

Avenirs Prairies
Réseau Mixte Technologique

Synthèse

# Les conservateurs de fourrages ensilés

## Comprendre, choisir, et appliquer



ARVALIS

AGRICULTURES & TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE

INRAE
la science pour la vie, l'humain, la terre

INSTITUT DE L'ELEVAGE idele

***En élevage, il est indispensable de pouvoir conserver et stocker des fourrages afin de les distribuer durant les périodes hivernales et/ou estivales tout en évitant au maximum les pertes quantitatives et qualitatives. L'ensilage est une méthode de conservation des fourrages par voie humide, en milieu acide et anaérobie, faisant intervenir divers paramètres physiques, chimiques et biologiques. Pour évaluer l'intérêt d'utiliser un conservateur, il est primordial de comprendre les mécanismes de conservation par ensilage, de cerner le rôle du conservateur et de maîtriser son application.***

***Cette brochure traite des thèmes suivants : le processus d'ensilage, le mode d'action et l'efficacité des différentes familles de conservateurs, les bonnes pratiques d'application, leur intérêt économique, ainsi que la réglementation en vigueur.***



# SOMMAIRE


**1. Le processus de conservation par ensilage ..... 4**
1.1. Les différentes phases du processus d'ensilage ..... 4
1.2. Aptitude d'un fourrage à l'ensilage et paramètres clés de la conservation ..... 5
**2. Les conservateurs de fourrages ..... 7**
2.1. Modes d'action ..... 7
2.2. Efficacité des conservateurs ..... 7
Les bactéries lactiques homo-fermentaires ..... 8
Les bactéries lactiques hétéro-fermentaires ..... 8
Mix de bactéries lactiques homo-fermentaires et hétéro-fermentaires ..... 9
Autres bactéries ..... 9
Les enzymes ..... 9
Les acides et les sels ..... 9
**3. Choisir un conservateur ..... 10**
Ensilage de fourrages prairiaux ..... 10
Ensilage de maïs ..... 10
**4. Les bonnes pratiques d'application ..... 12**
**5. Intérêt économique de l'application d'un conservateur ..... 13**
Préservation de la matière sèche ..... 13
Préservation de la protéine ..... 13
**6. Réglementation des conservateurs ..... 15**
**7. Références ..... 16**

# 1 Le processus de conservation par ensilage

## 1.1. Les différentes phases du processus d'ensilage

Le processus d'ensilage peut être divisé en quatre phases :

- Phase 1 : établissement des conditions anaérobies,
- Phase 2 : acidification en milieu anaérobie,
- Phase 3 : stabilité et conservation,
- Phase 4 : ouverture du silo, exposition du front d'attaque à l'oxygène.

La figure 1 présente l'évolution de l'oxygène, du pH, et des fermentations lactiques et acétiques durant chacune de ces phases (Pitt, 1990). En parallèle de ces processus fermentaires, des activités indésirables peuvent également se développer selon les conditions de conservation. Certaines sont détaillées pour chaque phase ci-dessous.

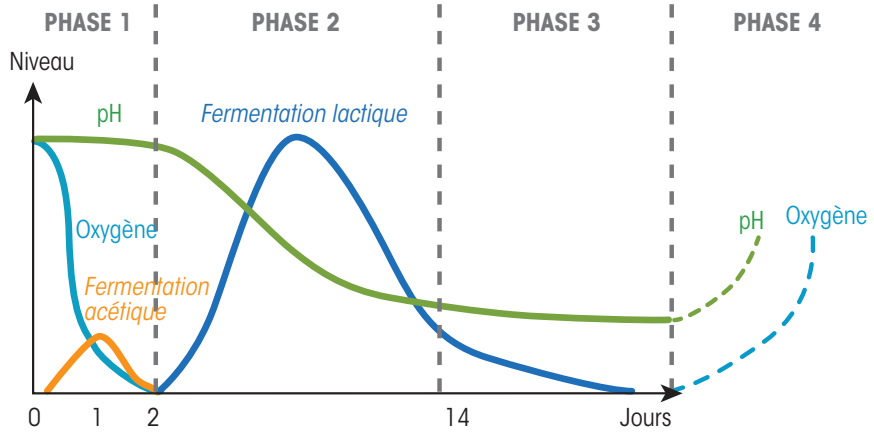
**Au cours de ce processus, des pertes de matière sèche sont inévitables pour permettre l'acidification du silo, mais celles-ci sont significativement amplifiées par le développement d'organismes indésirables. Ces pertes sont difficilement perceptibles dans un silo, car elles se manifestent sous forme gazeuse ($CO_2$, $H_2$, etc.)**. Les organismes indésirables sont également responsables de protéolyse, un processus de dégradation des protéines du fourrage par les enzymes végétales et microbiennes. Ce phénomène produit notamment des amines, et de l'ammoniac ($NH_3$), facteurs d'inappétence. Ces organismes indésirables produisent également d'autres molécules qui entraînent une moindre appétence du fourrage (alcool, …), voire présentent des risques sanitaires pour le troupeau qui le consomme (acide butyrique, listeria, mycotoxines).

### Phase 1 : établissement des conditions anaérobies

À la mise en silo du fourrage, en présence d'oxygène, la respiration des plantes se poursuit et les bactéries aérobies, levures et moisissures se développent. Ces activités consomment l'oxygène contenu dans la masse du fourrage jusqu'à son épuisement, entraînant la transition vers la seconde phase. Elles consomment également les sucres présents dans le fourrage, ce qui provoque des pertes quantitatives (pertes de matière sèche). Durant cette phase, les enzymes des plantes restent également actives et dégradent les protéines en molécules plus simples, comme des acides aminés. C'est le début du phénomène de protéolyse.

Après le bâchage du silo, cette phase aérobie peut durer de quelques heures à plusieurs jours, selon la quantité d'air emprisonnée dans le silo.

Figure 1 : Évolution de différents paramètres lors du processus d'ensilage (d'après Pitt, 1990)




### Phase 2 : acidification en milieu anaérobie

Une fois que la quasi-totalité de l'oxygène présent dans le silo a été consommée par la respiration du végétal et des micro-organismes aérobies, la phase 2 en milieu anaérobie commence. **Les bactéries lactiques se multiplient, en premier les bactéries homo-fermentaires**, qui transforment un sucre simple en deux acides lactiques, **faisant ainsi chuter le pH. Puis, les bactéries lactiques hétéro-fermentaires** se développent, transformant les sucres simples en acide lactique et acétique à parts égales. L'acide acétique a un pouvoir acidifiant plus faible, mais son activité antifongique jouera un rôle dans la phase de réouverture du silo.

Cette deuxième phase se poursuit jusqu'à la consommation totale des sucres simples et/ou l'atteinte d'un pH qui ne permet plus aux bactéries lactiques d'être actives. Elle peut durer de quelques jours à plusieurs semaines selon les conditions de température (Muck et *al.*, 2020). **L'idéal durant cette phase est que l'activité lactique prenne le dessus, afin d'abaisser rapidement le pH et de limiter le développement des entérobactéries, des clostridies (dont les bactéries butyriques) et des levures.**

En effet, durant cette phase, des activités microbiologiques indésirables peuvent survenir :

- **Les entérobactéries** peuvent proliférer, entrer en **concurrence directe** avec l'activité **des bactéries lactiques et entraîner des pertes importantes de matière sèche** en consommant les sucres. Elles produisent également des composés réduisant l'appétence des fourrages. Leur activité est inhibée lorsque le pH descend en dessous de 4,5 à 5,0. Elles se développent particulièrement dans les fourrages très humides.

