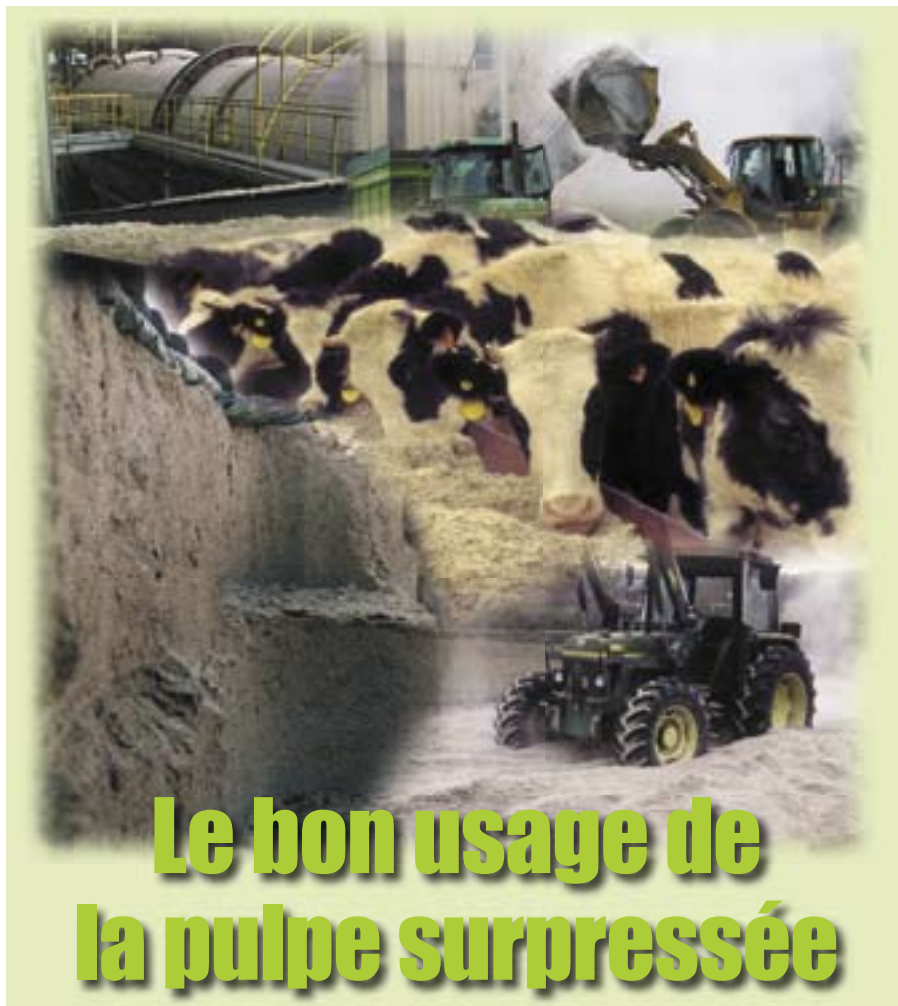




Le bon usage de la pulpe surpressée

Guy Legrand

Institut Royal Belge pour l'Amélioration de la Betterave (IRBAB a.s.b.l.),
Tienen (Tirlemont), Belgique



Préambule

Ce Guide Technique correspond à une actualisation d'une première édition réalisée par l'IRBAB asbl, en 1984, lorsque l'utilisation de la pulpe surpressée commençait à se développer en Belgique. Cette deuxième édition s'intéresse également à décrire le bon usage de la pulpe surpressée, mais surtout à rappeler les règles essentielles de sa production, de sa livraison et de sa conservation par ensilage à la ferme. Cette édition tente également d'expliquer les problèmes occasionnels qui sont rencontrés à l'ensilage ou au désilage.

Comme dans sa première édition, ce Guide ne propose pas d'exemples de rations alimentaires où la pulpe surpressée est utilisée selon tel ou tel type de bétail, en fonction de son âge et des performances attendues de celui-ci.

Par contre, de nombreuses notices, regroupées dans la deuxième partie de ce Guide, apportent un complément d'informations plus précises, en fonction des paragraphes abordés. Ces notices sont souvent répétitives au niveau des éléments les plus importants. Elles sont destinées à informer au mieux le lecteur intéressé qui en parcourt seulement l'une ou l'autre.

Remerciements

Nous remercions le personnel des sucreries et les éleveurs qui nous fait part de leurs expériences pour la rédaction de ce Guide, ou chez qui des observations et des analyses ont été réalisées. Nous remercions également le Service Documentation de l'IRBAB. Grâce à la base de données de la « Bibliothèque Internationale de la Betterave » (B.I.B.), il nous a permis de consulter un grand nombre de publications scientifiques sur ce thème. Nous remercions plus particulièrement notre collègue, Steven Vanwelden, pour sa contribution à la présentation finale de ce Guide Technique.

Dépôt légal: D/2005/6430/1

Les illustrations, figures et graphiques présentés dans ce Guide Technique proviennent des collections ou des travaux de l'IRBAB. Ces éléments, comme des extraits du texte, peuvent être utilisés à des fins de publications, pour autant que l'origine soit mentionnée.

Le bon usage de la pulpe surpressée

Guy Legrand

Institut Royal Belge pour l'Amélioration de la Betterave (IRBAB a.s.b.l.),
Tienen (Tirlemont), Belgique



Table des matières :

1. La pulpe de betterave	5
1.1. Description	5
1.2. Processus de production	6
1.3. Composition	7
1.4. Garantie du produit à la livraison	8
1.5. Pulpe “GMP”	11
1.6. Utilisation de la pulpe surpressée en alimentation animale	12
2. Conservation de la pulpe surpressée par ensilage	14
3. Moisissures observées au désilage	18
3.1. Identifications des moisissures	22
Notices	26

Mise en garde

Les informations rassemblées dans ce Guide sont destinées aux producteurs comme aux utilisateurs de la pulpe surpressée. Elles sont présentées de bonne foi, mais ne peuvent servir de moyens d'arbitrage. En effet, les causes de situations parfois problématiques sont souvent complexes. L'utilisation et l'interprétation de ces informations sont sous la seule responsabilité du lecteur. L'IRBAB et son personnel ne peuvent être tenus pour responsables des conséquences directes ou indirectes de leurs utilisations.

1. LA PULPE DE BETTERAVE

Du fait de sa grande valeur alimentaire et de son excellente appétence, la pulpe de betterave sucrière est reconnue comme un excellent aliment pour le bétail (Figure 1). Elle peut être consommée en grandes quantités par les animaux de ferme, sans toutefois dépasser généralement la dose de 1,5 kg de MS/jour et par 100 kg de poids vif.

1.1. Description

Disponible en grandes quantités dans les sucreries pendant la campagne betteravière, la pulpe de betterave est un aliment idéal pour le bétail laitier et viandeux,



Figure 1 : La pulpe de betterave sucrière est reconnue comme un excellent aliment pour le bétail.

mais aussi pour d'autres animaux de ferme ([Notice 1](#)).

Elle se présente sous forme de fragments de fines lamelles de betteraves sucrières (cossettes), épuisées à l'eau chaude et pressées. L'épuisement des cossettes correspond au processus de diffusion réalisé en sucrerie pour extraire le sucre accumulé par la betterave dans sa racine. Après la diffusion, les cossettes épuisées en sucre (pulpe) sont pressées pour produire la pulpe humide (10 à 13 % de MS) ou surpressées (22 % de MS).

Au moment de sa production, la pulpe surpressée est un produit alimentaire frais, non stérilisé, livré chaud, en vrac et dans un état relativement humide (Figure 2). En l'absence de précautions particulières, c'est un aliment rapidement altérable par des éléments extérieurs (air, eau, bactéries, moisissures,...) et donc périssable.

Par contre, la pulpe surpressée se conserve facilement à la ferme, au-delà de la période de livraison et même jusqu'à la prochaine campagne betteravière, grâce à la technique d'ensilage ([Notice 2](#)).



Figure 2 : La pulpe surpressée est un produit alimentaire frais, non stérilisé, livré chaud, en vrac et dans un état relativement humide.

Dans d'autres pays européens, la pulpe de betterave est incorporée dans certaines préparations culinaires (biscuiterie, charcuterie) ou utilisée dans des applications non alimentaires ([Notice 3](#)).

1.2. Processus de production

Après leur lavage en usine, les betteraves sont débitées en fines lamelles (cossettes) dans un coupe-racines. Ces cossettes sont mises à circuler dans un contre-courant d'eau chaude au cours de l'étape de la diffusion ([Notices 4 & 5](#)).

A la sortie de la diffusion, les cossettes ne contiennent pratiquement plus de sucre, mais sont encore gorgées d'eau (quelque peu sucrée). Elles sont pressées pour en extraire l'excédent d'eau et augmenter leur teneur en matière sèche ([Notice 6](#)).

Pressées à au moins 22 % de MS, elles forment la pulpe surpressée de betterave, facilement transportable, mais qui doit être livrée en ferme dans les meilleurs délais et en respectant différentes règles sanitaires et autres critères de qualité ([Notices 7 & 8](#)).

1.3. Composition

La pulpe surpressée de betterave a une composition relativement stable. Cette composition peut toutefois varier au cours de la campagne d'arrachage, selon le degré de « maturation » des betteraves. Elle peut également varier selon l'origine géographique des livraisons et selon les années ([Notice 9](#)).

La composition standard et les valeurs alimentaires de la pulpe surpressée sont détaillées aux tableaux 1a et 1b.

Elle a une teneur élevée en cellulose (21 %) et en autres hydrates de carbone digestibles (hémicellulose et pectine, respectivement 27 et 23 %).

Sa teneur en lignine est assez faible (< 4 %), ce qui lui confère une bonne digestibilité de sa matière organique (de l'ordre de 87 à 90 %) et une bonne valeur énergétique

	en % de MS	en g/kg ramené à 88 % de MS		en g/kg de MS	en g/kg ramené à 88 % de MS
Teneur en éléments organiques			Teneur moyenne en éléments minéraux		
Protéine brute (matière azotée)	10	88,0	Chlore	0,5	0,44
Cendres brutes	7,5	66,0	Sodium	1	0,88 (0,5 - 1,5)
Matières grasses	1	9,7	Sulfate	4	3,52 (10)
Hydrates de carbone	81,3	716,3	Azote total	16	14,08
sucres totaux	6,5	57,2	Teneur en métaux lourds (en mg/kg ramené à 88 % de MS)		
cellulose	21	187,4		Moyenne	Maximum
hémicellulose	27	236,7	Arsenic	< 2	2
pectine	23	201,5	Plomb	< 5	5
lignine	3,8	33,4	Mercure	< 0,1	0,1
Teneur en éléments minéraux			Cadmium	< 0,6	0,6
Calcium	1	8,8 (7 - 40)	Fluor	< 10	10
Phosphore	0,1	0,9 (0,8 - 1,2)			
Potassium	0,5	4,4 (4 - 10)			
Magnésium	0,25	2,2 (1,2 - 2,5)			

Tableau 1a. : Valeurs indicatives de certains constituants de la pulpe surpressée (des valeurs extrêmes sont présentées pour certains éléments).

Valeurs alimentaires (moyenne par kg MS)	
VEM	1.040
VEVI	1.114
G VRE (g/kg MS)	63
G DVE (g/kg MS)	101
G OEB (g/kg MS)	- 68

Tableau 1b. : Valeurs alimentaires dérivées de la pulpe surpressée.

(supérieure à celle d'un ensilage de maïs et proche de celle de la betterave fourragère).

Par rapport aux autres fourrages, la pulpe surpressée est assez riche en potassium, en sodium, en calcium et en magnésium. Elle est, par contre, très pauvre en phosphore, en manganèse, en zinc et en cuivre. Il faudra donc veiller à compléter ces éléments dans les rations à base de pulpe surpressée.

La teneur en calcium de la pulpe (8,8 g/kg de MS) est plus élevée que celle des

fourrages. Elle peut varier selon l'origine des betteraves (teneur naturelle des terres en calcium), mais également selon la quantité de gypse utilisée en sucrerie en fonction du pressage ([Notice 6](#)). Cette teneur peut également varier au cours de la campagne, entre 5 à 30 g/kg de MS.

La teneur en protéine (10 % de la MS) est plus faible que celle d'un ensilage de maïs. Cette insuffisance sera également comblée dans la ration, au mieux par un apport d'azote protéique (tourteau de soja,...).

Les protéines brutes de la pulpe ont une digestibilité de 75 %. Elles sont bien pourvues en acides aminés essentiels, et en particulier en lysine, méthionine, cystéine et thréonine. Ces protéines ne sont pas dégradées au niveau du rumen. Elles sont directement absorbées au niveau de l'intestin.

Par contre, la pulpe est pauvre en carotène et en vitamine A. On veillera ici également à incorporer dans la ration des aliments et des compléments qui compenseront ces déficiences.

L'encombrement de la pulpe dans le rumen est inférieur à celui de nombreux fourrages. La pulpe a cependant une valeur positive de structure physique, équivalente à 30 à 40 % de la valeur en structure physique d'un ensilage d'herbe préfanée.

1.4. Garantie du produit à la livraison

En Belgique, la pulpe surpressée doit avoir une teneur en matière sèche d'au moins 22 %, une teneur en cendres brutes de 8 % sur la MS et une teneur en cendres insolubles à l'acide chlorhydrique (HCl) de maximum 3,5 % sur la MS (spécification interprofessionnelle). Ce niveau de teneur en cendres insolubles reflète l'intensité du lavage des betteraves effectué par les lavoirs en sucrerie. Un lavage performant réduit fortement le risque de contamination de la pulpe (et de la diffusion en sucrerie) par des bactéries néfastes (*Bacillus*, *Clostridium*,...).

Les accords interprofessionnels belges considèrent la pulpe comme pulpe surpressée (avec frais de surpressage) lorsque sa teneur en matière sèche est supérieure à 22 %. Les frais de surpressage sont dits « amoindris » si la matière sèche est comprise entre 21 et 22 %. La pulpe est considérée comme pulpe humide si sa matière sèche est inférieure à 21 % (pas de frais de surpressage).

Selon les usines, sa teneur en sucre se situe entre 4 et 6 % (de la MS). Le minimum garanti est 2,5 % ([Notice 10](#)).

Sa livraison au départ de l'usine est effectuée dans les 24 heures qui suivent sa production, et au plus tard dans les 48 heures.

Le planning de livraison, convenu entre la sucrerie et l'utilisateur, doit être parfaitement synchronisé et respecté par les deux parties dans un effort de bonne coordination. Il doit permettre de terminer rapidement un silo de pulpe surpressée de taille moyenne, en un moins d'un jour. De même, le laps de temps entre les livraisons devra correspondre au temps nécessaire pour ensiler sans précipitations chaque livraison. Il sera fonction du tonnage livré, et d'au moins 15 minutes.

La couleur de la pulpe à la livraison varie, de façon normale, du blanc au gris, en fonction des usines, du type de diffusion (selon que le diffuseur remue plus ou moins fortement la pulpe, ce qui favorise son oxydation par l'air et lui procure une couleur plus grisâtre) et du traitement en diffusion (utilisation d'auxiliaires technologiques à base de soufre, ou qui blanchissent la pulpe). Cette couleur n'a aucune incidence sur l'aptitude à la fermentation, ni sur la qualité alimentaire.

À la livraison, la pulpe ne peut contenir de moisissures visibles, ni dégager d'odeur acide et âcre typique (acidité accrue résultant d'une contamination microbiologique en diffusion), ni être collante ([Notice 17](#)).

La propreté et la désinfection régulière des installations de pressage et des voies d'acheminement de la pulpe vers la cour à pulpe; la désinfection régulière (brossages et traitements réguliers à l'acide propionique), la propreté et la gestion de la cour à pulpe; la durée d'entreposage dans la cour; l'aspect et la température (> 45°C) de la pulpe; le nettoyage et la propreté des bennes des camions au moment du chargement; le bâchage des chargements; une cadence régulière de livraison sont également, selon les usines, des éléments pris en considération et contrôlés.

De même, les usines veillent à évacuer régulièrement les raclures de cour, hors de la cour à pulpe. Certaines désinfectent régulièrement cet espace (Figure 3).

La meilleure évacuation de la pulpe à l'usine s'effectue selon la technique « premier arrivé / premier parti » (« first in / first out ») où différents tas de pulpe sont successivement réalisés et évacués (Figure 4). Cette bonne gestion limite les déplacements de tas de pulpe, néfastes au démarrage de la fermentation lactique à l'usine ([Notice 8](#)).



Figure 3 : La propreté de la cour est un élément important pendant le chargement de la pulpe surpressée ([Notice 8](#)).



Figure 4 : L'évacuation de la pulpe s'effectue à l'usine selon la technique «first in / first out» où différents tas de pulpe sont successivement réalisés et évacués ([Notice 8](#)).

