

Critères de réussite : plante entière entre 30 et 35 % MS, tassement, fermeture hermétique immédiate

Deuxième phase : acidification en milieu anaérobie

Cette phase fait essentiellement intervenir les bactéries lactiques et les entérobactéries. Bien qu'inévitable, l'activité des entérobactéries doit être la plus faible possible car elle est à l'origine de pertes de matière sèche et leur contribution à l'acidification du milieu est plus faible que celle des bactéries lactiques. Naturellement présentes sur le fourrage, les bactéries lactiques transforment une molécule de glucose en deux molécules d'acide lactique et contribuent ainsi efficacement à la baisse du pH. Si la baisse du pH est insuffisante, le développement et l'activité des bactéries butyriques peuvent avoir lieu. Ceci est préjudiciable car la présence d'acide butyrique indique que des pertes de matière organique ont eu lieu durant la conservation. Il est par ailleurs bien connu que l'acide butyrique est un facteur d'inappétence du fourrage.

Critères de réussite : présence de sucres solubles en quantité suffisante (stade de récolte), état sanitaire du fourrage (pas de contaminations par de la terre), herméticité du silo

Troisième phase : stabilité tant que le silo est fermé

Sous réserve que le pH soit suffisamment bas (< 4,2), l'ensilage est considéré stable. Le développement et l'activité des micro-organismes sont réduits, voire nuls. Néanmoins, quelques processus se déroulent au ralenti. C'est le cas des levures qui transforment une partie des sucres résiduels en éthanol. Pour leur part, les bactéries butyriques peuvent se développer dans des zones insuffisamment acidifiées au regard de la teneur en matière sèche. Il peut s'agir des zones fortement contaminées par de la terre ou des zones plus humides du fait de la condensation (proximité de la bâche). Enfin, si la bâche est poreuse ou percée, l'infiltration d'air dans la masse de fourrage réactive de manière intense l'activité métabolique des levures et des moisissures et génère des pertes sous forme de gaz (CO₂) mais également du fourrage qui sera inconsommable, à trier lors du désilage. Lorsque les conditions anaérobies sont maintenues, le maïs fourrage peut être conservé 18 à 24 mois.

Critères de réussite : herméticité du silo

Quatrième phase : ouverture du silo, exposition du front d'attaque à l'oxygène

L'ouverture du silo signe la fin des conditions anaérobies. La masse de fourrage à proximité du front d'attaque est de nouveau en contact avec l'oxygène. Après une durée variable allant de quelques heures à quelques jours, l'activité des micro-organismes aérobies reprend. Ce sont bien souvent les bactéries acétiques et les levures, peu sensibles au pH, qui redémarrent le bal. Ces dernières métabolisent les sucres résiduels, les acides organiques produits. La consommation des acides organiques tend à faire remonter le pH de sorte que d'autres micro-organismes, jusque-là en sommeil du fait du pH trop faible, commencent à s'activer. Ces réactions occasionnent des pertes par échauffement et réduisent l'appétence du fourrage. La stabilité aérobie d'un ensilage de maïs, c'est-à-dire la durée pendant laquelle il reste

stable en présence d'oxygène, est d'autant plus importante que la porosité du silo est faible (bon tassement et teneur en MS aux alentours de 30 %) mais également lorsque la vitesse de désilage est suffisante, c'est-à-dire au moins 10 cm/jour en hiver et 20-25 cm/jour en été. Enfin, notons qu'un désilage sans ébranler le front d'attaque permet également de réduire la pénétration d'oxygène dans la masse ensilée.

Critères de réussite : maintien de conditions anaérobies pour le reste du silo, avancement rapide, teneur en MS < 35%, désilage sans déstructuration ni ébranlement du front d'attaque, exposition au nord