- **Des clostridies** peuvent également se développer. Elles consomment les sucres solubles et sont responsables d'une **activité protéolytique importante**. Elles consomment également les acides lactiques, limitant ainsi l'acidification, et les transforment en acides butyriques. Ces bactéries provoquent des pertes quantitatives et qualitatives du fourrage, ainsi que des pertes d'appétence et **des risques sanitaires pour les animaux**. Parmi les clostridies, les plus connues sont les bactéries butyriques. **Pour limiter leur développement, il est important de limiter les contaminations par la terre** lors du chantier de récolte. Il est également nécessaire que **le fourrage soit correctement préfané** (peu d'eau disponible) et que le pH soit bas. Les couples pH et MS du fourrage à atteindre pour limiter les risques de développement des clostridies sont présentés sur la figure 2.
- **Les levures** consomment le fourrage et en dégradent la qualité. Elles sont aussi **à l'origine de l'échauffement lors de la réouverture du silo** (phase 4) : plus leur population est élevée, plus l'échauffement est rapide.

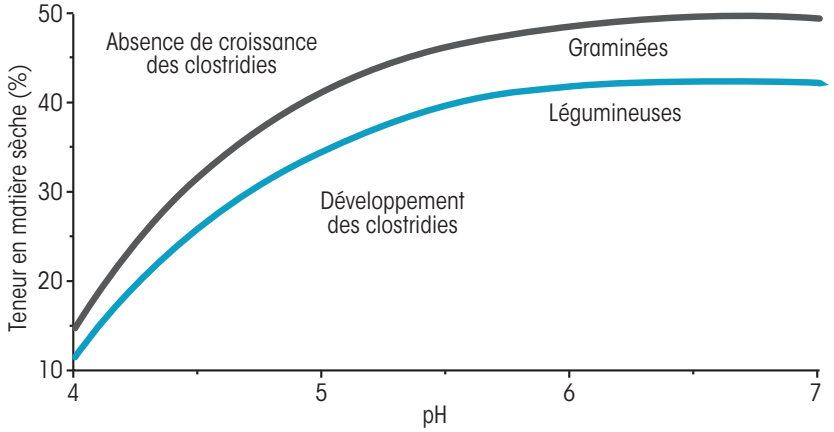
## Phase 3 : stabilité et conservation

L'absence d'oxygène et le faible pH provoquent l'arrêt quasi total de l'activité biologique. Les levures peuvent avoir un développement ralenti en cas d'un taux de sucres solubles résiduels élevé, qu'elles transforment alors en alcools. En l'absence d'entrée d'air dans le silo et avec un pH bas, cette phase peut durer plus d'une année. Néanmoins durant cette période, le fourrage continue d'évoluer, par exemple, la dégradabilité de l'amidon du maïs fourrage.

En revanche, si le pH reste insuffisamment bas et/ou si le fourrage est trop humide (ex. pH > 5.0 pour un fourrage avec une teneur en MS < 30 %), des bactéries anaérobies telles que les entérobactéries et les clostridies peuvent continuer à se développer.



Figure 2 : Zones de pH et de matière sèche (MS) favorables et défavorables au développement des clostridies (Pitt, 1990)




## Phase 4 : ouverture du silo, exposition du front d'attaque à l'oxygène

Au moment de l'ouverture du silo, le front d'attaque est à nouveau exposé à l'oxygène, rendant le milieu aérobie. Selon la porosité du silo (la proportion d'espace vide par rapport au volume total), l'oxygène peut pénétrer plus ou moins profondément derrière ce front d'attaque. **Dans toute cette zone nouvellement exposée à l'oxygène, l'activité biologique en dormance se réactive**.

Les levures jouent un rôle clé dans ce processus : en dégradant l'acide lactique, le pH augmente. En conséquence, une gamme de micro-organismes en dormance se développe, notamment les moisissures (Driehuis et *al.*, 2000). **Cette activité intense provoque un échauffement du fourrage**, pouvant entraîner des pertes significatives tant en quantité qu'en qualité, selon la porosité du silo et la vitesse d'avancement.

**La rapidité d'échauffement d'un fourrage est positivement corrélée au nombre de levures viables présentes, au taux de sucres résiduels et à la porosité du silo.**

## 1.2. Aptitude d'un fourrage à l'ensilage et paramètres clés de la conservation

**L'objectif du processus d'ensilage est double : atteindre rapidement l'anaérobie et abaisser le plus bas et le plus vite possible le pH**. Pour atteindre rapidement l'anaérobie et la maintenir, deux paramètres sont essentiels : la qualité du bâchage du silo et la faible porosité du silo.

**La porosité** correspond à la part d'air emprisonnée dans un volume (ex. 400 litres d'air dans 1 m³ de fourrage tassé correspond à une porosité de 40 %). À densité équivalente, plus un fourrage est sec, et moins il y aura d'eau par

mètre cube, et plus la porosité sera élevée. Le tassage du silo est important pour chasser un maximum d'air. **Un silo avec une faible porosité atteindra plus rapidement l'anaérobie après le bâchage et s'échauffera moins en profondeur lors de l'ouverture. L'objectif étant d'atteindre une porosité inférieure à 40 %**. La figure 3 reprend la densité théorique à atteindre selon le taux de matière sèche du fourrage.

**L'acidification** de la masse de fourrage **dépend directement de la quantité de sucres fermentescibles disponibles**, fortement liée au taux de sucres solubles présent dans les fourrages. Plus la teneur en sucres est élevée, plus les bactéries lactiques peuvent produire des quantités importantes d'acides lactique et acétique. Cependant, **pour un kilogramme de matière sèche, certains types de fourrages nécessitent davantage d'acide pour atteindre le même pH. Cela dépend du pouvoir tampon du fourrage**, qui est d'autant plus élevé que les teneurs en MAT et en minéraux (MM) sont élevées. **Par ailleurs, une teneur élevée en eau du fourrage augmente également la quantité d'acide nécessaire** pour abaisser son pH. Les fourrages prairiaux, souvent riches en MAT ou trop humides, sont donc plus difficiles à acidifier et nécessitent davantage de sucres solubles.

Lors d'un chantier de récolte, il n'est pas possible de modifier ces paramètres, seule la teneur en matière sèche peut être ajustée en augmentant le préfanage au champ. **Plus un fourrage présente un pouvoir tampon élevé et un faible taux de sucres, plus il sera nécessaire de le préfaner pour atteindre un pH adapté lors de la fermentation**. C'est le cas de la luzerne, pour laquelle une teneur en matière sèche supérieure à 35 % est conseillée. À l'inverse, le maïs fourrage peut être conservé dès 20 % de matière sèche, bien que ce ne soit pas optimal d'un point de vue agronomique (non atteinte du rendement et de la valeur alimentaire optimale), et que des pertes par les jus se produisent généralement jusqu'à 28-30 % MS. La figure 4 positionne les principales espèces fourragères selon ces paramètres.

