101-2, 2101-3.

Annexe 7 : Photos et schémas relatifs au matériel de récolte

Photo 2 : Faucheuse



Photo 3 : Faneuse



Photo 4 : Andaineur



Photo 5 : Andaineur grande largeur



Photo 6: Ensileuse automotrice



Photo 7 : Presse à balles rondes



Presse-hacheuse à balles cylindriques à volume constant - (Claas)

Photo 8 :Déchargement balle ronde



Ejection après pressage d'une balle cylindrique d' ensilage - (Agram)

Photo 9 : Presse à balles parallélépipédiques



Photo 10 : Début ouverture d'un silo



Photo 11 : Enrubannage monoballe



Principe d'une enrubanneuse - (Doucet)

Photo 12: Enrubannage de balles carrées



Enrubannage d'une balle parallélépipédique - (Kverneland)

Photo 13: Enrubannage en continu



Photo 14 : Stockage des balles enrubannées



Photo 15 : Libre service bovins



Photo 16: Désilage mécanisé



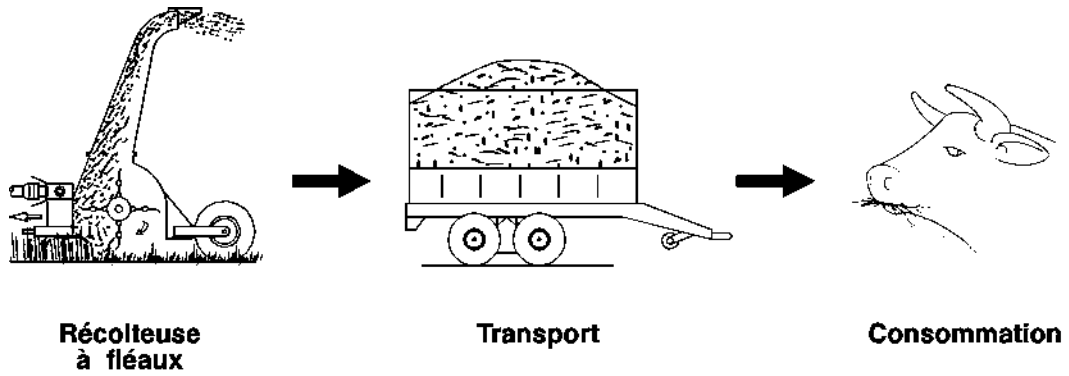
Photo 17: Fraise de désileuse



Photo 18 : Distribution mécanisée

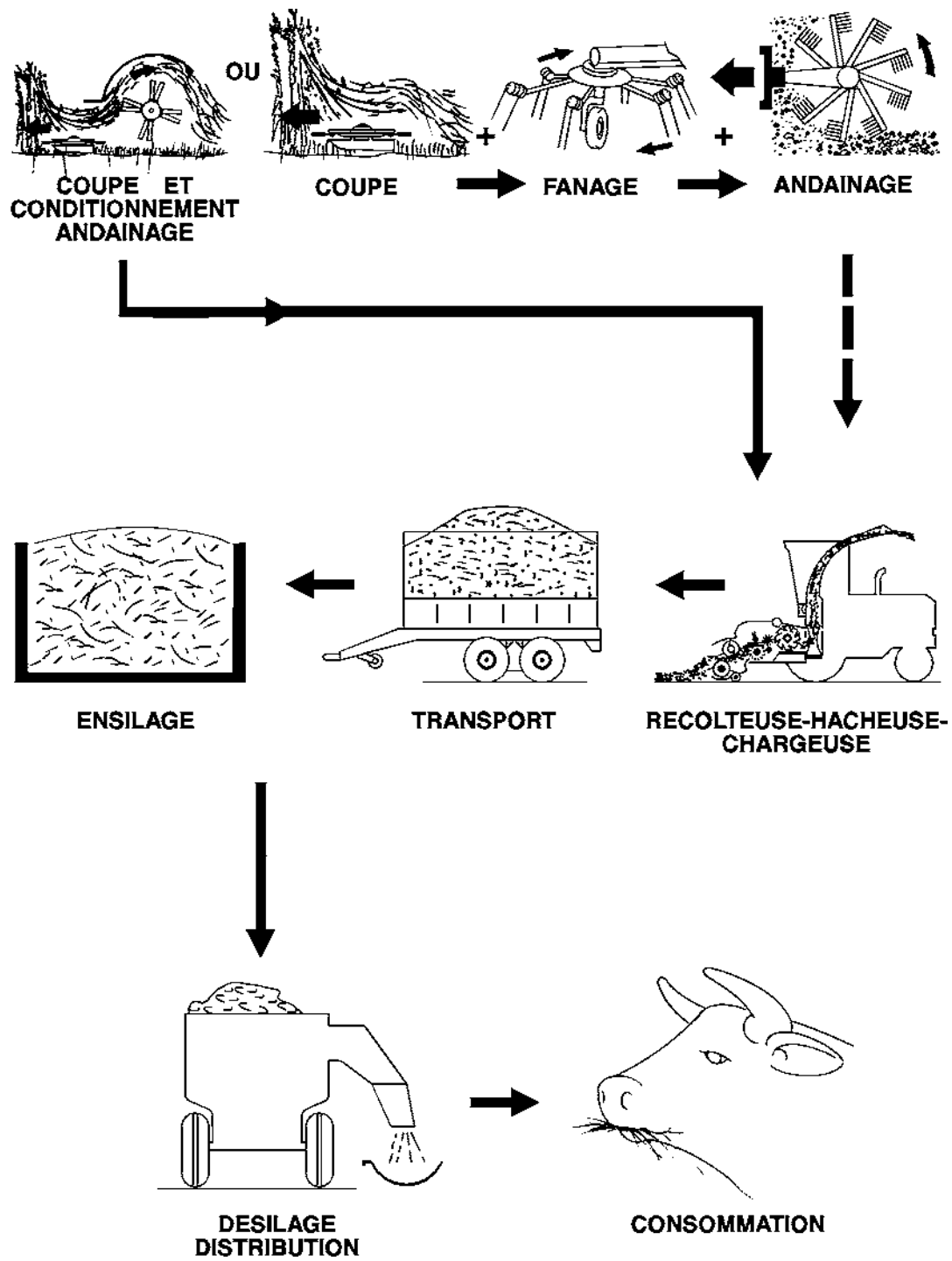


Schéma 1 : Schémas de chaîne



OU





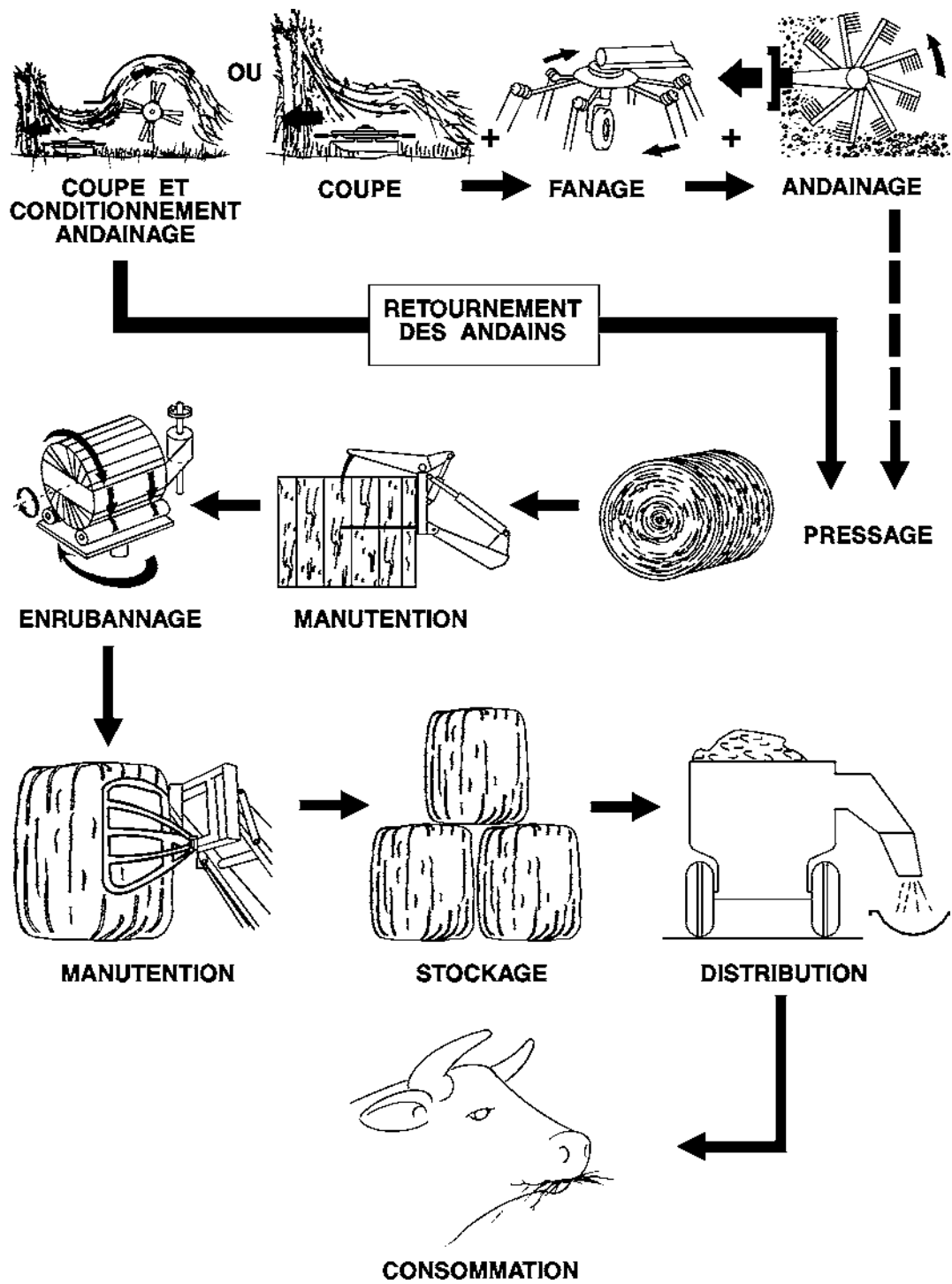


Schéma 2 : Deux faucheuses sur un tracteur

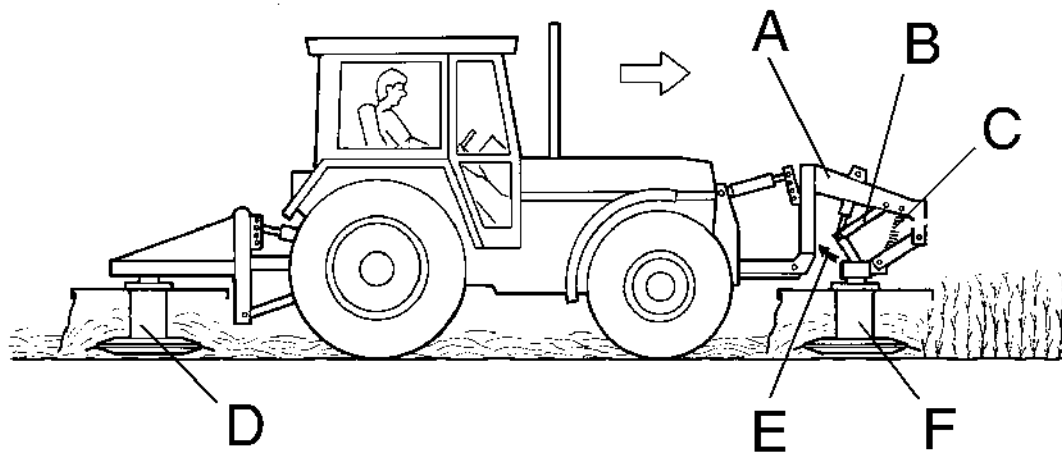


Schéma 3 : Faucheuse de grande largeur

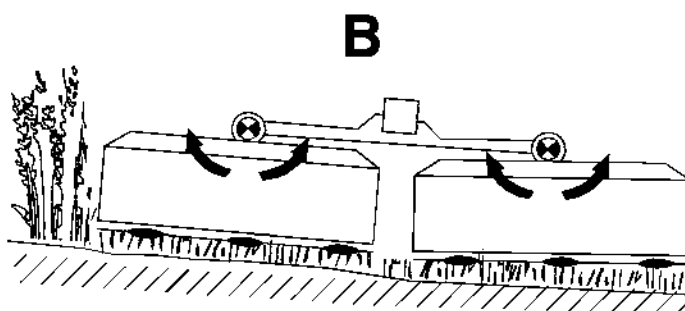
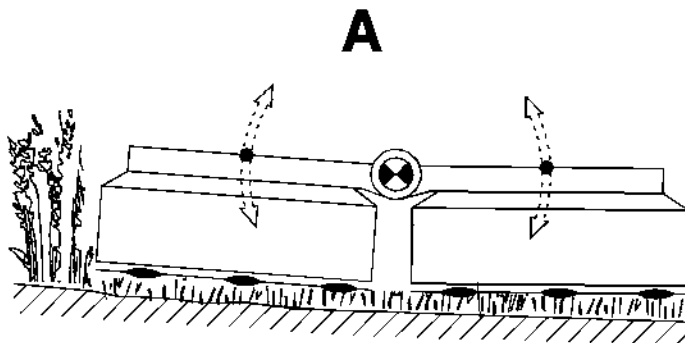


