



Stabilité aérobie des ensilages

David R. Davies, Ph.D., chercheur et consultant,
directeur de Silage Solutions Ltd, Bwlch y Blaen, Pontrhydygroes,
Ceredigion SY25 6DP, Pays de Galles, Royaume-Uni +44(0)7896328330
dave.bwlchyblaen@tiscali.co.uk

INTRODUCTION

Pendant la majeure partie du siècle dernier, les agriculteurs d'Europe et d'Amérique du Nord ont entreposé des fourrages, par ensilage, pour nourrir le bétail quand ils manquaient de fourrages frais. Au début, le principal défi de l'ensilage consistait à obtenir une fermentation rapide et stable de sorte que, pendant la phase d'entreposage anaérobie, le pH atteigne une valeur suffisamment faible pour conserver la plus grande valeur nutritive. Plus récemment, avec l'avancement des technologies de mise en silo, la qualité de la fermentation s'est grandement améliorée dans la vaste majorité des fermes. Si bien que l'altération ou la détérioration aérobie constitue maintenant le principal défi. Il est intéressant de constater que les facteurs associés à une fermentation de mauvaise qualité, comme de fortes concentrations d'azote ammoniacal, d'acide acétique et d'acide butyrique, inhibent la croissance des levures et moisissures en plus d'améliorer la stabilité aérobie. Tandis que les facteurs associés à une fermentation de bonne qualité, comme de fortes concentrations d'acide lactique et d'hydrate de carbone hydrosoluble, favorables à la production des ruminants, stimulent les levures et moisissures et réduisent donc la stabilité aérobie.

Dans cet exposé, je ferai ressortir les techniques à la fois pour augmenter la valeur nutritive et la qualité de la fermentation tout en réduisant l'altération aérobie et je tenterai de le faire en adoptant une perspective holistique du processus d'ensilage. Pour contrôler la stabilité aérobie, tout comme pour faire de l'ensilage de haute qualité, nous devons tenir compte des principaux éléments suivants :

- La culture même – cultivars, conditions de croissance, moment de la coupe
- La récolte – matière sèche, longueur de hachage, additif utilisé
- La mise en silo – densité de compactage et scellage
- La reprise

Avant d'examiner ces aspects plus en détail, il convient de ne pas perdre de vue quelques faits au sujet des instigateurs de l'altération aérobie, soit les levures et les moisissures. La croissance rapide de ces microorganismes lors du désilage cause l'échauffement des fourrages, l'instabilité aérobie et des risques possibles de mycotoxines.

LEVURES ET MOISSURES

Il s'agit de microorganismes du groupe fongique. Ils sont omniprésents, peuvent croître à des températures (0-60 °C) très variées, avec des contenus de matière sèche (jusqu'à 87 %) ainsi que

des pH (2-8) très divers. Ils ont toutefois besoin d'oxygène, quoique certaines espèces survivent avec seulement 0,14 % de O₂ dans la phase gazeuse. Par conséquent, pour réduire leurs effets nuisibles dans l'ensilage, il faut utiliser des méthodes pour d'abord diminuer le plus possible la population de ces organismes dans les fourrages récoltés et acheminés au silo. Il faut empêcher ces levures et moisissures ensilées de se multiplier, peut-être par l'ajout d'additifs aux fourrages ensilés, mais surtout par l'extraction rapide de l'oxygène et le maintien d'un milieu exempt d'oxygène pendant la mise en silo. Et finalement, pendant le désilage, les fourrages ensilés devraient rester dépourvus d'oxygène le plus longtemps possible avant d'être consommés par le bétail.

GRANDES CULTURES

Pour maximiser la stabilité aérobie, la culture idéale est celle qui comporte de très faibles quantités de levures et de moisissures à la récolte. Les principaux facteurs associés aux populations fongiques présentes dans les fourrages dans le champ sont les suivants :

- Le cultivar
- Les conditions de stress durant la croissance – sécheresse ou verse
- La sénescence ou la mort de la plante avant la récolte
- La durée du préfanage

Cultivar

Il est important, quel que soit le type de culture (graminée, légumineuse, céréale ou maïs), de sélectionner des variétés reconnues pour donner de bons résultats dans vos conditions locales. Des plantes qui ne sont pas adaptées à leur milieu sont sujettes à des maladies, et dans le cas des fourrages, bon nombre de ces maladies sont d'origine fongique et peuvent augmenter les populations de champignons indésirables présents sur les cultures au moment de la récolte. Certains cultivars peuvent également présenter d'autres facteurs susceptibles de réduire encore plus l'incidence de la colonisation fongique.

Un de ces facteurs est la tenue en vert. Dans les graminées, il s'agit d'une mutation naturelle empêchant ou retardant la progression de la chlorophylle à travers les voies cataboliques normales à la sénescence ou à la mort des cellules et, bien que ce comportement ne soit pas étudié dans la littérature, il peut servir à réduire la détérioration aérobie dans le silo. Une forte relation inverse a été observée entre différentes variétés de maïs qui possèdent une résistance accrue à l'apparition de la sénescence et qui accumulent différentes concentrations de la mycotoxine zéaralénone (Oldenburg, 1999). D'après ces observations, il semble que dans l'ensemble des échantillons, le ralentissement de la sénescence chez les cultivars de maïs caractérisés par la tenue en vert offrait une réserve de nutriments moins accessible et supportait donc une plus petite flore bactérienne et fongique épiphyte. D'autres recherches sont nécessaires pour établir la relation entre le caractère de la tenue en vert du cultivar du maïs et la diminution de l'altération aérobie dans un ensilage de maïs ainsi que pour savoir si cette relation est aussi évidente dans les ensilages de graminées possédant une tenue en vert.

Préfanage, sécheresse ou verse et maturité

Bien que le contrôle des conditions météorologiques pendant la croissance et la récolte des cultures soit un facteur qui nous échappe en règle générale, il est bon de savoir que les cultures ayant eu des conditions de croissance moins qu'idéales sont susceptibles de présenter un plus grand défi que celles ayant grandi dans des conditions idéales relativement à la quantité d'eau, la température et le moment de la récolte. Il convient donc de se rappeler que dans le cas des fourrages de graminées et de légumineuses, un préfanage rapide au champ avec un traitement mécanique minimal va probablement résulter en de faibles quantités de levures et de moisissures à la récolte (Jonsson *et al.*, 1990). En revanche, le risque de contamination du maïs sur pied et de la plante entière de céréale par des levures comme l'espèce *Aspergillus* s'accroît avec du temps chaud et humide dans l'intervalle avant la récolte et avec l'accroissement de la maturité à la récolte (Auerbach, 2003; Oldenburg, 1991; 1999). Alors, au moment de récolter des cultures plus critiques, il est essentiel de respecter les bonnes pratiques d'ensilage avec encore plus de précision.

RÉCOLTE

Matière sèche et longueur de hachage

Toutes les récoltes d'ensilage devraient être mises en silo avec un pourcentage de matière sèche de 33 à 36 %. Cette proportion de matière sèche permet d'optimiser tout le processus, c'est-à-dire de la mise en silo jusqu'au désilage. Plus l'ensilage est sec, plus le défi est grand pour le compactage et la pénétration de l'oxygène pendant l'entreposage et le désilage et plus grandes sont les pertes au champ et la contamination fongique pendant le préfanage. En dessous de cette proportion de matière sèche, le défi est plus grand pour ce qui est d'arriver à contrôler la fermentation et à réduire le prélèvement de fourrages ensilés lors du désilage. La longueur de hachage devrait être ajustée en fonction de la matière sèche. Le facteur dominant pour décider de cette longueur devrait être la qualité et le compactage de l'ensilage et non pas la santé du rumen de l'animal nourri. On peut ajouter au régime, dans la ration alimentaire, des produits hachés plus longs pour assurer une bonne santé du rumen, mais il est impossible d'arriver à un ensilage d'une grande qualité et stabilité aérobie à partir de fourrages à forte teneur en matière sèche et hachés long. Ainsi, avec une cible de 33 à 35 % pour la teneur en matière sèche, l'ensilage devrait avoir une longueur de hachage de 2 à 2,5 cm.

Additifs

Une des conséquences de l'amélioration de la qualité de l'ensilage est l'impact négatif que peuvent avoir ses caractéristiques nutritionnelles accrues sur la stabilité aérobie. Il est reconnu que les ensilages de grande qualité et bien conservés, surtout ceux inoculés de bactéries lactiques homofermentaires, sont plus sujets à une altération aérobie que les ensilages non traités (Weinberg *et al.*, 1993). Cela est particulièrement vrai des ensilages de céréales, notamment du maïs et des graminées de grande qualité, mais moins vrai des ensilages contenant des légumineuses. La dégradation aérobie de l'ensilage peut nuire à la fois à l'efficacité de l'utilisation des nutriments (par la respiration de fractions énergétiques) et à sa qualité hygiénique (production de mycotoxines par la flore bactérienne putréfiante).

Bien que rien ne puisse remplacer une bonne gestion du silo-couloir, des additifs ont été utilisés pour tenter de limiter la dégradation aérobie dans le silo. On a mis au point trois principales stratégies de contrôle, notamment l'utilisation (i) de bactéries propioniques (ii) de bactéries lactiques hétérofermentaires et (iii) d'une combinaison de bactéries lactiques homofermentaires et de sels comme le sorbate, le sulfite ou le benzoate. On a cru que les bactéries propioniques offraient d'énormes possibilités de prévention de la détérioration, mais leur utilisation n'a pas donné des résultats uniformes (Merry & Davies, 1999).

Les résultats décevants de l'utilisation des bactéries propioniques ont probablement contribué à modifier notre façon de voir les bactéries lactiques hétérofermentaires pour les considérer comme des agents de contrôle de la détérioration aérobie. Beaucoup de chercheurs (Driehuis *et al.*, 2001; Filya, 2003; Nishino *et al.*, 2003) ont concentré une grande partie de leurs efforts sur *Lactobacillus buchneri*. Ces recherches ont montré des améliorations de la stabilité aérobie avec l'utilisation de *L. buchneri* comme inoculant pour ensilage, les résultats les plus cohérents étant observés quand c'était le seul organisme inoculant utilisé et qu'il n'était pas mélangé à des espèces homolactiques plus courantes (Driehuis *et al.* 2001). Cependant, les améliorations de la stabilité aérobie de l'ensilage ont été obtenues aux dépens de la qualité de l'ensilage qui se retrouve alors avec des concentrations accrues d'acide acétique, associées à une augmentation des pertes de matière sèche, à un plus grand ralentissement des taux de fermentation et donc à une diminution de la qualité des protéines de l'ensilage avec des niveaux plus élevés d'ammoniaque et des concentrations résiduelles plus faibles d'hydrate de carbone hydrosoluble (Wilkinson et Davies 2013).

Ceux qui sont convaincus des effets négatifs sur la qualité de la fermentation de l'utilisation des bactéries lactiques hétérofermentaires comme inoculants préfèrent une autre méthode pour réduire la détérioration aérobie. Ils mélangent des inoculants homofermentaires traditionnels pour ensilage avec des sels comme le sorbate, le sulfite et/ou le benzoate (Rammer *et al.* 1999). Le rôle de l'inoculant dans cette combinaison d'additifs est de favoriser une fermentation rapide tandis que le rôle du produit chimique est d'inhiber l'activité microbienne et particulièrement l'activité des levures et des moisissures. Le débat pour déterminer quelle est la meilleure solution entre l'utilisation de bactéries lactiques hétérofermentaires et l'utilisation d'une combinaison de produits se poursuivra tant que nous n'aurons pas isolé le super inoculant bactérien susceptible de produire un ensilage de grande qualité aérobiement stable.

MISE EN SILO

Densité de compactage et scellage

Étant donné que l'exposition de l'ensilage à l'oxygène est critique pour la stabilité aérobie, il faut rendre l'ensilage aussi imperméable à l'air que possible, au moment de la récolte et du processus de mise en silo, en étant très attentifs à la nécessité d'avoir 1) un bon compactage uniforme dans tout le silo et 2) d'atteindre la densité cible; celle recommandée par Spiekers et ses collaborateurs (2009) variant de 205 à 215 kg de matière sèche par m³ pour de l'herbe ensilée à 350 g de matière sèche par kg⁻¹ en poids frais avec une longueur moyenne de hachage d'environ 40 mm. Un hachage plus court, c'est-à-dire d'une longueur moyenne de particule de 25 mm, devrait donner une densité plus élevée pour n'importe quel contenu de matière sèche d'une culture donnée. Pour du maïs à plantes entières

conservé dans des silos-couloirs, la densité recommandée, si l'on veut réaliser un milieu anaérobie et réduire au minimum la perte de matière sèche, est de 240 kg de matière sèche par m³ (Shaver, 2004). Holmes et Muck (2007) recommandaient une densité minimale en poids frais de 705 kg/m³ et une porosité maximale de 0,40 pour l'ensilage dans des silos-couloirs. Le facteur indispensable pour atteindre la densité cible de l'ensilage consiste à équilibrer la longueur de hachage avec le taux de tassement de la culture dans le silo, de sorte que chaque tonne récoltée soit compactée adéquatement en minces couches de 15 à 20 cm (Kung, 2010) en évitant des densités variables causées par un tassement excessivement rapide, un compactage trop hâtif et une consolidation insuffisante.

Après le remplissage, il faut procéder immédiatement au scellage et toujours utiliser des bâches pour éviter l'entrée de l'oxygène entre la bâche supérieure et les parois du silo; il faut aussi envisager le recours à des pellicules étanches à l'oxygène pour réduire le risque de niveaux énormes de détérioration dans le haut, susceptible de contaminer le reste de l'ensilage et de diminuer la stabilité aérobie lors du désilage.

REPRISE

La pénétration de l'air dans la surface exposée d'un ensilage normalement consolidé est de 1 à 2 mètres (Honig *et al.*, 1999). Par conséquent, à un taux de progression d'un mètre par semaine, tout l'ensilage sera exposé à l'air pendant une semaine (168 heures) avant d'être retiré du silo, mélangé à l'air et à d'autres ingrédients alimentaires, puis placé dans une mangeoire pour une autre période de mélange intermittent par l'animal, et ce, jusqu'à 24 heures. Beaucoup de silos-couloirs à l'échelle de la ferme ont été construits pour faciliter le remplissage et sont trop larges pour atteindre le taux cible de reprise de l'ensilage proposé par Wilkinson (2005), c'est-à-dire de 1 à 2 mètres de surface de désilage exposée par semaine (de 0,15 à 0,3 mètres/24 heures) en hiver et le double de ce taux en été.