Figure 3 : Relation entre la porosité du silo (%) et la densité du fourrage ensilé (kg MS/m³) selon quatre teneurs en matière sèche (MS)

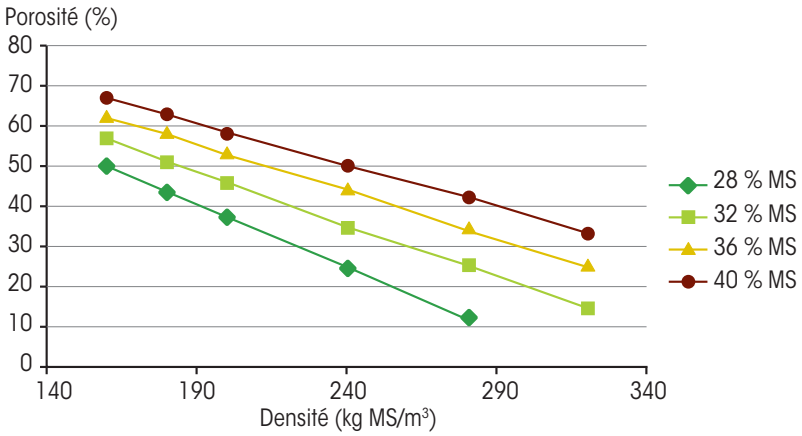
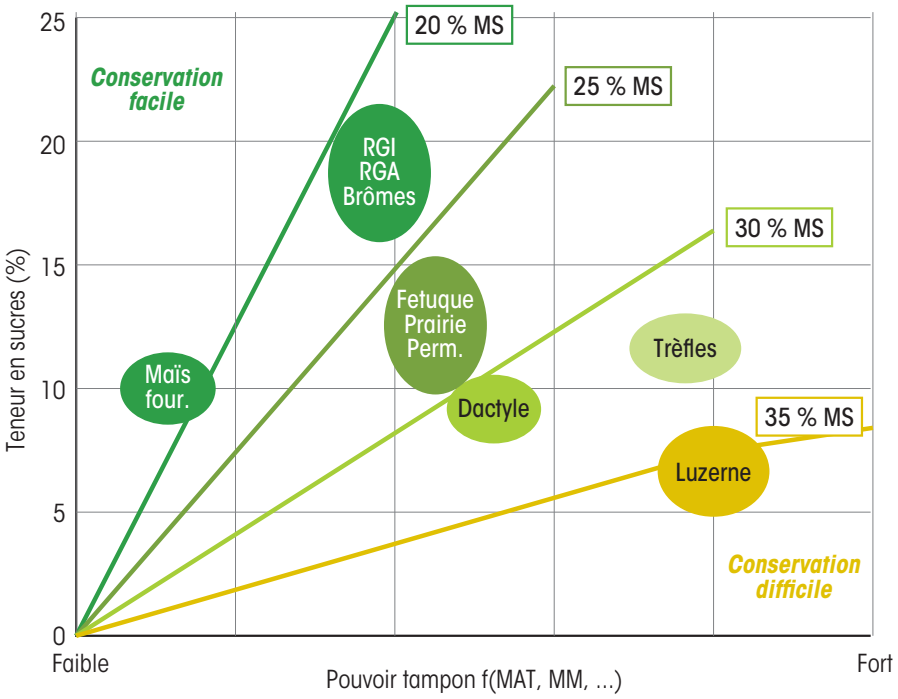



Figure 4 : Teneur en matière sèche (MS) minimale à atteindre pour une bonne conservation selon le pouvoir tampon et le taux de sucres solubles des fourrages (d'après AFSSA 2004)






# 2 Les conservateurs de fourrages

## 2.1. Modes d'action

On distingue deux grandes familles de conservateurs : les conservateurs biologiques et les conservateurs chimiques. Leurs modes d'action et les effets recherchés sont résumés dans le tableau 1.

**Les conservateurs biologiques visent à augmenter le nombre de bactéries présentes initialement** pour favoriser et accélérer les fermentations lactiques. Deux types de bactéries lactiques sont utilisés.

- Les **bactéries lactiques homo-fermentaires produisent deux acides lactiques** à partir d'un sucre soluble, ce qui accélère la baisse du pH et favorise l'atteinte de la stabilité anaérobique.
- Les **bactéries hétéro-fermentaires produisent un acide lactique et un acide acétique** à partir d'un sucre soluble. L'acide acétique a un pouvoir acidifiant plus faible que l'acide lactique, donc la baisse de pH est moins rapide. Cependant, l'acide acétique améliore la stabilité aérobique lors de l'ouverture du silo en raison de ses propriétés antifongiques, réduisant ainsi le risque d'échauffement du front d'attaque. De plus, les bactéries hétéro-fermentaires produisent du 1,2-propanediol, un précurseur de l'acide propionique qui possède également des propriétés antifongiques. Enfin certaines souches, telles que *Lactobacillus buchneri*, peuvent convertir l'acide lactique en acide acétique (Muck et *al.*, 2018).

Les conservateurs contenant des bactéries incluent parfois des enzymes qui dégradent les sucres complexes (fibres, amidon) en sucres simples, augmentant ainsi la quantité de sucres disponibles pour la fermentation lactique. Ces enzymes sont particulièrement bénéfiques pour les fourrages ayant un faible taux de sucres solubles.

Parmi les **conservateurs chimiques** figurent les acides et les sels. **Les acides** ont pour objectif principal **d'agir directement sur le pH du fourrage**. L'acide formique possède le pouvoir acidifiant le plus élevé. En revanche, les **acides propionique**, sorbique, benzoïque et acétique **apportent une stabilité aérobique lors de l'ouverture du silo** grâce à leurs propriétés antifongiques. Pour ces conservateurs, une quantité substantielle est nécessaire pour agir efficacement sur le pH (3 à 6 litres par tonne de fourrage brute).

Les sels utilisés comme conservateurs sont des acides neutralisés par une base. Lorsqu'ils sont appliqués sur le fourrage, ces sels peuvent libérer un acide et agir de manière similaire aux acides non neutralisés (sorbate de potassium, propionate de sodium, etc.). D'autres types de sels, comme le chlorure de sodium, ont quant à eux une action antifongique directe.

## 2.2. Efficacité des conservateurs

De nombreuses études scientifiques ont été publiées sur l'efficacité des conservateurs, chacune présentant des dispositifs expérimentaux, des contextes et des résultats différents. Cette brochure synthétise l'efficacité observée pour chaque grande famille de conservateurs dans ces études. Nous nous appuyons principalement sur trois méta-analyses, dont les résultats sont résumés au tableau 2. Les tanins n'y figurent pas, faute de références suffisantes les concernant.