Les additifs pour l'ensilage

Il importe tout d'abord de bien distinguer les différentes classes d'additifs pour l'ensilage, et notamment ceux utilisés pour le maïs fourrage (v. tableau 1). Ces différents additifs n'ont pas les mêmes modes d'action et les mêmes rôles. On distingue essentiellement deux rôles: l'accélération de l'acidification naturelle et l'amélioration de la stabilité aérobie. Ces deux rôles ayant bien évidemment des effets sur la préservation de la matière organique et donc la valeur alimentaire du fourrage ainsi que son appétence. Aujourd'hui, les additifs d'ensilages biologiques à base de bactéries lactiques sont les plus utilisés. Les additifs chimiques ont vu leur utilisation diminuer pour plusieurs raisons. Malgré la formulation d'acides sous des formes dites « tamponnées », moins corrosives, les éleveurs restent réticents quant à leur utilisation. Enfin, en raison des volumes importants à appliquer (2 à 6 litres par tonne de matière verte), la contrainte logistique associée est bien souvent jugée rédhibitoire par les éleveurs. En fonction des formulations, les additifs d'ensilages pour le maïs fourrage représentent un coût d'environ 4 à 8 €/t MS.

Dans quelle(s) situation(s) utiliser un additif pour l'ensilage ?

Le maïs fourrage est une plante dont les caractéristiques biochimiques le rendent particulièrement apte à la conservation par ensilage. L'ajout d'additifs pour l'ensilage dans le but de favoriser la vitesse et le niveau d'acidification durant les premières phases du processus ne se justifie que dans de très rares situations lors d'une récolte à surmaturité et/ou lorsque la plante est desséchée. Dans ces cas de figure, il devient difficile de chasser convenablement l'air du fourrage et l'activité respiratoire permettant l'atteinte des conditions anaérobies est également retardée du fait de la plus faible activité des cellules du fourrage. Ainsi, le laps de temps pour épuiser l'oxygène est long et le risque de voir des populations de micro-organismes nuisibles prendre le pas sur les bactéries lactiques augmente. L'ajout de bactéries lactiques (homofermentaires et hétérofermentaires) peut se justifier dans cette situation. Leur action peut être renforcée par l'ajout d'enzymes dont le rôle est d'hydrolyser les fibres les plus facilement digestibles et les sucres de réserve, et ainsi renforcer la quantité de substrat des fermentations lactiques. L'ajout de conservateurs dits « chimiques » peut aussi être envisagé.

Pour permettre le déroulement des fermentations lactiques, il est nécessaire d'observer une période d'au moins 3 semaines avant

Tableau 1 : Les additifs d'ensilage de maïs fourrage, description, principaux mécanismes et objectifs recherchés

"Classe" d'additifs d'ensilage	"Sous-classe" d'additifs d'ensilage	Principales espèces ou molécules	Principaux mécanismes	Objectifs recherchés
Biologique	Bactéries lactiques homofermentaires	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus lactis</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Pediococcus pentosaceus</i>	Sucres simples => acide lactique	Baisse du pH
Biologique	Bactéries lactiques hétérofermentaires	<i>Lactobacillus buchneri</i> , <i>Lactobacillus brevis</i>	Sucres simples => acide lactique, acide acétique, alcools, CO ₂ , 1,2-propanediol	Stabilité aérobie Baisse du pH
Chimique	Acides organiques	Acide formique		Baisse du pH
Chimique	Acides organiques	Acide propionique		Stabilité aérobie Baisse du pH
Enzymes		Cellulase, hémicellulase, amylase	Sucres complexes => sucres simples	Mise à disposition de sucres aux bactéries lactiques

ouverture du silo. Cependant, lors de déficit fourrager, certains éleveurs sont parfois contraints d'entamer rapidement le silo, voire de le consommer immédiatement après la récolte. Dans ces situations, la confection d'un petit silo annexe, correspondant aux besoins fourragers de 3 semaines demeure préférable. Ceci permet aux silos principaux de fermenter convenablement afin d'assurer une meilleure stabilité aérobie du fourrage à l'ouverture. Pour le silo annexe, l'incorporation d'un additif d'ensilage acide ou de bactéries lactiques homofermentaires pour accélérer l'acidification du fourrage est envisageable.

NB: les bactéries lactiques hétérofermentaires et les enzymes ont des vitesses de multiplication et d'action trop faibles pour assurer un effet positif notable sur le fourrage en 3 semaines. Pour ces raisons, leur utilisation lors d'ouverture précoce du silo n'est pas conseillée.