De plus, le mode de désilage peut aussi avoir un effet considérable; Holmes et Bolsen (2009) ont en effet souligné l'importance de maintenir une surface compacte et uniforme de désilage afin que la surface des fourrages exposés à l'oxygène soit réduite au minimum. Il faut actionner la benne à godets en raclant vers le bas ou de côté en évitant les mouvements vers le haut parce que cela contribue à une surface plus inégale et instable (Ruppel, 1997).

CONCLUSIONS

La stabilité aérobie de l'ensilage résulte de facteurs liés à la culture, à l'environnement et à la gestion, lesquels interagissent lors de la récolte et du remplissage, pendant l'entreposage et lors du désilage. Le contrôle réussi de l'altération de l'ensilage en raison de la détérioration aérobie n'est pas le fruit d'une seule intervention, mais bien de la reconnaissance qu'il est possible de réduire les pertes au minimum à toutes les étapes des processus de conservation de la culture et du désilage. Cela veut donc dire d'être attentif aux détails dans la planification et l'exécution des activités entières de fabrication et de prélèvement de l'ensilage, et d'éviter à chaque étape les opérations non coordonnées. Plusieurs facteurs sont susceptibles d'augmenter les risques de la présence d'une très grande population de levures et de moisissures dans la culture et les voici :

1. De la matière végétale morte à la base du peuplement de graminées.
2. Des cultures ayant versé et souffert de la pluie ou du vent pendant les derniers jours ou la dernière semaine de croissance.
3. Des cultures matures avec des grappes de graines à un stade avancé de maturité.
4. Des cultures ayant débuté leur sénescence avant la récolte.
5. Des fourrages préfanés en andains larges pendant plus de 2 jours, surtout quand cela a été fait dans de mauvaises conditions météorologiques.

Dans ces conditions, il faudrait recommander aux agriculteurs de porter une attention particulière à la gestion de l'ensilage et d'examiner de près les méthodes mises en relief ici pour réduire au minimum les risques de détérioration aérobie pendant le désilage.

RÉFÉRENCES

- Auerbach, H. (2003). « Moulds and Mycotoxins in silages » dans Lyons T.P. et Jacques K.A. (dir. de publ.) *Proceedings of the 19th Alltech Annual Symposium on Biotechnology in the Feed Industry*, Alltech Inc., p. 247-266.
- Driehuis, F., S.J. Oude Elferink et W.H. Wikselaar (2001). « Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* with or without homofermentative lactic acid bacteria », *Grass and Forage Science*, **56**, p. 330-343.
- Filya, I. (2003). « The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages », *Journal of Dairy Science*, **86**, p. 3575-3581.
- Holmes, B.J. et K.K. Bolsen (2009). « What's new in silage management? » dans Broderick G. A. (dir. de publ.) *Proceedings of the 15th International Silage Conference*, Madison, Wisconsin, 2009, p. 61-76.
- Holmes B.J. et R.E. Muck (2007). « Packing bunkers and piles to maximise forage preservation », *Proceedings of the 6th International Dairy Housing Conference*, Minneapolis, 16-18 juin 2007, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, Michigan Publication 701P0507e (en ligne seulement).
- Honig, H., G. Pahlow et J. Thaysen (1999). « Aerobic instability – Effects and possibilities for its prevention » dans Pauly, T. (dir. de publ.) *Proceedings of the 12th International Silage Conference*, Uppsala, Sweden, 1999, p 288-289.
- Jonsson, A., H. Lindberg, S. Sundas, P. Lingvall et S. Lindgren (1990). « Effect of additives on the quality of big bale silages », *Animal Feed Science and Technology*, **31**, 139-155.
- Merry, R.J et D.R. Davies (1999). « Propionbacteria and their role in the biological control of aerobic spoilage in silage », *Lait*, **79**, 149-164.
- Nishino, N., M. Yoshida, H. Shiota et E. Sakaguchi (2003). « Accumulation of 1,2-propanediol and enhancement of aerobic stability in whole crop maize silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* », *Journal of Applied Microbiology*, **94**, 800 -807.

- Oldenburg E. (1991). « Mycotoxins in conserved forage » dans Pahlow G. et Honig H. (dir. de publ.), *Forage Conservation Towards 2000*, Landbauforschung Volkenrode, Sonderheft 123, Braunschweig, Allemagne, p. 191-205.
- Oldenburg, E. (1999). « Fungal secondary metabolites in forages: Occurrence, biological effects and prevention », Landbauforschung Volkenrode, Sonderheft 206:91-109.
- Rammer, C., P. Lingvall, et I. Thylin. (1999). « Combinations of biological and chemical silage additives », p. 327-328, dans *XII Int. Silage Conf.*, Uppsala, Suède. T Pauly, (dir. de publ.)
- Ruppel, K.A. (1997). « Economics of silage management practices: What can I do to improve the bottom line of my ensiling business? » dans *Silage: Field to Feedbunk*, Northeast Regional Agricultural Engineering Service Publication NRAES-99, p. 125-136.
- Shaver, R.D. (2004). « Harvest and Storage of High-Quality Corn Silage for Dairy Cows », Université du Wisconsin, Madison, Département des sciences du lait, Service de vulgarisation.
- Spiekers, H., J. Ostertag, K. Meyer, J. Bauer et W.I.F. Richter (2009). « Managing and controlling silos to avoid losses by reheating of grass silage » dans Broderick G.A. (dir. de publ.) *Proceedings of the 15th International Silage Conference*, Madison, Wisconsin, 2009, p. 317-318.
- Weinberg, Z.G., G. Ashbell, Y. Hen et A. Azreli (1993). « The effect of applying lactic acid bacteria at ensiling on the aerobic stability of silages », *Journal of Applied Bacteriology*, **75**, 512-518.
- Wilkinson, J.M. (2005). *Silage*, Lincoln, Chalcombe Publications.
- Wilkinson, J.M. et D.R. Davies (2013). « The aerobic stability of silage: key findings and recent developments », *Grass and Forage Science* 68: 1-19.

Stabilité aérobie des ensilages

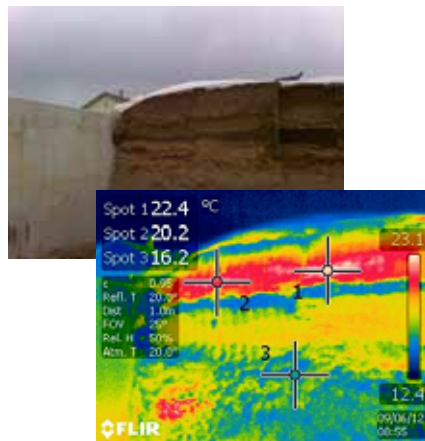
Dave Davies

dave@silagesolutions.co.uk

dave.bwlchyblaen@tiscali.co.uk

Coût des pertes aérobies

- Une hausse de température de 10 °C par tonne de fourrages ensilés à 30 % de MS exige 30 MCal d'énergie
- L'équivalent de 5 l/t de perte de lait



Muck, Hoffman et Combs, Université du Wisconsin, Key Silage Management Topics.

Aperçu

- Contexte des pertes aérobies
 - Microbiologie
 - Facteurs influant sur le phénomène
- Facteurs liés au champ
 - Culture
 - Récolte
- Facteurs liés au silo
 - Remplissage
 - Scellage
 - Additifs
 - Reprise

N'oubliez pas

- Les fourrages ensilés sont produits à la suite du processus de fermentation. Ils constituent la nourriture d'un processus de fermentation dans le rumen.
- La fermentation est un processus anaérobique.

STABILITÉ AÉROBIE

Levures courantes

- *Candida krusei*
- *Pichia kluyveri*
- *Pichia anomala*
- *Saccharomyces cerevisiae*
- *Candida lambica*
- *Debaromyces delbrucckii*

STABILITÉ AÉROBIE

Moisissures courantes et certaines de leurs mycotoxines

Genre de moisissure	Mycotoxines produites
<i>Fusarium</i>	désoxynivalénol (vomitoxine), toxine T2, zéaralénone, fuminosine
<i>Aspergillus</i>	aflatoxine, ochratoxine, patuline
<i>Penicillium</i>	ochratoxine, roquefortine, patuline, alternariol, acide pénicillique, toxine PR, acide mycophénolique

Liste établie à partir d' Auerbach, 2003; Oldenburg, 1991; Scudamore et Livesey, 1998

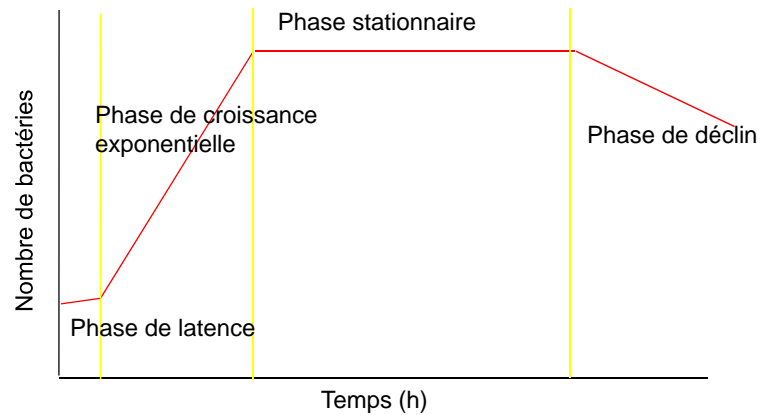
Facteurs influant sur les populations fongiques

- **Concentration d'oxygène** (aérobie; 0,14 %)
- **Concentration de dioxyde de carbone** (10 %; 15 % inhibiteur)
- **Matière sèche** (teneur en eau > 13 %)
- **Température** (0 – 60 °C; 20 – 35 °C)
- **pH** (4,5 – 6,5; 2,0, 8,0)
- **Qualité de l'ensilage**

STABILITÉ AÉROBIE bactéries courantes

- *Acetobacter aceti*
- *Gluconobacter* spp.

Courbe type de la croissance microbienne



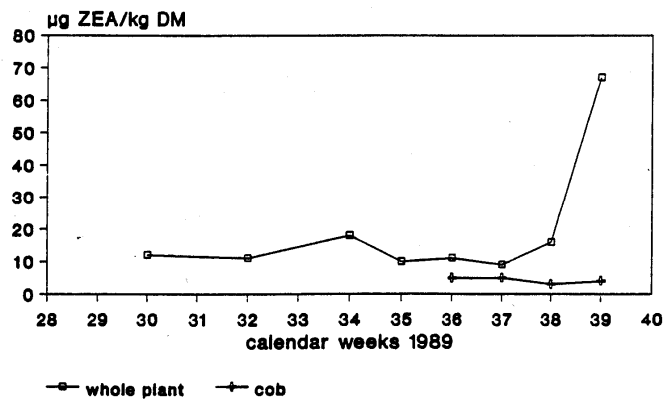
Facteurs influant sur les populations fongiques dans le champ

- Environnement – pluie, soleil, humidité, température
- Stress de la plante – état de santé, stade de maturité, vivante ou morte, cultivar
- Gestion avant et après la récolte – utilisation de fongicides, hauteur de coupe, gestion du préfanage

Dans le champ – Avant la récolte

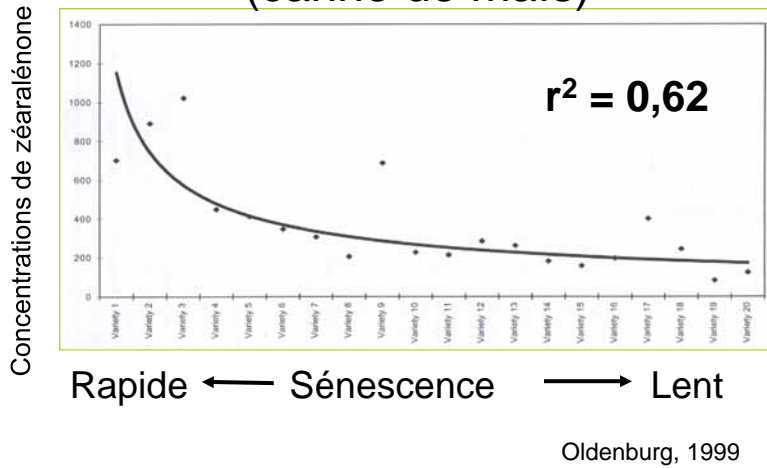


Concentrations de zéaralénone dans le maïs dans le champ avant la récolte



Oldenburg, 1991

Effet du cultivar sur les concentrations de zéaralénone dans le maïs-fourrage (canne de maïs)



Sénescence tardive

Sorgho

Tenue en vert et brunissement



Graminées

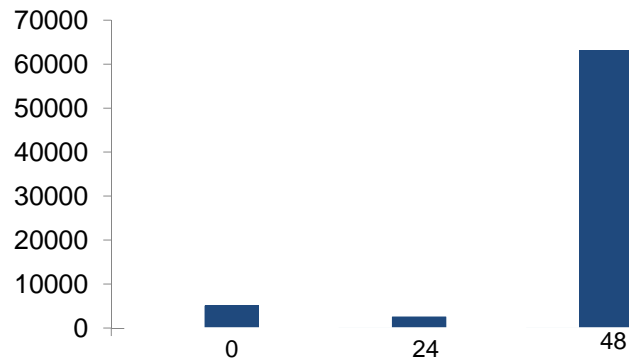


Types de cultures Légumineuses

- La luzerne ensilée est plus stable que le maïs (Muck et O'Kiely, 1992)
- Les légumineuses ensilées sont plus stables que les graminées (observations non publiées de Dewhurst)
- Curieusement, la luzerne ensilée est plus stable que la luzerne fraîche (Muck et O'Kiely, 1992)