Tableau 1 : Grandes familles de conservateurs d'ensilage, mode d'action, objectifs recherchés, et phase d'action

| Types de conservateur d'ensilage | Principaux mécanismes d'action | Objectifs recherchés | Phase d'intérêt[1] |
|---|---|---|---|
| **Biologiques** | | | |
| **Bactéries lactiques homo-fermentaires** | Sucres simples (hexose) → Acide lactique | Baisse rapide du pH | 2 |
| **Bactéries lactiques hétéro-fermentaires** | Sucres simples → Acide lactique et acétique, alcool, 1.2-propanediol<br>Acide lactique → Acide acétique | Stabilité aérobique | 4 |
| **Enzymes** | Sucres complexes → Sucres simples | Augmente le taux de sucres fermentescibles | 2 |
| **Chimiques** | | | |
| **Acide formique** | Baisse directe du pH | Baisse rapide du pH | 2 |
| **Acide propionique, sorbique, benzoïque, acétique** | Activité antifongique<br>Baisse directe du pH | Stabilité aérobique<br>Baisse rapide du pH | 2 et 4 |
| **Sels, tanins** | Inhibition microbienne<br>Baisse du pH par la libération d'acide (« sels d'acide ») | Inhibition microbienne<br>Baisse rapide du pH | 2 et 4 |

[1] *Phase d'action en référence à la partie 1.1*

Tableau 2 : Effet des différentes familles de conservateur par rapport à un témoin non traité (vert = effet positif significativement différent du témoin, orange = effet négatif significativement différent du témoin, risque $\alpha$ = 5 %)

| Type de conservateur | Meta-analyse | Type de fourrage | Nb études | pH | Prés. MS[3] % | $NH_3$-N (% de N) | Levures (log ufc[4]/g MB) | Clostridies (log ufc/g MB) | Taux butyrate (g/kg MS) | Stab. Aéro.[5] (h) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bactéries HO[1]** | *Oliveira et al. 2017* | Tout fourrages | 130 | -0,11 | +0,78 | -1,31 | +0,28 | -1,94 | -0,05 | -2 |
| | | Maïs sorgho | 30 | -0,01 | -0,02 | | | | | |
| | | Prairie | 39 | -0,17 | +2,65 | | | | | |
| | | Luzerne | 12 | -0,26 | | | | | | |
| | *Brocard 2015* | Graminées prairiales | 52 | -0,46 | +3,89 | -1,19 | +0,03 | | | -32 |
| **Bactéries HE[2]** | *Brocard 2015* | Graminées prairiales | 31 | 0,00 | +0,61 | +3,73 | -1,71 | | | +220 |
| | *Kleinschmit et al. 2006* | Prairies, CER. IM.[6] | 17 | +0,22 | -1,3 | -0,01 | -0,39 | | | +39 |
| | | Maïs | 26 | +0,18 | -1,00 | 0,00 | -2,30 | | | +478 |
| **Bactéries HO + HE** | *Brocard 2015* | Graminées prairiales | 17 | -0,30 | +2,61 | +1,29 | -1,73 | | | +213 |
| **Chimiques** | *Brocard 2015* | Graminées prairiales | 12 | -0,36 | | -7,53 | +0,94 | | | |

*[1] HO = homo-fermentaires, [2] HE = hétéro-fermentaires, [3] Prés. MS = préservation de la matière sèche, [4] ufc = unité formant colonie, [5] Stab. Aéro. = stabilité aérobique, [6] CER. IM. = Céréales immatures.*

## Les bactéries lactiques homo-fermentaires

Les bactéries homo-fermentaires permettent une diminution plus rapide et plus marquée du pH par rapport à un fourrage non traité. **Cette fermentation plus active et rapide limite les pertes de matière sèche, particulièrement pour les fourrages prairiaux**. Les pertes initiales de matière sèche pour ces fourrages sont estimées à 8 %, et elles sont réduites respectivement à 5,35 % et 4,11 % selon Oliveira, et *al.* (2017) et Brocard (2015). Cette amélioration s'accompagne **d'une meilleure préservation des protéines**, évaluée par une réduction de la teneur en azote ammoniacal de 10,97 % à 9,78 % $NH_3$-N (Brocard, 2015).

**Pour les fourrages ayant une bonne aptitude à l'ensilage** (riches en sucres, faible pouvoir tampon, …), **comme le maïs, aucun effet significatif sur le pH ni sur la préservation de la matière sèche n'est observé.**

Bien que peu documenté, il semble qu'une stabilisation plus rapide limite le développement des clostridies et la production d'acide butyrique. Cependant, l'ajout de bactéries homo-fermentaires ne garantit pas l'absence de ces fermentations indésirables. Les conditions de récolte et la qualité du fourrage (notamment son taux de matière sèche et sa « propreté ») à l'entrée du silo restent déterminantes à cet égard (cf. partie 1).

Concernant la valorisation par les animaux, aucun effet significatif n'est rapporter par Oliveira et *al.* (2017) dans leur méta-analyse de 31 essais. Ils notent toutefois une légère augmentation de l'ingestion chez les vaches laitières (+0,26 kg MS/j), accompagnée d'une hausse similaire de la production laitière (+0,37 kg lait/j), sans impact sur l'efficacité alimentaire.

## Les bactéries lactiques hétéro-fermentaires

La majorité des publications sur les bactéries hétéro-fermentaires se concentrent sur *Lactobacillus buchneri*. **Les effets sur le pH et la préservation de la matière sèche sont faibles**, voire inexistants. Kleinshmit et *al.* (2006), dans leur méta-analyse, rapportent même une légère augmentation du pH (+0,18 à +0,22 point) et une hausse des pertes de matière sèche au silo (+1 %) ce qui est cohérent avec le mode d'action et les voies métaboliques de ces bactéries.

En revanche, **ces conservateurs améliorent significativement la stabilité aérobie, c'est-à-dire le délai entre l'ouverture du silo et l'apparition des premiers signes d'échauffement au front d'attaque**. Les ensilages de maïs, plus sensibles à l'échauffement que les fourrages prairiaux, bénéficient particu-



lièrement de cet effet, avec un gain de 478 heures de stabilité par rapport au témoin non traité. Pour les fourrages prairiaux, l'amélioration est moindre (+39 heures). Parallèlement, les populations de levures, précurseurs des échauffements en consommant les acides lactiques, sont réduites dans les fourrages traités (-1,71 à -2,30 log ufc/g MS).

Concernant les performances animales, les rares essais disponibles ne montrent pas d'impact significatif sur l'ingestion ni sur les performances. **À noter qu'un délai de fermentation de 30 à 60 jours est nécessaire** pour la production d'acide acétique et le développement optimal de *L. buchneri* (Muck et *al.*, 2018). Ce type de conservateur est donc plus pertinent pour des fourrages susceptibles de s'échauffer à l'ouverture et ayant bénéficié d'une période de fermentation suffisante.

## Mix de bactéries lactiques homo-fermentaires et hétéro-fermentaires

Il n'est pas rare de trouver des inoculants commerciaux combinant des bactéries homo-fermentaires et hétéro-fermentaires. Ces produits visent à bénéficier d'abord de l'effet des bactéries homo-fermentaires, qui abaissent rapidement le pH. Cette acidification rapide supprime l'activité des entérobactéries, clostridies et autres micro-organismes indésirables, limitant ainsi la protéolyse et les pertes de matière sèche au silo.

Les bactéries hétéro-fermentaires, généralement plus lentes à se développer, prennent ensuite le relais en transformant une partie de l'acide lactique en acide acétique, ce qui améliore la stabilité aérobie du fourrage. Les résultats de la méta-analyse de Brocard (2015) sur fourrages prairiaux confirment cette synergie, avec une diminution du pH de 0,3 point et une préservation supplémentaire de +2,6 % de la matière sèche par rapport au témoin, ainsi qu'une amélioration de la stabilité aérobie (+213 heures).

Bien que ce principe soit également validé par Muck et *al.* (2018) dans sa revue bibliographique, l'auteur souligne que, dans certaines études, les bactéries hétéro-fermentaires n'ont montré aucune activité. Ils avancent l'hypothèse d'une possible incompatibilité entre les souches bactériennes utilisées.