Le chargement direct par trémies d'attente est une technique qui évite ces problèmes.

La cour à pulpe sera suffisamment spacieuse et dégagée pour éviter le déplacement des engins de chargement sur la pulpe. L'écoulement des eaux de pluies y sera réduit et aucun camion transportant (ou sali par) de la terre ou aucun écoulement de boues n'y sera admis. Le chauffeur du véhicule de chargement veillera à charger, avec un minimum de pertes, la pulpe dans les camions. Ceux-ci se positionneront toujours sur un emplacement délimité pour le chargement (Figure 2).

Dans chaque usine, un système de traçabilité permet de tracer chaque livraison et de gérer les plaintes en fonction des incidents éventuels observés lors de la production de la pulpe. Certaines usines s'assurent quotidiennement, par un test en laboratoire, de l'aptitude à la fermentation de la pulpe produite.

Ces diverses garanties sont rappelées dans une « fiche descriptive du produit », obligatoirement éditée par tout producteur d'aliments pour le bétail et donc disponible dans chaque sucrerie.

1.5. Pulpe «GMP»

Afin de répondre aux exigences croissantes de l'industrie agro-alimentaire et des producteurs d'aliments pour bétail, la production de pulpe surpressée de betterave répond aux critères de production « GMP » (« Good Manufacturing Practice »), c'est-à-dire à des normes spécifiques de surveillance et de sécurité alimentaire ([Notice 11](#)). Ces normes sont inspirées de celles définies par les critères de la sécurité HACCP¹, appliqués pour la production d'aliments destinés à l'alimentation humaine.

Le critère GMP est défini entre autres par l'existence d'une « fiche descriptive du produit ». Cette fiche rappelle les exigences légales du produit, ses exigences interprofessionnelles et celles spécifiques à l'usine. Elle présente la composition indicative, les garanties de transport et de livraison, les directives pour la conservation et l'utilisation de la pulpe surpressée.

Le critère GMP comprend en outre une description détaillée du processus de production et de l'analyse de risques. L'analyse de risques prend en compte les risques d'origines physique, chimique et biologique inventoriés et directement mis en relation avec la qualité et la sécurité du produit, mais aussi avec l'environnement direct de sa production.

Cette analyse de risques présente également les mesures de contrôle que l'usine s'est proposée de réaliser et leurs fréquences. Elle présente enfin les procédures de gestion des risques s'ils devaient se présenter.

¹HACCP : Hazard Analysis and Critical Control Point

1.6. Utilisation de la pulpe surpressée en alimentation animale

Les hydrates de carbone présents dans la pulpe surpressée ont une digestibilité très élevée (entre 87 et 90 % de la MS), ce qui confère à la pulpe une très bonne valeur alimentaire.

Par contre, sa faible teneur en protéines (10 %) et sa faible structure nécessitent d'apporter, dans la ration, un complément d'aliments, d'une part riche en protéines et d'autre part possédant de la structure.

Un apport de paille fraîche (fibres longues) et une adaptation progressive des rations alimentaires (période de transition de 10 jours au moins) sont toujours conseillés ([Notice 12](#)). De même, il est toujours recommandé de fractionner la distribution lorsque des rations à base de proportions importantes de pulpe surpressée sont utilisées.

En élevage bovin, l'apport de pulpe ne devrait pas dépasser 1,5 kg de MS/100 kg de poids vif, soit 8 à 10 kg de MS chez un bovin adulte et 3,5 à 7,5 kg de MS chez un taurillon.

En élevage laitier, cet apport sera limité à 3 à 5 kg de MS/vache laitière. La pulpe surpressée est bien connue pour son effet lactogène. De très nombreux essais ont démontré une augmentation de 1 à 3 kg de lait/jour/vache, selon son incorporation dans les rations. La pulpe, utilisée en quantités importantes (6 kg de MS/jour/vache) diminue également le taux butyreux (1 à 2 g/kg) et augmente le taux protéique (0,5 à 3 g/kg) du lait. Chez les vaches en fin de gestation, on recommande de limiter la consommation de pulpe 3 à 4 semaines avant le vêlage, pour éviter que l'excès de calcium ne provoque la fièvre vitulaire (fièvre du lait).

L'utilisation de la pulpe surpressée n'est pas conseillée pour les jeunes veaux. Des quantités trop grandes entraveront le fonctionnement normal de la panse, par un gonflement de la pulpe dans le rumen.

La pulpe surpressée est un aliment intéressant pour les autres animaux de ferme (porcs, moutons, chèvres, chevaux,...). Cependant, pour ces animaux plus petits ou monogastriques, les quantités à utiliser par individus sont plus réduites. Dans ces fermes, l'utilisation de la pulpe surpressée sera fonction de la possibilité de réaliser un ensilage de taille réduite, pour que la vitesse de désilage soit suffisante.

En élevage porcin, la pulpe surpressée, utilisée en complément, convient pour des truies en gestation aussi bien que pour des porcs à l'engraissement. On peut ainsi donner de la pulpe à volonté aux porcs, mais en ne dépassant pas 4 kg/jour/animal (soit 1 kg de MS/jour/animal). De nombreuses expérimentations ont démontré que l'incorporation de la pulpe surpressée (jusqu'à 15 à 30 %) dans la ration des porcs réduit significativement les quantités totales de déjections, mais réduit en plus les

quantités d'azote ammoniacal présentes dans les déjections.

Le comportement des truies est également meilleur lorsqu'elles sont nourries avec de la pulpe. Comme celles-ci sont plus calmes, suite à une digestion prolongée, l'écrasement accidentel de porcelets par la mère est moins fréquent et les portées sont sensiblement plus importantes.

En élevage ovin, la distribution de pulpe surpressée peut être réalisée pour les brebis laitières, jusqu'à 1 à 2 kg de MS/jour/brebis, mais elle doit être complémentée par un apport de paille (0,5 kg/jour), de concentrés (500 à 800 g/jour) et de compléments minéral et vitaminé, à base de phosphore.

Il est déconseillé de distribuer de la pulpe surpressée à des agneaux de moins de 2 mois. Les agneaux plus âgés et ceux à l'engraissement arrivent à consommer 3,5 à 4 kg/jour de pulpe surpressée. Il faut dans ce cas veiller à couvrir les besoins azotés, utiliser de la pulpe parfaitement ensilée et placée dans des auges très propres.

En élevage caprin, la pulpe surpressée peut représenter 30 % de la MS totale ingérée. Les chèvres peuvent en consommer jusqu'à 4 kg/jour, en veillant à un apport de fibres longues (paille), de matières azotées, de minéraux et de vitamines.

En dehors des élevages, l'utilisation de la pulpe surpressée n'est pas généralisée en alimentation du cheval. Leur estomac étant de taille réduite (5 à 6 l), on apportera tout au plus 2 à 4 kg/jour/bête, chez les chevaux lourds ou demi-sang, en ne dépassant pas 40 % de la ration de foin et de paille.



2. CONSERVATION DE LA PULPE SURPRESSÉE PAR ENSILAGE

La pulpe surpressée est un produit alimentaire frais, non stérilisé, livré chaud, en vrac et dans un état relativement humide. C'est donc un aliment rapidement altérable par des éléments extérieurs (air, eau, bactéries, moisissures,...) et donc périssable si certaines conditions ne sont pas respectées pour assurer sa conservation par ensilage.

L'ensilage de la pulpe surpressée permet à un processus naturel et spontané de fermentation, la fermentation lactique, de se dérouler au sein de la masse ensilée. Lorsque la pulpe surpressée a été complètement colonisée par la fermentation lactique, elle peut conserver de longs mois et avec un minimum de pertes en substances nutritives, moyennant quelques règles de désilage.

Une pulpe de bonne qualité à la livraison et correctement ensilée ne produit ni effluents, ni d'odeurs désagréables.

Pour ensiler la pulpe surpressée dans des conditions homogènes, stables et anaérobies, nécessaires au développement des bactéries lactiques, il convient de respecter les 10 règles suivantes :

1	ensiler de la pulpe surpressée de bonne qualité,	Notice 13
2	respecter les dimensions d'ensilage ...,	Notice 14
3	... en ne dépassant pas une hauteur d'ensilage de 2 mètres ,	Notices 15 à 18
4	bien organiser les opérations d'ensilage pour travailler rapidement,	Notice 19
5	ensiler la pulpe sur un emplacement adéquat et propre,	Notice 20
6	travailler avec des engins rigoureusement propres,	Notice 21
7	étaler et tasser de façon homogène et suffisante,	Notices 22 à 24
8	égaliser la dernière couche,	Notice 25
9	fermer correctement le silo,	Notice 26
10	lester uniformément le dessus du silo.	Notice 27

Un ensilage de qualité se pratique le plus souvent dans des installations appropriées, du type silo couloir. De tels silos disposent d'un revêtement de sol en dur (béton, empierré, ...) et de parois latérales rigides (plaques de béton,...) ou renforcées (balots de paille, ...) qui permettent d'obtenir un tassement homogène et suffisant de toute la masse ensilée (Figure 5).



Figure 5 : Le tassement homogène, effectué par couches régulièrement étalées, est un élément important dans la réussite de l'ensilage de la pulpe surpressée ([Notice 22](#)).



Figure 6 : L'ensilage en boudin plastique, réalisée par entrepreneur, offre d'excellentes conditions de conservation de la pulpe surpressée ([Notice 28](#)).

La technique d'ensilage en boudin plastique, réalisée par entrepreneur, réunit ces conditions (Figure 6). Elle offre d'excellentes conditions de conservation d'une pulpe de qualité ([Notice 28](#)).

Peu coûteuse, la technique d'ensilage en silo taupinière (aucune paroi latérale) doit être réalisée avec grand soin (Figure 7), pour obtenir un tassement homogène et suffisant de toute la masse ensilée ([Notice 29](#)).



Figure 7 : L'ensilage en silo taupinière doit être réalisé avec grand soin, pour obtenir un tassement homogène et suffisant de toute la masse ensilée ([Notice 29](#)).

Pour obtenir un niveau de conservation satisfaisant, un silo de pulpe surpressée doit présenter, à l'ouverture, certaines valeurs de mesures (tableau 2).

Une légère perte du taux de matière sèche peut être observée à ce moment. Elle résulte le plus souvent de la perte par évaporation de composés volatils produits par diverses fermentations ([Notice 30](#)).

matière sèche	pH	densité (kg/m ³)	Teneurs en (g/kg de MS)		
			acide lactique	acide acétique	acide butyrique
celle mesurée à la livraison ± 0,5 à 1 point	3,6 ± 0,2	> 800	> 30	< 15	< 2

Tableau 2 : Valeurs de mesures nécessaires pour obtenir un niveau satisfaisant de conservation dans un silo de pulpe surpressée.

Pour maintenir les conditions de conservation lors du désilage, il faut également veiller à :

maintenir le silo fermé pendant 30 jours avant son utilisation,

avancer d'au moins 1 m/semaine pendant le désilage, surtout en été,

éviter d'ébranler le silo par un désilage brutal qui favoriserait l'apparition de fissures, rapidement colonisées par les moisissures,

replier correctement les bâches supérieures, en les roulant vers l'arrière du silo et en les maintenant parfaitement contre la surface du silo, au moyen de lest suffisant, pour éviter toute introduction d'air dans cet interstice (Figure 8),

évacuer l'eau, la terre, les souillures et éliminer (au loin) les blocs de pulpe moisie pour ne pas maintenir un environnement contaminant,

traiter éventuellement les surfaces susceptibles d'être colonisées par des moisissures avec une application d'acide propionique dilué (1,5 l à 25 %/m²) pour ralentir leur développement.



Figure 8 : Au désilage, les bâches supérieures seront correctement repliées et maintenues avec un lest suffisant pour éviter toute introduction d'air, favorable au développement de moisissures.

3. MOISSURES OBSERVÉES AU DÉSILAGE

Des moisissures, de couleur variée, sont parfois observées à la surface ou à l'intérieur d'un silo de pulpe surpressée. Ces développements de moisissures se présentent lorsque :

la qualité de la pulpe a été altérée, lors de sa production, par des conditions préjudiciables à sa conservation (acidité et/ou température trop élevée avant et/ou pendant la diffusion, contaminations microbiennes, dégradation de la pectine,...) ([Notices 4, 10, 17](#)),

le développement des bactéries lactiques a été inhibé par un surdosage accidentel d'auxiliaires technologiques en sucrerie (fermentation lactique insuffisante) ([Notice 5](#)),

la matière sèche est non conforme et la qualité de la pulpe à la livraison est insuffisante pour permettre un tassement satisfaisant (fermentation lactique insuffisante) ([Notice 6](#)),

la pulpe a été ensilée trop froide, suite à un stockage prolongé ou suite à un excès de manipulations et de déplacements (fermentation lactique insuffisante) ([Notice 8](#)),

des boules de pulpe compactée ou de pulpe salie ou de terre ont été introduites dans la pulpe, avant les presses, au chargement, à la livraison, au déchargement ou pendant l'ensilage (contact avec des contaminants) ([Notices 8, 20 et 21](#)),

la teneur en sucres solubles de la pulpe à la sortie des presses est inférieure à 2,5 % de la MS (fermentation lactique insuffisante) ([Notice 10](#)),

la vitesse d'avancement au désilage est insuffisante (contact avec l'air) ([Notice 14](#)),

des fissures (contact avec l'air) sont apparues suite à des glissements de blocs de pulpe (pulpe grasse, [Notices 17 et 18](#)) ou à des secousses trop fortes lors du désilage,

des poches d'air ont été formées par un tassement hétérogène ou insuffisant ou par une fermeture insuffisamment étanche du silo (contact avec l'air) ([Notices 22 à 26](#)),

des poches d'air se sont formées suite à la condensation de la vapeur d'eau excédentaire au moment de l'ensilage (hypothèse présentée à la [Notice 26](#)).

L'emplacement et la répartition des moisissures dans le silo peuvent parfois permettre d'en attribuer l'origine, tout en sachant que leur présence peut résulter d'un ou de plusieurs des phénomènes cités. Les causes de situations parfois problématiques sont donc souvent complexes (Figure 9).

Les origines les plus probables sont résumées au tableau 3, en fonction de l'emplacement des moisissures dans le silo.

Il faut toutefois noter que l'identification des moisissures apportera peu de précisions quant à leur origine. Ce type d'analyse permet rarement de responsabiliser une origine éventuelle.

L'identification des moisissures peut éventuellement permettre de savoir si elles présentent un risque pour la santé du bétail. Il faut également noter que, dans ce cas, le diagnostic portera seulement sur les moisissures présentes dans l'échantillon. Comme différentes moisissures peuvent être simultanément présentes dans un silo et que l'identification se limite à l'échantillon analysé (parfois quelques milligrammes de pulpe moisie !), la seule consigne à respecter est d'éliminer systématiquement toutes les zones moisies. En effet, une moisissure visible et non toxique pour le bétail peut être associée à une autre moisissure, non détectée et qui pourrait être nocive.

Au désilage, une application d'acide propionique (25 %) peut être effectuée, à titre préventif uniquement, sur les zones où des moisissures pourraient se développer.

Du sel agricole, appliqué sur la surface du silo avant la fermeture, limite également le développement des moisissures dans les couches superficielles ([Notice 25](#)).



Figure 9 : Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine de moisissures favorisées par une mauvaise conservation de la pulpe surpressée.

On observe dans ce silo :

- des éboulements liés à la présence de pulpe grasse dans le bas du silo (silo trop volumineux, hauteur > 2 m, largeur > 8 m), rapidement colonisés par des moisissures ([Notices 17 et 18](#)),
- ces éboulements sont favorisés par l'inclinaison des différentes couches de pulpe étalées de façon oblique dans le bas du silo, au moment de l'ensilage ([Notice 22](#)),
- une fine zone de moisissures se développant sous la surface du silo et pouvant résulter de la condensation de la vapeur d'eau excédentaire au moment de l'ensilage ([Notice 26](#)).