Durée du préfanage et populations fongiques

Dénombrement de levures
ufc/g MF

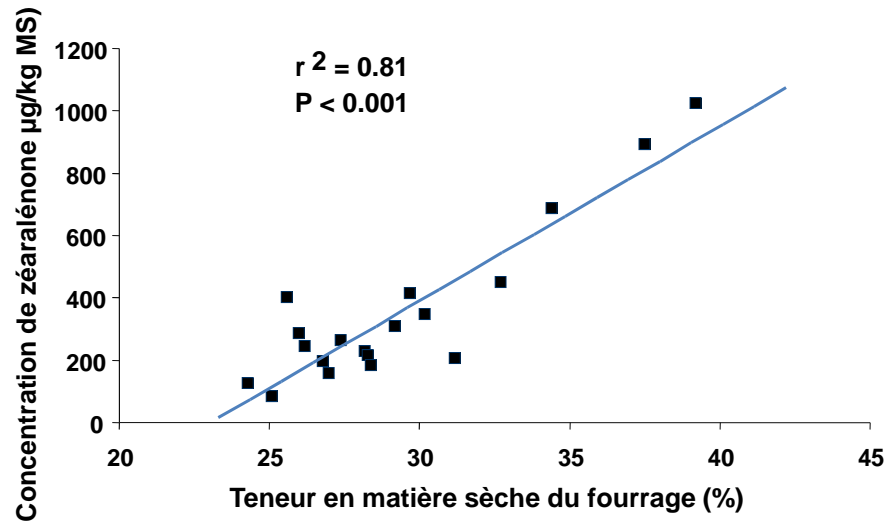


Durée du préfanage h

O'Kiely *et al.*, 2008



Effet de la teneur en MS du maïs sur la concentration de zéaralénone de l'ensilage



Facteurs influant sur les populations fongiques dans le silo

Silo couloir



Balle



Ag-bag/tube

Facteurs influant sur les populations fongiques dans le silo

- OXYGÈNE
- Qualité de l'ensilage
- Type de culture
- Additif



Balles





Le processus d'ensilage

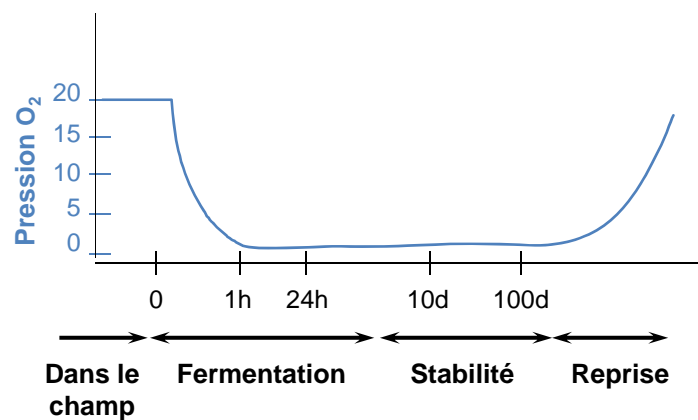
Phase aérobie

Phase de la fermentation

Phase de l'entreposage

Phase de la reprise

L'oxygène se modifie pendant le processus d'ensilage



Adapté de Jonsson, 1989

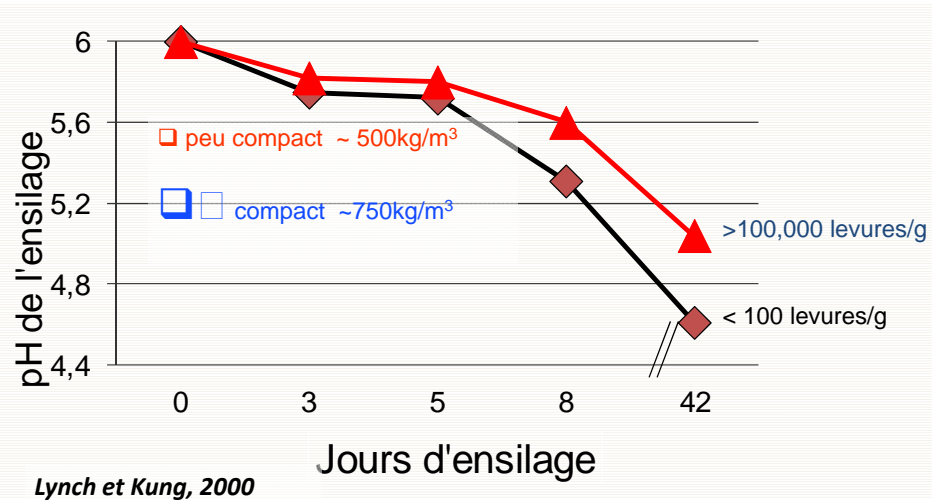
Remplir le silo



Pertes de matière sèche causées par la densité de l'ensilage : Adapté de Ruppel *et al.* (1995)

Densité, kg MS/m ³	Perte de MS à 180 jours, % de MS ensilée
160	20
192 (500 MF)	18
224	16
256 (750 MF)	14
288	12
320	10

Une mauvaise densité de compactage ralentit la fermentation et augmente les levures de contamination

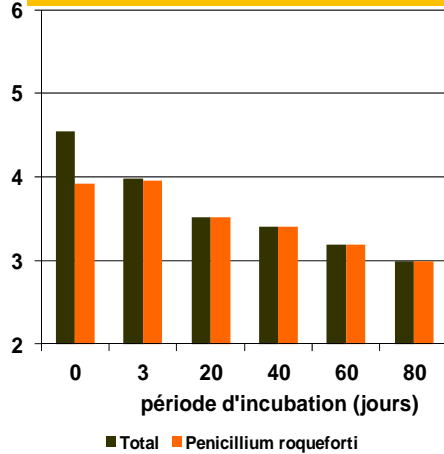


Scellage



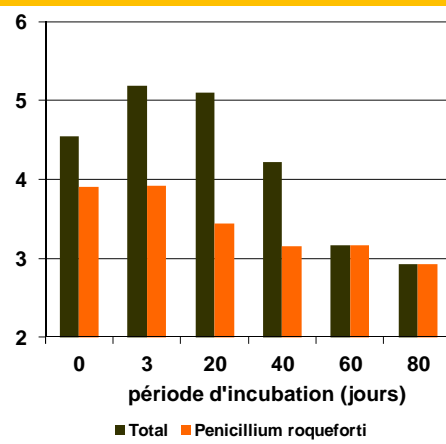
Rapidité du scellage - Effets de l'air sur la dynamique des moisissures durant la fermentation

Quantité de moisissures(log ufc/g) Quantité de moisissures(log ufc/g)



Strictement anaérobique

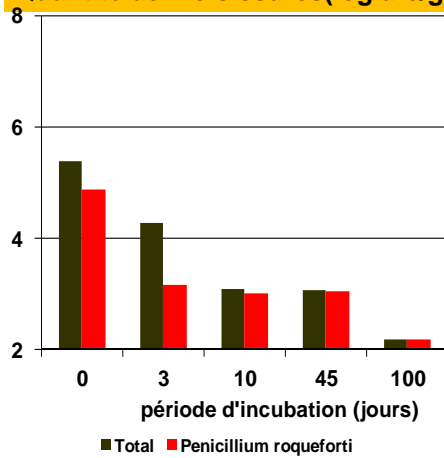
Auerbach, 1996



Entrée d'air initiale pendant 48h

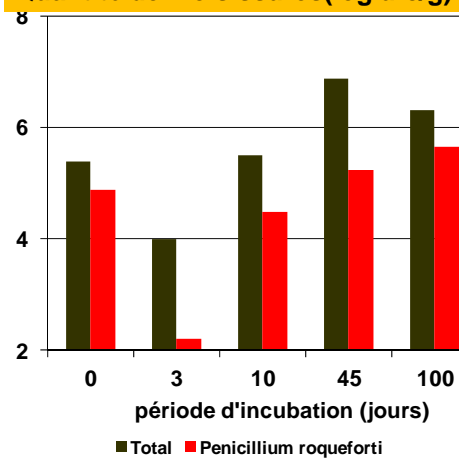
Scellage efficace - Effets de l'oxygène sur la dynamique des moisissures pendant la fermentation

Quantité de moisissures(log ufc/g) Quantité de moisissures(log ufc/g)

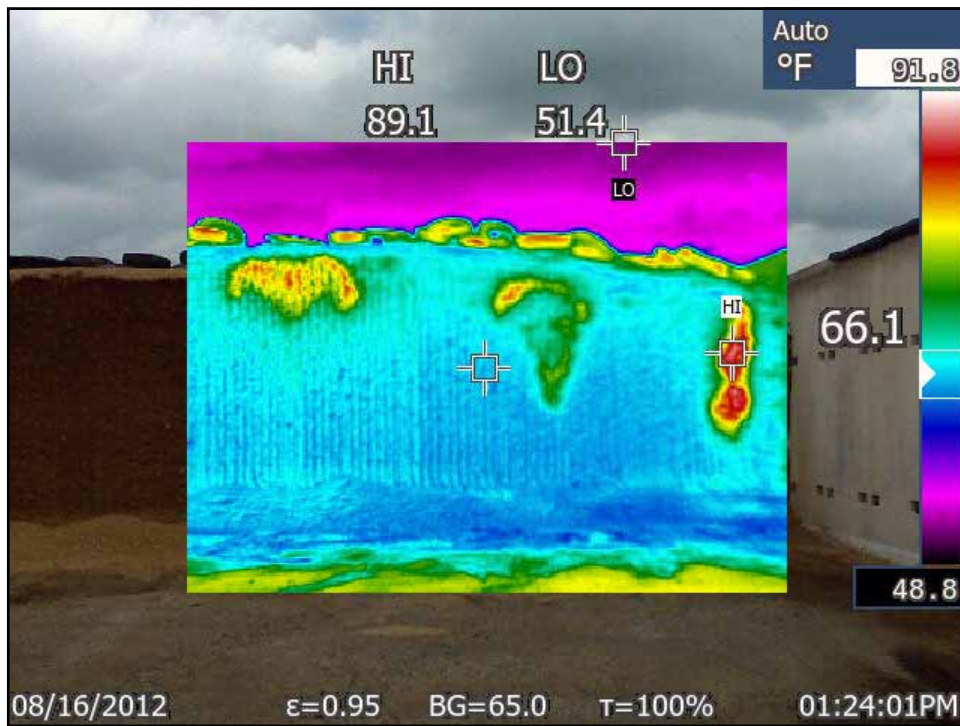


Strictement anaérobique

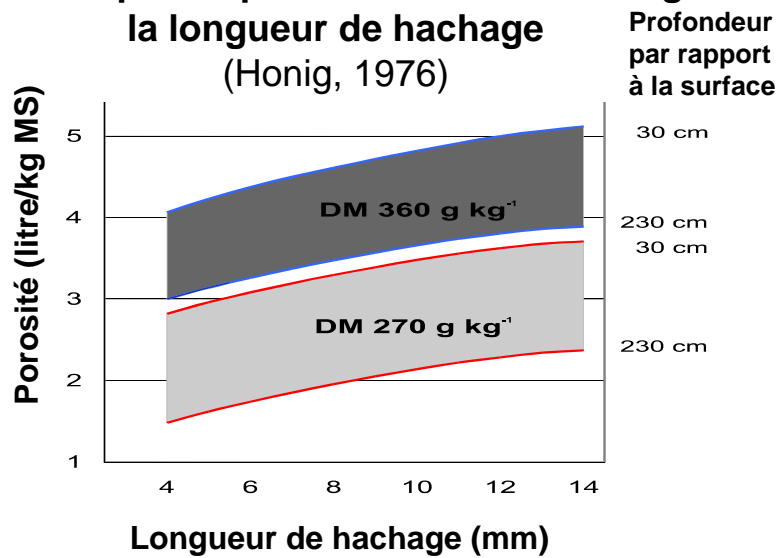
Auerbach, 1996



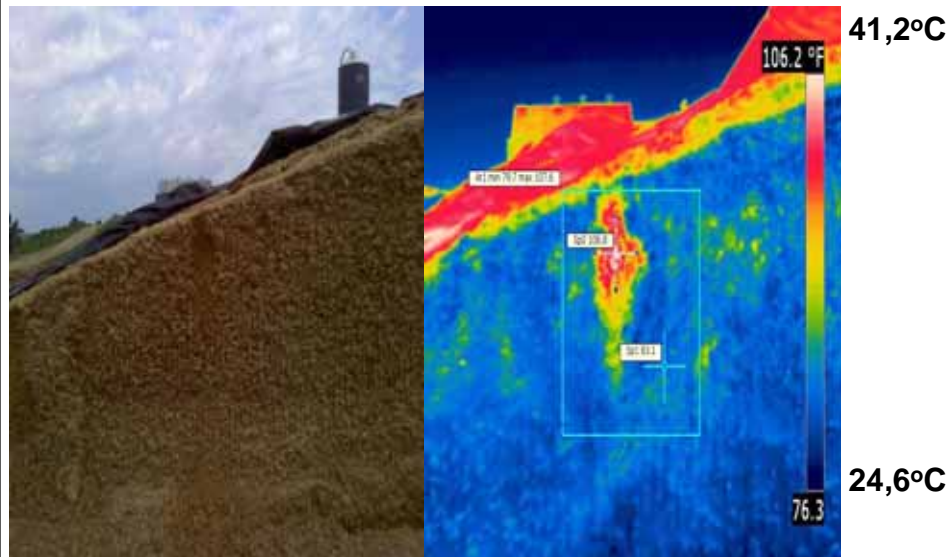
Apport permanent de O₂ (100 mg O₂/kg MS/jour)



**Porosité d'un ensilage de maïs (plante entière)
 influencée par la quantité de MS à l'ensilage et
 la longueur de hachage**
 (Honig, 1976)