Schéma 4 : Presse balles rondes à couteaux

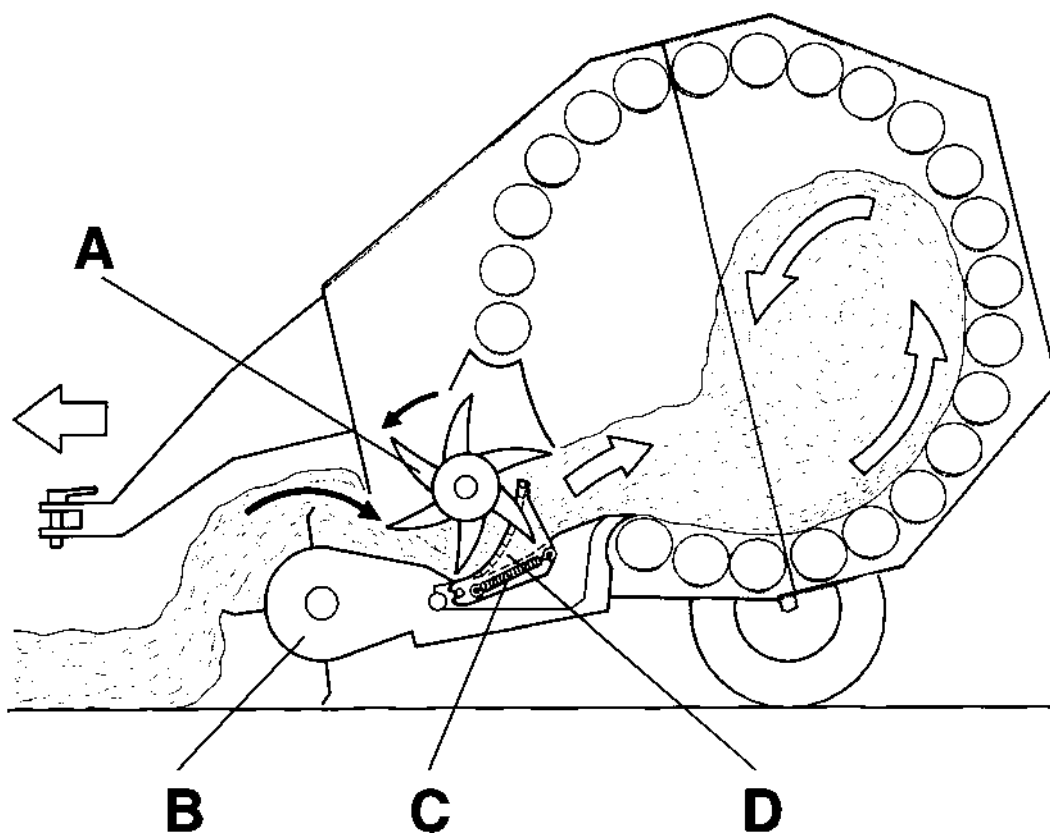


Schéma 5 : Principe de dimensionnement d'un silo

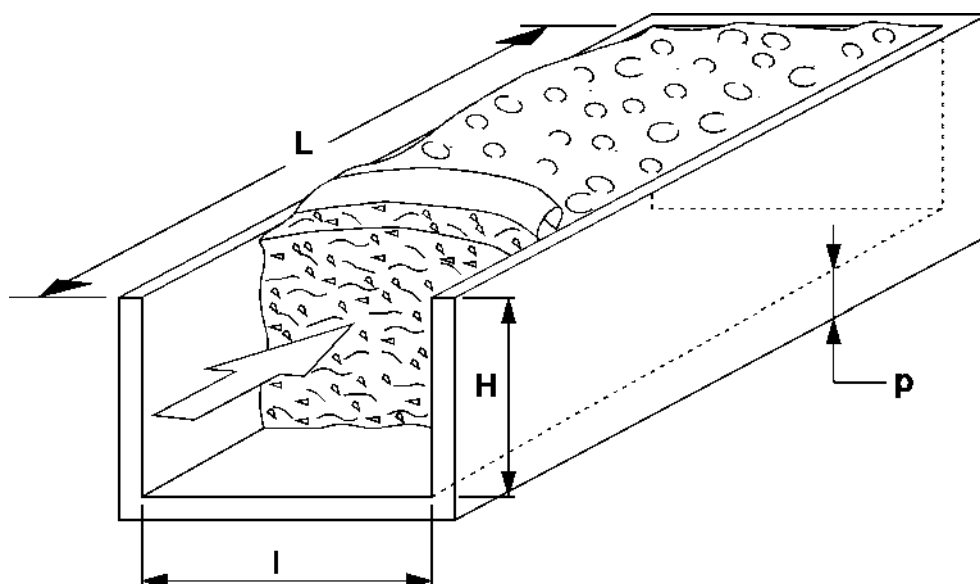


Schéma 6 : Enrubanneuse à table tournante

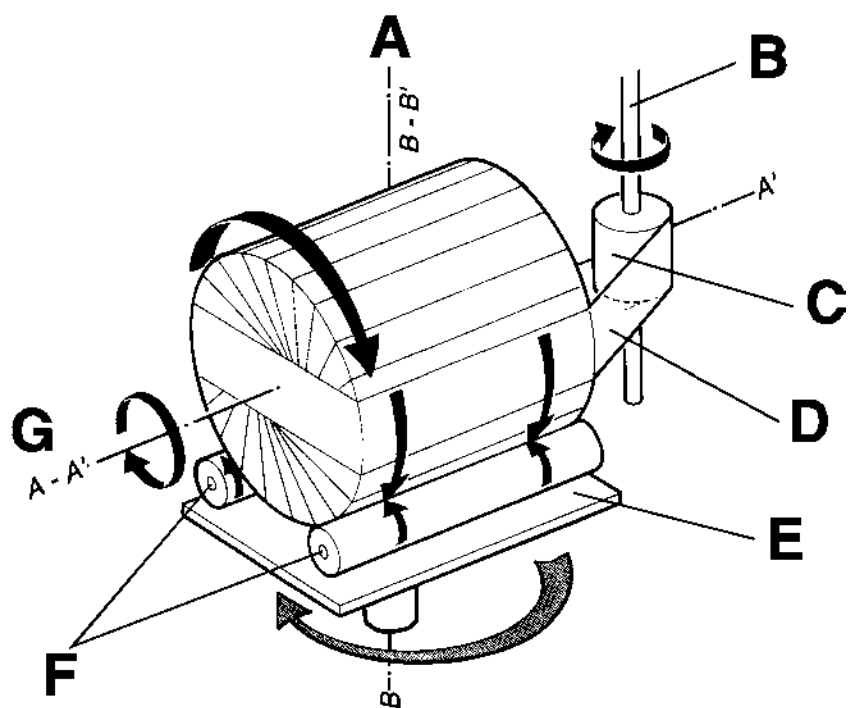


Schéma 7 : Enrubanneuse en continu

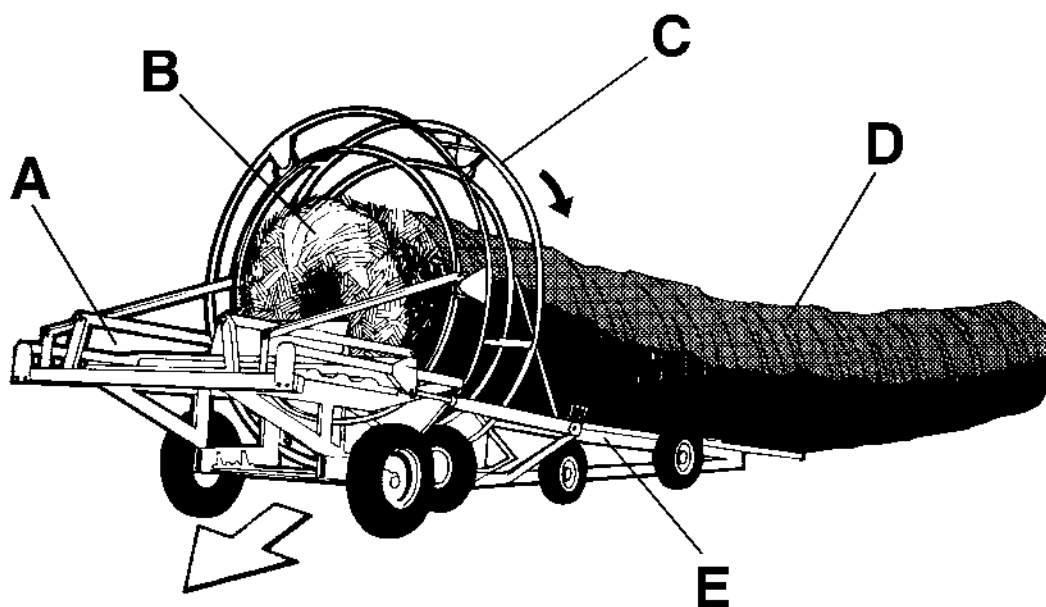


Schéma 8 : Schéma d'automotrice

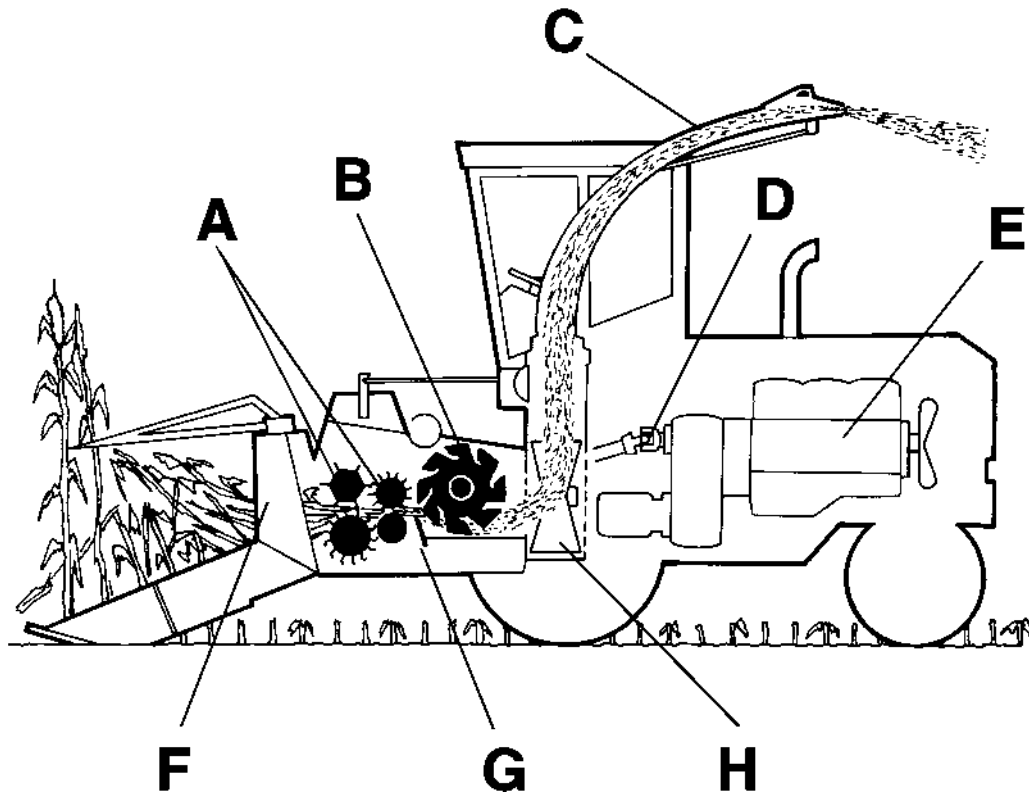


Photo de l'ensileuse à coupe fine ou récolteuse hacheuse chargeuse

Légende :

a. La tête de récolte

Il en existe trois types.