Bien souvent, le principal problème rencontré par les éleveurs est l'instabilité du fourrage au front d'attaque. Cette instabilité se manifeste par des échauffements qui révèlent des pertes de matière organique et de valeur énergétique et entraînent une baisse d'appétence. Plusieurs causes en sont à l'origine et/ou aggravent le phénomène : porosité du silo élevée, vitesse d'avancement insuffisante et température extérieure élevée. L'ajout

de bactéries lactiques hétérofermentaires dont les produits de fermentation (acide acétique, 1,2-propanediol) ont des effets antifongiques, améliore la stabilité aérobie du fourrage. Au regard de la vitesse d'action de ces micro-organismes, il est important d'assurer une durée de fermentation minimale de 2 à 3 mois afin de bénéficier pleinement de l'effet «anti-échauffement».

Quant au sel, son incorporation a pour seul effet de limiter la multiplication des bactéries butyriques dans des zones de condensation à la surface des silos.

Application des additifs d'ensilage : quelques précautions d'usage

A l'exception des sels dont l'usage est restreint aux couches superficielles du silo, tous les autres additifs doivent être appliqués de manière homogène dans la masse de fourrage. De ce fait, l'application par pulvérisation sur chaque couche de fourrage étalée lors de la confection du silo est à proscrire. La meilleure façon de l'appliquer est de l'incorporer dans les réservoirs prévus à cet effet sur les ensileuses. La solution contenant l'additif est ensuite pulvérisée en fines gouttelettes au niveau de l'accélérateur de l'ensileuse (pied de la goulotte ou tuyère). Ce mode d'application permet une répartition homogène au cœur du flux de récolte.

Tableau 2 : Récapitulatif des principales situations où l'utilisation des additifs de conservation se justifie

Situations à risque	Problèmes associés	Additifs utilisables	Remarques
Ouverture du silo rapide voire immédiate après confection	Fourrage instable du fait de l'acidification incomplète, température du fourrage élevée favorable au développement des micro-organismes nuisibles, échauffement du front d'attaque	Acides propionique/formique Bactéries lactiques homofermentaires (+ enzymes)	Au-delà de l'acidification, l'acide propionique aura aussi un effet positif sur la stabilité aérobie
Récolte à sur-maturité et/ou plantes desséchées	Risques d'acidification lente et d'échauffement du fourrage au front d'attaque	Acides propionique/formique Mélange bactéries lactiques homo + hétérofermentaires + enzymes	Si possible, laisser fermenter le silo plus de 2 mois
Silo insuffisamment tassé et/ou vitesse d'avancement insuffisante	Risques forts d'échauffement du fourrage au front d'attaque	Acide propionique Bactéries lactiques hétérofermentaires + enzymes)	Si possible, laisser fermenter le silo plus de 2 mois

Tableau 3 : Capacité et débit des incorporeurs d'additifs pour plusieurs marques d'ensileuses. Source : Agri 72, avril 2016

Marque	Volume du réservoir (l)	Dosage horaire (l/h)	Dosage massique ⁽¹⁾
Claas	375	30 à 400	0,5 à 2 l/t
	20	0,2 à 7,5	10 à 30 ml/t
Fendt	210	25 à 100	ND
John Deere	300	30 à 382	0,1 à 5 l/t
	30	2 à 13	10 à 500 ml/t
Krone	200 ou 330	30 à 474	ND
New Holland	400	30 à 200 ⁽²⁾	0,1 à 5 l/t

(1) avec capteur de rendement en option

(2) ou 5 à 200 l/ha

ND: donnée non disponible

Attention au dosage !

Pour les bactéries, les dosages sont exprimés en colonies formant unité (cfu) par gramme de fourrage frais. Ils peuvent varier selon les espèces et les souches de bactéries, c'est pourquoi il importe de vérifier les préconisations des fabricants présentes sur l'emballage. Après quoi, quelques calculs doivent être effectués pour éviter les sous dosages et les surdosages.

Aujourd'hui, de plus en plus d'ensileuses disposent de capteurs de rendement. Lorsque ces derniers sont étalonnés, ils permettent d'ajuster plus finement l'incorporation d'additifs. L'ensileuse est alors asservie et l'opérateur doit régler cette fois-ci le volume à appliquer par tonne de fourrage brut.