Chauffage dans les premiers 3 pieds



Wilkinson *et al.*, 2013

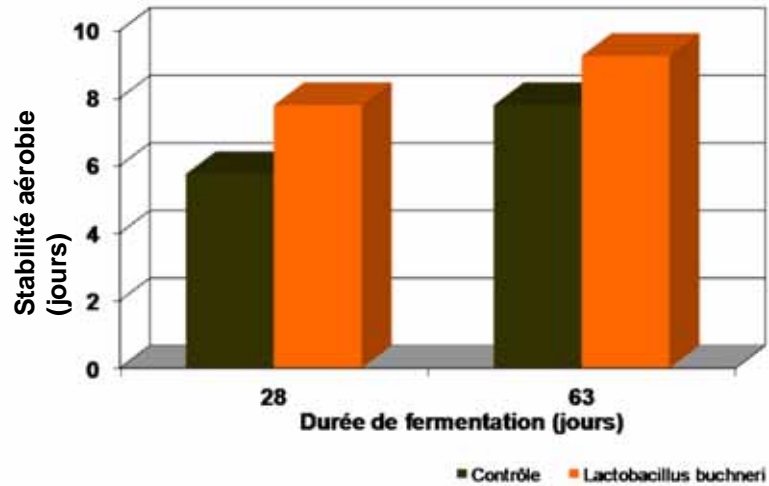
Stabilité aérobie moyenne métaanalyse de la pellicule OB versus le polyéthylène standard

	n	PE	OB	Sig.
Stabilité aérobie (heures)	11	75,3	134,5	0,001

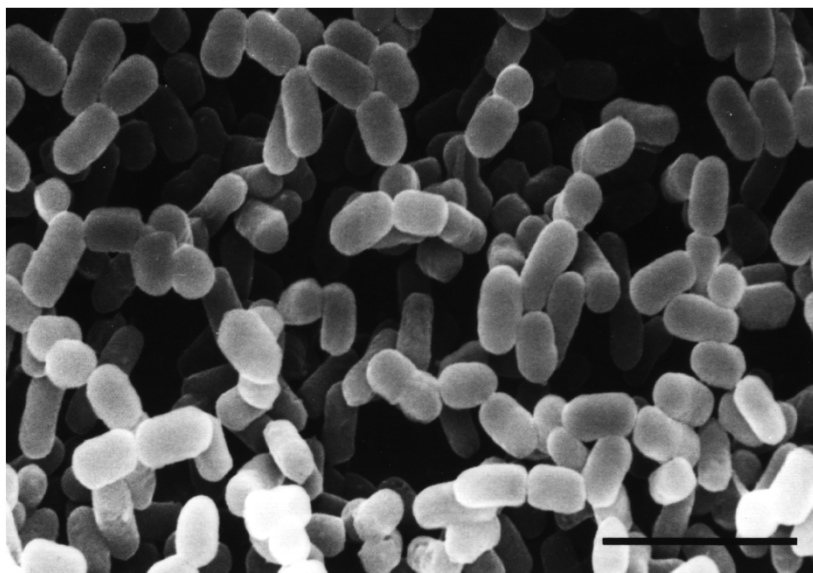
Toutes les comparaisons sont faites avec du
fourrage de maïs dans la surface supérieure du silo

Wilkinson *et al.*, 2013

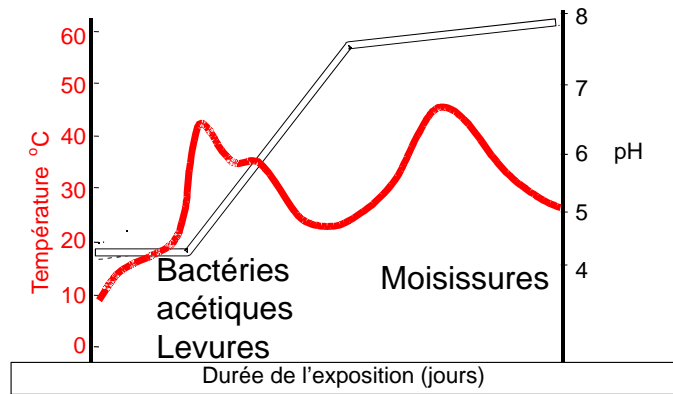
Effets de la durée de la fermentation sur la stabilité aérobie des ensilages en balles (graminées, 35 % MS)(Philip and Spoelstra, 1997)



Inoculants pour ensilage

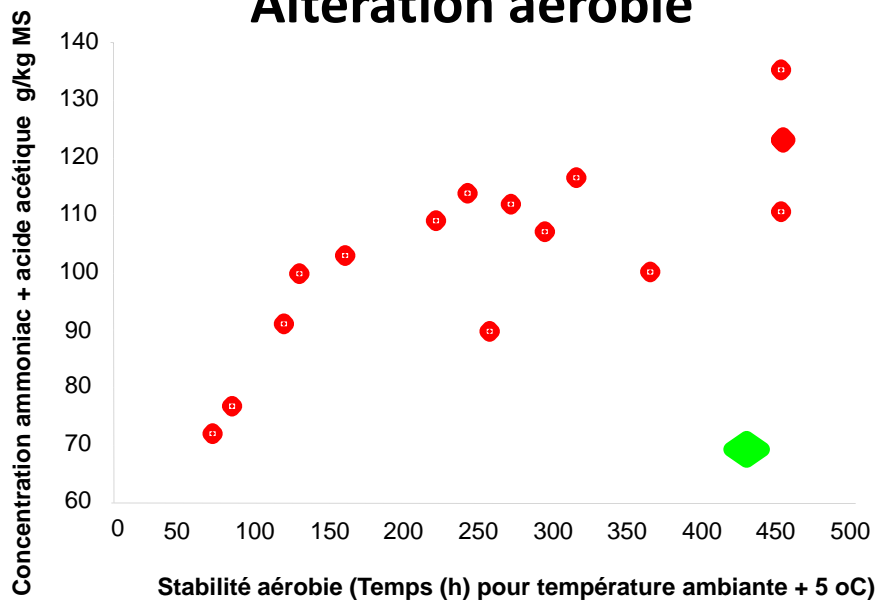


Modifications du pH et de la température de l'ensilage pendant l'altération aérobie d'un ensilage d'herbe non traité



Davies *et al.*, 1996

Altération aérobie



Davies *et al.*, non publié

Microorganismes souhaitables

- Bactéries lactiques (LAB)

homofermentaires

1 Glucose
ou Fructose \longrightarrow 2 acides lactiques

Microorganismes indésirables

Bactéries lactiques

hétérofermentaires

1 Glucose \longrightarrow 1 acide lactique + 1 acide
acétique + H₂O + CO₂

3 Fructoses \longrightarrow 1 acide lactique + 2 mannitols
+ 1 acide acétique + H₂O +
CO₂

L. buchneri

Sucre \longrightarrow acide lactique + acide acétique + CO₂

L. buchneri ↓

Acide acétique + propanediol-1,2 + CO₂

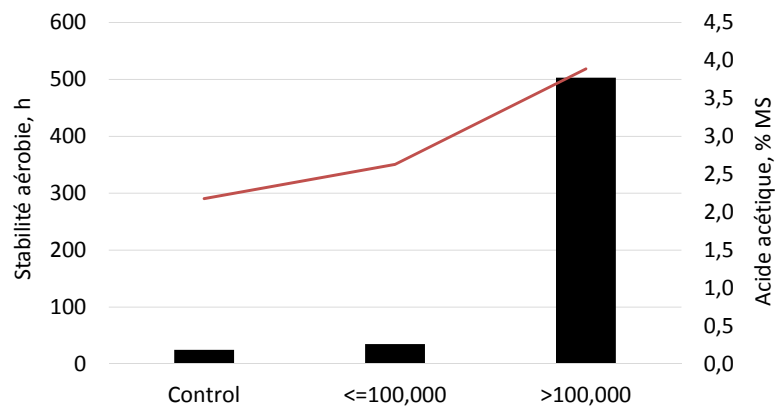
L. dioliverans ↓

Acide propionique + 1-propanol

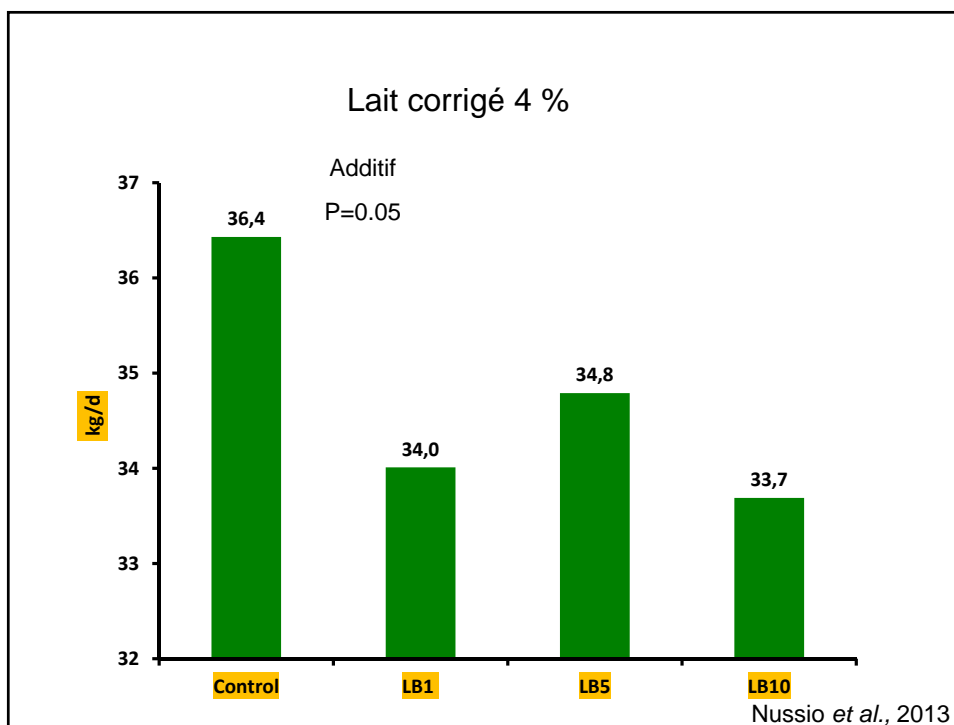
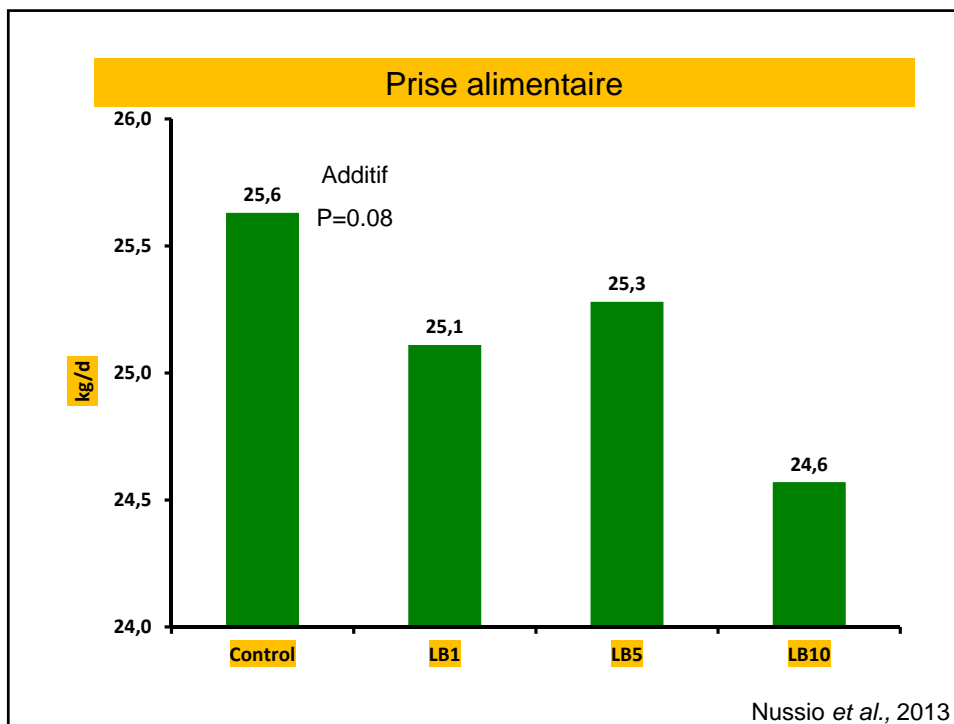
- Pertes plus grandes à la fermentation mais possibilité de pertes plus faibles à l'ouverture
- Un haut niveau d'acétate réduit l'apport?

L. buchneri

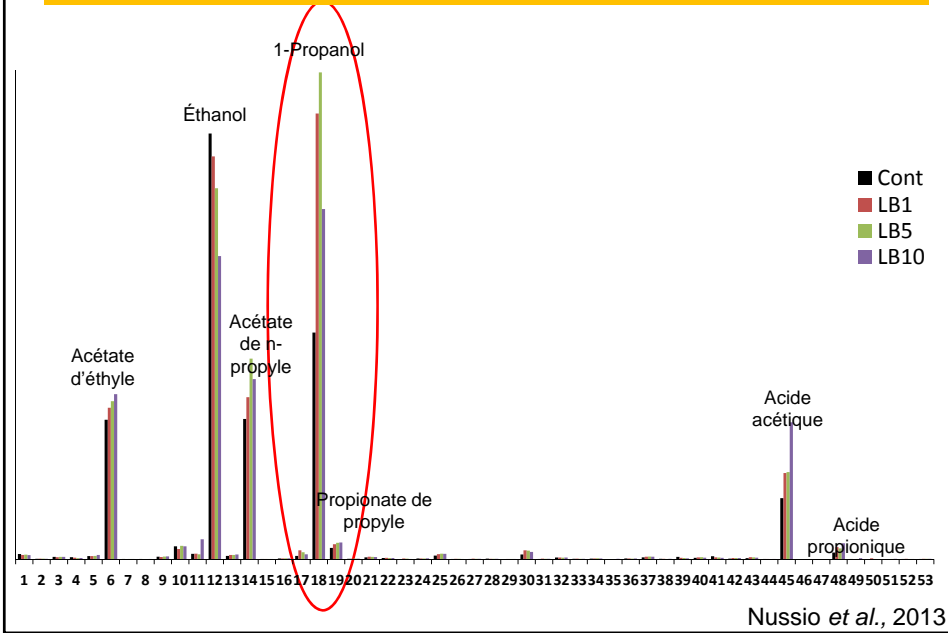
Les avantages sur la stabilité aérobie semblent être liés à la dose



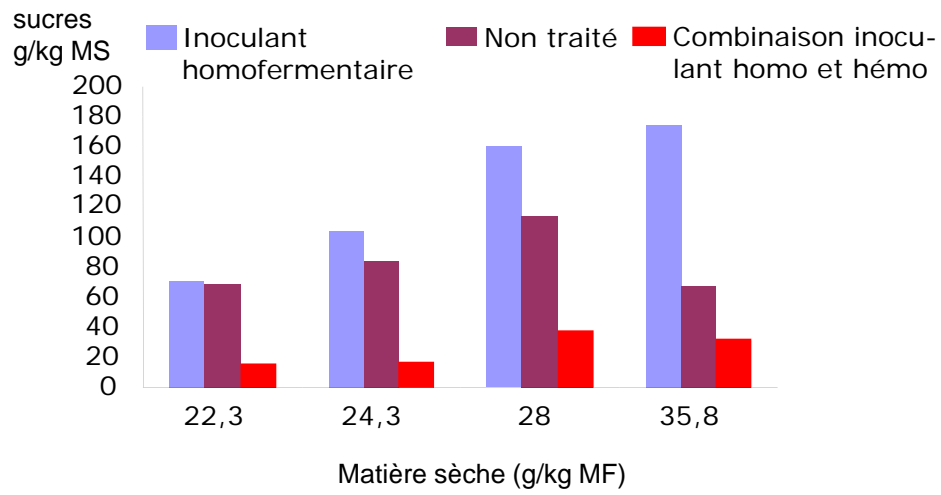
Kleinschmit et Kung (2006) J.DairySci.