- la barre de coupe récolte en direct le fourrage. Cette méthode est de moins en moins utilisée car elle ne permet pas de bénéficier des avantages du ressuyage. Le produit récolté est très humide et va former des jus avec toutes les contraintes qui en découlent. La barre de coupe est relativement rigide et selon sa largeur épouse plus ou moins facilement la forme du terrain. Cela implique un bon état de surface de la prairie. La largeur de la barre de coupe est limitée et réduit l'efficacité des automotrices qui sont de plus en plus puissantes. Dans la majorité des chantiers actuels, la fauche est indépendante du ramassage.

- le pick up, grâce à des doigts, ramasse le fourrage préalablement fauché et mis en andain. Il permet de récolter le fourrage à n'importe quel stade de siccité. Il est aussi relativement rigide et les grandes largeurs (4 m et plus) impliquent un sol nivelé. La réduction de la largeur du pick up implique un andainage plus poussé qui va à l'encontre de la dessiccation.

- le bec maïs, reprend les végétaux à grosses tiges semés en lignes espacées de 75 à 80 cm environ. Chaque tige est coupée tout en étant maintenue, convoyée puis présentée le pied en premier dans le bloc hacheur. Cet équipement est utilisé pour le maïs plante entière et pour l'ensilage de tournesol.

b. Le bloc régulateur

Il a un rôle multiple :

- compacter le produit pour améliorer la régularité de la coupe,
- faire avancer régulièrement le fourrage en fonction de la finesse de hachage choisie,
- arrêter l'alimentation en cas d'introduction de corps étrangers d'une certaine taille ou de détection d'un corps métallique.

c. L'organe de coupe

Le fourrage est sectionné entre un contre couteau et les couteaux portés par un organe rotatif de type tambour ou plateau.

d. L'outil de chargement

Une soufflerie prend en charge le produit haché et l'éjecte dans la remorque chargée du transport.