EMPLACEMENT ET RÉPARTITION	ORIGINES PROBABLES	NOTICES
boules ou zones éparpillées dans la masse du silo	matière sèche ou qualité de pulpe insuffisante, voire dégradée, à la livraison ne permettant pas un tassement suffisant et régulier ou une conservation optimale	4, 5, 6, 10, 13, 17
	fermentation lactique bloquée ou insuffisante ($\text{pH} > 4,00$; teneur en acide lactique $< 30 \text{ g/kg}$ de MS)	5, 10, 23, 24
	pulpe livrée ou ensilée trop froide	8, 10
	propreté insuffisante de l'aire de chargement à la sucrerie, des camions de livraison, de l'emplacement et des abords du silo à la ferme, des engins (tracteur, chargeur frontal, bottes,...) utilisées pour étaler et tasser la pulpe	8, 20, 21
sur le front d'avancement en général	impuretés présentes dans la pulpe (terre, pulpe compactée et souillée, paille, ...)	8, 20, 21
	durée trop importante de confection du silo	19
	poches d'air résiduelles dues à un tassement insuffisant ou irrégulier (densité $< 800 \text{ kg/m}^3$)	22
	vitesse d'avancement insuffisante	14
uniquement juste sous la bêche	température et humidité trop importante au niveau du front d'avancement	14
	vitesse d'avancement insuffisante	14
	surface irrégulière du sommet du silo	25
	bâches de fermetures insuffisamment tendues sur la surface du silo	26
dans la couche supérieure en général	trous et déchirures dans les bâches, infiltration d'eau	26
	infiltration d'air sous la bêche insuffisamment lestée après ouverture	26
	lest insuffisant ou irrégulier (pneus,...) permettant la formation de poches d'air sous la bêche	27
	vitesse d'avancement insuffisante	14
sur les côtés, dans les coins supérieurs, le long des parois	tassement insuffisant ou irrégulier des dernières couches (fréquent dans les silos taupinières)	22, 25, 29
	réhumidification de la couche supérieure par des pluies importantes, en l'absence de fermeture rapide du silo	26
	poches d'air dues à un tassement insuffisant ou irrégulier (densité $< 800 \text{ kg/m}^3$)	22
	surface irrégulière du sommet du silo	25
	absence de bâches latérales	26
	bâches de fermetures insuffisamment tendues sur les côtés du silo	26
	trous et déchirures dans les bâches, infiltration d'eau	26
	lest insuffisant ou irrégulier (pneus,...) permettant la formation de poches d'air sous la bêche	27

sous forme d'une fine zone, située à 20-30 cm sous la surface du silo	vitesse d'avancement insuffisante	14
	condensation probable de la vapeur d'eau encore présente dans la pulpe lors de la fermeture du silo	26
dans des fissures situées à l'avant du front d'avancement	vitesse d'avancement insuffisante	14
	tassement insuffisant ou irrégulier (densité < 800 kg/m ³)	22
	silo confectionné en bannant les chargements l'un contre l'autre et en tassant sommairement le tout avec un engin équipé d'une pelle frontale, sans étaler la pulpe	22
	présence de pulpe grasse dans le bas du silo, entraînant le glissement de blocs de pulpe	17, 18, 22
	désilage trop brutal, provoquant des fissures	
dans des fissures situées derrière le front d'avancement	vitesse d'avancement insuffisante	14
	présence de pulpe grasse dans le bas du silo, entraînant le glissement de blocs de pulpe	17, 18, 22
avec des glissements de blocs de pulpe	vitesse d'avancement insuffisante	14
	silo trop volumineux (hauteur > 2 m et largeur > 8 m)	14, 15
	refroidissement trop lent du silo (< 1°C/jour)	16, 17
	présence de pulpe grasse dans le bas du silo, entraînant le glissement de blocs de pulpe	17, 18, 22
	échauffement local du silo suite à des fermentations secondaires	17
	silo de pulpe confectionné trop rapidement sur / sous un silo de maïs	17, 18
dans la zone de contact avec un fourrage ensilé dans le même silo	silo confectionné en bannant les chargements l'un contre l'autre et en tassant sommairement le tout avec un engin équipé d'une pelle frontale, sans étaler la pulpe	22
	réhumidification de la zone de contact entre les deux aliments et contamination provenant de cet autre fourrage	25, 26, 29
La vitesse d'avancement est un élément prépondérant dans le développement des moisissures. Pensez à respecter les dimensions de votre silo en fonction des quantités de pulpe que vous utiliserez (Notice 14) La formation de pulpe de couleur jaunâtre, grasse au toucher et apparemment semblable à de la pulpe humide, située généralement dans le bas du silo n'est pas provoquée par des moisissures, mais par de mauvaises conditions d'ensilage (Notices 15 à 17)		
Tableau 3 : Origine(s) les plus probable(s) d'un développement de moisissures selon leur emplacement dans un silo de pulpe surpressée.		

3.1. Identification des moisissures

Un nombre restreint de moisissures sont rencontrées dans la pulpe surpressée et ensilée (Figure 10).

Ce sont principalement des espèces aérobies (*Cladosporium*, *Epicoccum*,...) ou tolérantes à l'anaérobiose (*Aspergillus*, *Byssoschlamys*, *Geotrichum*, *Monascus*, *Neurospora*, *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma*,...). Certaines espèces (*Aspergillus*, *Byssoschlamys*, *Penicillium*,...) peuvent produire des toxines dangereuses pour le bétail.

Même en l'absence de toxines, l'ingestion de trop grandes quantités de moisissures peut perturber le bon fonctionnement du rumen. Un trop grand dysfonctionnement de la flore du rumen peut parfois être fatal pour le bétail.



Figure 10 : Des moisissures, de couleur variée, sont parfois observées à la surface ou à l'intérieur d'un silo de pulpe surpressée. Les plus fréquentes sont :
a) *Penicillium* sp. b) *Aspergillus* sp. c) *Monascus* sp. d) *Neurospora* sp.

Cependant, certains dysfonctionnements du rumen (acidose, entérotoxémie,...) ne sont pas toujours dû à la présence de moisissures ([Notice 12](#)).

Des bactéries butyriques peuvent également être à l'origine d'ensilage mal conservé. Ces ensilages ont une teneur en acide butyrique trop élevée (> 2 g/kg de MS) et sont moins bien appréciés par le bétail ([Notice 17](#)).

3.1.1. *Penicillium* sp.

Ces moisissures (*P. roqueforti*) sont très fréquentes dans et à la surface des silos défectueux. Elles se présentent sous la forme d'une coloration et d'une poussière bleu vert clair (Figure 10a.).

Ces espèces sont tolérantes à une anaérobiose réduite. Différentes espèces peuvent produire différentes mycotoxines (acide pénicillique, patuline, roquefortine, fumiclavine, ochratoxine ...), en conditions de laboratoire ou lors de fortes contaminations. A fortes doses, ces mycotoxines sont associées à des troubles nerveux et parfois à des avortements chez le bétail. Ces moisissures sont souvent présentes dans les ensilages d'herbes et de maïs, mais où le risque de production de mycotoxines est quasi nul (d'après la littérature actuelle).

3.1.2. *Aspergillus* sp.

Ces moisissures (*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. glaucus*) sont fréquentes dans et à la surface des silos défectueux. Elles se présentent sous la forme d'une coloration et d'une poussière bleu vert, légèrement plus foncée (Figure 10b.) que *Penicillium*.

Ces espèces sont tolérantes à l'anaérobiose. Différentes espèces produisent différentes mycotoxines (aflatoxines, ochratoxine, fumitoxine, ...) dont certaines peuvent entraîner des troubles nerveux, des avortements et des troubles respiratoires chez le bétail. Par les mycotoxines qu'elles produisent (aflatoxines, ochratoxine,...), ces moisissures, présentes également dans d'autres fourrages ensilés, sont particulièrement nocives pour le bétail. Ces moisissures ne peuvent être distinguées de *Penicillium* que par un examen microscopique.

3.1.3. *Monascus* sp.

Ces moisissures (*M. ruber*, *M. purpureus*) sont fréquentes dans la pulpe qui présente alors une couleur rouge vif caractéristique (Figure 10c.). Ces moisissures ne sont pas toxiques. Elles auraient même un léger effet stimulant sur l'appétence. *Monascus* est parfois utilisé comme colorant en industrie alimentaire.

3.1.4. *Neurospora* sp.

Cette moisissure (p.ex. *N. sitophila*) est fréquente dans les silos de pulpe. *Neurospora* sp. produit une moisissure très colorée, de couleur jaune à orange ocre (Figure 10d.). Elle n'est pas dangereuse pour le bétail.

3.1.5. *Byssoschlamys nivea*

Cette moisissure se retrouve parfois dans la pulpe surpressée. Elle produit un feutrage blanc assez dense. Lorsqu'elle est présente en grandes quantités, elle peut produire une mycotoxine (patuline) qui entraîne un dysfonctionnement de la flore du rumen. Cette mycotoxine n'est normalement pas suffisamment présente dans les silos contaminés pour affecter gravement le bétail.

3.1.6. *Trichoderma* sp.

C'est une moisissure occasionnelle, d'un blanc éclatant. Certaines espèces peuvent produire des mycotoxines en laboratoire, mais elles ne seraient pas dangereuses dans les silos.

3.1.7. *Geotrichum candidum*

Geotrichum candidum est une levure (et non une moisissure) qui se développe fréquemment sur la pulpe ensilée. Elle se présente sous la forme d'une poudre blanche. Elle procure de l'amertume et une odeur rance. La pulpe contaminée a une moins bonne appétence et sera parfois refusée par l'animal.

3.1.8. Autres moisissures

Les espèces *Absidia*, *Acremonium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum* et *Mucor* sont peu fréquentes et sans effet particulier sur le bétail.

3.1.9. *Fusarium* sp.

Un genre de moisissures particulièrement dangereuses (*Fusarium* sp.) peut être isolé dans les ensilages mixtes de maïs et de pulpe, mais très rarement dans les silos de pulpe surpressée. Ce champignon comprend de nombreuses espèces (*F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. moniliforme*, *F. cerealis*,...) qui sont très souvent présentes dans les silos de maïs et de préfané. Ces moisissures sont des moisissures de plein champ, caractéristiques des céréales. Elles sont souvent présentes dans ces cultures, à la récolte. Elles produisent de nombreuses mycotoxines que l'on retrouve dans les ensilages. Ces mycotoxines (vomitoxine, zéaralénone,...) sont très nocives pour le bétail. Elles peuvent être retrouvées à des concentrations parfois très élevées (> 10.000 ppb pour la vomitoxine (déoxynivalénol - DON) ; > 3.000 ppb pour la zéaralénone - ZEA) dans les silos de maïs contaminés.

De façon générale, les porcs sont très sensibles à ces mycotoxines. Ils refusent un aliment contaminé par une teneur en vomitoxine de 1.000 ppb. Des avortements sont observés chez les truies avec des aliments dont la teneur en zéaralénone est de 50 ppb.

Les moisissures du genre *Fusarium* sp. ne sont pas observées dans les silos de pulpe de betterave, où la pulpe a été ensilée seule.

3.1.10. Bactéries butyriques

Les bactéries butyriques appartiennent principalement au genre *Clostridium*, ... Elles sont présentes dans la terre, la matière organique en décomposition, etc...

Leur développement dans la pulpe s'effectue, en absence d'air, à des températures comprises entre 10 et 50°C et lorsque le pH reste compris entre 4,6 et 5,5. Le processus de production de la pulpe en sucrerie réduit très fortement la contamination naturelle en spores butyriques (moins de 10² spores/g de MS).

Les conditions de stockage, de transport, d'ensilage et de désilage de la pulpe et le niveau de propreté de l'étable et de la salle de traite influent sur la teneur en spores butyriques. Une présence trop importante dans les aliments ou dans l'environnement immédiat du bétail laitier peut entraîner des dépassements de seuil en spores butyriques dans le lait.

**Les livraisons de pulpe destinées à être mises en silo
doivent être ensilées directement**

**Dans un silo de pulpe, l'air est l'ami des moisissures ;
il faut tout faire pour s'en débarrasser.**

**A l'œil, il est impossible de discerner
si une moisissure est nocive pour le bétail.**

**La consigne est d'éliminer systématiquement
toutes zones de pulpe moisie.**

**La règle absolue est de ne jamais nourrir les animaux
avec des aliments moisies.**

**Les animaux les plus fragiles (taurillons à l'engrais ou en
finition, jeunes veaux, vaches en fin de gestation)
sont les plus sensibles.
Un aliment moisi peut leur être fatal.**

Notice 01 Pulpe surpressée de betterave et production animale

En Belgique, la pulpe de betterave appartient à l'agriculteur betteravier. Si l'on considère qu'un hectare de betterave produit aujourd'hui plus de 65 t/ha de racines, cela signifie que, parallèlement à la production de sucre brut (> 10 t/ha), le betteravier produit, sur la même surface et sans frais directs supplémentaires, un aliment de grande valeur pour le bétail. En effet, un hectare de betterave produit également plus de 33 t de pulpe humide (> 10 % de MS), ou plus de 13,5 t de pulpe surpressée (22 % de MS) ou plus de 3,3 t de pulpe séchée ($\pm$ 90 % de MS). Lorsqu'un betteravier utilise la pulpe de betterave pour alimenter son bétail, sa superficie betteravière lui permet également de produire, selon son type de bétail, plus de 10.000 litres de lait ou plus de 900 kg de viande par hectare.

Les premiers essais de valorisation de la pulpe surpressée par ensilage ont été effectués en 1977 par les sucreries, en collaboration avec l'IRBAB et d'autres institutions de recherches. Le développement de la pulpe surpressée est allé de pair avec la réduction des quantités de pulpe à sécher, et donc avec la réduction des coûts énergétiques en sécherie.

La Belgique produit actuellement plus de 240.000 t de pulpe humide, plus de 1.200.000 t de pulpe surpressée et plus de 35.000 t de pulpe séchée, soit un total d'environ 330.000 t de matière sèche de pulpe par an. La tendance actuelle est à l'augmentation de la part produite sous la forme de pulpe surpressée. Quasi toute la pulpe est valorisée dans les exploitations ayant du bétail bovin, généralement situées dans les zones de culture betteravière ou à proximité.

Notice 02 Conservation de la pulpe à la ferme

En alimentation du bétail, la pulpe surpressée peut être utilisée directement et sans précautions particulières de conservation (tassement homogène, élimination de l'air, bâchage, etc....), mais sa durée de conservation « en frais » ou « à l'air libre » est alors relativement courte (2 à 3 jours, mais guère plus de 4 à 5 jours selon la température extérieure). Passé ce délai, la pulpe entreposée « à l'air libre » est très rapidement colonisée par des fermentations néfastes et par des moisissures. Dans ce cas, elle ne peut plus être utilisée comme aliment pour le bétail.

Par contre, la technique d'ensilage à la ferme, correctement réalisée, crée les conditions nécessaires au processus naturel et spontané de fermentation lactique. Cette fermentation se déroule uniquement en l'absence d'air (conditions anaérobies), obtenue par un tassement suffisant. La fermentation lactique, complètement réalisée à travers la totalité de la masse du silo, entraîne une acidification de la pulpe. Cette acidification permettra à la pulpe de conserver ses qualités nutritives, avec un minimum de pertes de substances. Complètement réalisée et en absence d'infiltration d'air, la fermentation lactique permet également d'éviter le développement de moisissures qui peuvent apparaître à l'intérieur du silo.

Notice 03 Utilisation alternative de la pulpe de betterave

Dans certains pays européens, la pulpe de betterave est une source intéressante de fibres diététiques pour l'alimentation humaine ou celle des animaux de compagnie.

En dehors de l'alimentation, la pulpe de betterave peut être utilisée comme substrat de fermentation ou de méthanisation industrielle, comme combustible primaire ou comme élément absorbant les métaux lourds et autres polluants dans les stations d'épuration d'eau. Elle est également utilisée comme composant alternatif pour la pâte à papier, pour la confection de panneaux composites isolants, d'écrans acoustiques ou de bétons cellulaires. Elle peut également servir d'élément absorbant dans les langes jetables pour bébé ou dans les litières d'animaux de compagnie. L'utilisation de la pulpe comme substrat de fermentation industrielle par des bactéries ou des champignons permet la production de molécules naturelles les plus diverses : enzymes, protéines, sucres, des arômes naturels de vanille, etc. L'hydrolyse de la pulpe fournit de nombreuses molécules à usage industriel. L'acide galacturonique et ses polymères, issus de la pectine de la pulpe de betterave, sont utilisés pour la fabrication de détergents ou de tensioactifs écologiques. Un dérivé de sa fermentation, l'acide lactique, peut servir d'élément de base pour produire des matières plastiques entièrement biodégradables.

Notice 04 Diffusion en sucrerie

La diffusion du sucre hors des cossettes est une étape essentielle pour la sucrerie. Elle doit être réalisée au départ de betteraves parfaitement lavées. Elle doit être maîtrisée en permanence pour assurer une stabilité et une régularité optimale, à l'abri de toutes infections microbiologiques intempestives. Cette étape dure de 45 minutes à 2 heures, selon le type de diffusion (horizontale ou verticale). Pendant cette étape, et selon le type de diffusion, la température de l'eau en contact avec les cossettes est d'environ 65° à 70°C et au maximum de 75°C. Les températures élevées (70 à 75°C) permettent de limiter les infections bactériennes thermophiles en diffusion. A la sortie des presses, la température de la pulpe diminue jusqu'à environ 60°C.

Selon la configuration de l'usine, les cossettes peuvent être préchauffées un court instant (échaudage) dans le jus d'extraction, afin d'altérer quelque peu la structure des membranes cellulaires. Cette altération facilite d'autant mieux la diffusion du sucre hors des cellules de la betterave. L'échaudage s'effectue soit via des échangeurs jus/cossettes qui amènent la température des cossettes à une température équivalente à celle de l'entrée en diffusion, soit via un réchauffement plus important (85°C ou plus) et bref, mais qui altèrera d'autant plus les membranes cellulaires.