Profil chromatographique aire sous la courbe – 53 composés



Effet d'un additif et de la MS lors de la mise en silo sur la teneur en sucres solubles de l'ensilage à la suite de la fermentation



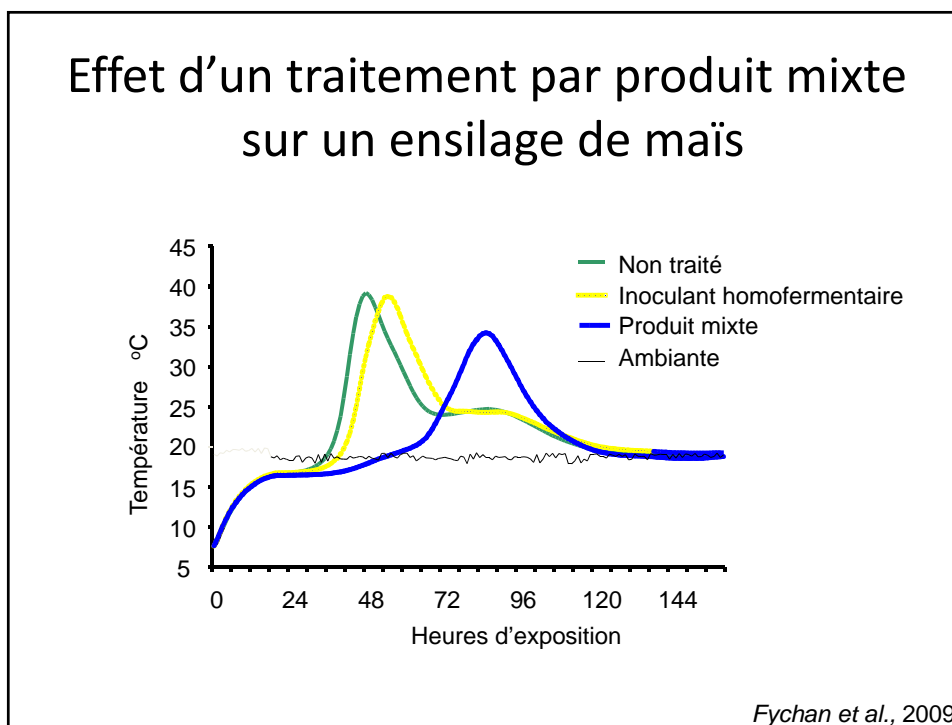
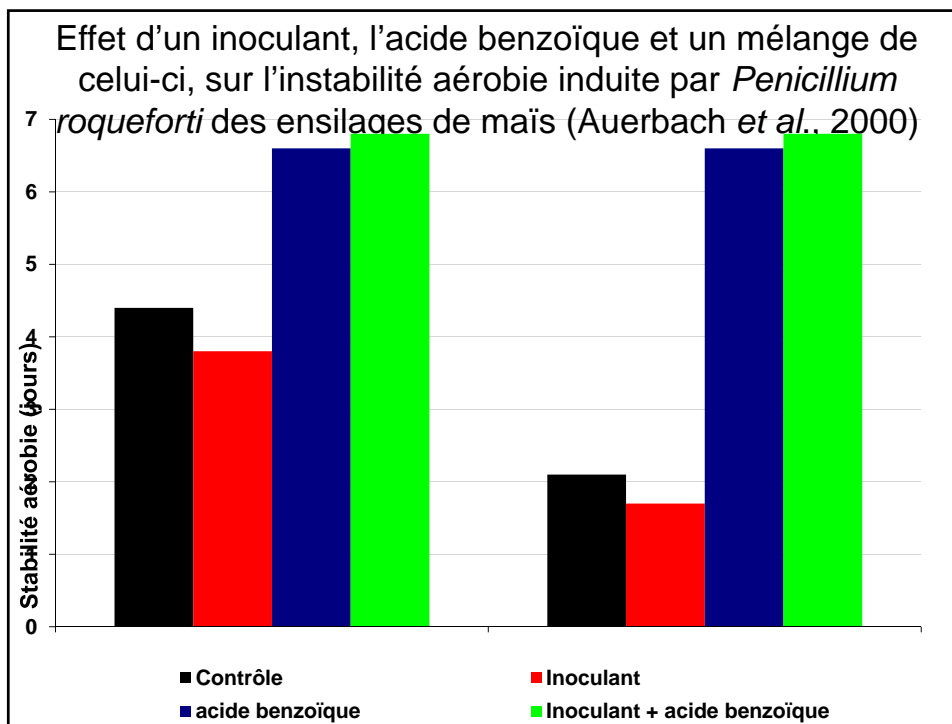
Examen de 9 études avec *L. buchneri* ou inoculants de bactéries acétiques homofermentaires

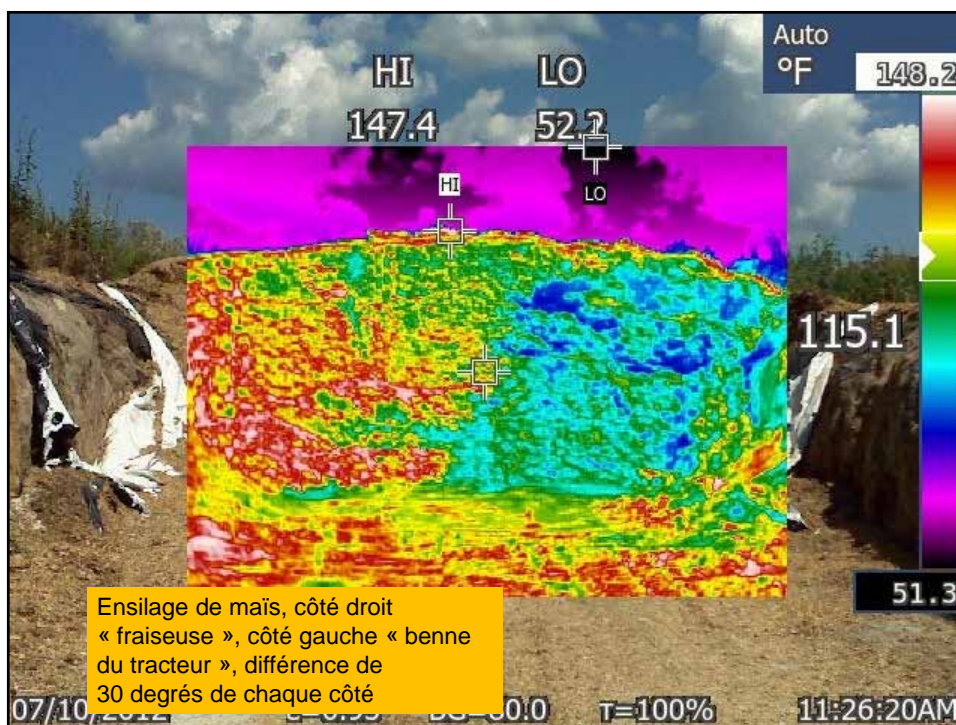
Culture	% de contrôle des pertes de MS	
	<i>L. buchneri</i>	Homofermentaire
Maïs ²	192	80
Graminée ³	122	71
Maïs ⁴	506	45
Sorgho ⁴	177	48
Maïs à forte teneur en eau ⁵	93	nd
Maïs ⁷	165	nd
Herbe en coupe directe ⁸	331	4
Herbe fanée ⁸	88	47
Maïs ⁹	109	109
Moyenne	198	58

Wilkinson et Davies, 2013

Combinaison de produits

- Inoculants homofermentaires
- + conservateurs alimentaires
 - Benzoate
 - Sorbate



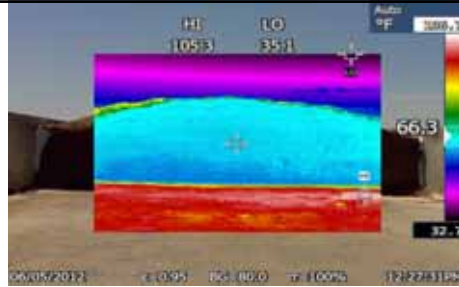


Cibles pratiques

	Cible	Gestion/technologie
Levures et moisissures dans la culture à la récolte	<10 ⁵ UFC/g matière à l'état frais	Rapide préfanage au champ. Éviter des cultures trop matures
Densité de l'ensilage	>210 g MS/m ³	Poids suffisant du tracteur de compactage. Regrouper en fines couches
Porosité (proportion d'espace rempli d'air)	<0,4	Poids suffisant du tracteur de compactage
Pellicule de scellage	Taux de transmission de l'oxygène <30 g/cm ² /24h	Pellicule étanche à l'oxygène
Surface exposée du silo	Aussi intacte que possible	Machinerie spécialisée pour la reprise de l'ensilage / couteaux aiguisés
Rapidité de reprise	>1 m/semaine en hiver >2 m/semaine en été	Silos couloirs aussi étroits que possible

Wilkinson et Davies, 2012





Merci de votre attention

Silage solutions Ltd – Dave Davies (Ph.D.) dave.bwlchyblaen@tiscali.co.uk



Aerobic Stability of Silages

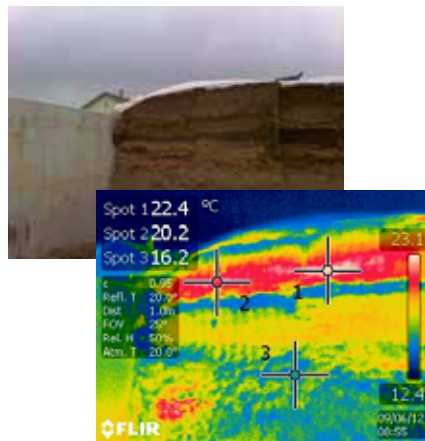
Dave Davies

dave@silagesolutions.co.uk

dave.bwlchyblaen@tiscali.co.uk

Cost of Aerobic spoilage

- *10°C increase in temperature/ton of 30% DM silage requires over 30MCal of energy*
- *Equivalent to 5 l/t lost milk*



Muck, Hoffman and Combs, University of Wisconsin, Key Silage Management Topics.

Outline

- Background on Aerobic spoilage
 - Microbiology
 - Factors affecting
- Field factors
 - Crop
 - Harvesting
- Silo factors
 - Filling
 - Sealing
 - Additive
 - Feed-out

Remember

- Silage is produced as a result of fermentation processes. It is the feed for a fermentation process in the Rumen!
- Fermentation is an anaerobic process.

AEROBIC STABILITY Common Yeasts

- *Candida krusei*
- *Pichia kluyveri*
- *Pichia anomala*
- *Saccharomyces cerevisiae*
- *Candida lambica*
- *Debaromyces delbrucckii*

AEROBIC STABILITY Common moulds and some of their mycotoxins

Mould Genus	Mycotoxins produced
<i>Fusarium</i>	Deoxynivalenol (vomitoxin), T2 toxin, Zearalenone, Fumonisin
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxins, Ochratoxin, Patulin
<i>Penicillium</i>	Ochratoxin, Roquefortines, Patulin, Alternariol, Penicillic acid, PR toxin, Mycophenolic acid

Compiled from Auerbach, 2003; Oldenburg, 1991;
Scudamore and Livesey, 1998

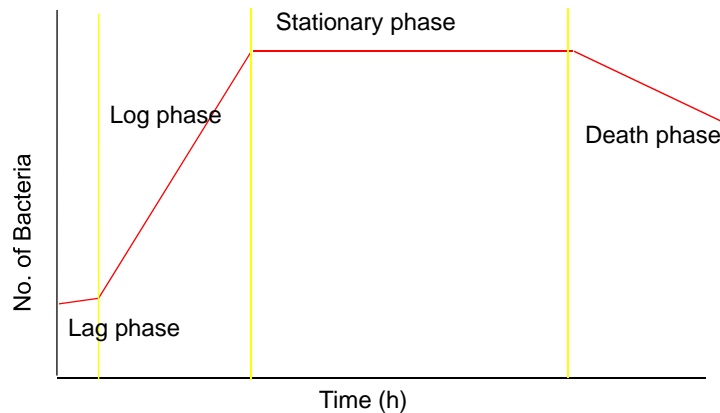
Factors affecting fungal populations

- **Oxygen concentration** (aerobic; 0.14%)
- **Carbon-dioxide concentration** (10%; 15% inhibitory)
- **Dry Matter** (Moisture content > 13%)
- **Temperature** (0 - 60°C; 20 - 35°C)
- **pH** (4.5 - 6.5; 2.0, 8.0)
- **Silage Quality**

AEROBIC STABILITY Common Bacteria

- *Acetobacter aceti*
- *Gluconobacter spp*

Typical microbial growth curve



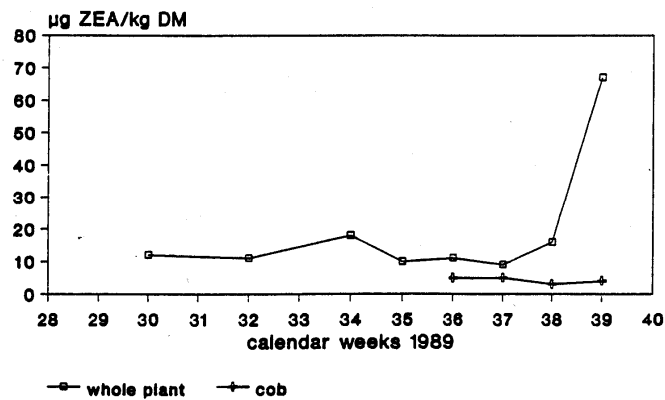
Factors affecting fungal populations in the field

- Environmental – rainfall, sunlight, humidity, temperature
- Plant Stress - Health status, stage of maturity, living or dead, plant cultivar
- Pre and Post harvest management – Use of fungicides, cutting height, wilting management.

In the Field – Pre-harvest

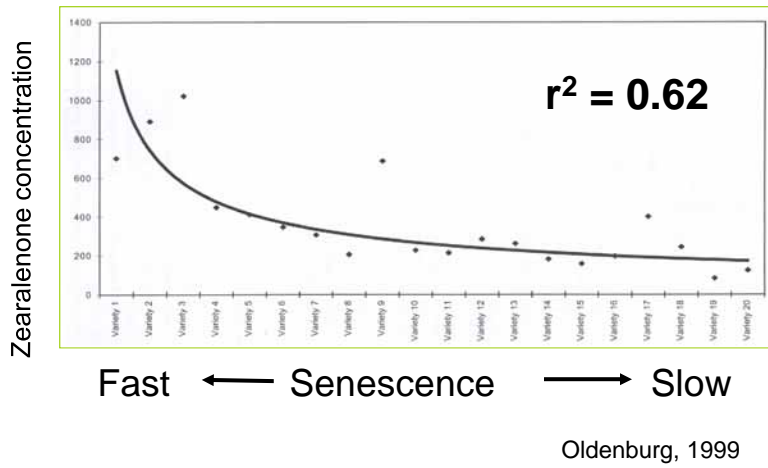


Zearalenone concentrations in maize in the field prior to harvest



Oldenburg 1991

Effect of cultivar on Zearalenone concentrations in forage maize (stover)



Delayed senescence traits

Sorghum

Stay-green and *go-brown*



Grass

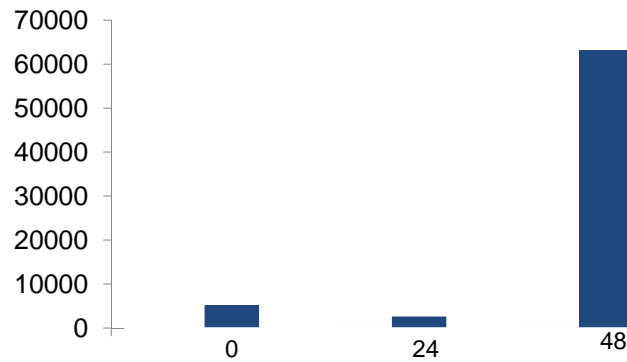


Crop Species Legumes

- Lucerne silages more stable than maize (Muck and O'Kiely 1992)
- Legume silages more stable than grass (Dewhurst unpublished observations)
- Interestingly Lucerne silages more stable than fresh Lucerne (Muck and O'Kiely 1992)

Wilting time and fungal populations

Yeast Numbers
cfu/g FM

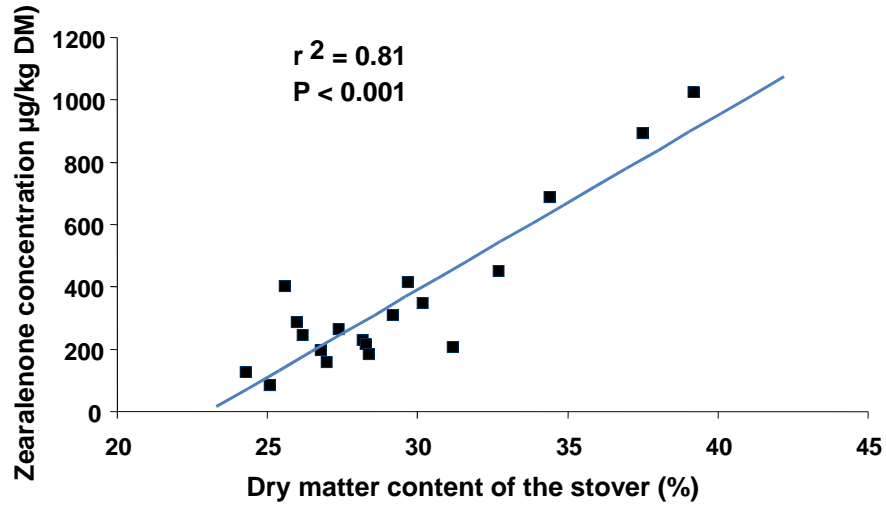


Wilting Time h

O'Kiely *et al.* .2008



Effect of DM content of maize on the zearalenone concentration of silage



Oldenburg 1996

Factors affecting fungal populations in the silo



Factors affecting fungal populations in the silo

- OXYGEN
- Silage Quality
- Crop Type
- Additive



Bales



Agbag



Clamp



The Ensilage Process

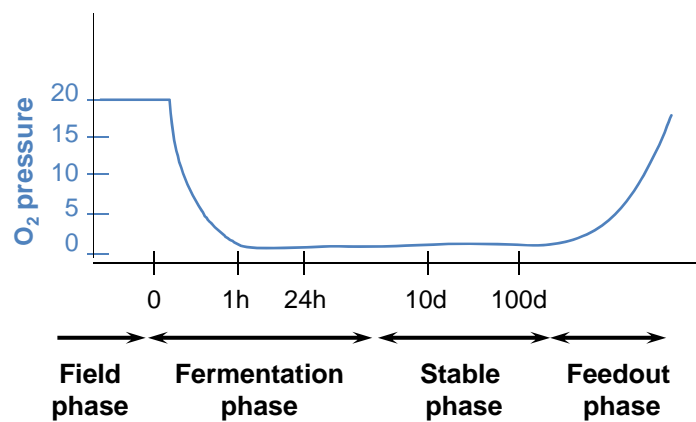
Aerobic Phase

Fermentation Phase

Storage Phase

Feed-out Phase

Oxygen changes during the ensilage process



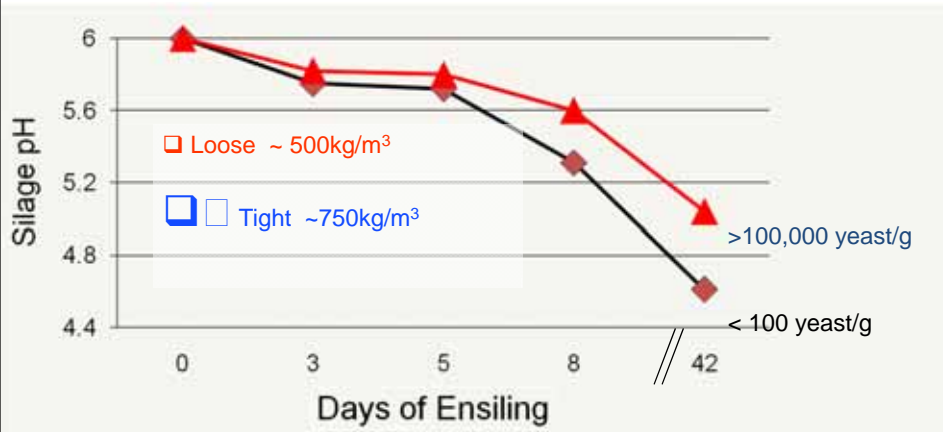
Adapted from Jonsson, 1989



Dry Matter Loss as Influenced by Silage Density: Adapted from Ruppel et al. (1995)

Density, kg DM/m ³	DM loss at 180 days, % of the DM ensiled
160	20
192 (500 FM)	18
224	16
256 (750 FM)	14
288	12
320	10

Poor Packing Density Slows fermentation and Increases Spoilage Yeasts

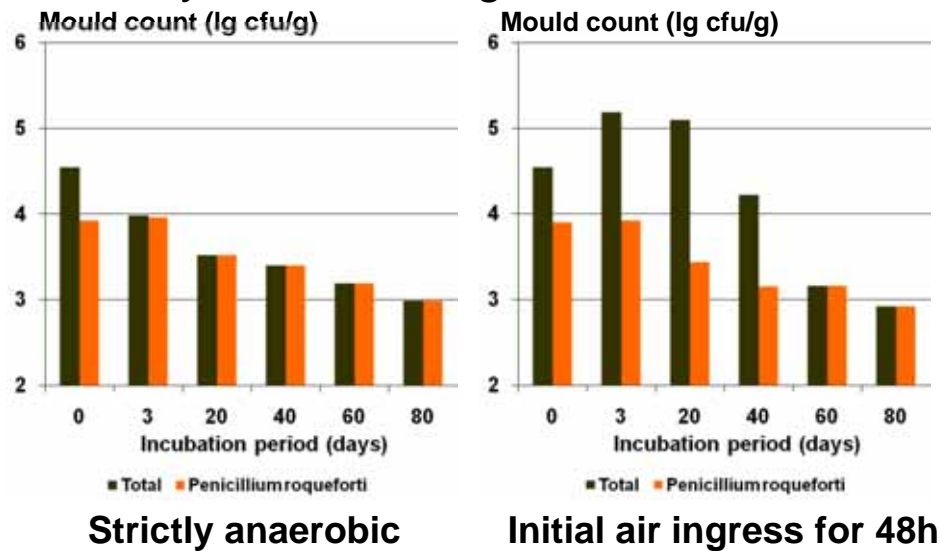


Lynch and Kung 2000

Sealing

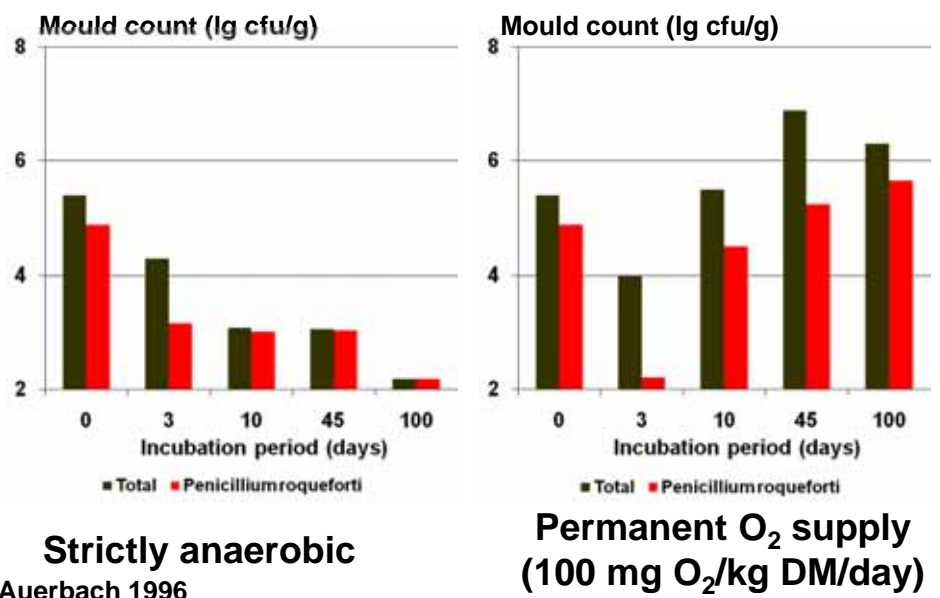


Speed of sealing - Effects of air on mould dynamics during fermentation

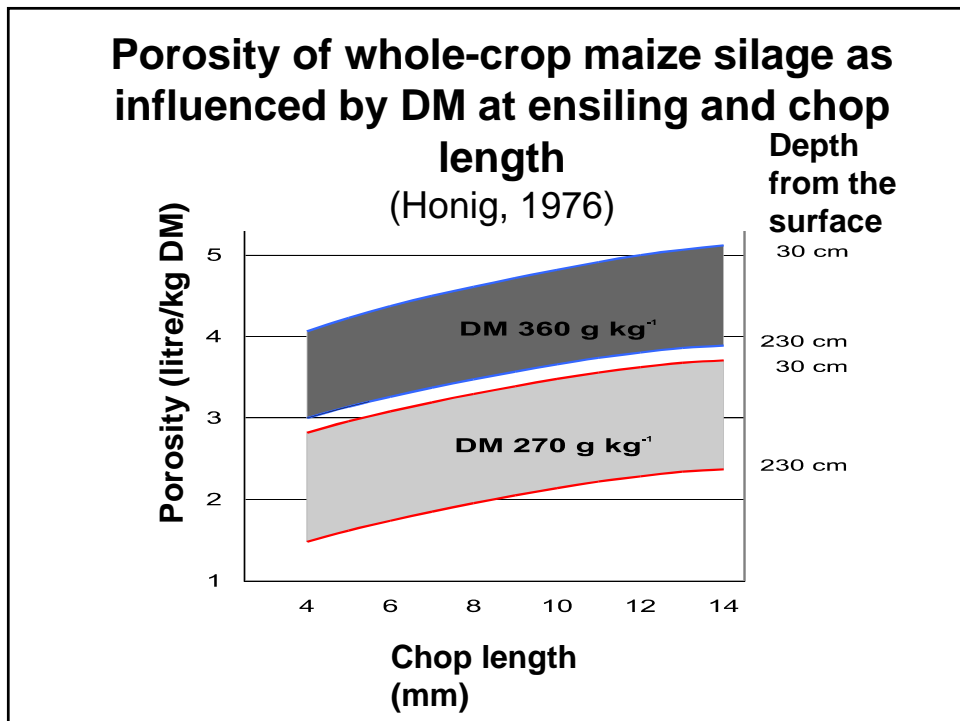
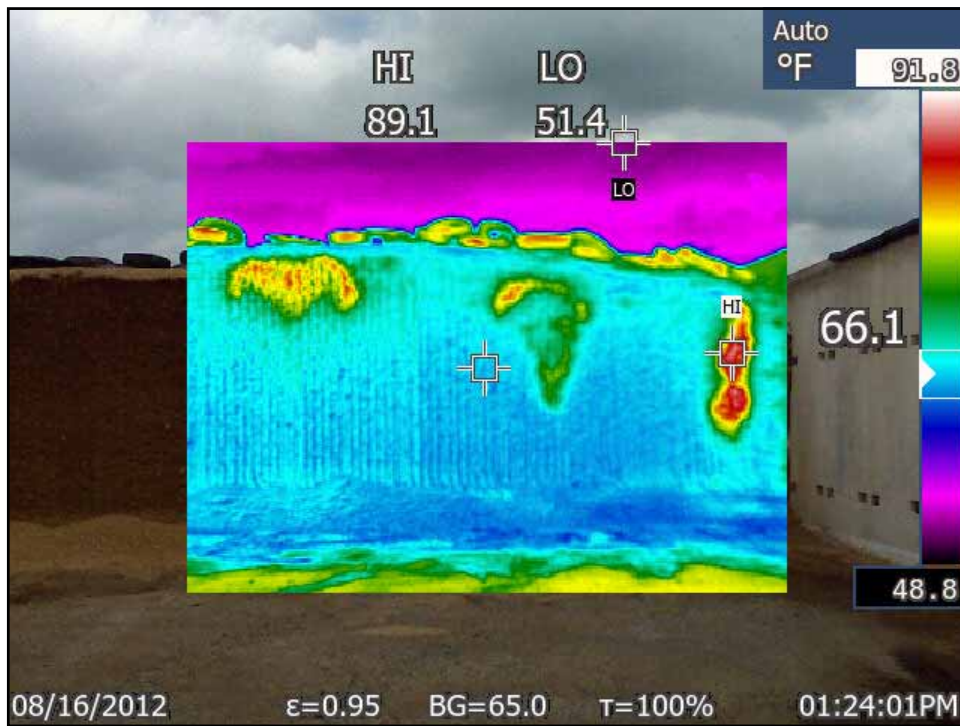


Auerbach 1996

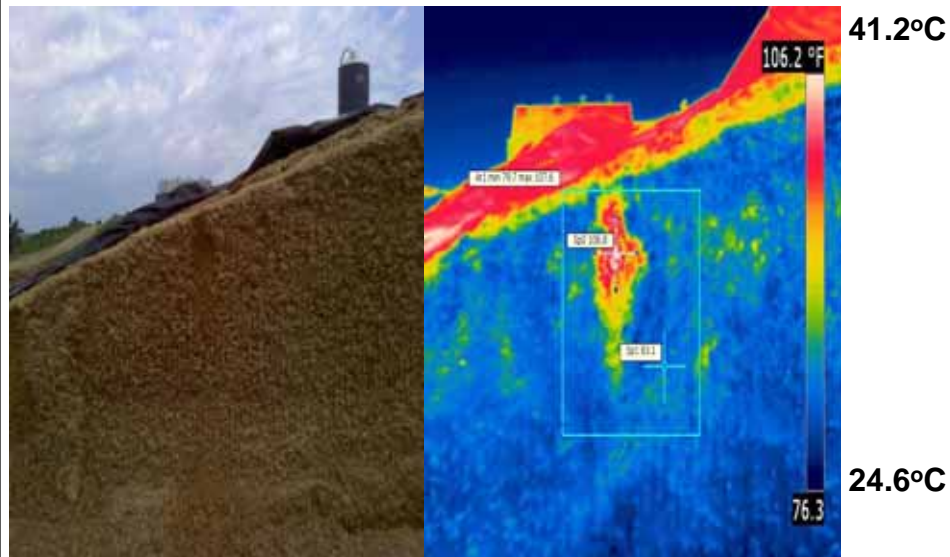
Effective sealing - Effects of oxygen on mould dynamics during fermentation



Auerbach 1996



Heating in the top 3 ft/1 metre



Wilkinson *et al* 2013

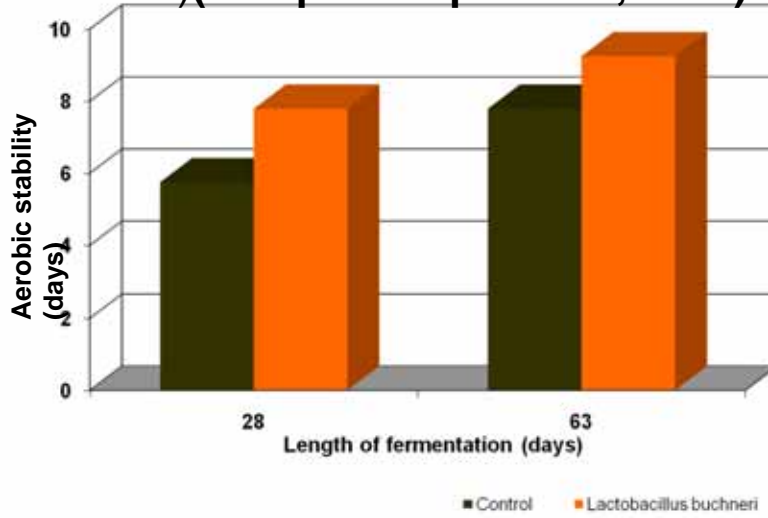
Mean Aerobic Stability Meta-analysis OB film versus standard polyethylene

	n	PE	OB	Sig.
Aerobic stability (hours)	11	75.3	134.5	0.001

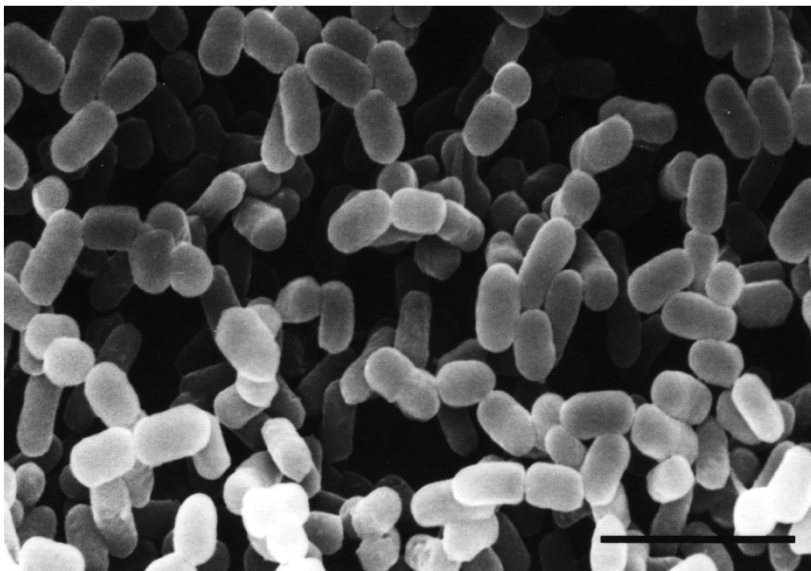
All comparisons with forage maize from the top surface of the silo

Wilkinson *et al* 2013

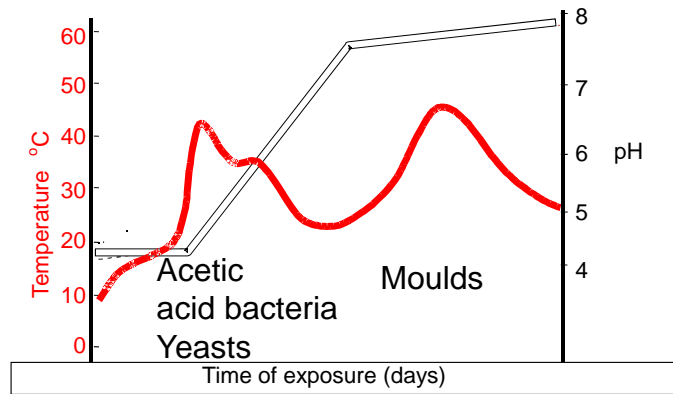
Effects of length of fermentation on aerobic stability of bale silages (grass, 35% DM)(Philip and Spoelstra, 1997)



Silage Inoculants

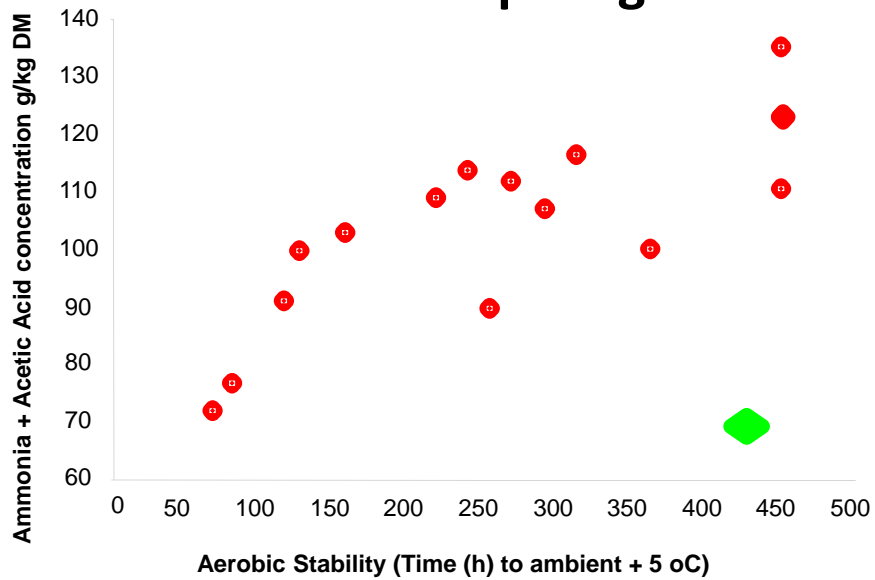


Changes in silage pH and temperature during the aerobic spoilage of untreated grass silage



Davies, *et al.* 1996

Aerobic Spoilage

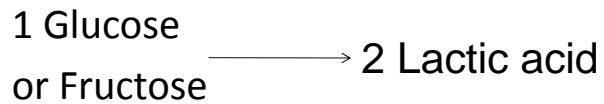


Davies *et al* Unpub

Desirable Microorganisms

- Lactic acid bacteria (LAB)

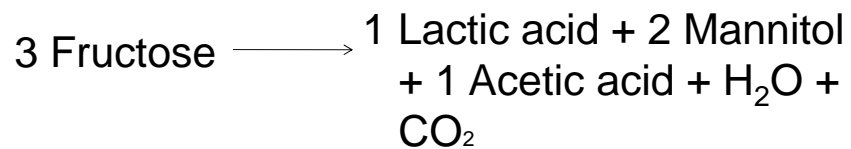
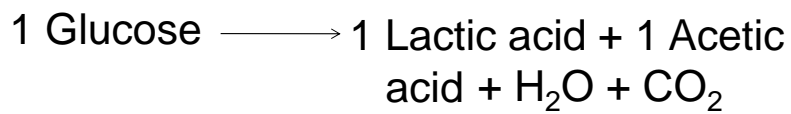
Homofermentative



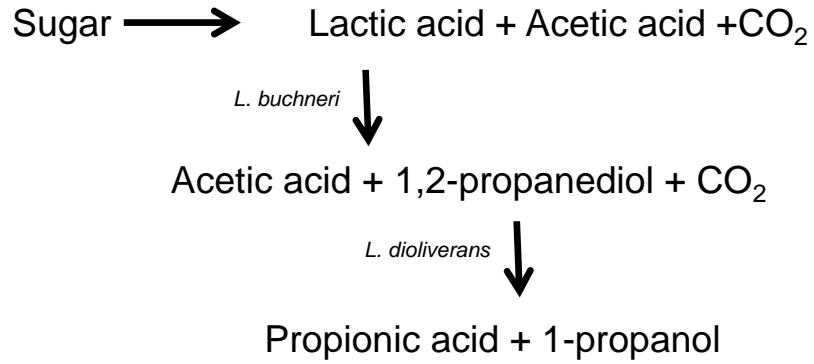
Undesirable Microorganisms

Lactic acid bacteria

Heterofermentative



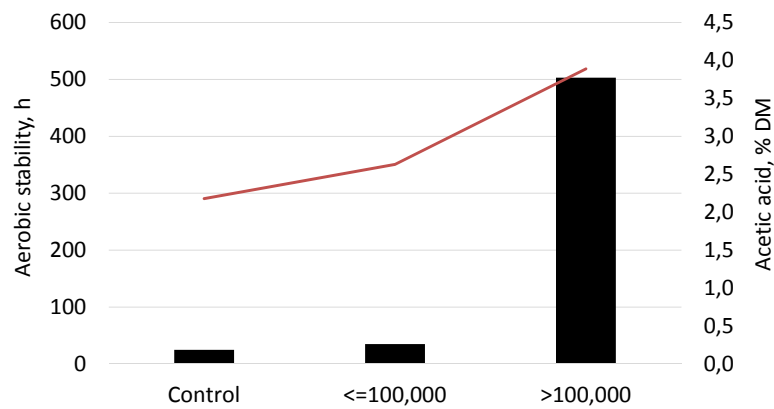
L. buchneri



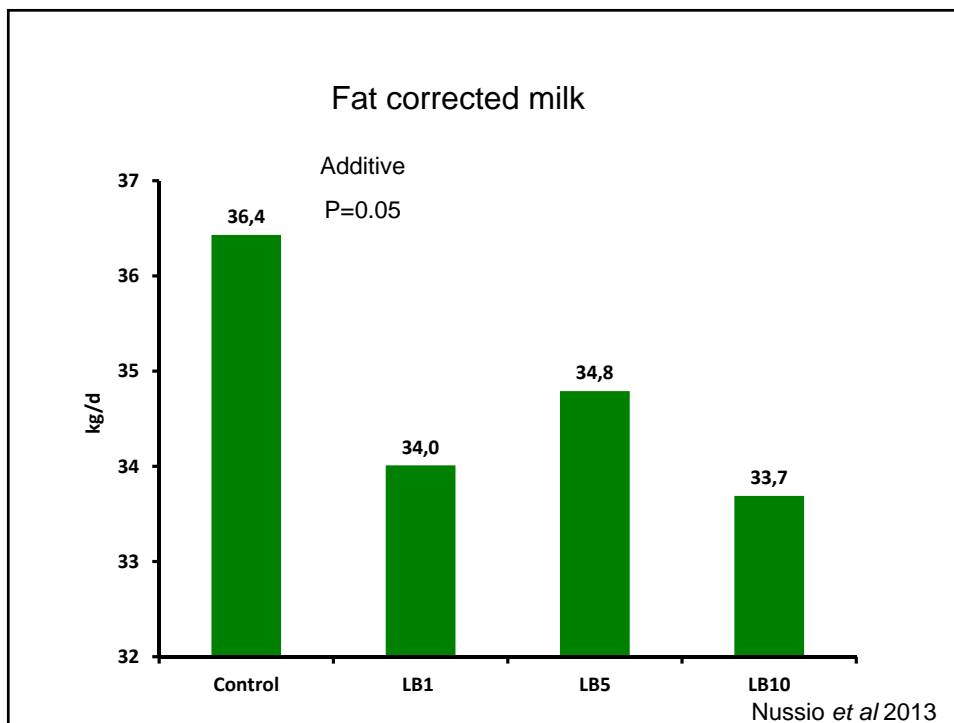
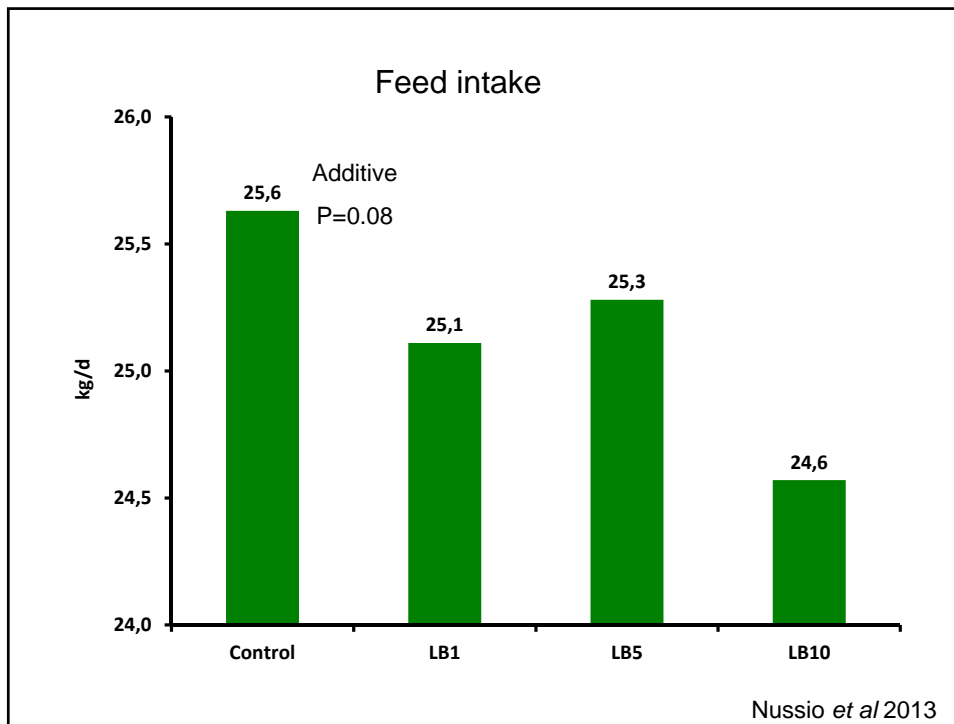
- Higher fermentation losses but the potential for lower aerobic spoilage losses
- High acetate reduces intake?

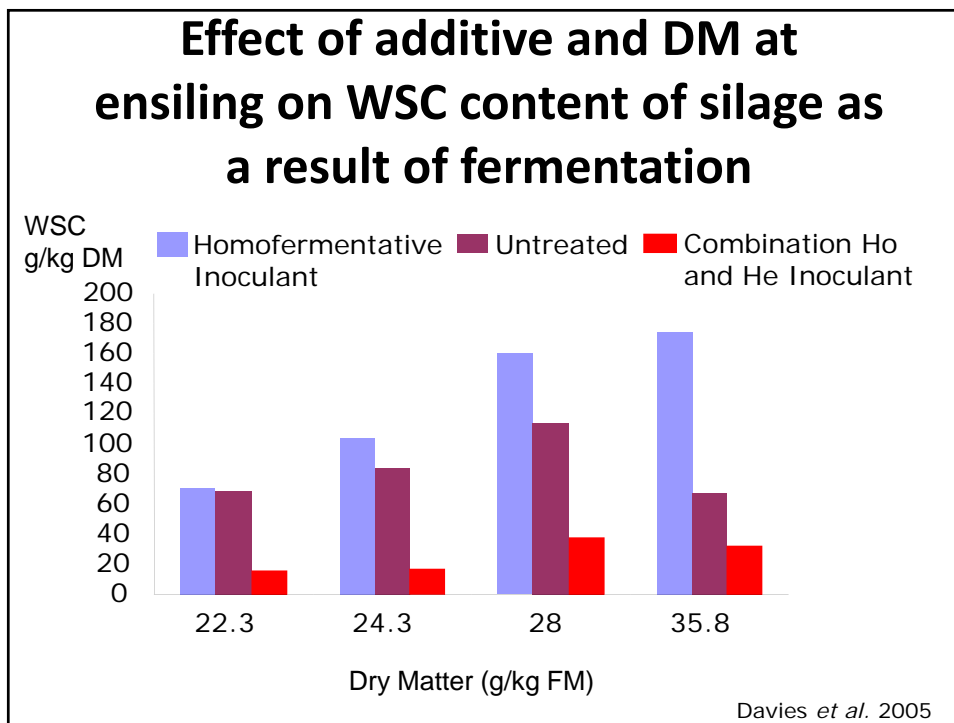
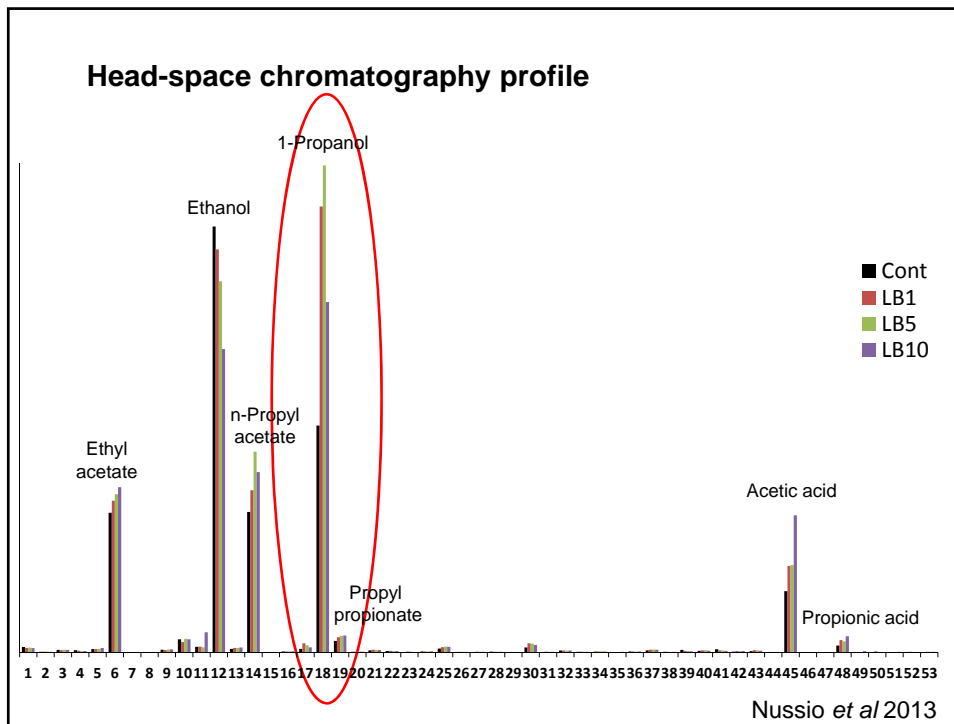
L. buchneri

The benefits on aerobic stability seems to be dose-dependent



Kleinschmit and Kung (2006) J.DairySci.





Review of 9 studies with *L. buchneri* or homofermentative LAB inoculants

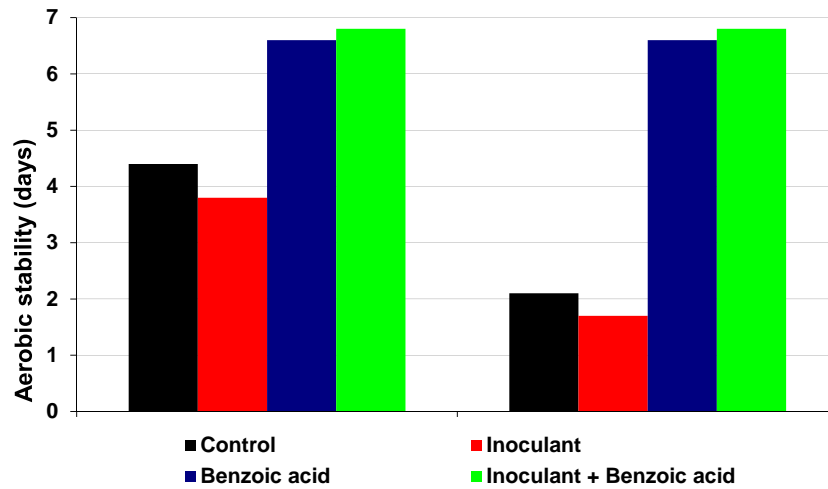
Crop	DM Loss % of control	
	<i>L. buchneri</i>	Homo-fermentative
Maize ²	192	80
Grass ³	122	71
Maize ⁴	506	45
Sorghum ⁴	177	48
High Moisture Maize ⁵	93	nd
Maize ⁷	165	nd
Direct Cut Grass ⁸	331	4
Wilted Grass ⁸	88	47
Maize ⁹	109	109
Mean	198	58

Wilkinson and Davies ,2013

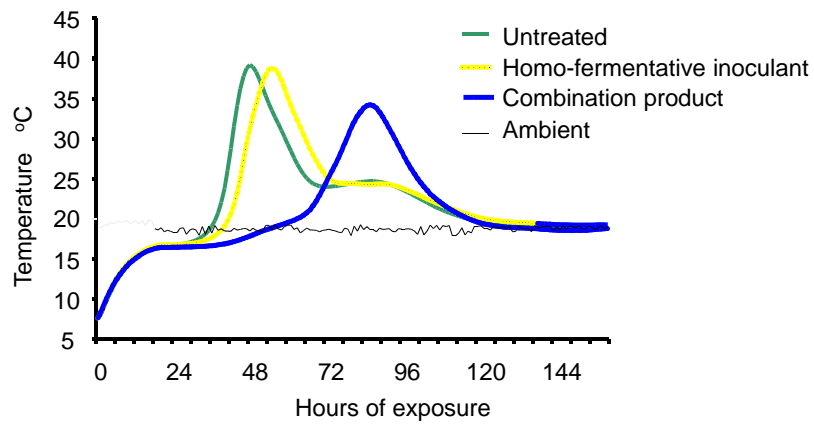
Combination Products

- Homo-fermentative inoculants
- + Food grade preservatives
 - Benzoate
 - Sorbate

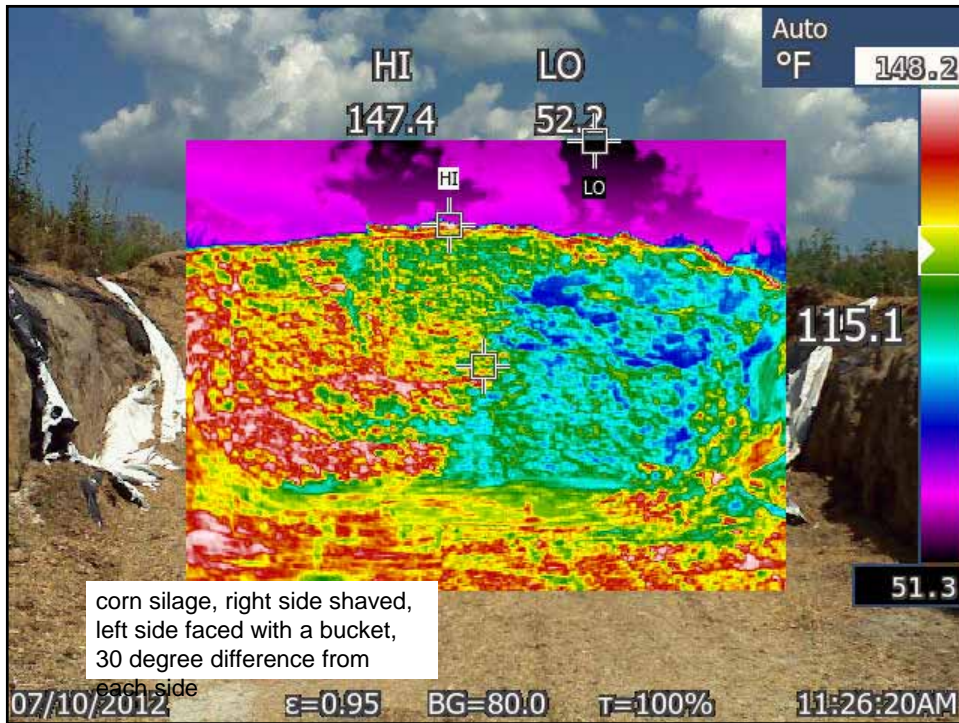
Effect of an inoculant, benzoic acid and a mixture thereof on *Penicillium roqueforti*-induced aerobic instability of maize silages (Auerbach *et al.*, 2000)



The effect of combination product Treatment on maize silage



Fychan *et al* 2009



Practical Targets

	Target	Management/Technology
Yeasts and moulds in crop at harvest	<10 ⁵ CFU/g fresh matter	Rapid field-wilting. Avoid over-mature crops
Density of silage	>210 g DM/m ³	Adequate packing tractor weight. Consolidate in thin layers
Porosity (proportion of air-filled space)	<0.4	Adequate packing tractor weight
Sealant film	Oxygen transmission rate <30 g/cm ² /24h	Oxygen barrier film
Exposed silo face	As undisturbed as possible	Specialist silage removal equipment Sharpe knives
Speed of feed out	>1 m/week in winter >2 m/week in summer	Bunker silos as narrow as possible

Wilkinson and Davies 2012