## Autres bactéries

*Propionibacterium acidipropionici* et *Propionibacterium shermanii* sont deux bactéries qui ont été étudiées pour leur capacité à produire de l'acide propionique et de l'acide acétique. Selon Filya et *al.* (2004), elles induisent des résultats similaires à l'usage de *L.Buchneri* (Bactérie lactique hétéro-fermentaire).

## Les enzymes

Les principales enzymes utilisées sont les cellulases, les hémicellulases, et les amylases, souvent combinées avec des bactéries lactiques. **Quelques essais réalisés sur des fourrages pauvres** en **sucres solubles rapportent une baisse du pH avec l'utilisation d'enzymes** (Tian et *al.*, 2014 ; Guo et *al.*, 2014 ; Khota et *al.*, 2016).

Pour le maïs, Lynch et *al.* (2015) montrent que l'ajout d'enzymes réduit également le pH et augmente la teneur en sucres solubles. Toutefois, ce gain profite également à d'autres micro-organismes : les pertes de matière sèche au silo sont accrues, les population de levures augmentent et la stabilité aérobie à l'ouverture du silo se détériore.

**L'utilisation de conservateurs à base d'enzymes semble donc à privilégier pour des fourrages pauvres en sucres solubles**, ayant des difficultés à atteindre un pH suffisamment bas, tels que **les ensilages de légumineuses ou de plantes insuffisamment préfanées**.

## Les acides et les sels

L'application d'acides et de sels agit directement sur le pH du fourrage. Les essais sont souvent réalisés avec un mélange d'acide formique et d'un autre acide. Cette acidification entraîne une faible activité bactérienne (bactéries lactiques, clostridies, entérobactéries et autres), ce qui limite la consommation des sucres solubles, la production d'acide lactique et acétique. La protéolyse est réduite et la matière sèche mieux préservée (Muck et *al.*, 2018). Concernant les sels, notamment le chlorure de sodium, leur rôle est de limiter l'activité de l'eau dans les zones de condensation sous la bâche afin de freiner l'ensemble des processus métaboliques.

Sur le plan de la stabilité aérobie, celle-ci est aussi améliorée par les acides propionique, sorbique présents dans ces mélanges (Muck et *al.*, 2018).

Concernant la valorisation animale, Muck et *al.* (2018) rapportent deux essais montrant une augmentation de l'ingestion d'environ 1 kg de MS par jour, avec une amélioration de l'efficacité alimentaire permettant un gain de production. Toutefois, ce bénéfice est réduit dans des rations contenant une proportion importante de concentrés (Winters et *al.*, 2001 ; Broderick et *al.*, 2007, cités par Muck et *al.*, 2018).

# 3 Choisir un conservateur

Les conservateurs disponibles sur le marché sont efficaces, mais il est crucial d'identifier les situations et le type de conservateur à utiliser pour obtenir l'effet escompté. **Dans les situations les plus critiques, même l'ajout d'un conservateur peut ne pas suffire à conserver correctement le fourrage** (ex. fourrage à fort pouvoir tampon, humide et contaminé par de la terre). **Respecter les préconisations de teneur en matière sèche, le dimensionnement et la confection du silo sont indispensables pour une bonne conservation et maximiser l'effet des conservateurs (cf. partie 1)**. Les principales situations à risques sont reprises dans le tableau 3.

## Ensilage de fourrages prairiaux

Pour les fourrages prairiaux, l'objectif principal est d'accélérer la phase d'acidification afin de préserver au mieux la matière sèche et sa qualité. L'acide formique, **l'acide propionique ou les bactéries homo-fermentaires sont généralement à privilégier**. L'ajout d'enzymes peut également améliorer l'efficacité, en particulier pour les fourrages les plus pauvres en sucres solubles. Plus le fourrage est riche en MAT et humide, plus le risque de ne pas atteindre un pH suffisamment bas est important.



Dans le cas d'un **fourrage jeune bien préfané ou d'un ensilage de graminées à un stade avancé, l'ajout de bactéries hétéro-fermentaires** pourra également limiter les risques d'échauffement à l'ouverture du silo et à l'auge. Ces types de fourrages peuvent présenter des taux de sucres solubles élevé et une porosité importante.

## Ensilage de maïs

Le maïs fourrage présente une bonne aptitude à l'ensilage (pouvoir tampon faible au regard des sucres solubles disponibles). L'utilisation de bactéries homo-fermentaires ou d'acide ne se justifiera que sur des silos ouverts rapidement ou avec une matière élevée pour lesquels une accélération de la fermentation est utile.

Le maïs fourrage est sensible à l'échauffement lors de l'ouverture du silo. **L'application d'acide propionique ou de bactérie hétéro-fermentaire** peut permettre de préserver plus longtemps la matière sèche et la qualité du fourrage sur le front d'attaque et à l'auge, d'autant plus lorsqu'un stockage intermédiaire est nécessaire (robot d'alimentation). Un dimensionnement et un tassage adéquat du silo restent des leviers à mettre en œuvre en amont de l'ajout d'un conservateur.

Tableau 3 : Arbre de décision pour identifier les situations à risques, et les familles de conservateurs adaptés

| Quel est le taux de sucres solubles ? | Quel est le pouvoir tampon ? | Quel est la teneur en matière sèche ? | Risque de pH trop haut | Risque d'échauffement à l'ouverture[1] | Risques associés, objectifs recherchés et familles de conservateurs à privilégier | Exemples de fourrages |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Limité (< 10 % de MS) | Fort | Faible (< 30% MS) | Fort | Marginal | L'objectif est d'abaisser rapidement et assez bas le pH.<br>- Acide formique ou propionique<br>- Bactéries lactiques homo-fermentaires + enzymes | Ensilage de légumineuses humide |
| | | Satisfaisante (30-40% MS) | Faible | Faible | L'objectif est d'abaisser rapidement et assez bas le pH.<br>- Acide formique ou propionique<br>- Bactéries lactiques homo-fermentaires + enzymes | - |
| | | Élevée (>40% MS) | Marginal | Moyen | L'objectif est de limiter/retarder les échauffements.<br>- Acide propionique<br>- Bactéries lactiques hétéro-fermentaires + enzymes | Ensilage de légumineuses fortement préfané |
| | Faible | Faible (< 30% MS) | Fort | Marginal | L'objectif est d'abaisser rapidement et assez bas le pH.<br>- Acide formique ou propionique<br>- Bactéries lactiques homo-fermentaires + enzymes | Ensilage de graminées prairiales en conditions peu poussantes |
| | | Satisfaisante (30-40% MS) | Faible | Faible | L'objectif est d'abaisser rapidement et assez bas le pH.<br>- Acide formique ou propionique<br>- Bactéries lactiques homo-fermentaires + enzymes | - |
| | | Élevée (>40% MS) | Marginal | Moyen | L'objectif est de limiter/retarder les échauffements.<br>- Acide propionique<br>- Bactéries lactiques hétéro-fermentaires + enzymes | - |
| Élevé (>10 % de MS) | Fort | Faible (< 30% MS) | Moyen | Marginal | L'objectif est d'abaisser rapidement et assez bas le pH.<br>- Acide formique ou propionique<br>- Bactéries lactiques homo-fermentaires + enzymes | Ensilage humide de prairie multi-espèces ou méteil riche en légumineuses à un stade précoce |
| | | Satisfaisante (30-40% MS) | Faible | Faible | L'objectif est d'abaisser rapidement et assez bas le pH :<br>- Acide formique ou propionique<br>- Bactéries lactiques homo-fermentaires | - |
| | | Élevée (>40% MS) | Marginal | Fort | L'objectif est de limiter/retarder les échauffements, ainsi que d'abaisser rapidement et assez bas le pH :<br>- Acide propionique<br>- Bactéries lactiques homo + hétéro-fermentaires | Ensilage sec de PME à un stade précoce |
| | Faible | Faible (< 30% MS) | Faible | Marginal | - | Ensilage de sorgho monocoupe profil sucrier |
| | | Satisfaisante (30-40% MS) | Marginal | Moyen | L'objectif est de limiter/retarder les échauffements.<br>- Acide propionique<br>- Bactéries lactiques hétéro-fermentaires | Ensilage de Maïs |
| | | Élevée (>40% MS) | Marginal | Fort | L'objectif est de limiter/retarder les échauffements.<br>- Acide propionique<br>- Bactéries lactiques hétéro-fermentaires | Ensilage de maïs en sur-maturité, Ensilage sec de graminées prairiales |