Des températures trop élevées, un pH trop acide ($\text{pH} < 5,0$), des débits irréguliers ou des séjours accidentellement prolongés à ces étapes (échaudage, diffusion) nuisent à la bonne marche de la sucrerie comme à la qualité de la pulpe. Selon ces cas, de trop grandes quantités de fragments de pectine (constituant des parois cellulaires de la betterave, Figure 11) et d'autres colloïdes cellulaires sont libérés dans le jus d'extraction, ce qui perturbe les étapes ultérieures en sucrerie. La qualité de la pulpe de betterave sera d'autant plus fragilisée, au niveau de sa pectine, par des séjours trop prolongés et/ou par des températures trop élevées et par des niveaux de pH trop acides pendant ces opérations d'usinage ([Notices 10 & 17](#)).

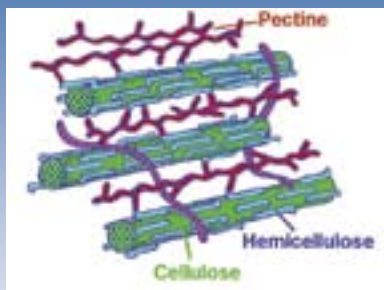


Figure 11 : La pectine est un élément qui contribue à la rigidité des parois cellulaires. Elle correspond à un réseau de fibres souples qui s'entrelace dans le réseau de fibres de cellulose et d'hémicellulose, plus rigides et qui constituent la paroi des cellules.

Notice 05 Contrôle des infections en diffusion

Des auxiliaires technologiques (produits anti-mousses, régulateurs de pH, produits dispersants, désinfectants), agréés pour l'industrie alimentaire, sont utilisés pendant la diffusion pour maîtriser le développement d'infections microbiologiques dans le jus d'extraction. En effet, aux températures élevées de la diffusion, des bactéries thermophiles du genre *Bacillus* (*B. stearothermophilus*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. cereus* ...) ou du genre *Clostridium* (surtout *Cl. thermosaccharolyticum* et *Cl. thermohydrosulfuricum*) présentes dans la terre accompagnant les betteraves, ou présentes dans l'eau de lavage, dans les eaux de presse ou dans l'eau d'appoint, peuvent se développer de façon intempestive dans le jus sucré et chaud. Ces bactéries produisent alors en excès de l'acide lactique ou d'autres acides organiques (acide butyrique, etc...) au départ du saccharose. Par les pertes en sucre qu'elles occasionnent, ces infections nuisent au process sucrier.

Aux doses standards d'utilisation (10 à 30 g/t de betterave selon l'auxiliaire technologique utilisé), ces désinfectants ne limitent pas drastiquement l'inoculum bactérien lactique nécessaire, par la suite, à la fermentation lactique de la pulpe ensilée.

D'autres procédés, tels que le nettoyage à la vapeur haute pression et chaude (> 75°C) des équipements, la stérilisation des eaux de presse par pasteurisation à 90°C, le débit d'approvisionnement en cossettes, la température de diffusion (< 75°C), la durée d'échaudage, la stabilisation du pH (entre 5,5 et 6,0),... permettent également de limiter le développement des infections particulièrement indésirables en diffusion.

Notice 06 Pressage de la pulpe

Pour faciliter le pressage des cossettes épuisées (= pulpe), la plupart des usines utilisent un adjuvant de pressage. Du gypse (forme soit naturelle soit reconstituée et purifiée de sulfate de calcium, répondant aux normes de qualité alimentaire) est le principal auxiliaire de pressage employé en Belgique. Cet auxiliaire de pressage rend la fibre de la pulpe plus rigide (en reliant entre eux, par des ions calcium, les constituants pectiniques des membranes cellulaires). Son utilisation est destinée à faciliter l'évacuation de l'eau hors des cossettes, lors du pressage, ce qui réduit la consommation d'énergie à cette étape. Aux doses standards d'utilisation (200 à 800 g/t de betterave), le sulfate de calcium n'a aucun effet, ni sur la fermentation, ni sur la qualité de la pulpe surpressée. Le chlorure de calcium ou le sulfate d'aluminium sont parfois utilisés comme adjuvant de pressage dans d'autres pays. Ils ne sont pas utilisés en Belgique. Certaines sucreries en Belgique n'utilisent aucun auxiliaire de pressage.

Une dégradation trop importante de la structure des membranes cellulaires des cossettes (= dégradation de la pectine) pendant la diffusion, ou la vétusté des presses augmentent les difficultés d'élimination de l'eau au cours du pressage. Ces conditions peuvent amener une surconsommation de gypse. L'excès de calcium, outre sa répercussion sur l'augmentation de la teneur en matières minérales dans la pulpe, peut également avoir, par un effet tampon, un effet légèrement défavorable sur le démarrage de la fermentation lactique. Son excès dans la pulpe favoriserait indirectement les fermentations butyriques non désirées.

A l'inverse, un pressage trop élevé de la pulpe (> 25 à 30 % de MS) peut réduire sa teneur en sucre et compromettre son aptitude à fermenter si celle-ci devient trop faible (< 2,5 % de la MS) ([Notice 10](#)).

Les acides organiques et l'acide lactique en particulier, produits entre certaines limites par l'activité bactérienne en diffusion, permettent

un pressage plus aisé de la pulpe. Le contrôle de ces infections est essentiel car une acidité trop élevée en diffusion pourrait dépasser un seuil d'altération de la pulpe.

05

06

Notice 07 Pulpe surpressée et inoculum bactérien

Actuellement en Belgique, aucun apport complémentaire de substances riches en sucres solubles (mélasse, éclats de betteraves, ...) et donc favorables au développement rapide de la fermentation lactique de la pulpe ensilée n'est effectué en sucrerie.

L'utilisation d'inoculum bactériens (tels que proposée pour les ensilages d'herbes ou de maïs) n'apparaît pas justifiée pour l'ensilage de la pulpe surpressée. La quantité de sucres solubles encore présente dans la pulpe (4 à 6 % de la MS) et les bactéries lactiques (minimum 10^2 à 10^3 unités/g de MS à la sortie des presses) suffisent, en conditions normales de production et d'ensilage, à initier la fermentation lactique ([Notice 10](#)).

Dans le même ordre, l'utilisation de produits du type « conservateurs d'ensilage » n'apporte pas d'amélioration sensible au niveau de la conservation de la pulpe surpressée.

Notice 08 Entreposage de la pulpe surpressée à la sucrerie

Comme dans une vinaigrierie ou dans une brasserie, l'atmosphère régnant dans une sucrerie est spontanément enrichie en bactéries spécifiques au procédé. Dans les sucreries, les équipements spécifiques à la production de la pulpe s'enrichissent spontanément en bactéries lactiques mésophiles (*Lactobacillus* sp.) présentes dans l'air ou dans la terre accompagnant les betteraves. Ces bactéries sont (encore) présentes dans la pulpe, après la diffusion.

À la sortie des presses et en conditions normales et stables de production, la pulpe surpressée présente une température comprise entre 55 et 60°C, un pH de $\pm 5,0$, une teneur en sucre de 4 à 6 % de la MS, une faible teneur en acide lactique (< 5 g/kg de MS) et une densité d'environ 400 kg/m³. Ces paramètres évoluent pendant le stockage dans la cour à pulpe et durant la livraison, suite au refroidissement (entreposage à l'air libre) et au démarrage de la fermentation lactique (à l'intérieur du tas entreposé).

Selon le type d'entreposage et d'évacuation de la pulpe après les presses (trémie d'attente, chute au sol avec ou sans projection, entreposage dans la cour à pulpe en un ou plusieurs tas d'attente, Figure 4), selon le délai d'entreposage à l'usine et la durée du transport, on peut observer une baisse de la température (5 à 10°C au moins), une baisse du pH (0,5 à 1 point environ) et une baisse de la teneur en sucre (± 1 point, soit jusqu'à plus de la moitié de la teneur en sucre si celle-ci est proche du minimum de 2,5 % de la MS à la production !). Un abaissement du pH de 0,5 à 1 point (dû à une légère augmentation de la teneur en acide lactique) peut être mesuré dans la pulpe entreposée pendant ± 12 heures dans la cour de l'usine.

Il convient donc de limiter les étapes de manipulation des tas de pulpe surpressée après sa sortie des presses et de la livrer rapidement pour ne pas perturber la fermentation lactique qui a démarré pendant les premières heures de

stockage à l'usine. Il faut éviter de déplacer ou de transporter inutilement la pulpe d'un endroit à l'autre avant son ensilage, au risque de la refroidir en dessous de 45°C (optimum de température pour la fermentation lactique) et d'interrompre, par des déplacements répétés, l'installation de la fermentation lactique.

Il conviendra également de veiller à la propreté du circuit effectué par la pulpe, entre la sortie du diffuseur et son arrivée sur l'aire de chargement (ou dans les trémies de chargement). Les infrastructures des presses à pulpe, des bandes transporteuses, les recoins et les zones de concentration ou de bourrages seront régulièrement débarrassés de la pulpe accumulée. Cette pulpe, altérée et rapidement colonisée par des moisissures ou par des bactéries mésophiles (en particulier celles du genre *Leuconostoc* qui produisent des amas de substances gluantes), ne sera en aucun cas mêlée ou évacuée avec la pulpe surpressée. L'aire de stockage sera régulièrement vidée, nettoyée, voire désinfectée (Figure 3).

Dans le même ordre, la pulpe produite pendant des périodes d'irrégularités au d'arrêts de la diffusion (Notice 17) et dont la qualité s'avérerait douteuse ne sera pas mêlée ou évacuée avec la pulpe surpressée.

Notice 09 Teneur en marc des betteraves

La teneur en marc est un élément pris en compte pour établir l'ayant droit de pulpe restituée aux agriculteurs betteraviers.

En effet, la teneur en marc correspond à la teneur en composants de la betterave qui subsistent après extraction complète à l'eau de tous les constituants solubles, selon le processus sucrier et selon les conditions de température, de pH, d'ajout de sulfate de calcium, de la qualité des eaux utilisées, de la durée d'extraction, etc. En résumé, elle correspond à la teneur en non sucres insolubles de la betterave. Elle permet d'établir la quantité de pulpe produite par une sucrerie.

La teneur en marc varie principalement en fonction du lieu et de la variété, plus qu'en fonction de l'année. Ces variations peuvent être de 20 %, comprises plus généralement entre 47 et 53 kg de MS/t.

La teneur en marc décroît au cours de la saison de végétation, et en fonction de l'augmentation de la teneur en sucre. Elle décroît également selon l'apport d'eau et, dans une moindre mesure, selon l'augmentation de la fumure azotée. Les variétés riches, ayant un peu plus d'anneaux vasculaires (cambium), ont une teneur en marc un peu plus élevée que les variétés lourdes.

En fait, la teneur en marc reflète la proportion de cellules et de parois cellulaires présentes dans la betterave (fonction du nombre d'anneaux de cambium) et qui ont été formées pendant la première phase de végétation (jusqu'avant l'été). Elle sera donc fonction de la teneur en éléments de la paroi cellulaire, c'est-à-dire en cellulose, hémicellulose et pectine, telles que retrouvées après le processus sucrier. La taille des cellules intervient également. Les betteraves avec des petites cellules auront une teneur en marc et en saccharose plus élevée. Des cellules trop volumineuses contiendront plus d'eau et auront une paroi plus fine.

07

08

09

On retrouve ici l'importance (de la fragilité) de la pectine des parois cellulaires et de leur subsistance au travers du processus sucrier. En effet, la cellulose et l'hémicellulose sont insolubles dans l'eau, la pectine est soluble en fonction de son degré de dégradation ([Notices 4 & 17](#)).

Les sélectionneurs de betteraves s'accordent à observer que la composition des polysaccharides des parois cellulaires (constituants du marc) des nouvelles variétés de betterave a évolué, entre autres au niveau de la pectine et de sa consistance et donc au niveau de sa rigidité. Dans le même ordre d'idées, des ingénieurs de sucrerie observent des différences de fragilité et de casse de pointes de racines, lors du lavage à l'usine, selon les années et les régions.

Notice 10 Teneur en sucre et qualité de la pulpe surpressée

La pulpe surpressée produite en Belgique a une teneur en sucres totaux comprise entre 4 et 6 % de la MS, selon les usines et la conduite de la diffusion. La teneur minimale garantie est de 2,5 % de la MS. Les sucres solubles, dont le saccharose principalement, sont transformés en sous-unités de glucose et de fructose par la fermentation lactique. Celle-ci transforme ensuite le glucose en acide lactique, qui assurera la conservation de la pulpe ensilée.

Une teneur en sucre inférieure à 2,5 % de la MS ne permet plus à la fermentation lactique de se dérouler dans des conditions optimales. Ceci permettra à d'autres fermentations ou moisissures de se développer dans la pulpe ensilée.

Les observations effectuées dans d'autres pays montrent qu'une teneur en sucres solubles supérieure à 5 % de la MS n'est pas indispensable, car le sucre excédentaire à ce niveau n'est pas transformé en acide lactique. Il se retrouve tel quel au désilage.

De nombreux pays pratiquent le mélassage de la pulpe surpressée (ajout de 2 à 3 % de mélasse) pour garantir le seuil optimal de 5 % de sucres fermentescibles. Grâce à un tel niveau de sucre, la fermentation lactique se réalise parfaitement et rapidement dans la totalité du silo. Elle limite très fortement le développement compétitif d'autres fermentations néfastes (fermentations butyrique et/ou pectinolytique réalisées par des bactéries du genre *Clostridium*).

Le mélassage de la pulpe surpressée augmente son aptitude à la conservation. Elle réduit proportionnellement les frais de surpressage en contribuant à l'obtention de la matière sèche finale désirée. Elle se pratique dans les pays où les débouchés de la mélasse de betterave sont plus aléatoires.

Parmi les conditions de production, néfastes à la qualité de la pulpe surpressée, on peut citer:

- une teneur trop faible en sucres solubles fermentescibles (épuisement excessif ou arrêt prolongé en diffusion),

- une présence trop faible de bactéries lactiques avant l'ensilage (stérilisation accidentelle) ([Notice 5](#)),

- une présence trop importante de bactéries non lactiques, ou d'autres spores (levures, moisissures,...). Lors d'infections, d'irrégularités ou d'arrêts prolongés en diffusion, ces microorganismes produisent des sucres invertis (saccharose dégradé en glucose et fructose), des enzymes pectinolytiques (pectate lyase, polygalacturonase) et des acides organiques (acides acétique, butyrique, lactique, etc.). La production de ces acides acidifient le pH de la diffusion et celui de la pulpe avant livraison. Ces enzymes et ces acides organiques dégradent d'autant plus la pectine de la pulpe qu'ils sont présents (hydrolyse acide) et que la température est élevée.

- une fragilisation de la pectine des parois cellulaires (arrêt prolongé en diffusion, échaudage trop élevé des cossettes, débit irrégulier en cossettes, etc.) qui altère sa structure (dégradation thermique) et favorise la formation de « pulpe grasse » ([Notice 17](#)).

Selon leurs importances, ces conditions peuvent affecter la qualité de la pulpe et donc sa capacité à être correctement ensilée et conservée à la ferme. Selon l'importance de la dégradation, cette pulpe sera plutôt utilisée en affouragement en direct ou évacuée plutôt que destinée à l'ensilage. Ces conditions accidentelles en diffusion (infections bactériennes, arrêts prolongés, pannes, etc.) se traduisent directement, au niveau de l'usine, par une perte de production de sucre.

Notice 11 Législation relative aux contaminants présents dans la pulpe

Légalement, la pulpe de betterave ne peut contenir de substances indésirables tels que des résidus de certains pesticides², de certains métaux lourds et autres éléments nocifs³, de certains micropolluants organiques et de mycotoxines⁴. Ces substances indésirables et leurs valeurs limites sont définies par diverses Directives Européennes et autres Arrêtés Royaux ou Ministériels belges.

De nombreux corps étrangers, de nature les plus diverses (fragments de cailloux, pierres, briques, bois, verre, plastiques, métal, canettes,...) se retrouvent parfois dans les chargements de betteraves. Malgré tout le soin apporté en sucrerie lors de l'étape de lavage, certains de ceux-ci (morceaux de plastiques, de canettes, ...) ne peuvent être systématiquement éliminés. Ils passent donc au travers des coupes racines. De taille réduite, ces corps étrangers peuvent encore être présents dans la pulpe, malgré toute la vigilance apportée par les sucreries avant et après l'étape des coupes racines. Il est donc du devoir du betteravier de veiller particulièrement, lors du chargement de ses betteraves, à éliminer ces corps étrangers et en particulier ceux qui pourraient être retrouvés dans la pulpe.

²: Les pesticides en question (aldrine, dieldrine, camphéchloré, endosulfan, lindane,...) ne sont plus agréés en Belgique

³: arsenic, plomb, mercure, cadmium, fluor

⁴: aflatoxines

Notice 12 Pulpe surpressée et troubles alimentaires des bovins

Des cas d'intoxications alimentaires (acidose, entérotoxémie) résultent souvent, chez les bovins, de l'utilisation de rations très énergétiques, c'est-à-dire très fermentescibles ou d'un changement trop brutal des rations alimentaires. Les jeunes vaches laitières et les jeunes taurillons, sont, comme les jeunes veaux qui sont mis trop rapidement à l'herbe, sensibles à ce phénomène.

Par sa teneur importante en hydrates de carbone facilement fermentescibles, la pulpe de betterave est un aliment qui stimule fortement l'activité bactérienne du rumen. Il faudra donc veiller à l'intégrer correctement dans une alimentation conforme du bétail.

L'acidose chez la vache laitière se manifeste par un ensemble de symptômes : diminution de la consommation; bouses plus liquides ; chute de la production laitière et de la teneur en matière grasse du lait; sensibilité plus élevée aux infections; mammites; fertilité défaillante.... Elle est souvent provoquée par un changement brusque de l'affouragement en première semaine de lactation et par des rations trop riches en énergie (trop de sucres et d'amidon) et ne contenant pas assez de cellulose structurée.

Les vaches en première lactation sont les plus exposées, car leur consommation de fourrage est plus faible que celle des vaches plus âgées. Avec les primipares, il faudra veiller à assurer une transition en douceur (3 à 4 semaines) entre les rations données avant et après vêlage. La plus grande erreur est de vouloir compenser un manque de cellulose structurée et un surplus en hydrates de carbone par des substances tampons (tels les bicarbonates), car la fonction microbienne de la panse n'est pas rééquilibrée.

L'entérotoxémie du bétail est également liée au stress et à un changement brusque de la ration. Ceci génère une disbactériose au niveau de la flore du rumen. Certaines bactéries des genres *Bacillus* et surtout *Clostridium*, naturellement présentes en quantités limitées dans le rumen,

peuvent, dans les cas graves, proliférer rapidement et produire des toxines responsables de troubles digestifs, voire cardiaques. Une de ces bactéries, *Clostridium perfringens*, se développe parfois rapidement en cas d'entérotoxémie, et de façon foudroyante lorsque l'animal en meurt ou dans les heures qui suivent sa mort.

L'entérotoxémie s'extériorise, au stade initial, par un ballonnement et un gonflement du ventre. En l'absence de paille dans la ration, elle peut être parfois très rapide, voire fatale pour l'animal et ce en moins d'une journée. L'entérotoxémie peut se produire également lorsque l'on donne de la pulpe avariée ou trop brutalement de la pulpe de qualité douteuse, sans complément de paille fraîche.

De la paille fraîche doit toujours être mise à disposition du bétail. Elle doit être idéalement placée dans des râteliers placés en hauteur et être remplacée fréquemment (tous les 2 jours) pour qu'elle ne prenne pas les odeurs de l'étable. Il faut s'assurer que le bétail ne délaisse pas la paille et veiller dans ce cas à donner les aliments appétissants (pulpe et farines, compléments protéinés) après la paille et non avant. Un taurillon doit ingurgiter au moins 1 à 2 kg/jour de fibres longues (paille ou foin). Une vache en début de lactation doit également en recevoir, au moins 0,5 kg/jour.

La pulpe avariée (mal fermentée ou mal conservée, [Notice 17](#)) sera généralement refusée par le bétail. Elle ne pourra jamais être administrée au jeune bétail à l'engrais ou en finition, ni aux vaches porteuses, ni aux jeunes veaux. La pulpe moisie ne sera jamais utilisée en alimentation du bétail.

Un refus de l'animal de s'alimenter avec de la pulpe surpressée apparemment correcte peut être parfois lié à une teneur anormalement élevée en calcium, qui modifie la pression osmotique du rumen. Une teneur trop élevée en soufre est aussi un élément de refus. Celle-ci ne peut dépasser le seuil de 3 g/kg de MS sous peine d'entraîner une baisse d'appétit et des blocages d'assimilation, en particulier pour le Cu et le Zn. Exprimée en ions sulfates, la teneur ne peut dépasser 10 g/kg de MS.

Compte tenu de la présence naturelle du soufre dans la pulpe et en supposant un taux de fixation maximum (30 %), l'addition d'acide sulfurique (auxiliaire de diffusion en sucrerie permettant une légère acidification de celle-ci) sera limitée à 1.300 g/t de betterave. La dose d'utilisation de l'acide sulfurique en sucrerie en Belgique est d'environ 200 g/t de betteraves. Le dioxyde de soufre (SO_2 - gaz à odeur âcre), abandonné par la plupart des sucreries en Belgique, était utilisé à raison de 150 à 350 g/t de betterave. En présence de SO_2 , certaines infections bactériennes thermophiles, présentes en diffusion (*Clostridium thermohydrosulfuricum*), peuvent produire de l'hydrogène sulfureux (H_2S), composé plutôt nauséabond, même à très faible concentration.

Notice 13 Ensiler de la pulpe surpressée de bonne qualité

Les sucreries veillent à produire une pulpe ayant une teneur en matière sèche de 22 %. De plus, de nombreux points d'attention sont maîtrisés tout au long du processus sucrier pour produire, de façon régulière, une pulpe de qualité ([Notices 4 à 11](#)).

La matière sèche est un élément important dans la réussite d'un ensilage. Une matière sèche trop faible peut perturber les opérations d'ensilage en rendant les opérations d'étalement et de tassement plus difficiles. C'est le cas lorsque celles-ci sont effectuées avec un engin qui roule sur le silo (tracteur avec roues jumelées,...). Une matière sèche trop élevée (pressage trop important de la pulpe) peut diminuer la quantité de sucres solubles nécessaire à la fermentation lactique ([Notice 6](#)). Elle peut tout autant perturber les opérations d'ensilage, dans certains cas, selon l'engin de tassement utilisé et le type de roues.

Notice 14 Respecter les dimensions du silo

À l'ouverture et afin d'éviter le développement de moisissures et d'autres micro-organismes néfastes (bactéries, levures,...) sur le front d'avancement, un silo de pulpe surpressée doit avancer d'au moins 1 m/semaine, surtout en été. Les dimensions d'un silo seront donc fonction de la quantité de pulpe consommée par semaine, tout en veillant à ne pas dépasser un volume de silo trop important ([Notice 15](#)) pour permettre un refroidissement idéal de la masse ensilée. Il sera toujours plus intéressant et plus aisé de réaliser plusieurs silos de taille satisfaisante plutôt qu'un seul silo de trop grandes dimensions et dont le refroidissement

et la conservation ne seront pas optimales ([Notice 16](#)).

Sachant la quantité de pulpe consommée par semaine (fonction du type de bétail, de la quantité consommée par bête et par jour et du nombre de bêtes) (tableau 4), on peut facilement établir les dimensions optimales d'un silo (tableau 5). Le tableau 4 est établi pour une densité de tassement de 850 kg/m³ de la pulpe et pour une largeur de silo correspondant à un multiple de 1,80 m (largeur moyenne des engins de désilage).

Si le désilage s'effectue en libre-service, on veillera à ne pas dépasser 1,80 m de hauteur et à prévoir un avancement de 25 cm par gros bovin.

	kg de pulpe consommée par bête et par jour			
	10	20	30	40
Nombre de bêtes	tonnes/semaine			
10	0,7	1,4	2,1	2,8
20	1,4	2,8	4,2	5,6
30	2,1	4,2	6,3	8,4
40	2,8	5,6	8,4	11,2
50	3,5	7,0	10,5	14,0
60	4,2	8,4	12,6	16,8
70	4,9	9,8	14,7	19,6
80	5,6	11,2	16,8	22,4
90	6,3	12,6	18,9	25,2
100	7,0	14,0	21,0	28,0

Tableau 4: Quantité de pulpe utilisée par semaine en fonction de la quantité consommée par bête et par jour et du cheptel.

	Hauteur en mètres		
	1	1,5	2
Largeur en mètres	tonnes/semaine		
3,6	3,1	4,6	6,1
5,4	4,6	6,9	10,3
7,2	6,1	9,2	12,2
9,0	7,6	11,5	15,3

Tableau 5: Quantité minimum de pulpe à désiler par semaine en fonction de la hauteur et de la largeur du silo.

Exemple: Un troupeau de 50 bovins ayant une ration journalière individuelle à base de 30 kg de pulpe surpressée en consommera 10,5 t/semaine (tableau 4). Les dimensions de silo (tableau 5) qui correspondent à une quantité inférieure à 10,5 t/semaine peuvent être utilisées, comme par exemple une hauteur de 2 m et une largeur 5,4 m.

N.B.: Pour des cheptels plus importants, il est évident qu'il faudra prévoir plusieurs silos de pulpe surpressée.

Notice 15 Ne pas dépasser une hauteur d'ensilage de 2 m...

La pulpe surpressée est 3 à 5 fois moins riche en sucres solubles que le maïs ou l'herbe au moment de l'ensilage. Par contre, livrée dans les 24 heures qui suivent la sortie des presses, elle est encore suffisamment chaude ($> 45^{\circ}\text{C}$) et contient spontanément des germes de bactéries lactiques provenant du lavage des betteraves et de la diffusion. Ces germes correspondent à des bactéries lactiques mésophiles (*Lactobacillus* sp.) qui ont survécu aux températures élevées de la diffusion.

La pulpe étant livrée chaude, ces bactéries (p. ex., *L. delbrückii* qui a un optimum de développement entre 45 et 50°C) seront les premières à pouvoir se multiplier et coloniser rapidement tout le silo, pour autant que toutes les conditions d'ensilage soient réunies et que ces bactéries ne soient pas en compétition avec d'autres micro-organismes. On veillera donc à ne pas manipuler et déplacer inutilement la

pulpe avant son ensilage, pour ne pas la refroidir et l'aérer de façon trop importante.

On observe une chute de la température (environ 5 à 10°C), lors de la confection correcte d'un silo (étalement régulier de la pulpe par couches successives). La température décroît ensuite, de façon plus lente, mais régulière, soit de $1^{\circ}\text{C}/\text{jour}$ en théorie.

Autrement dit, la température doit être d'au moins 45°C pendant les premiers jours qui suivent l'ensilage pour favoriser l'envahissement de la pulpe par les bactéries lactiques. Cette température doit ensuite décroître et tendre vers la température ambiante après 2 à 3 semaines. Ce refroidissement est nécessaire pour éviter une dégradation ultérieure de la structure de la pulpe (dégradation thermique) résultant d'un séjour trop prolongé dans un environnement trop chaud (Notices 16 à 18).

Un silo qui ne dépasse pas une hauteur de 2 m et une largeur de 8 m permet un refroidissement régulier de la pulpe ensilée (Figure 12.).

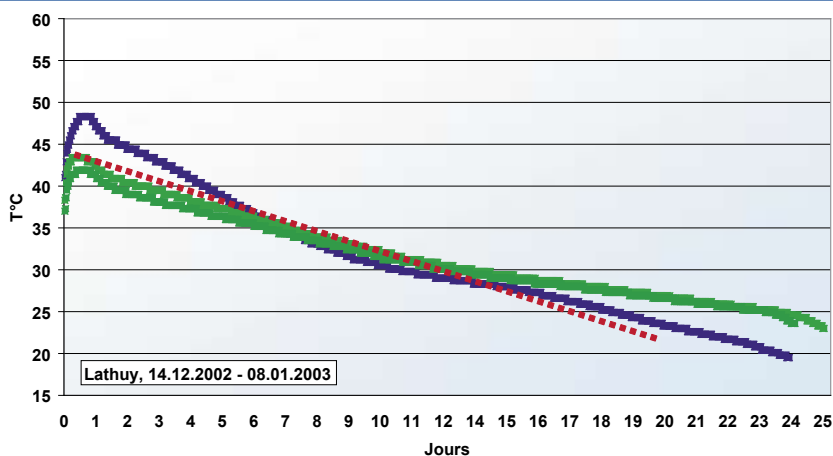


Figure 12 : Refroidissement de la pulpe, dans un silo de hauteur correcte (< 2 m). Après 2 semaines, la température au centre du silo (à 1 m de hauteur) devient inférieure à 30°C . La ligne pointillée en rouge correspond au refroidissement théorique ($1^{\circ}\text{C}/\text{jour}$).

Notice 16 ... pour assurer un refroidissement régulier du silo ...

La figure 12 illustre le refroidissement régulier d'un silo de pulpe, de taille réduite (< 250 t) et d'une hauteur < 2 m. Les températures à l'intérieur du silo ont été enregistrées au cours des trois premières semaines qui ont suivi sa confection. On observe que les températures (enregistrées à 3 endroits au centre du silo et à 1 m de hauteur) refroidissent rapidement. Une légère augmentation de la température ($\pm 5^{\circ}\text{C}$, dégagement de chaleur produit par la fermentation lactique ou par d'autres fermentations enzymatiques aérobies) est observée pendant les premiers jours. Après 3 semaines, la température initiale ($\pm 40^{\circ}\text{C}$) a correctement refroidi, mais est encore supérieure à 25°C . L'évolution du refroidissement est proche de la ligne pointillée en rouge, qui correspond au refroidissement théorique ($1^{\circ}\text{C}/\text{jour}$). Le fait que ce silo et ces mesures aient été effectués au cours d'une période de températures hivernales (comprises entre 0 et 10°C) n'est pas déterminant ; cette diminution de la température est similaire dans des silos comparables, réalisés en automne.

Notice 17 ... et limiter l'apparition de « pulpe grasse » ...

Un phénomène similaire à celui d'une « lente cuisson » de la pulpe peut être observé lorsque la température de la pulpe ensilée reste trop longtemps (> 3 semaines) trop chaude (> 45°C). Ces conditions sont favorables à l'apparition de zones de pulpe collante et jaunâtre, appelée « pulpe grasse ». Cette pulpe est souvent rencontrée dans les couches inférieures des silos (plusieurs dizaines de centimètres, voire plus d'un mètre !), lorsqu'ils sont trop hauts ou confectionnés sur un silo de maïs, ensilé le même jour (Figure 14). Elle est considérée à tort comme de la pulpe humide. Son aspect au toucher est similaire à celui de la pulpe humide, mais sa matière sèche est proche de celle mesurée lors de sa livraison. À l'air, la coloration jaunâtre disparaît rapidement.

Cette « pulpe grasse » présente en fait une structure et une résistance mécanique déficiente car les parois cellulaires ont été dégradées au niveau de leurs constituants pectiniques. Cette dégradation est dans ce cas d'origine thermique (La dénaturation thermique de la pectine résulte d'une réaction de β -élimination des liaisons chimiques qui relient les sous unités des chaînes d'acide galacturonique qui forment les zones lisses de la pectine). Cette dégradation est d'autant plus favorisée par le pH de la pulpe que celle-ci est devenue entre temps d'autant plus acide. Elle peut également résulter de l'activité de levures et de bactéries pectinolytiques (*Bacillus megaterium*, *Clostridium acetobutylicum*, ...), qui peuvent se développer dans la pulpe si les conditions leurs sont favorables. Ces bactéries dégradent les hémicelluloses et la pectine, par hydrolyse enzymatique (où interviennent des enzymes de type hémicellulase, pectate lyase et polygalacturonase) (voir plus loin dans la [Notice 17](#)).

La pectine est un élément qui contribue à la rigidité des parois cellulaires. Elle correspond à un réseau de fibres souples qui s'entrelace dans le réseau de fibres de cellulose et d'hémicellulose, plus rigides et qui constituent

la paroi des cellules (Figure 11). L'aspect « gras » de la pulpe signifie qu'une partie de la pectine a été dégradée en substances plus élémentaires, mucilagineuses (arabanes) et collantes, qui peuvent être fractionnées jusqu'au stade de l'acide acétique (forte odeur de vinaigre) par des fermentations ultérieures (*Lactobacillus buchneri* et *Streptococcus* sp.).

Les silos où le refroidissement est trop lent (c'est-à-dire où les conditions sont favorables à l'apparition de « pulpe grasse ») sont le plus souvent :

- les silos couloirs de grande capacité et ayant une hauteur > 2 m, combinée à une largeur > 8 m. Dans ce cas, le centre du silo a tendance à conserver trop longtemps une chaleur supérieure à 45°C (Figure 13),
- les silos trop grands, accolés l'un à l'autre où adossé à un bâtiment chauffé,
- les silos trop hauts, confectionnés dans un talus,
- les silos confectionnés sur/sous un silo de maïs, récemment ensilé (Figure 14). La température d'un silo de maïs atteint généralement

20 à 25°C pendant les premiers jours qui suivent son ensilage. Cette chaleur supplémentaire et le pouvoir isolant du maïs allongent considérablement la durée de refroidissement de la pulpe située au dessus ou en dessous (Figure 15),

- les silos taupinières dont un des côtés est exposé au Sud. Lorsque le temps est très ensoleillé et trop chaud pour la saison, les bâches plastiques noires placées sur les côtés pourraient accumuler, dans la pulpe, une quantité supplémentaire de chaleur.

Dans le même ordre d'idées, un silo exposé aux vents refroidira mieux qu'un silo placé dans un talus ou accolé à un autre silo ou à un bâtiment. Une reprise de fermentation, consécutive à un mauvais tassement, peut également être à l'origine d'un réchauffement interne du silo.

Notons toutefois qu'il est possible d'obtenir un ensilage de pulpe de bonne qualité, dans des silos un peu trop volumineux (hauteur > 2 m et largeur > 8 m), pour autant que la pulpe (de bonne qualité) ait été ensilée en l'étalant soigneusement par couches successives, pour favoriser son refroidissement initial et son évaporation ([Notices 22 & 26](#)).

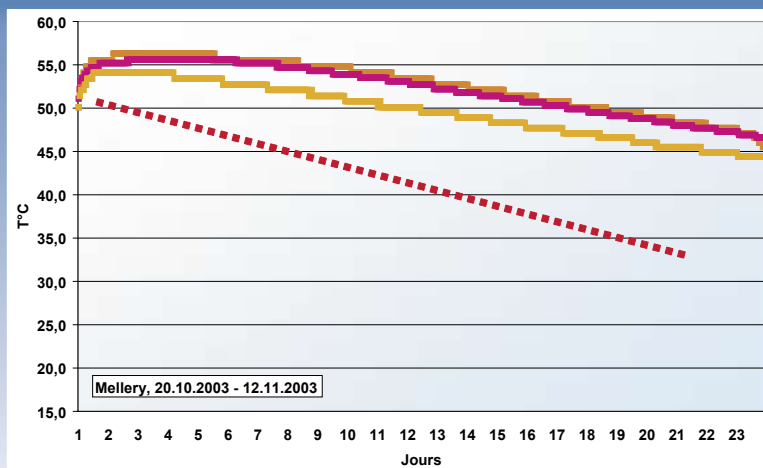


Figure 13 : Refroidissement trop lent de la pulpe dans un silo de plus de 2 m. Après 2 semaines, la température au centre du silo (à 1 m de hauteur) est encore supérieure à 50°C. La ligne pointillée en rouge correspond au refroidissement théorique (1°C/jour).

La figure 13 illustre le refroidissement observé dans un silo volumineux de pulpe (> 800 t ; hauteur > 2 m et largeur > 8 m). Les températures à l'intérieur du silo ont été mesurées au cours des trois premières semaines qui ont suivi sa confection. On observe que les températures (enregistrées à 3 endroits au centre du silo, à 1 m de hauteur) refroidissent trop lentement. L'augmentation de la température ($\pm 5^\circ\text{C}$, due à la fermentation lactique ou à des fermentations enzymatiques aérobies) est observée pendant une période d'une semaine au moins. La température est restée à $> 50^\circ\text{C}$ pendant 2 semaines. La structure de la pulpe a été altérée par la chaleur persistante et est devenue grasse. En raison d'une hauteur trop importante, le refroidissement théorique ($1^\circ\text{C}/\text{jour}$) n'a pu être respecté.

La figure 15 illustre le refroidissement observé dans un silo relativement grand de pulpe (500 t, hauteur = 2 m), mais sur lequel un silo de maïs a été ensilé le même jour, sur la moitié

environ du silo de pulpe. Les températures à l'intérieur de la partie du silo de pulpe non recouvert de maïs ont été suivies au cours de la première semaine (à 2 endroits et à 1 m de hauteur, lignes bleu vert). Ces températures montrent un refroidissement correct. La pulpe de cette zone présentait une qualité satisfaisante au désilage.

On observe aussi que la pulpe ensilée sous le maïs (mesurée à 2 endroits et à 1 m de hauteur, lignes rouge orange) a été ensilée plus froide ($< 45^\circ\text{C}$). Elle refroidit par contre beaucoup plus lentement, la couche de maïs faisant office de couche isolante. Après 1 mois, la température dans ces zones est encore $> 35^\circ\text{C}$. Elle est encore d'environ 30°C après 2 mois. Dans ces zones, la pulpe a été altérée par la chaleur prolongée et était devenue grasse. L'idéal aurait été, dans ce cas, d'ensiler d'abord le maïs, puis la pulpe par-dessus et d'attendre 1 à 2 semaines entre les 2 opérations d'ensilage.



Figure 14 : Présence de pulpe grasse dans un silo de pulpe ensilé le même jour sur un silo de maïs. La pulpe à cet endroit n'a pu refroidir normalement. Une lente « cuisson » a modifié sa structure en la transformant en pulpe grasse de couleur jaunâtre ([Notice 17](#)).

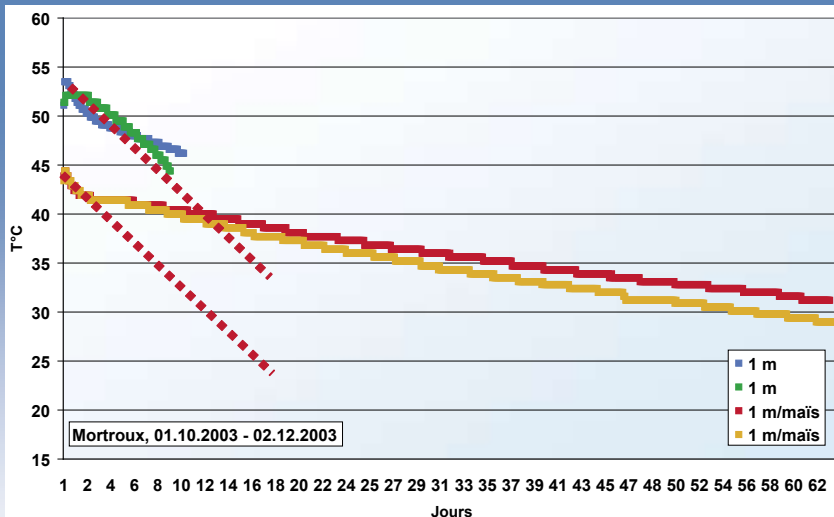


Figure 15 : Refroidissement trop lent d'un silo de pulpe sur la moitié duquel un silo de maïs a été placé le même jour, chacun des silos ne dépassant pas 2 m de hauteur. Après 1 mois, la température au centre de la pulpe (à 1 m de profondeur) sous le maïs est encore supérieure à 35°C. Elle est encore d'environ 30°C après 2 mois. La pulpe ensilée sans maïs au dessus refroidit normalement (mesures effectuées pendant 10 jours seulement). La ligne pointillée en rouge correspond au refroidissement théorique (1°C/jour).

Une très mince couche de « pulpe grasse » (de quelques centimètres seulement) est parfois observée à la base des silos, au niveau du sol (Figure 16). Cette pulpe présente une odeur âcre ou désagréable, elle a également été dégradée en « pulpe grasse ». Dans ce cas, sa dégradation résulte de l'activité de bactéries pectinolytiques (hydrolyse enzymatique).

Lors de l'ensilage, au niveau du sol, la première couche de pulpe étalée peut être trop brusquement refroidie. Sa température atteint alors trop rapidement celle du sol (5 à 15 °C). Des levures et des bactéries butyriques et/ou pectinolytiques (*Bacillus*, *B. megaterium*, *Clostridium* sp., ...) peuvent ainsi se développer, grâce à une température trop froide à ce niveau et à laquel-

le la fermentation lactique ne peut se développer correctement. Cette fine couche de pulpe, qui a subi d'autres types de fermentation (fermentation butyrique,...), dégage une odeur déplaisante, voire âcre et nauséabonde, différente de celle de la pulpe correctement fermentée. Cette pulpe présente également un aspect très gras et une forte coloration jaune orange, qui disparaît rapidement à l'air. Elle n'est pas très appréciée par le bétail.

Dans les silos trop hauts, il n'est pas rare d'observer, dans la partie inférieure, une continuité entre cette petite zone de pulpe grasse et celle plus importante résultant de la dégradation thermique.



Figure 16 : Une mince couche de pulpe grasse est parfois observée à la base des silos, au niveau du sol. Cette pulpe présente une odeur âcre ou désagréable. Sa dégradation résulte en général de l'activité de bactéries pectinolytiques ([Notice 17](#)).

Occasionnellement, la présence de pulpe « grasse » dans un silo peut avoir été induite ou favorisée, à la sucrerie, par une élévation accidentelle de la température ou par un ralentissement, voire une interruption du transit des cossettes pendant leur usinage (au cours de l'échaudage ou de la diffusion) ou encore par une acidification brutale du jus de diffusion ([Notices 4, 5 & 10](#)). Un ajout momentané d'antimousse, destiné à « gaver les presses », ou des développements bactériens ultérieurs peuvent favoriser l'aspect gras ou collant et compacté de la pulpe ([Notices 6 & 8](#)). Dans ces conditions et généralement, la pectine de la pulpe a été (un peu) trop dégradée. De ce fait, la pulpe peut présenter un aspect collant et gras, déjà à la sortie des presses. Elle présente alors des blocs compacts de pulpe grasse, qui ne se désagrègent pas. Ces blocs dégagent une odeur

acidulée et âcre caractéristique, différente de celle produite par la fermentation lactique. Le pH de cette pulpe, à la sortie des presses, est déjà inférieur à 4,0 et atteint même une valeur de 3,5. Des acides organiques de fermentation peuvent être présents, mais en quantités trop importantes pour cette stade (acide lactique > 5 g/kg MS, acide acétique > 2 g/kg MS). La teneur en sucres solubles peut apparemment être correcte, mais les sucres invertis peuvent y être présents en trop grandes quantités (glucose + fructose > 5 % MS). Ces divers éléments reflètent une dégradation de la pulpe au cours de sa production, néfaste à sa conservation par ensilage. Selon l'importance de la dégradation, l'utilisation de cette pulpe sera plutôt affectée à un affouragement en direct ou évacuée plutôt que destinée à l'ensilage.

Ces diverses circonstances (températures trop élevées, pH trop acide, séjour prolongé dans la diffusion – hydrolyse thermique, hydrolyse acide et/ou hydrolyse enzymatique) augmentent l'altération des parois cellulaires des cossettes. Celles-ci vont alors libérer des quantités trop importantes de fragments de pectine et d'autres colloïdes dans le jus de diffusion. Ces excès de pectine en suspension perturbent les étapes d'épuration, de filtration du jus de diffusion et de cristallisation du sucre blanc. La dégradation trop importante de la pectine peut également produire des pigments (monomères d'acide galacturonique, ...) qui nuiront à la blancheur du sucre. Pour ces diverses raisons, les responsables du process sucrier veillent à limiter la dégradation des parois cellulaires des cossettes.

Notice 18 ... qui favorise les éboulements et le développement ultérieur de moisissures

Sous le poids de la couche supérieure de pulpe, les zones instables de « pulpe grasse » glissent facilement hors du silo (Figure 17). Ce glissement entraîne l'éboulement de blocs de pulpe (de plusieurs tonnes) et l'apparition de fissures et de zones de fractures à l'arrière du front d'avancement. L'arrivée de l'air dans ces nouvelles fissures favorise le développement rapide des moisissures. Ces moisissures, situées au-delà du front de prélèvement, se développeront souvent plus rapidement que l'avancement du prélèvement, surtout en été.

Il arrive que certains éleveurs persistent à réaliser des silos de pulpe de hauteur trop élevée (> 2 m) en parvenant à limiter les glissements consécutifs aux zones de « pulpe grasse ». Pour ce faire, ils étalent la pulpe lors de l'ensilage et ouvrent ensuite leur silo du côté opposé à celui du chargement. Ils ont surtout un débit important d'utilisation de la pulpe.



Figure 17 : Les silos trop volumineux (hauteur > 2 m, largeur > 8 m) sont favorables à la formation de zones de pulpe grasse. Ces zones, instables, glissent facilement hors du silo

Notice 19 Bien organiser les opérations d'ensilage pour travailler rapidement

Bien organiser les opérations d'ensilage signifie d'abord un bon respect du planning de livraison convenu de part et d'autre entre la sucrerie et l'utilisateur. Il convient ensuite d'assurer ensuite une bonne coordination des engins d'ensilage, surtout lors d'un ensilage en silo boudin ([Notice 28](#)).

La pulpe est livrée chaude. Elle doit être ensilée rapidement pour ne pas perturber la fermentation lactique qui a démarré spontanément dans les heures qui suivent sa sortie des presses ([Notice 8](#)). Il faut donc veiller à ne pas allonger le temps de livraison et réduire au minimum le nombre de manipulations. Il faut veiller également à réaliser le silo en une fois et sans interruptions importantes. Si une interruption importante devait se produire (plus de 12 heures), il faudra agir pour la partie déjà ensilée comme pour un silo à part entière (étalement, tasser, fermer provisoirement). La pulpe doit être idéalement ensilée dans les 24 heures qui suivent sa sortie des presses.

A l'inverse, une température trop froide ($< 30^{\circ}\text{C}$) de la pulpe au moment de l'ensilage sera peu propice au développement des bactéries lactiques. Le développement d'autres fermentations (butyrique,...) sera dans ce cas favorisée, ce qui nuira au potentiel de conservation de la pulpe ensilée. Il a été démontré que l'ensilage à froid de la pulpe surpressée entraîne un pH insuffisant, une teneur beaucoup trop importante en acide butyrique et une mauvaise qualité de conservation de la pulpe.

La cadence de livraison devra également permettre à l'éleveur d'ensiler régulièrement la pulpe, sans périodes d'attentes trop longues entre deux livraisons (refroidissement significatif des couches exposées), mais également sans intervalles trop courts qui inciteront celui-ci à ensiler sa pulpe trop précipitamment, en ne disposant plus du temps nécessaire pour un étalement et un tassement régulier.

Notice 20 Ensiler la pulpe sur un emplacement adéquat et propre

L'emplacement d'ensilage doit être aisément accessible et stable (surface stabilisée ou bétonnée), avec des parois rigides (silo couloir avec parois rigides ou silo boudin). Les silos taupinières ([Notice 29](#)), n'ayant pas de parois rigides, ne permettent pas un tassement parfaitement homogène de la pulpe, sur toute la hauteur du silo.

L'emplacement du silo et les abords doivent être propres et débarrassés de toutes souillures (restes d'ensilage antérieur, terre, fumier...). Les abords du silo doivent permettre aux camions de manœuvrer aisément, sans rouler sur la pulpe.

Dans un silo couloir, il faut également veiller à placer au mieux une bâche plastique neuve sur chacune des parois latérales. Les bâches latérales limitent les infiltrations d'eau par les côtés du silo ([Notice 26](#)). Elles protègent également le béton contre l'acidité de la masse ensilée. La base de chacune de ces bâches doit couvrir le sol en partie (au moins 1 m). Le dessus (au moins 1 m) sera replié sur le sommet du silo, pour éviter les infiltrations d'eau (Figure 21).

Notice 21 Travailler avec des engins rigoureusement propres

Pendant les opérations d'ensilage, il faudra éviter toutes souillures (terre, fumier,) afin de limiter l'introduction de germes néfastes (moisissures, bactéries issues de la terre, du fumier...) dans le silo. Une trop grande contamination de la pulpe par des bactéries telluriques (présentes dans le sol tels *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium butyricum*, ...) ou présentes dans les matières fécales (*Listeria monocytogenes*, ...) entraîne des troubles digestifs ou nerveux chez le bétail.

Selon l'affectation des camions, les bennes transportant la pulpe seront donc lavées, surtout si elles ont servi à des chargements de betteraves ou à d'autres transports. Certaines sucreries disposent d'une installation de lavage pour ces bennes.

A la ferme, l'engin utilisé pour étaler et tasser la pulpe devra rester en permanence sur le silo ou sur des abords propres. Il ne pourra pas être utilisé pour d'autres tâches ou rouler sur de la terre pendant toute la durée de la confection du silo.

Le degré de contamination d'un silo par des souillures peut être exprimé par le rapport $\text{NH}_3/\text{N}_{\text{tot}}$. Ce rapport donne un aperçu du niveau de dégradation des protéines (protéolyse), réalisée par la flore butyrique qui dégrade les protéines. La teneur en azote ammoniacal doit être inférieure à 5 à 7 % de la MS. Une teneur en azote soluble de 20 % indique une bonne conservation des matières azotées.

Notice 22 Étaler et tasser de façon homogène et suffisante...

Il faut veiller à tasser de façon homogène, en étalant la pulpe sur toute la longueur du silo et par couches successives horizontales de 20-30 cm pour bien en chasser toutes les poches d'air (Figure 5). Cet étalement permet au besoin de faciliter le refroidissement et l'évaporation de la vapeur d'eau si la pulpe est particulièrement chaude à la livraison. Cet étalement permet d'obtenir une densité de tassement suffisante ($> 800 \text{ kg/m}^3$) et surtout homogène sur toute la hauteur du silo.

La cadence de livraison de la pulpe est également un élément de réussite de l'ensilage. Un intervalle de temps trop court entre les camions de livraison incite les éleveurs à réaliser un tassement sommaire et très hétérogène. Dans ce cas, la pulpe est poussée par gros paquets, l'un contre l'autre, et en les relevant au moyen d'un engin muni d'une pelle frontale, jusqu'à la hauteur désirée. L'ensemble du silo est ensuite tassé en une fois, en roulant par-dessus avant sa fermeture. Dans ce cas, seules les couches superficielles seront plus ou moins correctement tassées.

Un ensilage réalisé rapidement en poussant l'une contre l'autre les livraisons, bennées directement dans le silo, et en tassant ensuite grossièrement le tout en une fois ne répond pas aux règles de l'ensilage. En voulant gagner du temps et se faciliter le travail en n'étalant pas la pulpe, l'éleveur réalise un silo relativement hétérogène, ce qui réduit le potentiel de conservation de la pulpe surpressée. De plus, lors d'un ensilage trop rapide, la pulpe aura tendance à conserver plus longtemps sa température de livraison et à devenir grasse, si elle a été ensilée dans un silo trop haut (Notice 17) ou sur un silo de maïs (Figure 18). De même, son évaporation éventuelle se réalisera difficilement, ce qui nuira également à sa conservation (Notice 26).



Figure 18 : Silo de pulpe réalisé directement sur un silo de maïs. La pulpe a été ensilée par couches obliques, en poussant les différentes livraisons l'une contre l'autre, sans les étaler. La formation de pulpe grasse, favorisée par le silo de maïs, accentue l'instabilité des couches de pulpe qui glissent en fonction de l'inclinaison des couches faites à l'ensilage.

Notice 23 ... pour créer un milieu anaérobie et obtenir rapidement un pH acide...

La fermentation lactique transforme les sucres solubles présents dans la pulpe en acide lactique. Ceci entraîne une augmentation rapide du niveau d'acidité (niveau de pH) de la pulpe. Cette fermentation est réalisée principalement par des bactéries lactiques mésophiles dites homofermentaires (homolactiques). Elles produisent deux molécules d'acide lactique au départ d'une molécule de glucose (issu du saccharose). Ces *Lactobacillus* sont déjà présents dans la pulpe entreposée à l'usine (10^3 à 10^4 spores/g de MS). En l'espace de 10 à 15 h après la sortie des presses, la flore lactique augmente rapidement et atteint 10^7 à 10^8 spores/g de MS. Le pH de la pulpe atteint alors une valeur d'environ 4,5. Le maximum d'activité des *Lactobacillus* est atteint après 48 h et leur population atteint 10^9 spores/g de MS ([Notice 8](#)).

A partir d'un niveau de pH inférieur à 4,0, le développement des micro-organismes aérobies et d'autres fermentations (moisissures, fermentations butyriques, bactéries coliformes,...), nuisibles à la conservation, commence à être inhibé.

La pulpe subit également une fermentation acétique, réalisée par des bactéries hétérolactiques qui produiront une quantité non négligeable d'acide acétique. Ces *Lactobacillus* hétérofermentaires produisent une molécule d'acide lactique au départ d'une molécule de glucose, avec production d'éthanol, de CO_2 ou d'acide acétique. L'activité de ces bactéries est bloquée lorsque l'acidification de la pulpe atteint un niveau de pH inférieur à 4,2.

Une valeur optimale de pH ($3,6 \pm 0,2$) est atteinte après quelques jours (Figure 19), en fonction du développement des bactéries lactiques. A cette valeur de pH (et en l'absence d'air), le développement des autres micro-organismes est complètement stoppé. Cette acidification doit ensuite se stabiliser. C'est pourquoi il est recommandé d'attendre une

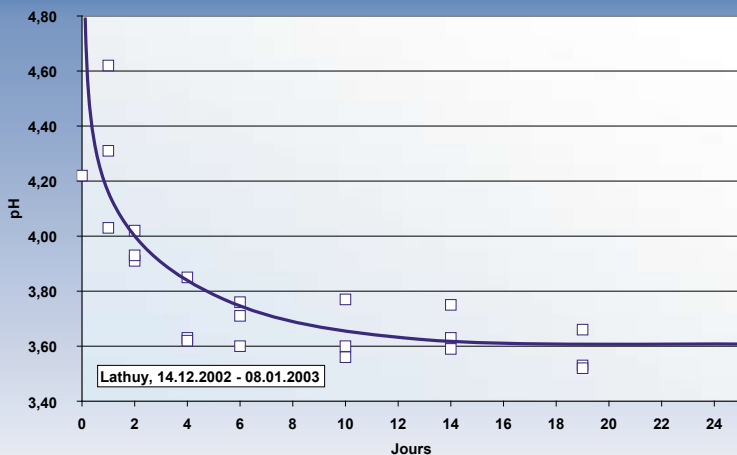


Figure 19 : Diminution du pH de la pulpe au cours des premiers jours qui suivent son ensilage. La valeur idéale de 3,6 est atteinte après 10 jours et se stabilise par la suite ([Notice 23](#)).

trentaine de jours avant d'ouvrir un silo de pulpe surpressée.

Un pH de la pulpe ensilée supérieur à 4,0 et la présence d'eau sont favorables au développement de la flore butyrique. Celle-ci va diminuer la valeur alimentaire de la pulpe et entraîner, selon les conditions, la production de toxines (cadavérine, putrescine,...) qui modifient la digestibilité de la pulpe et perturbent le métabolisme de l'animal.

Notice 24 ... dû à la production d'acide lactique

Il existe une relation directe entre la teneur en acide lactique et le niveau de pH de la pulpe ensilée (Figure 20). La quantité d'acide lactique atteinte sera fonction de la quantité de sucres solubles présents dans la pulpe à la sortie des presses (4 à 6 % de la MS) et du bon déroulement de la fermentation lactique. A un pH de 3,6 correspond une teneur en acide lactique de 30 g/kg de MS. Un silo dont le pH est resté supérieur à 4,5 révèle un très faible développement de la fermentation lactique.

Un ensilage correct de la pulpe surpressée présente également différentes teneurs en certains acides gras volatils (AGV), formés par la fermentation lactique (tableau 2.). De l'acide acétique est également produit (Notice 23), mais sa teneur est généralement inférieure à 15 g/kg de MS.

D'autres acides organiques (acides butyrique, etc...) sont le reflet de fermentations néfastes. Ils ne doivent pas être présents dans la pulpe,

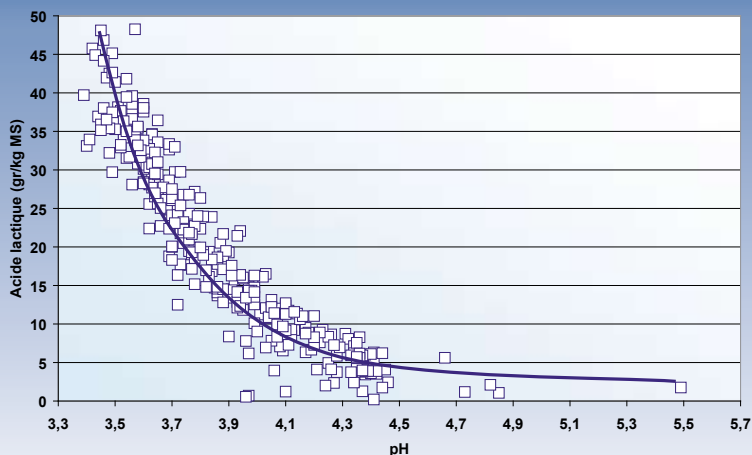


Figure 20 : Corrélation entre le niveau d'acidité (pH) et la teneur en acide lactique dans la pulpe surpressée (enquête IRBAB 2002-2003). Il faut atteindre 30 g/kg de MS d'acide lactique pour obtenir un pH de 3,6.

ni avant, ni après son ensilage. L'acide butyrique est souvent présent lorsque le pH est resté supérieur à 4,2. Il doit normalement être absent ou présenter une teneur inférieure à 2 g/kg de MS. Une teneur plus élevée témoigne du développement de bactéries (*Clostridium* sp.) nuisibles à la conservation de la pulpe, à la santé de l'animal et à la qualité du lait. Ces bactéries peuvent se développer si la fermentation lactique ne s'est pas correctement déroulée.

On peut enfin détecter de l'acide propionique (< 5 g/kg de MS) et de l'acide iso-butyrique (< 2 g/kg de MS).

Les acides succinique, formique et valérique sont peu présents dans les silos de pulpe pressée.

Notice 25 Egaliser la dernière couche

Dans un silo couloir, la hauteur de la dernière couche au centre doit dépasser celle des côtés du silo. Placée au milieu, elle procure une forme légèrement arrondie au sommet du silo, ce qui évite la stagnation de l'eau de pluie sur la surface du silo.

La dernière couche doit être parfaitement nivelée. Le tassement de finition (avec le pied ou avec un engin égalisateur) réduit la présence de creux et de poches d'air et donc la possibilité de développements ultérieurs de moisissures juste sous les bâches de fermeture, surtout lorsque des pneus sont utilisés comme lest.

Du sel agricole en solution (3 kg/m²) peut être appliqué sur la surface du silo avant sa fermeture. Ce traitement inhibe dans une certaine mesure le développement de moisissures parfois observées, à l'ouverture et dans cette zone, entre la bâche plastique et la surface de la pulpe. Cet ajout de sel modifie la pression osmotique (« activité de l'eau ») de la pulpe à ce niveau. Ceci réduit l'aptitude de cette zone souvent aérobie et moins acidifiée (parfois pH > 4,0) à être colonisée par les moisissures. A l'ouverture du silo, l'effet de cette pratique réduirait également la contamination de la pulpe située à la périphérie du silo. Elle pourrait réduire de 50 % la contamination globale du silo, la moitié de la contamination des silos étant située à la périphérie.

Avant de refermer le silo au moyen de bâches, certains éleveurs utilisent une couche de pulpe humide ou de radicelles pour confectionner la dernière couche. En présence de moisissures dans cette couche, la perte en cet aliment est économiquement moins importante. Ces aliments contiennent parfois des quantités encore importantes d'eau qui peuvent, par évaporation ultérieure, créer des poches d'air au niveau des zones en contact, et donc des zones sensibles au développement des moisissures. Il convient dans ce cas de laisser les radicelles égoutter (un jour ou deux si nécessaire) avant de les utiliser comme dernière couche.

24

25

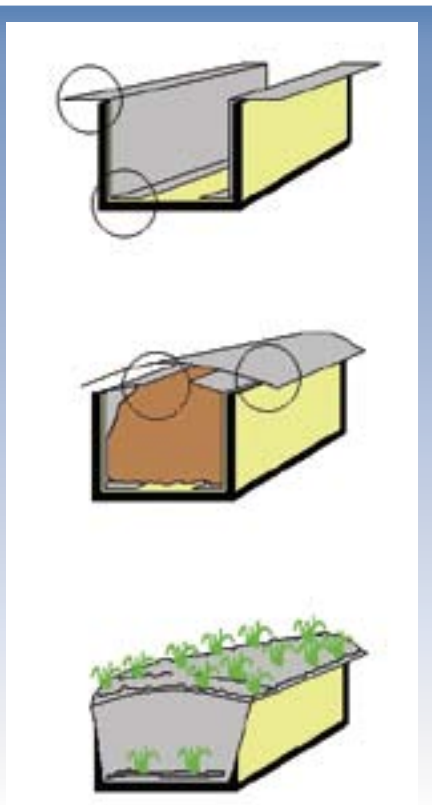
Dans un silo taupinière (Notice 29), le tassement de la dernière couche est plus aléatoire et peut même parfois être problématique. Les dernières couches seront d'autant plus sujettes à la dégradation par des moisissures que la densité de tassement n'a pas été atteinte ($> 800 \text{ kg/m}^3$).

Notice 26 Fermer correctement le silo

La fermeture d'un silo couloir est réalisée en repliant sur le dessus du silo (chacune sur 1 m au moins) les bâches placées latéralement au préalable et en couvrant ensuite toute la surface au moyen de 2 autres bâches plastiques (Figure 21). La bâche supérieure du dessus sera une bâche usagée car celle-ci est plus souple et peut mieux être tendue. Elle sera donc placée en dernier afin de mieux épouser les irrégularités de la surface. La première bâche sera une bâche neuve, sans déchirures, ni perforations. Ne mettre qu'une seule bâche (neuve) pour fermer le silo ne permet pas de limiter la

Figure 21 : Pour fermer correctement un silo couloir, il faut:

1. d'abord placer des bâches neuves sur chacun des côtés, avant d'ensiler. Il faut veiller à laisser ces bâches dépasser de 1 à 2 m la hauteur du silo d'un côté, ainsi que de 1 à 2 m à la base du silo. Ceci limitera les infiltrations d'eau par le dessus et par le dessous.
2. après ensilage de la pulpe, refermer le silo en repliant les bâches de côté vers l'intérieur, placer une troisième bâche neuve et une quatrième bâche (usagée) sur l'ensemble, en veillant à ce que ces deux bâches dépassent les parois du silo.
3. assurer une étanchéité parfaite du silo à l'air et à l'eau avec de la terre ou des morceaux de bandes transporteuses en caoutchouc. Les pneus sont plus faciles à mettre, mais ne donnent pas toujours entière satisfaction



présence de petites poches d'air résiduelles, entre la bâche et le dessus du silo. En n'utilisant qu'une seule bâche, on retrouvera plus facilement des poches de moisissures, juste sous la bâche.

Il est habituellement recommandé de refermer le silo, le jour même de sa confection. La pluie (légère ou normale) lors de la confection d'un silo n'est pas un élément perturbant. Il ne faut certainement pas tarder à fermer un silo si les précipitations deviennent abondantes. Cependant, la pulpe surpressée peut dégager de grandes quantités de vapeur d'eau, pendant la confection ou pendant les premières 24 heures qui suivent l'ensilage, surtout si l'étalement de la pulpe a été insuffisant ([Notice 22](#)).

Dans ce cas et selon les conditions climatiques, on observe que le report (1 à 2 jours) de la fermeture du silo limite le développement de moisissures dans le silo ou plus spécifiquement dans une zone située généralement 20-30 cm sous la surface (Figure 22). Ces zones où des moisissures se développent (généralement lorsque l'avancement au désilage est insuffisant) correspondraient à des zones de fissures ou de fractures résultant de la condensation de l'eau à ces endroits, au moment de l'ensilage.

L'hypothèse est qu'en présence de dégagements de vapeur d'eau, il conviendrait de lais-

ser celle-ci s'échapper complètement. En pareille situation et si le silo est directement refermé, la vapeur d'eau resterait bloquée par les bâches plastiques. Elle ne pourrait s'échapper hors du silo. Ce phénomène créerait par la suite des minces interstices où les moisissures peuvent s'introduire. Ces zones particulières résulteraient de la rencontre de deux fronts inverses de température et d'humidité, directement après l'ensilage. L'un, humide et chaud, vient de l'intérieur du silo. L'autre, plus froid, vient de l'extérieur et pénètre par le dessus du silo. La vapeur d'eau contenue dans la pulpe, ne pouvant plus s'évacuer à cause de la bâche plastique, se condenserait dans les zones correspondants à la rencontre de ces deux fronts.

Ne pas bâcher immédiatement un silo peut être envisagé si les conditions météo sont favorables et si la pulpe dégage beaucoup de vapeur d'eau (souvent le cas de silos où la pulpe n'a pas été étalée, mais simplement bennée et poussée). Reporter le bâchage de 12 à 24 heures est absolument à éviter si le silo est terminé sous une pluie abondante. Laisser un silo non couvert pendant 12 à 24 heures sous une pluie trop importante réhumidifiera la pulpe, nuira à la densité de tassement et compromettrait fortement la conservation de la couche de pulpe réhumidifiée.



Figure 22 : La présence d'une fine couche de moisissures, située généralement 20 à 30 cm sous la surface du silo, résulterait de la condensation de la vapeur d'eau excédentaire, encore présente dans la pulpe au moment de l'ensilage ([Notice 26](#)).

Selon les régions, certains éleveurs utilisent uniquement une couche (15 – 20 cm au moins) de purée de pomme de terre, issue de l'usinage des pommes de terre, pour recouvrir et refermer entièrement leurs silos. Cette couche, en se desséchant, se conserve facilement et ne dégage pas d'odeurs. Elle présente une bonne appétence. Elle limite les dégâts d'oiseaux et de rongeurs et réduit l'échauffement du silo en été. Cette pratique n'utilise donc aucune bâche plastique de fermeture. Ces éleveurs n'observent plus, dans leur silo, la formation de ces zones de moisissures, 20 à 30 cm sous la surface, ou ailleurs. Dans ce cas, du fait de l'absence de bâches plastiques de fermeture, la vapeur d'eau excédentaire de la pulpe a pu s'échapper complètement hors du silo.

Dans le même sens, d'autres éleveurs utilisent une couche (> 30 cm) de radicelles de betterave (ou de chicorée) correctement tassées pour

terminer leur silo (Figure 23). Ils n'utilisent également aucune bâche de fermeture. Cette technique favorise la fermentation acétique dans la dernière couche de pulpe (apport supplémentaire de matières riches en sucres solubles dans cette zone). Elle semble être également favorable à l'évacuation de la vapeur d'eau excédentaire, hors de la pulpe. De tels silos ne présentent aucun développement de moisissures. La pulpe y est parfaitement conservée et la qualité alimentaire de l'ensemble donne entière satisfaction.

Plus simplement encore, certains éleveurs sèment directement de l'escourgeon sur la surface du silo de pulpe.

Ces techniques intéressantes se réalisent plus facilement pour terminer des silos couloirs que pour recouvrir entièrement des silos taupinières.



Figure 23 : Certains éleveurs utilisent une couche de radicelles pour terminer et fermer leur silo. Ils n'utilisent aucune bâche de fermeture. Cette technique semble être favorable à l'évacuation de la vapeur d'eau excédentaire, lors de l'ensilage de la pulpe. Ces silos, tassés avec soin, ne présentent aucun développement de moisissures ([Notice 26](#)).

Notice 27 Lester uniformément le dessus du silo

La bâche de fermeture d'un silo couloir, comme celle d'un silo taupinière, doit être parfaitement appliquée contre la surface du silo. Il faut limiter au maximum la formation de poches d'air sous la bâche et donc utiliser un système uniforme de lest, sur toute la surface du silo. Le lest idéal est obtenu avec des courroies de bandes transporteuses. Des boudins de sable viendront compléter le maintien des bâches au niveau des bords du silo.

Les pneus usagés sont plus faciles à utiliser, mais ils ne donnent pas toujours entière satisfaction. Ils peuvent facilement favoriser la formation de poches d'air résiduelles en leur centre. De plus, selon les taxes de recyclages ou la législation régionale, l'utilisation de pneus usagés pourraient s'avérer plus contraignante, voire interdite. Les techniques d'ensilage où aucune bâche de fermeture n'est utilisée (Notice 26) pourraient donc être appelées à se développer.

Certains éleveurs qui lestent leur silo avec de la terre y sèment de l'escourgeon. En hiver, la terre gelée sera alors plus facile à enlever, par mottes entières.

Notice 28 Ensilage en silo boudin

Rencontrées en Belgique depuis 1997, des machines (type ROTOPRESS) permettent d'ensiler la pulpe surpressée et d'autres fourrages (maïs, drèche de brasserie, préfané, ...) dans d'énormes boudins de plastique. Quelques 10.000 t/an de pulpe surpressée sont ensilées par cette technique. Les diamètres de boudin disponibles (2,4 et 3 m) permettent d'ensiler respectivement 4 t/m et 6 à 7 t/m de pulpe surpressée, pour une longueur de boudin de 70 m au maximum (Figure 6).

Pour autant que le silo boudin soit réalisé sur une aire bétonnée (ou stabilisée) aisément accessible, cette technique d'ensilage présente de nombreux avantages. Elle permet de réaliser un ensilage de qualité et d'obtenir des conditions optimales de conservation.

Ce sont entre autres :

- la vitesse de travail (± 100 t ensilée/heure),
- la propreté (la pulpe n'entre pas en contact avec le sol ou n'est pas souillée par les engins de tassement)
- l'excellente homogénéité du tassement,
- le refroidissement régulier de la masse ensilée,
- une bonne évacuation de la vapeur d'eau excédentaire avant la mise en boudin,
- l'avancement rapide du front de prélèvement au désilage,
- une meilleure appétence de la pulpe,...

Cette technique a été expérimentée par l'IRBAB en 1996 et 1997 et régulièrement suivie par la suite. La pulpe ensilée en silo boudin a un niveau optimal de densité de tassement ($> 800 \text{ kg/m}^3$), de pH ($\pm 3,6$) et de teneur en acide lactique ($> 30 \text{ g/kg}$ de MS) (Figures 24 à 26). Le risque de contamination par la flore butyrique est réduit. Il n'y a normalement aucune zone de pulpe moisie à éliminer.

27

28

Réalisée par entreprise, cette technique est idéale pour les éleveurs qui ne disposent pas d'infrastructures d'ensilage suffisantes pour ensiler correctement la pulpe surpressée. Elle convient parfaitement pour les silos d'été ou pour les fermes utilisant peu de pulpe pour leur élevage (porcs, moutons, ...).

Cette technique, peu fréquente, procure une très bonne qualité de conservation à la pulpe surpressée. Le coût relativement élevé de cette technique, tout comme le gain de temps, la qualité et l'appétence de la pulpe doivent être pris en compte.

Notice 29 Ensilage en silo taupinière

L'ensilage de la pulpe en silo taupinière (absence de parois latérales) est encore beaucoup pratiqué en Belgique. Cette technique ne nécessite pas d'infrastructures spécifiques d'ensilage et est facile à réaliser. Elle peut conduire à une conservation satisfaisante de la pulpe, pour autant que celle-ci soit étalée et correctement tassée par couches régulières jusqu'au sommet du silo (Figure 7) !

Un silo taupinière réalisé en bennant simplement les chargements de pulpe l'un contre l'autre et en tassant grossièrement l'ensemble ne satisfait pas aux règles d'ensilage.

L'ensilage en silo taupinière se caractérise généralement par un tassement hétérogène et insuffisant ($< 800 \text{ kg/m}^3$), surtout dans les couches supérieures. Ces éléments favorisent la présence d'air résiduel et le développement de moisissures. Dans le même ordre, les niveaux de pH et de teneur en acide lactique atteints sont souvent insuffisants (Figures 24 à 26). Le bâchage et le lestage régulier des bâches sont plus délicats. Les dernières couches de pulpe présentent fréquemment des densités de tassement trop faibles ($< 500 \text{ kg/m}^3$). Ces couches sont très rapidement colonisées par les moisissures et doivent être éliminées.

Pour limiter les pertes au niveau des dernières couches, certains éleveurs terminent leur silo taupinière avec une couche de radicelles (au besoin égouttées) ou de pulpe humide. Cette couche doit néanmoins être suffisamment tassée pour limiter le développement de moisissures.

Par rapport à l'ensilage en silo couloir ou en silo boudin, la technique du silo taupinière est moins coûteuse, mais elle offre moins de garanties de conservation optimale. Elle présente plus de risques de pertes d'aliment.

Lors d'une enquête réalisée en 2002 et 2003 par l'IRBAB sur ± 35 silos de pulpe surpressée apparemment corrects, il a été constaté que dans les silos taupinières, la pulpe n'atteignait quasi jamais les valeurs attendues de densité de tassement, de pH et de teneur en acide lactique telles que présentées au tableau 2. Comme illustrés respectivement aux figures

24, 25 et 26, la densité de tassement, le niveau de pH et de teneur en acide lactique (mesurés à 6 endroits/silo) se sont avérés quasi systématiquement insuffisants et très hétérogènes pour 11 silos taupinières, assez variables et souvent suffisants pour 21 - 22 silos couloirs, optimales et très homogènes dans les 2 - 3 silos boudins observés.

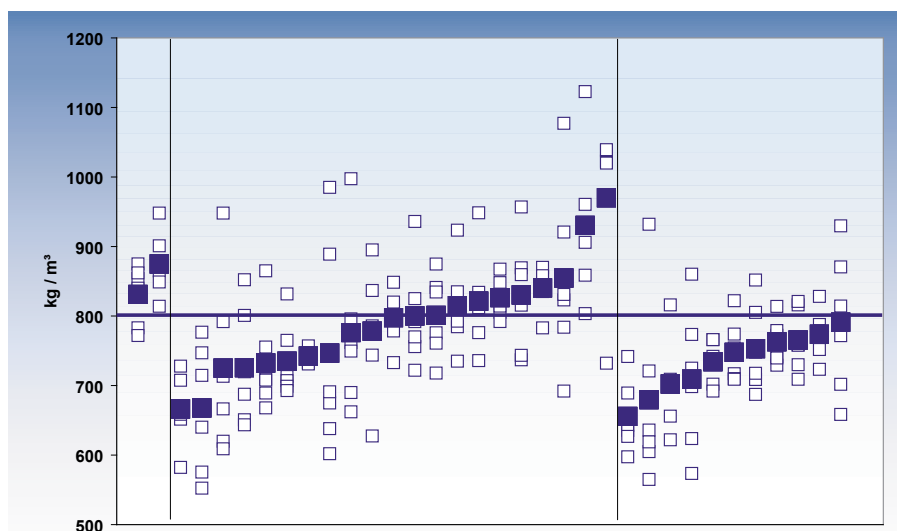


Figure 24 : Niveaux de densité (kg/m^3) (6 mesures/silo) et densité moyenne dans 2 silos boudins, 21 silos couloirs et 11 silos taupinières. La densité optimale doit être d'au moins $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ (enquête IRBAB 2002-2003).

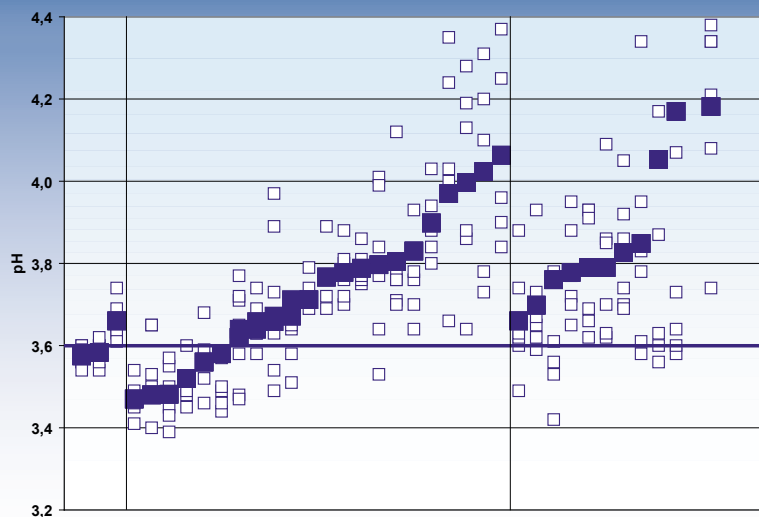


Figure 25 : Niveaux de pH (6 mesures/silo) et pH moyen dans 3 silos boudins, 22 silos couloirs et 11 silos taupinières. Le pH optimal doit être de $3,6 \pm 0,2$ (enquête IRBAB 2002-2003).

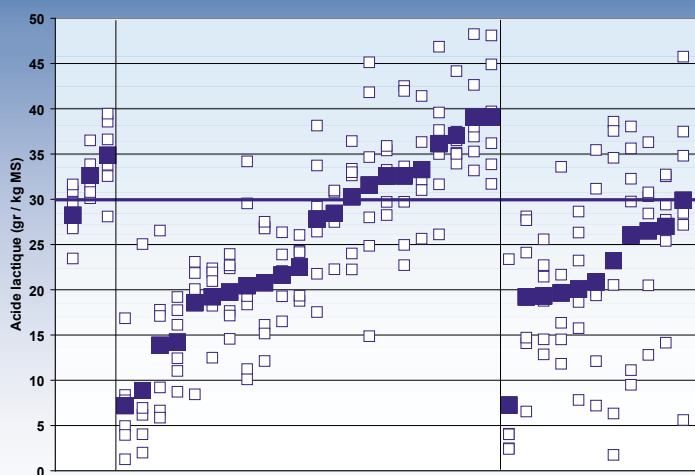


Figure 26 : Teneurs en acide lactique (g/kg de MS) (6 mesures/silo) et teneur moyenne dans 3 silos boudins, 22 silos couloirs et 11 silos taupinières. La teneur optimale en acide lactique doit être d'au moins 30 g/kg de MS (enquête IRBAB 2002-2003).

Notice 30 Perte de matière sèche

Au désilage, il est possible d'observer une légère baisse du taux de matière sèche dans un silo de pulpe surpressée. Celle-ci est habituellement de 0,5 à 1 point par rapport à celle déterminée à la livraison, soit une perte moyenne (souvent apparente) de 1 à 2 % au maximum, due à la fermentation. Ces pertes varient d'un silo à l'autre et d'un endroit à l'autre dans un silo, mais on observe dans l'ensemble et pour des silos correctement fermentés, une perte de matière sèche moins importante (< 1%) dans les silos où la matière sèche au départ était plus importante (> 25 %).

La fermentation lactique décompose le saccharose encore présent dans la pulpe en ses sous unités de glucose et fructose. Le glucose est ensuite transformé en acide lactique. Cette transformation chimique n'entraîne aucune perte de matière sèche. Des fermentations non lactiques (ou hétérolactiques) peuvent également décomposer le saccharose en glucose qui est ensuite transformé en acide lactique et en éthanol. La production d'éthanol, composé volatil, s'accompagne d'une perte en matière sèche plus importante (24 % selon la formule chimique de conversion). D'autres fermentations dégradent le fructose en acide lactique et en acide acétique (composé volatil) et en mannitol. Cette fermentation correspond (selon la formule chimique de conversion) à une perte en matière sèche de 4,8 %. Lorsque différentes fermentations, lactiques et non lactiques, se produisent dans un silo de pulpe, on peut assister à une perte apparente de matière sèche, suite à la volatilisation d'une partie de ces composés lors de la mesure à l'étuve. Ces composés volatils (éthanol et acide gras volatils – AGV : acides acétique, butyrique, iso-butyrique, propionique, etc.) sont d'autant plus présents que des fermentations non lactiques se sont déroulées.

Mesurer la matière sèche d'un silo de pulpe surpressée après un long laps de temps de conservation ne permettra pas nécessairement d'estimer une matière sèche similaire à celle

déterminée au moment de la livraison. Une matière sèche insuffisante, déterminée au désilage, peut correspondre à un lot de pulpe dont la matière sèche au départ était trop faible. Elle peut également correspondre à un lot de pulpe où la production de composés volatils, résultant d'une fermentation lactique insuffisante et donc d'une dégradation de la matière faite par d'autres types de fermentations, a été importante.

L'hydrolyse enzymatique des polysaccharides constituant les parois cellulaires produit principalement du glucose (au départ de la cellulose), du glucose, du xylose et de l'arabinose (au départ des hémicelluloses) et du galactose, de l'acide galacturonique et de l'arabinose (au départ de la pectine). La « pulpe grasse » résultant principalement d'une dégradation (thermique, chimique ou enzymatique) des chaînes constitutives d'acide galacturonique ([Notice 17](#)) ne correspond pas à une hydrolyse produisant des composés volatils. La « pulpe grasse » aura donc très généralement une matière sèche proche de celle mesurée à la livraison.

Notes personnelles

This image shows a full page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for handwriting practice or general note-taking. There are no margins, text, or other markings on the page.



Le bon usage de la pulpe surpressée

Guy LEGRAND

Institut Royal Belge pour l'Amélioration
de la Betterave (IRBAB a.s.b.l.),
Molenstraat, 45,
B-3300 Tienen (Tirlemont), Belgique
Tél. : +32 (0) 16 78 19 40
E-mail : irbab@irbab.be
Site Internet : www.irbab.be

Parus dans la collection : Les Guides Techniques de l'IRBAB

- Reconnaître la rhizomanie sur le champ (1997)
- Reconnaître les maladies foliaires de la betterave au champ (1998)
- Code de bonnes pratiques de récolte et de grutage des betteraves sucrières (1999)
- Fumure azotée en betterave sucrière (2000)
- L'identification des adventices en betterave sucrière (2001)
- Ravageurs et maladies en culture de betterave sucrière belge (2002)
- Techniques culturales sans labour en culture betteravière (2004)
- Le bon usage de la pulpe surpressée (2005)

Parus dans la collection : Les Fiches Techniques de l'IRBAB

- Règles essentielles pour l'ensilage de la pulpe surpressée (1999)
- L'amélioration de la qualité de la récolte de la betterave sucrière (2000)
- Le FAR-Mémo : pour un désherbage optimal en betterave sucrière (2003)

Parus dans la collection : Les Guides Techniques du CABC

- Guide de Bonnes Pratiques en culture de chicorée industrielle (2003)

Le texte complet des Guides Techniques et des Fiches Techniques est disponible
sur le site Internet de l'IRBAB : www.irbab.be

Publication cofinancée par le Centre Pilote Betterave-Chicorée,
Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale de l'Agriculture