Recommandations :

1. Lire les préconisations en termes de dosage
2. Estimer le débit horaire de l'ensileuse en tonnes de fourrage brut par heure
3. Diluer l'additif et calculer la concentration obtenue
4. Calculer le volume de solution à appliquer par heure et régler l'incorporeur.

Exemple

La préconisation du fabricant est une application de 1 g d'additif par tonne de fourrage brut.

Le rendement de la parcelle est estimé à 12 t MS/ha, récolté à 38 % MS, et le débit estimé de la machine est de 2,5 ha/h. Ainsi, chaque heure, la machine doit traiter $12 / 0,38 * 2,5 = 79$ tonnes de fourrage brut. L'applicateur de l'ensileuse devra appliquer l'équivalent de $79 * 1 = 79$ g de préparation par heure. Les produits étant dilués dans l'eau, le taux de dilution doit être pris en compte et doit être fait de manière à se simplifier les calculs !

Un sachet de 250 g dans 2,5 litres d'eau pour les produits à technologie concentrée. On obtient une solution à 100 g d'inoculant par litre d'eau. Selon l'exemple, il faudra alors régler l'application pour incorporer 0,79 litre d'eau par heure.

Un sachet de 50 g dans 50 litres d'eau pour les applicateurs de volume plus important. On obtient une solution à 1 g d'inoculant par litre d'eau. Selon l'exemple, il faudra alors régler l'application pour incorporer 79 litres par heure.

Trucs et astuces

Les additifs biologiques sont par définition des organismes vivants et il convient de respecter quelques précautions. Le stockage des produits doit se faire dans un endroit frais et sec. Utiliser préférentiellement une eau non chlorée et à température ambiante pour la dilution. Pour éviter les phénomènes de sédimentation dans la cuve de l'applicateur, préparer les additifs par demi-journée de travail, en homogénéisant bien avant incorporation dans la cuve.

Que dit la réglementation ?

Depuis 2005, les agents d'ensilage plus couramment connus sous le nom de « conservateurs » d'ensilage sont autorisés par l'Union Européenne. Précédemment soumis à une autorisation en France par spécialité commerciale, il n'y a plus aujourd'hui obligation au niveau national d'évaluer les spécialités commerciales vendues et distribuées en France.

Chaque constituant d'une spécialité commerciale vendue en France destiné à améliorer la conservation d'un ensilage est autorisé préalablement individuellement au registre européen des additifs pour l'alimentation animale, selon le règlement CE No 1831/2003. Ces constituants aux fonctionnalités et origines diverses (bactéries, enzymes...) sont regroupés dans la catégorie des additifs technologiques et dans le groupe fonctionnel des additifs pour l'ensilage.

Les pratiques de désilage

Les pratiques de désilage jouent un rôle important dans le maintien de la stabilité aérobie du fourrage ensilé. L'ébranlement et le foisonnement du fourrage au front d'attaque sont préjudiciables car ils favorisent les reprises de fermentations en aérant le fourrage. En ce sens, le désilage de la stricte quantité nécessaire, le ramassage du fourrage en vrac au pied du front d'attaque et l'utilisation d'outils à fraise (godet désileur, mélangeuse automotrice) sont des pratiques assurant le meilleur maintien de la « fraîcheur » du fourrage (v. chapitre 8).

Comment diagnostiquer la qualité de conservation d'un maïs fourrage ?

Il existe différentes méthodes pour juger de la qualité de conservation d'un fourrage: mesure de températures, observations visuelle et olfactive. Une analyse de conservation peut compléter le diagnostic. Dans ce cas, l'étape d'échantillonnage est primordiale pour pouvoir interpréter correctement les résultats de l'analyse (profil fermentaire, pH...).

La température

La température du fourrage au front d'attaque peut être un indicateur de la stabilité aérobie du fourrage. Elle reste néanmoins difficilement interprétable et la comparaison de la température du fourrage au front d'attaque à la température extérieure ne constitue pas une méthode de diagnostic fiable. Quoi qu'il en soit, des températures supérieures à 30 °C au-delà de 30 cm derrière le front d'attaque sont anormales sous nos latitudes et traduisent des pertes de matière. Des températures élevées peuvent également être rencontrées lorsque le silo est ouvert peu