[1] *Risque d'échauffement à l'ouverture évalué pour un avancement minimum recommandé (10-15 cm/j en hiver et 15-20 cm/j en été) (cf. Partie 1.2).*

# 4 Les bonnes pratiques d'application

L'application des conservateurs est réalisée par l'ensileuse directement sur le flux de fourrage, afin d'assurer une répartition aussi homogène que possible dans le silo.

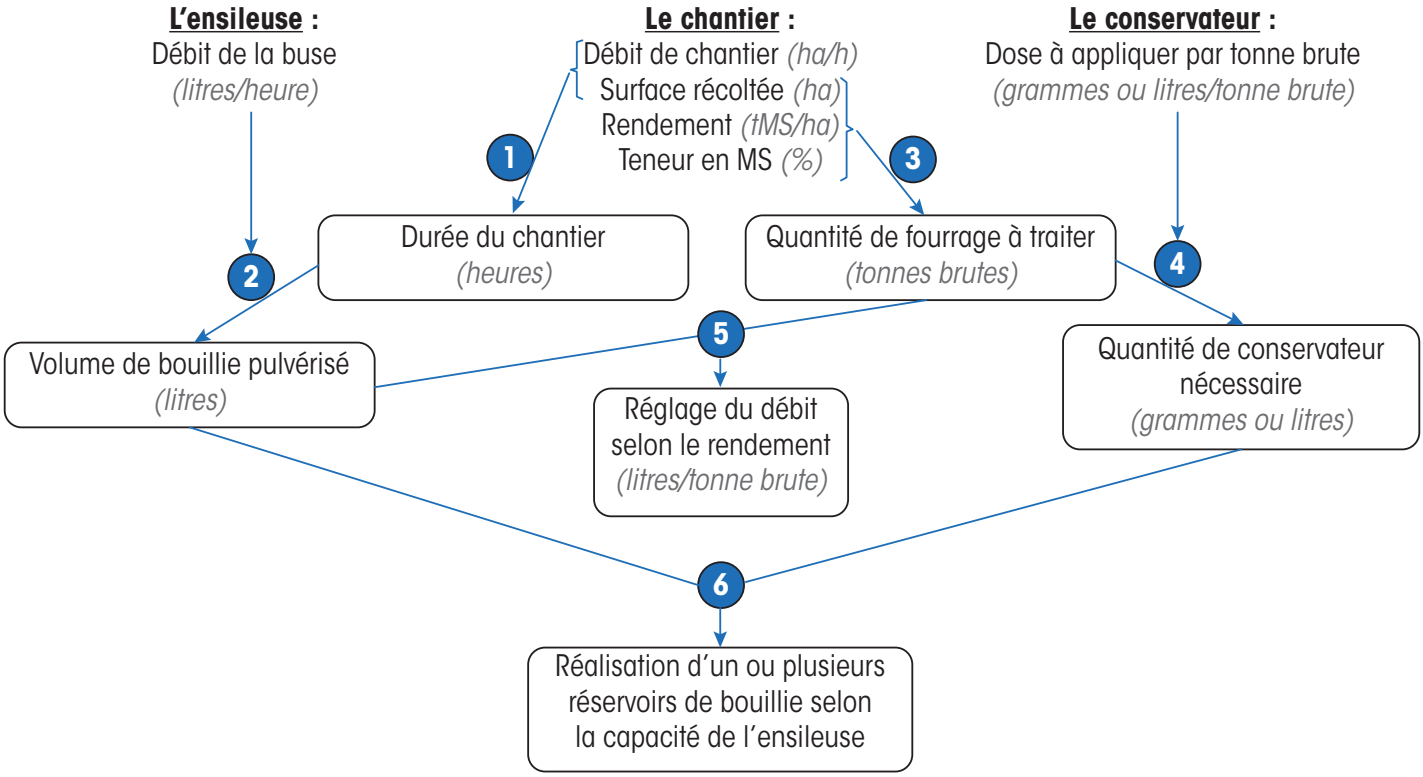
Les conservateurs sont appliqués en fonction du poids brut du fourrage, tandis que les ensileuses pulvérisent la bouillie de conservateur en litres par heure. Ainsi l'application d'un conservateur dépend de trois points :

- **L'ensileuse** : Quelle est la plage d'utilisation de l'applicateur de conservateur (débit de la buse) ? Ce paramètre est toujours exprimé sous forme d'une plage, et il est recommandé de régler l'applicateur au milieu de cette plage afin de pouvoir ajuster le débit en cours de chantier. En général, les applicateurs fonctionnent efficacement avec des débits compris entre 30 et 60 litres par heure.
- **Le chantier de récolte** : Déterminé par la surface, le rendement, la teneur en matière sèche du fourrage et le débit du chantier. Bien que peu de ces paramètres soient connus avec précision, ils doivent être estimés au plus près de la réalité.
- **Le conservateur** : Chaque produit a une dose d'application spécifique, allant de 1 g à plus de 5 litres par tonne brute, selon qu'il s'agisse d'un conservateur biologique ou chimique.

Ces paramètres permettent de déterminer la durée du chantier, le volume de bouillie à pulvériser, la quantité de fourrage à traiter et la dose nécessaire de conservateur. Certaines ensileuses sont équipées de capteurs de rendement. Une fois étalonnés, ces capteurs permettent un ajustement plus précis de l'incorporation des additifs. L'ensileuse fonctionne alors en mode asservi, et l'opérateur doit simplement paramétrer le volume de solution à appliquer par tonne de fourrage brute (figure 5). (ARVALIS, 2018)

Pour assurer une bonne dissolution du conservateur et éviter un choc osmotique des bactéries, il est conseillé de suivre une méthode en deux étapes : diluer d'abord le produit dans 1 litre d'eau, puis dans 5 litres, avant de le verser dans le réservoir de l'ensileuse. Complétez ensuite avec de l'eau jusqu'à atteindre le volume souhaité.

Figure 5 : Paramètres pour déterminer la dose de conservateur nécessaire, le volume de bouillie à appliquer et sa concentration en conservateur



# 5 Intérêt économique de l'application d'un conservateur

**Cette section vise à mettre en perspective les coûts des conservateurs par rapport aux gains potentiels qu'ils peuvent offrir. Certains bénéfices restent toutefois difficiles à chiffrer, tels que l'amélioration de l'appétence des fourrages ou les effets sanitaires.**

L'approche économique qui suit s'applique principalement aux conservateurs accélérant la phase d'acidification et l'atteinte de la stabilité anaérobie (cf. partie 1.1). Ces conservateurs permettent **une préservation directe de la matière sèche et des qualités nutritionnelles, deux éléments quantifiables. Les économies liées à ces deux axes ne seront pas cumulées dans les approches suivantes.**

**En revanche, pour les conservateurs améliorant la stabilité aérobie lors de la réouverture des silos, la quantification des gains est plus complexe. Bien que leur efficacité soit mesurée en heures avant l'apparition des échauffements** (cf. partie 2.2), l'estimation des pertes évitées en matière sèche ou en qualité nutritionnelle dépend de nombreux facteurs non maîtrisables (porosité du silo, vitesse de désilage, conditions météorologiques, etc.). Ces multiples variables rendent difficile une évaluation économique des bénéfices apportés par ces conservateurs dans les conditions réelles rencontrées dans les élevages.

Un conservateur présente un prix variable en fonction de sa composition (nombre de souches bactériennes, quantité de bactéries (ufc), présence d'enzymes) et de sa formulation (durée de vie des bactéries en solution, propriétés anti-sédimentation, etc.). Lors de la rédaction de cette brochure, le coût d'un **conservateur biologique se situe entre 1,5 et 3 € par tonne brute traitée, tandis qu'un conservateur chimique avoisine une dizaine d'euros par tonne brute.**

## Préservation de la matière sèche

Avec un coût de production (récolte comprise) d'un fourrage situé entre 90 et 140 €/tMS, il serait nécessaire de limiter les pertes quantitatives de 3 à 5 % de la MS initiale pour couvrir le coût d'un conservateur sur cet unique critère. Le tableau 4 présente les économies potentielles en fonction du pourcentage de pertes évitées et du coût de production du fourrage.

## Préservation de la protéine

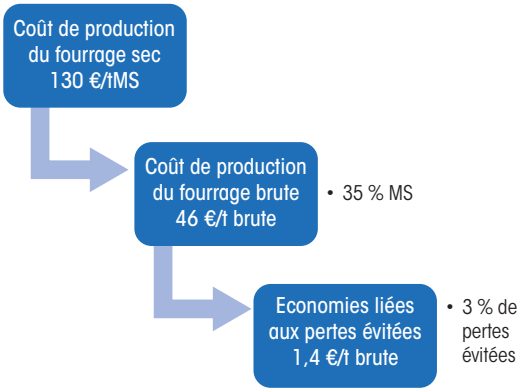
La protéolyse qui se déroule au début du processus de fermentation se traduit par une augmentation de teneur (ou quantité) en azote soluble, dont une partie se présente sous forme ammoniacale ($NH_3$). D'autres composés, tels que des acides aminés, des amines et des nitrates, font également partie de cet azote soluble. La diminution de la proportion de $NH_3$ par rapport à l'azote total, présentée en partie 2.2, indique une réduction de la protéolyse (-1.19 à -1.31 points de $NH_3$ sur l'azote total selon Oliveira et *al.* 2017 et Brocard 2015). Selon diverses sources, une variation de 1 point de $NH_3$ se traduit par une variation de 1,5 à 4,5 points de l'azote soluble (Andrieu et *al.* 1990, AFSSA 2004).

D'après Ferard et *al.* (2018) (données recalculées en INRAE 2018), une augmentation de 10 points d'azote soluble

Tableau 4 : Coût d'opportunité (en €/t brute de fourrage) en fonction de l'effet du conservateur (% de pertes évitées) et du coût de production du fourrage (€/tMS et €/t brute à 35 % de MS)

| % des pertes de MS évitées | Coût de production du fourrage au silo (€/tMS) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 90 *(32)* | 100 *(39)* | 130 *(46)* | 150 *(53)* | 170 *(60)* | 190 *(67)* |
| 1 % | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| 2 % | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| 3 % | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| 4 % | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 |
| 5 % | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 3,3 |
| 6 % | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,2 | 3,6 | 4,0 |
| 7 % | 2,2 | 2,7 | 3,2 | 3,7 | 4,2 | 4,7 |
| 8 % | 2,5 | 3,1 | 3,6 | 4,2 | 4,8 | 5,3 |
| 9 % | 2,8 | 3,5 | 4,1 | 4,7 | 5,4 | 6,0 |
| 10 % | 3,2 | 3,9 | 4,6 | 5,3 | 6,0 | 6,7 |

***Illustration de la méthode de calcul pour un fourrage à 130 €/tMS et 3 % de pertes évitées :***



correspond à une réduction de 3,6 g de PDI/kg de MS. En évaluant le coût d'un gramme de PDI à partir d'un soja contenant 227 g de PDI/tonne, il est possible d'estimer le bénéfice d'une protéolyse moins intense. Le coût d'opportunité du conservateur est présenté dans le tableau 5.



Tableau 5 : Coût d'opportunité du conservateur (en €/tonne brute) selon la préservation de la protéine et du coût estimé des PDI sur la base d'un tourteau de soja (Calcul réalisé pour un fourrage à 35 % de MS) (Estimation d'après Ferard et 2018, Andrieu et *al.* 1990, AFSSA 2004)

| **Réduction de la protéolyse : N soluble en Nb pts/N total** *[Equivalence basse et haute en $NH_3$ en Nb pts/N total]* | **kg de PDI préservés par tMS** | **Coût de la tonne de tourteaux de Soja 46% MAT (€/t)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **300** *(1.32)* | **350** *(1.54)* | **400** *(1.76)* | **450** *(1.98)* | **500** *(2.20)* | **550** *(2.42)* |
| -1 *[-0.7;-0.2]* | 0,36 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| -2 *[-1.3;-0.4]* | 0,72 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| -3 *[-2.0;-0.7]* | 1,08 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| -4 *[-2.7;-0.9]* | 1,44 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |
| -5 *[-3.3;-1.1]* | 1,80 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,5 |
| -6 *[-4.0;-1.3]* | 2,16 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,8 |
| -7 *[-4.7;-1.6]* | 2,52 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,1 |
| -8 *[-5.3;-1.8]* | 2,88 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 |
| -9 *[-6.0;-2.0]* | 3,24 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 |
| -10 *[-6.7;-2.2]* | 3,60 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,0 |

# 6 Réglementation des conservateurs

Pour être commercialisé en Europe et en France, tout conservateur doit **respecter la réglementation européenne 1831/2003** relative aux additifs destinés à l'alimentation des animaux. Cette réglementation englobe différents types d'additifs, tels que les additifs technologiques, sensoriels, nutritionnels ou zootechniques. Les conservateurs font partie des « additifs technologiques » et sont classés dans la sous-catégorie « additifs pour ensilage ». **Cette liste comprend toutes les « substances, y compris les enzymes ou les micro-organismes, destinées à être incorporées dans les aliments pour animaux afin d'améliorer la production d'ensilage »**. Un résumé des additifs autorisés dans cette liste est présenté dans le tableau 6.

Pour être autorisé, un additif pour ensilage doit répondre à plusieurs conditions :

- La sécurité : il ne doit pas avoir d'effet néfaste sur la santé animale, la santé humaine ou l'environnement.
- L'efficacité : il doit prouver son efficacité dans l'application à laquelle il est destiné.
- La qualité : il doit présenter une qualité constante et respecter les spécifications de composition fournies dans la demande d'autorisation. La pureté, l'homogénéité et la stabilité de l'additif doivent être garanties.

La mise sur le marché d'un nouvel additif pour ensilage nécessite environ dix années d'études pour garantir sa conformité face à ces exigences.

Tableau 6 : Résumé des additifs pour ensilage présents dans la liste 1.k de la réglementation 1831/2003 (extrait au 13/06/2024).

| Type de produit | Noms | Nombre occurrence |
|---|---|---|
| Chimique | Acide Formique | 1 |
| | Acide Propionique | 2 |
| | Ammonium propionate | 2 |
| | Propionate de sodium | 2 |
| | Benzoate de sodium | 1 |
| | Fomate de Sodium | 1 |
| | Sorbate de Potassium | 1 |
| | Nitrite de sodium | 1 |
| | Hexamethylene tetramine | 1 |
| Enzyme | Amylase | 6 |
| | Beta-glucanase | 4 |
| | Beta-xylanase | 1 |
| | Cellulase | 2 |
| LAB hétéro-fermentaire | *Lactobacillus brevis* | 4 |
| | *Lactobacillus buchneri* | 17 |
| | *Lactobacillus diolivorans* | 4 |
| | *Lactobacillus kefiri* | 1 |
| | *Lactobacillus parafarragini* | 1 |
| | *Lentilactobacillus hilgardii* | 1 |
| | *Pediococcus acidilactici* | 4 |
| LAB homo-fermentaire | *Enterococcus faecium* | 4 |
| | *Lactobacillus paracasei* | 2 |
| | *Lactobacillus rhamnosus* | 3 |
| | *Lactobacillus plantarum* | 39 |
| | *Lactobacillus casei* | 3 |
| | *Lactococcus lactis* | 3 |
| | *Pediococcus acidilactici* | 4 |
| | *Pediococcus parvulus* | 1 |
| | *Pediococcus pentosaceus* | 14 |
| Autres bactéries et levures | *Acidipropionibacterium acidipropionici* | 1 |
| | *Propionibacterium freudenreichii* | 1 |
| | *Saccharomyces cerevisiae* | 1 |

**Usage de conservateurs en Agriculture Biologique**

L'usage de conservateurs en agriculture biologique est encadré par le **règlement (UE) 2018/848**. Pour être autorisés, ces produits doivent disposer soit d'une attestation d'usage en agriculture biologique, soit d'un agrément pour les additifs, selon qu'ils sont considérés comme des additifs ou des prémélanges d'additifs. Une liste positive des additifs pouvant prétendre à ces autorisations est disponible en Annexe III - Partie B - point 1.e) du règlement européen (UE) 2021/1165. Dans tous les cas, il revient au fabricant ou au fournisseur de fournir à l'utilisateur l'attestation ou l'agrément correspondant.

# 7 Références


- **AFSSA. (2004).** Bonnes pratiques de fabrication de l'ensilage pour une meilleure maîtrise des risques sanitaires.
- **Andrieu, J., Demarquilly, C., & Rouel, J. (1990).** Conservation et valeur alimentaire des ensilages directs de prairies naturelles : Comparaisons de trois types de conservateurs. INRA Productions Animales, P67-73.
- **ARVALIS. (2018).** Maïs fourrage : objectif qualité, du champ à l'auge.
- **Brocard, B. (2015).** Étude des modes d'actions et de l'efficacité des additifs de conservation pour l'ensilage de graminées prairiales. ARAVLIS.
- **Broderick, G., Brito, A., & Olmos Colmenero, J. (2007).** Effects of feeding formate-treated alfalfa silage or red clover silage on the production of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, N90, P1378-1391.
- **Buckmaster, D., & Heinrichs, A. (1993).** Losses and quality changes during harvest and storage of preservative-treated alfalfa hay of varying moisture content. American Society of Agricultural Engineers, Vol.36, P349-354.
- **Driehuis, F., & Oude Elferink, S. (2000).** The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. The veterinary quarterly, VOL. 22, N°4.
- **Ferard, A., Meslier, E., & Uijttewaal, A. (2018).** Prévision de la dégradabilité de la matière azotée totale des ensilages très riches en protéines : intérêt de l'évaluation de la teneur en azote soluble du fourrage. 3R.
- **Guo, G., Yuann, X., Li, I., Wen, A., & Shao, T. (2014).** Effects of fibrolytic enzymes, molasses and lactic acid bacteria on fermentation quality of mixed silage of corn and hulless-barley straw in the Tibetan plateau. Grassland Sciences, N°60, P240-246.
- **Khota, W., Pholsen, S., Higgs, D., & Cai, Y. (2016).** Natural lacticacid bacteria population of tropical grasses and their fermentation factor analysis of silage prepared with cellulase and inoculant. Journal of dairy science, N°99, P9768-9781.
- **Killerby, M., Reyes, D., White, R., & Romero, J. (2022).** Meta-analysis of the effects of chemical and microbial preservatives on hay spoilage during storage. Journal of Animal Science, N100, P1-13.
- **Kleinschmit, D., & Kung Jr., L. (2006).** A Meta-Analysis of the Effects of Lactobacillus buchneri on the Fermentation and Aerobic Stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages. Journal of Dairy Science, N89, P4005-4013.
- **Lynch, J., Baah, J., & Beauchemin, K. (2015).** Conservation,-fiber digestibility, and nutritive value of corn harvested at 2 cutting heights and ensiled with fibrolytic enzymes, either alone or with a ferulic acid esterase-producing inoculant. Journal of dairy science, N°98, P1214-1224.
- **Muck, R. E., & Kung Jr., L. (2020).** Silage Production. Forages : the science of grassland agriculture.
- **Muck, R., Nadeau, E., McAllister, T., Contreras-Govea, F., Santos, M., & Kung Jr., L. (2018).** Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. Journal of Dairy Science, Vol. 101, N°5.
- **Oliveira, S., Weinberg, Z., Ogunande, I., Cervantes, A., Arriola, K., Jiang, Y., . . . Vyas, D. (2017).** Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. Jouranl of Dairy Science, N100, P4587-4603.
- **Pitt, R. (1990).** Silage and hay preservation. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES).
- **Tian, J., Yu, Y., Yu, Z., Shao, T., Na, R., & Zhao, M. (2014).** Effects of lactic acid bacteria inoculants and cellulase on fermentation quality and in vitro digestibility of Leymus chinensis silage. Grassland Sciences, N°60, P199-205.
- **Winters, A., Fychan, R., & Jones, R. (2001).** Effect of formic acid and a bacterial inoculant on the amino acid composition of grass silage and on animal performance. Grass and Forage Science, N56, P181-192.



Document édité par l'Institut de l'Élevage
149 rue de Bercy - 75595 PARIS cedex 12
Novembre 2025 - Réf. idele : 0025 413 045
Travail réalisé dans le cadre du RMT Avenirs Prairies, rédigé par : Silvère GELINEAU (ARVALIS)
Avec la relecture de : Hugues CHAUVEAU (ARVALIS), Bertrand DAVEAU (Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire), Gaëlle MAXIN (INRAE), Anthony UIJTTEWAAL (ARVALIS), Mickael VENOT (ARVALIS)
Mise en page : Corinne Maigret (Institut de l'Élevage)
Crédit photos : ARVALIS-Institut du Végétal
Document réalisé avec la participation financière
du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE