Guide technique

Mettre en place un stockage à la ferme

Le stockage des céréales est une étape critique pour un paysan souhaitant maîtriser les débouchés de sa production, pour la transformation à la ferme, ou la vente en circuits courts. Ce document a pour but de présenter les principaux types d'installations, et les points clés pour un stockage de bonne qualité dans une ferme pratiquant l'agriculture biologique.

L'EUROPE S'ENGAGE L'OCCITANIE AGIT

UNION EUROPÉENNE

La Région Occitanie Pyrénées - Méditerranée

Civam Bio Aude

LocaStock

INRAE

Inrap Institut national de recherches archéologiques préventives

FAB'LIM Local for Good Le Labo des territoires alimentaires Méditerranéens

Contact : Axel Wurtz - axel.wurtz@bio-aude.com

AVRIL 2025

1 Pourquoi mettre en place un stockage à la ferme

Avantages du stockage à la ferme

- **Gagner en indépendance :** meilleure maîtrise de la commercialisation.
- **Valoriser sa production :** facilite la transformation à la ferme pour générer de la plus-value.
- **Bénéfice des primes de stockage :** possibilité de recevoir par les organismes stockeurs des aides financières de 5 à 10€ la tonne en fonction de la durée de stockage du grain à la ferme.
- **Avoir ses propres semences :** possibilité de ressemer le grain stocké.

Un coût relativement faible

Le coût du stockage en agriculture biologique est estimé entre 20 et 22 €/t. Il dépend de plusieurs facteurs, principalement :

- **L'amortissement des investissements :** influencé par le type de stockage choisi, la capacité totale (optimiser la capacité pour un taux d'utilisation maximal) et le niveau d'auto-construction.
- **Les charges de fonctionnement :**
  - La **consommation électrique** des installations. Les coûts énergétiques, hors séchage, restent limités mais varient en fonction du type d'approvisionnement (autoproduction d'électicité ou abonnement électrique).
  - Le **temps de travail** consacré à la surveillance du grain et à l'entretien des équipements, estimé **entre 10 et 35 heures par campagne**, selon la quantité stockée et le nombre de lots.

2 Choisir son stockage et son emplacement

Mesurer le poids spécifique de son grain

Mesurer le poids spécifique de son grain **pour estimer précisément la capacité de stockage** à la ferme. **Un grain avec un poids spécifique (PS) élevé occupe moins de volume pour une même masse**, permettant ainsi un meilleur remplissage des silos et une optimisation de l'espace disponible. À l'inverse, un PS faible peut entraîner une sous-estimation du volume requis.

Le PS est exprimé en kg/hectolitre. Il reflète **la densité individuelle** de chaque grain et **leur arrangement spatial** dans le volume de stockage. Par exemple, **les grains vêtus**, en raison de leur enveloppe, **s'agencent moins bien entre eux**, ce qui se traduit par un PS plus faible. De même, **l'humidité influence le PS**, un grain humide sera plus lourd et aura un PS plus élevé.

Le PS étant influencé par l'agencement des grains, des opérations comme **le nettoyage et le tri avant stockage** permettent d'éliminer les impuretés et les grains cassés, **améliorant ainsi la compacité du lot** et **l'augmentation de son PS**. Cette opération contribue à une meilleure utilisation de l'espace, mais aussi à une conservation optimisée du grain, limitant les risques liés aux impuretés et aux poussières, qui favorisent le développement d'insectes ou de moisissures.

Fabriquer un outil maison pour connaitre le PS de son grain

Matériel nécessaire

- Un récipient de volume connu (1L, 500 ml...)
- Une balance de précision (précise à 1 g de préférence)
- Un entonnoir
- Une règle

Méthode

1. Remplir le récipient de grain, sans trop tasser ni secouer le grain, idéalement avec un entonnoir
2. Égaliser la surface à l'aide d'une règle pour retirer l'excédent et que le volume corresponde exactement à celui du récipient
3. Peser le grain en le vidant sur une balance
4. Calculer le PS :

$$PS\ (kg/hl) = \frac{\text{Poids du grain (g)}}{\text{Volume (ml)}} \times 100$$

TUTO tuto !

Exemple

Si votre tasse fait 500 ml et que le grain pèse 375 g, alors :

$$PS = \frac{375}{500} \times 100 = 75\ kg/hl$$

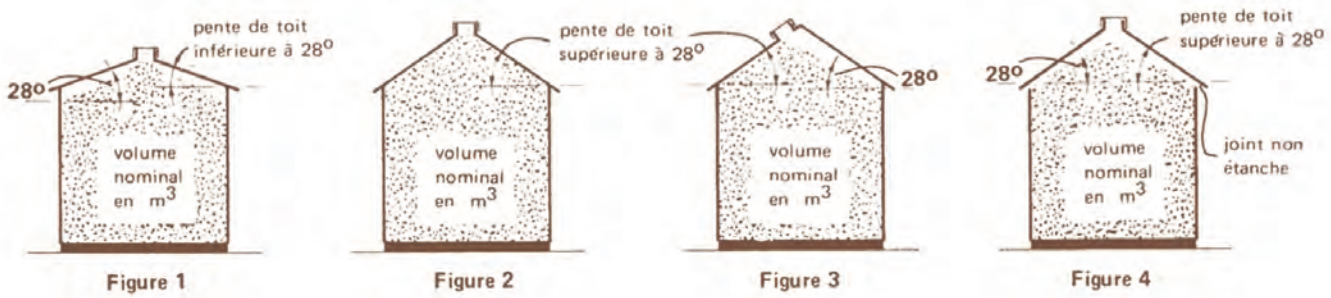
Cette méthode donne une bonne estimation mais reste artisanale. Répéter l'opération plusieurs fois avec différents échantillons permet de s'assurer de la régularité des mesures.

Connaître le volume de son silo

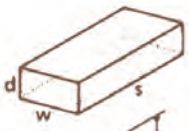
$$\text{Capacité de stockage (t)} = \frac{\text{Volume du silo (m}^3\text{) x PS du grain (kg/m}^3\text{)}}{\text{1000 kg/t}}$$

Pour convertir le PS : 1 kg/hl = 10 kg/m^3

Si le silo a un fond conique, **le calcul du volume du silo doit comprendre le volume du corps du silo et le volume du cône**. Vous pouvez vous aider de la figure ci-dessous pour calculer le volume de votre silo en fonction de la forme de celui-ci.

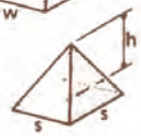


FORMULES POUR LE CALCUL DU VOLUME NOMINAL



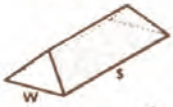
Parallélépipède
V = swd

où V = volume — m3 (pi3)
s = côté — m (pi)
w = largeur — m (pi)
d = hauteur — m (pi)



Pyramide à base carrée
V = 1/3 s2h
lorsque les côtés sont inclinés de 28°

où s = longueur — m (pi)
h = hauteur — m (pi)
V = 0,08867 s3



Prisme à quatre pentes de 28° à base rectangulaire,
V = 0,133 w2 (s-w) + 0,08867 w3

où s = longueur — m (pi)
w = largeur — m (pi)

Cylindre
V = π r2d

où π = 3,1416
r = rayon — m (pi)
= ½ diamètre
d = hauteur — m (pi)

Cône
V = π r2h/3
lorsque les côtés sont inclinés de 28°
V = 0,557r3

π = 3,1416
r = rayon = ½ diamètre — m (pi)
h = hauteur — m (pi)
r = rayon — m (pi)

Structure de stockage des céréales des fourrages et des autres aliments (Agri-réseau)

Les installations de stockage doivent être prévues **de préférence à l'intérieur** pour limiter les grandes différences de températures entre le jour et la nuit, et pour empêcher le rayonnement direct du soleil sur les parois du silo. Un **risque de condensation** en haut du silo et sur les parois apparait si la **différence de température entre le jour et la nuit est supérieure à 10-12°C**, créant un milieu humide propice au développement des moisissures et des insectes.

Connaitre la nature du sol où l'on souhaite installer son stockage est primordial. Si de l'eau est présente dans le sol, l'humidité risque de remonter jusqu'au grain et de favoriser une mauvaise conservation du grain en fond de cellule. Dans ce cas de figure, il est recommandé d'effectuer un **drainage autour du bâtiment**, de poser un film plastique ou une couche de graviers, avant de **couler une dalle de béton**.

3 Les différents types de stockage

Silo métallique en tôle lisse (photo : www.hamel-france.com)

Silo métallique en tôle ondulé à la ferme Agri Gaubert (photo : Myriam Jouchet)

Cône de ventilation à la Ferme de Sainte-Raffine (photo : Myriam Jouchet)

Cette liste n'est pas exhaustive. Beaucoup d'exploitations utilisent d'autres espaces de stockage (ancienne cuverie, tonnes à eau, etc.).

Stockage ventilé en silo

Le stockage en silo permet une **gestion précise et simplifiée des stocks**, en offrant une **visibilité claire sur les quantités disponibles** et en facilitant le tri par variété. Ce stockage prend aussi **moins de surface au sol** qu'un stockage à plat. De plus, il assure une **meilleure protection** contre les insectes et les moisissures. Ce stockage est néanmoins plus coûteux à l'installation qu'un stockage à plat.

Les silos métalliques sont constitués de panneaux de tôle d'environ 1 m de hauteur sur 2 m de longueur, assemblés par boulonnage pour former des viroles empilées en hauteur avec un joint d'étanchéité. L'ensemble est solidifié par des renforts verticaux boulonnés aux panneaux. Ces silos peuvent être construits à partir de tôle ondulée ou de tôle lisse. Bien que légèrement plus onéreux, les silos en tôle lisse offrent une plus grande facilité de nettoyage.
Pour un stockage optimal, le silo doit être équipé au minimum d'une trappe de visite (pour la vidange et le nettoyage), d'une entrée d'air (pour la ventilation) et d'un tube de reprise (pour l'extraction des grains).

Il existe différents types de cellules de stockage, certaines avec une ventilation intégrée et d'autres non. Les cellules avec ventilation intégrée peuvent être équipées de :

- **Silo sur pied**. L'air à la base remonte à travers le grain stocké. Par sa structure sur pieds, ce **système est hors sol et donc 100% étanche** à l'humidité du sol. Ce système permet aussi de **vider facilement le grain** car le cône fait office d'entonnoir en fond de cellule.
- **Silo classique avec fond conique** (venticône). À la différence du silo sur pied, il possède une vis de reprise pour l'extraction du grain
- **Plancher perforé**. La ventilation s'effectue à plat et est semblable à celle du cône, remontant du bas vers le haut, traversant le grain.
- **Tunnel caillebotis ou caniveaux enterrés**. Des tunnels sont creusés sous la cellule, où l'air est pulsé à l'aide d'un ventilateur extérieur.
- **Gaine demi-lune**. Contrairement au plancher perforé, les gaines sont posées sur le sol et recouvertes par le grain. Un ventilateur extérieur vient propulser de l'air à l'intérieur des gaines, qui remonte ensuite à travers le grain stocké.

Si la cellule n'est pas équipée de ventilation, il existe des équipements amovibles :

- **Lance de ventilation** pouvant ventiler jusque 15 t de céréales dans 9 m^2.
- **Aérateur à grains** permettant de ventiler précisément des points chauds dans la cellule, jusque 40 m^3 de céréales sur un diamètre de 3 m.

Stockage à plat

Le stockage à plat est une **solution attractive pour les grandes exploitations** car il permet de stocker de très grands volumes relativement facilement, en valorisant, par exemple, une ancienne grange ou stabulation. Ce type de stockage **requiert, cependant, une gestion rigoureuse** pour limiter l'infestation par les insectes, ravageurs et moisissures.

Différentes configurations existent :

- **Stockage sous hangar**. Il garantit une protection optimale contre les aléas climatiques, bien qu'il implique un investissement initial plus conséquent.
- **Stockage sous bâche**. Économique mais vulnérable aux intempéries, nécessitant l'utilisation de bâches renforcées et anti-UV pour protéger les céréales.
- **Stockage sous tunnel**. Il représente un compromis intéressant entre coût et protection, combinant la protection d'un hangar avec une bonne aération.

Stockage à plat sous hangar (photo : www.fao.fr)

Stockage de grains sous tunnel (photo : www.bm-negociations-mouellic.com)

La manutention est généralement mécanisée, avec un transfert effectué par une chargeuse ou un chariot télescopique avec godet. Il est important d'avoir une dalle béton de bonne qualité (béton vibré ou vibré quartzé) avec de faciliter le nettoyage et la manutention ainsi qu'éviter la présence de cailloux dans le grain.

Pour la ventilation, plusieurs solutions existent :

- **Ventilation par gaine ou caniveaux équipés de grilles** assurent une répartition homogène de l'air. Les gaines (tôles cintrées percées en demi-lune(s) posées au sol) ont l'avantage de ne pas nécessiter de travaux, mais elles peuvent entraver la circulation des engins. C'est un système à air pulsé. L'air est injecté dans le tas, se charge en humidité et température, puis sort du tas.
- **Ventilation par aérateur à grains** repose sur des piliers creux insérés dans le grain, qui aspirent l'air ambiant et le redistribuent à travers une série de tubes perforés. Ce système est particulièrement adapté pour ventiler des zones localisées, mais ne permet pas de ventiler l'ensemble d'un bâtiment.
- **Ventilation en colonne** est plus économique en consommation d'énergie, bien que moins efficace pour une couverture uniforme de l'ensemble du stockage. Cette ventilation fonctionne par aspiration. L'air ambiant est aspiré à l'intérieur du tas par les ventilateurs disposées en haut des colonnes. Il se charge en température et en humidité du grain puis est extrait du tas par le ventilateur. Avec ce système, le bâtiment de stockage doit être aéré pour que l'air chaud et humide soit expulsé du bâtiment.

Ventilation par gaine (photo : petrus-sa.fr)

Ventilation par colonnes (photo : www.fontaine-silo.com)

Stockage en petites unités : big bag et palox

Le remplissage des **big bags** s'effectue généralement de façon manuelle et individuelle, ce qui demande un investissement important en temps et en main-d'œuvre. Le stockage du grain en big bag constitue donc une solution pratique pour les petites exploitations, pour les petits volumes ou les grains de haute valeur comme les semences.

Pour lutter contre les insectes, il est recommandé de bien nettoyer les big bags avant utilisation s'ils ne sont pas neufs et vérifier qu'ils ne soient pas percés. Lorsque le big bag n'est pas en cours de ventilation, il est important de bien refermer le big bags à l'aide de la jupe supérieure. Le big bag ne se prête pas bien à la ventilation. Néanmoins, des aérateurs de grains peuvent être utilisés. Les visser sur le big bag pour refroidir le grain, ou bien ventiler la récolte avant de la conserver dans des big bags. Les bigs bags peuvent aussi être exposés aux attaques de rongeurs, notamment lorsqu'ils sont entreposés au sol ou dans des bâtiments mal protégés.
Il est toujours conseillé de positionner les big bags sur des palettes, ou sur des racks.

Les **palox** sont des contenants rigides et empilables qui permettent de stocker temporairement du grain. Il vaut mieux privilégier les palox en métal pour le stockage. Certains modèles peuvent être ajourés avec des trous ou fentes, ce qui permet une circulation de l'air. Après utilisation, les palox doivent être bien nettoyés.

Stockage hermétique sous atmosphère modifiée

Le procédé NOX repose sur l'utilisation de big bags thermoscellables à double paroi, conçus pour garantir une parfaite étanchéité à l'air. Ces sacs, d'une capacité d'environ 1 t, empêchent toute intrusion d'insectes extérieurs grâce à leur structure renforcée. Il existe aussi des cellules NOX.

Une fois les grains stockés à l'intérieur, la méthode consiste à augmenter la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère du sac, créant ainsi des conditions d'hypercapnie. Ce milieu appauvri en oxygène et saturé en CO_2 agit comme un insecticide naturel, asphyxiant les insectes déjà présents dans le grain au moment de la récolte.

Cette technologie peut être utilisée aussi bien sur des grains déjà infestés ou pour éviter toute contamination. Elle constitue une alternative aux insecticides chimiques. Son principal inconvénient reste son coût élevé.

zoom zoom!

Retour d'expérience.

Selon les essais menés par ARVALIS, le procédé s'est révélé très efficace :

- 100 % des insectes adultes présents dans les grains ont été éliminés en 48 heures de stockage.
- La descendance (œufs et larves) a été détruite en 1 à 3 semaines, selon les conditions.

zoom zoom!

Expérimenter le stockage souterrain ancestral avec le projet Locastock

Expérience menée par l'Inrap (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives), l'INRAE et le Biocivam 11.

1/ Un trou souterrain d'une capacité d'environ 600/800 litres est creusé

2/ Un mélange de paille et de terre humide est placé sur les parois

3/ Le silo est rempli de grains

Après avoir essayé de reproduire les techniques ancestrales de stockage de grains en fosses creusées à même le sol, l'objectif est de voir s'il est possible de s'en inspirer et de les adapter à l'agriculture du XXIe siècle pour proposer une alternative bas carbone au stockage moderne, dans le contexte du changement climatique et des incertitudes géopolitiques influençant le prix de l'énergie.

Des silos souterrains ont été creusés sur six exploitations agricoles participantes, et un autre, au lycée Charlemagne de Carcassonne.

Un guide pour mettre en place ce type de stockage à la ferme est actuellement en cours d'écriture par les chercheurs du projet Locastock et sera publié sur leur site, ainsi que les résultats de la qualité du grain désilé.

› **www.inrap.fr**/locastock-stockage-de-grains-et-denrees-co-conception-d-innovations-locales-19902

en savoir plus ?

Photos : @Cucugnan chez Les Maîtres de mon moulin (boulanger meunier et producteur de céréales) le 08/08/2024 par Maxime Guillaume et Tanguy Wibaut.

4 Mettre en place des bonnes conditions de stockage

Nettoyer l'ensemble de ses installations avant la récolte

En stockage à la ferme, **l'infestation du grain provient principalement d'un mauvais nettoyage des silos**, les insectes se développant dans les brisures et les reliquats. Nettoyer ses installations post récolte permet **d'éliminer l'ensemble des réservoirs d'insectes installés lors de la campagne précédente**.

Nettoyer les silos et les installations dès le déstockage complet, **du haut vers le bas** :

- Charpente, murs, parois des cellules, intérieurs des gaines de ventilation…
- Privilégier une brosse et un aspirateur.
- Limiter l'utilisation des souffleries pour les recoins inaccessibles car **les poussières peuvent contenir des parasites, des œufs ou des larves**. La soufflerie risquerait de les disperser et de contaminer la cellule.
- Pour s'assurer de détruire les larves de parasites, il faut parfois recourir au chalumeau (comme pour les joints entre les tôles).
- Evacuer immédiatement les déchets.
- Étanchéifier les rainures, fentes et cavités.

Ne pas oublier de nettoyer la moissonneuse batteuse. Les brisures de grains et des balles de la récolte précédente peuvent servir de nids à insectes.

Récolter dans de bonnes conditions et trier son grain

Trier son grain avant le stockage permet d'avoir un **grain propre** et une **masse de grain homogène** dans la cellule pour **permettre à ce que l'air circule de façon régulière** sans qu'il soit freiné par des zones d'accumulation de poussière ou de balles. Il est **absolument nécessaire de trier son grain** en cas de récolte avec de la verdure (luzerne, adventices, …) afin de diminuer le plus rapidement possible la charge en matière verte et humide.

Avant le stockage, il est important de **connaître avec le plus de précision la qualité du grain que l'on stocke** (humidité, température). Il est indispensable d'échantillonner tous les lots que l'on stocke dans chaque cellule.

Photo du trieur alvéolaire de la ferme de Sainte Raffine (photo : Myriam Jouchet)

zoom zoom!

Bien régler sa moissonneuse-batteuse.

Pour éviter un nombre trop important de balles ou des grains brisés dans sa récolte pouvant impacter les performances de la ventilation, il est important de bien régler sa moissonneuse-batteuse.
Régler sa vitesse de rotation du batteur à 20 m/s permet de limiter le nombre de grains cassés.
Étalonner la machine avant la récolte pour régler correctement l'écartement batteur contre batteur qui sépare les grains et la paille. Pour un batteur conventionnel, le serrage optimal est de 12mm à l'avant contre 7mm à l'arrière. Pour un batteur axial, l'écartement optimal est de 4 à 6mm entre les battes et le point le plus bas du contre-batteur.
(Cf. Stockage des grains à la ferme, Arvalis, 2020)
Les grains doivent être récoltés avec un taux d'humidité situé entre 13 et 15 %.

5 Optimiser sa conservation des grains

À la sortie du champ, la température du grain est généralement élevée (**entre 30 et 35 °C**). Pour prévenir les risques d'échauffement et limiter les infestations d'insectes, il est essentiel de le refroidir efficacement dès le début du stockage. Cette **phase de refroidissement** contribue à **stabiliser les grains** et à **préserver leur qualité sur le long terme**.

Des **mauvaises conditions de stockage ont des répercussions sur le poids des grains et leur qualité** (développement de moisissures, baisse du pouvoir germinatif, présence d'insectes). Pour garantir un bon état sanitaire et une conservation optimale, il faut contrôler la température et l'humidité du grain tout au long de la période de stockage.

Refroidir et sécher le grain

La respiration des grains produit de la chaleur, ce qui peut entraîner une élévation de température allant jusqu'à 55-60 °C. **Plus le grain est chaud et humide, plus son taux de respiration augmente** : il double à chaque augmentation de 5 °C et à chaque gain de deux points d'humidité. Ce processus consomme de l'amidon, ce qui provoque une perte de matière sèche pouvant atteindre 2,5 % pour du blé stocké à 20 °C avec 15 % d'humidité sur une période de six mois.

Pour éviter ces pertes et garantir une bonne conservation, le séchage est indispensable lorsque le taux d'humidité dépasse 17 % pour les protéagineux, 16 % pour les céréales à paille et le maïs, et 10 % pour les oléagineux.

La ventilation joue un rôle crucial dans le maintien de la qualité des grains et ne doit pas être reportée. **Plus on tarde à ventiler, plus le risque de condensation augmente** en raison de l'écart de température entre les grains et l'air de ventilation. Cette condensation favorise le développement de moisissures.
Pour ces raisons, il est recommandé de **débuter la ventilation dès le début du stockage**, sans attendre que la cellule soit complètement remplie.

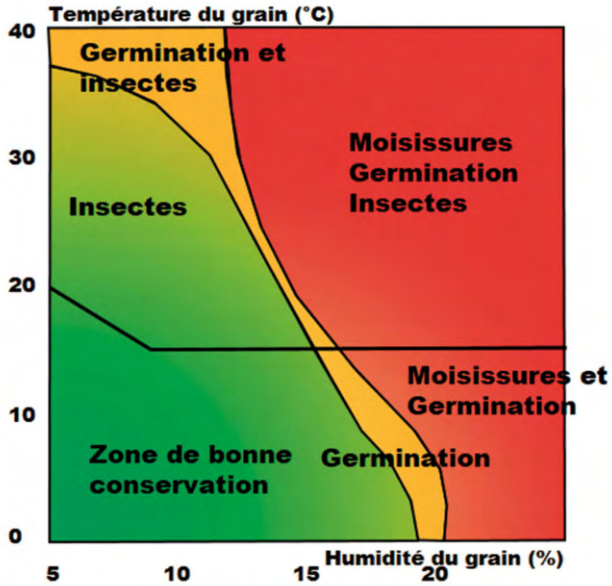


Diagramme de conservation du grain (FAO)
(Figure : driaaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr)

La ventilation se fait progressivement, autour de trois paliers successifs :

- **1er palier à 20°C**. Dès la récolte pour limiter les pertes de matières sèches.
- **2e palier à 12°C**. À réaliser pendant les nuits fraiches d'automne : pour éviter le phénomène de condensation, il ne faut pas tarder à atteindre ce palier (entre octobre et novembre).
- **3e palier à 5°C**. Permet de tuer presque tous les insectes, exceptés les Charançons et les Petits silvains plats qui peuvent survivre 3 mois à une température de 5°C.

Propriété thermique des grains.

Les grains se comportent comme un isolant c'est-à-dire qu'ils ont une **bonne capacité pour garder la chaleur** (capacité thermique) mais une **faible conductivité thermique** (transmettent peu la chaleur, isolant). Ainsi, le grain stocké est difficile à refroidir du fait de ces propriétés, mais une fois refroidi, il se maintient à cette température et met longtemps à se réchauffer.
Pour optimiser son refroidissement, il faut que **l'écart entre la température du grain et celle de l'air ambiant soit comprise entre 7 et 10°C**. En effet, si cet écart est plus faible, il faudra effectuer des doses de ventilation de refroidissement supplémentaires pour parvenir au même résultat. S'il est plus important, il y a un risque de séchage excessif du grain et d'apparition d'un phénomène de condensation. Pour calculer cet écart, il est important de **prendre en compte la compression** que subit l'air lorsqu'il passe dans le ventilateur, et qui le réchauffe d'environ 3 à 5°C, en mesurant la température en sortie de gaine.

Exemple : Supposons que le grain est à 25°C et l'air extérieur à 13°C : écart initial de 12°C. L'air se réchauffe de 5°C en passant dans le ventilateur. Il entre donc dans le silo à 18°C. L'écart final entre l'air et le grain est alors de 25-18=7°C > bonne plage de refroidissement.

zoom zoom !

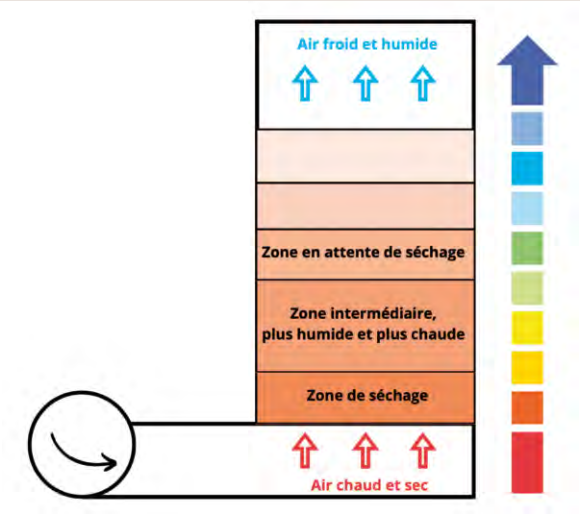
Il est possible de s'équiper d'un thermostat qui met en route le système de ventilation automatiquement dès que la température est suffisamment basse. La consigne de démarrage doit prendre en compte l'échauffement du à la compression.

Exemple : Supposons que l'on vise une température de 18°C pour les grains et que l'on prévoit un réchauffement de l'air de 5°C, il faut donc régler la consigne sur 13°C (18 - 5).

Bien penser sa ventilation

La ventilation est un système qui prend l'air extérieur et le restitue à l'intérieur de la cellule. L'air, insufflé en bas de la cellule, se déplaçant du bas vers le haut, refroidit d'abord les couches inférieures, puis les couches supérieures. **La ventilation est terminée lorsque la température du grain des 30 premiers centimètres de la couche supérieure est égale à la température du grains en bas de cellule, elle-même égale à la température à l'air en sortie de gaine**.

En effet, à cause de la pression exercée sur le grain pour le traverser, l'air se réchauffe (une augmentation d'environ 1°C par 83g/mm2 de grains). Suivant ce raisonnement, **la durée de ventilation est plus longue pour les petites graines** (colza, orge, tournesol) car il y a moins d'espaces libres pour l'écoulement de l'air entre les grains. La pression augmente donc, et le débit diminue.



Circulation de l'air dans une cellule au cours de la ventilation séchante (Arvalis)

Quand l'air passe dans le ventilateur, il se compresse et se réchauffe. Or, en **devenant plus chaud, l'air a une plus grande capacité à contenir de la vapeur d'eau**. Ainsi, son humidité relative baisse. Puisqu'il est moins saturé en eau, il est capable d'absorber plus d'eau lorsqu'il traverse le grain et d'avoir un effet séchant. **L'air se chargeant en humidité du bas vers le haut, son humidité relative est beaucoup plus élevée, voir saturée, en haut de la cellule. Son pouvoir séchant devient nul** et peut conduire au développement de moisissures sur les couches supérieures. Il est donc important de bien penser sa hauteur de masse de grains à sécher.

Exemple

Imaginons de l'air à 5°C avec 40% d'humidité relative. Cet air passe à travers un grain à 15°C. En traversant le grain, l'air se réchauffe disons à 10°C. En se réchauffant de 5°C, son humidité relative diminue (car il pourrait maintenant contenir plus d'eau qu'à 5°C). Ce déficit d'humidité relative lui donne un pouvoir séchant, et il peut donc absorber une partie de l'humidité du grain.

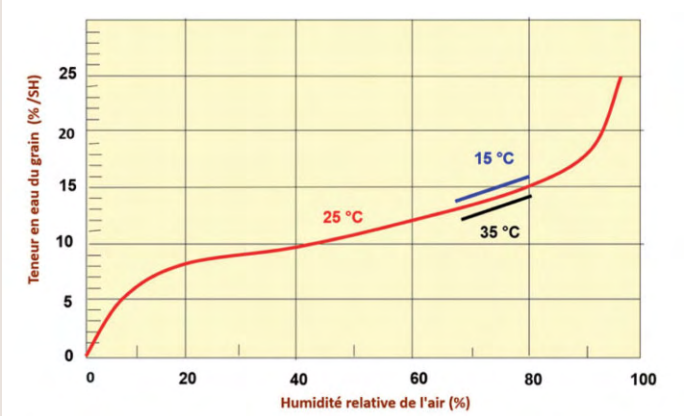
Il est tout à fait possible de **sécher le grain avec de l'air froid si celui-ci est très sec**. En effet, ce qui compte c'est l'écart de température entre l'air et le grain, ainsi que l'humidité relative de l'air par rapport à celle du grain. L'air froid a une capacité plus faible à contenir de l'humidité que l'air chaud. Mais s'il est très sec, il a quand même une capacité suffisante pour absorber l'humidité du grain. **Quand cet air froid passe à travers le grain, il se réchauffe légèrement au contact du grain si celui-ci est plus chaud que l'air**. En se réchauffant, son humidité relative diminue, ce qui lui permet d'absorber un peu d'humidité du grain.
(Voir exemple ci-contre)

Quand on injecte de l'air dans la cellule de stockage, des échanges hydriques ont lieu entre l'air et le grain.

L'humidité peut :

- **passer du grain vers l'air si l'air est moins humide que le grain**,
- **être absorbée par le grain si l'air est plus humide que le grain**.

Cette quantité d'eau que la grain va retenir ou céder en fonction de l'humidité de l'air ambiant est propre à chaque variété. Elle est représentée par une courbe de sorption. Connaitre cette courbe permet de prédire si le grain va perdre de l'humidité (sécher) ou se réhumidifier lorsqu'il est ventilé avec un certain type d'air.

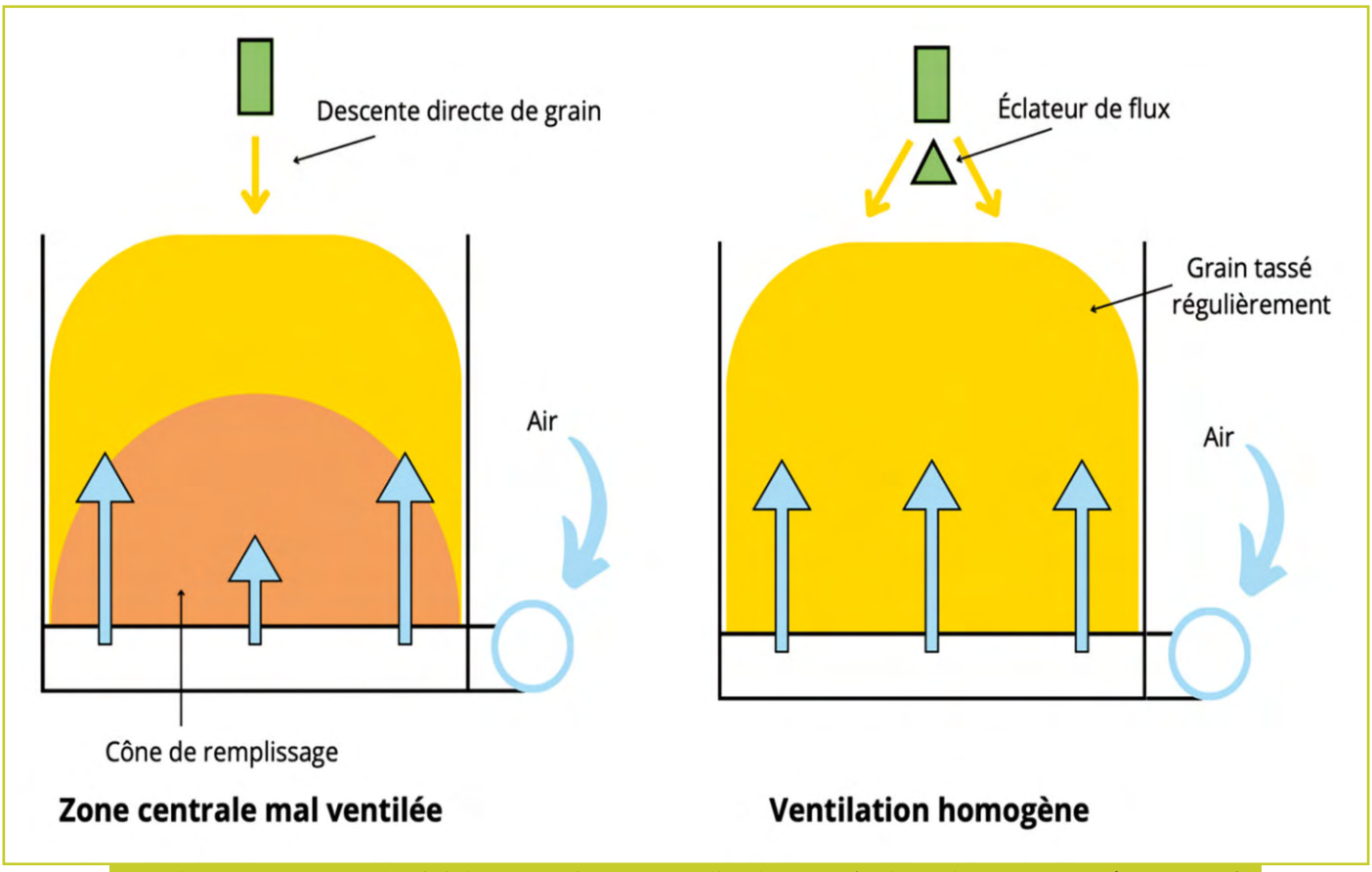


Courbe d'équilibre d'humidité grain/air pour le blé (Arvalis)

Peu importe l'écart initial de température entre le grain et l'air, la quantité d'air nécessaire pour ramener la température du grain à celle de l'air, est de **1000 m³ d'air par m³ de grain**. Cela permet de donner une **idée de la durée de ventilation pour une quantité de grain**.

Jusqu'à une humidité de l'air relative de 80%, la ventilation est appropriée car la teneur en eau du grain se maintient en dessous de 15%. Cependant, au-dessus de 80% d'humidité dans l'air, la teneur en eau du grain augmente rapidement au-dessus des 15%.

La disposition des gaines est aussi importante pour répartir l'air de façon homogène à travers toute la masse de grains. Installer un éclateur de flux à la sortie de la vis de remplissage au-dessus du silo améliore la répartition du grain dans le silo et rend la ventilation, et donc le refroidissement, plus homogène.



Stockage de semences de céréales et protéagineux sur l'exploitation (Fiche technique FNAMS/GNIS, 2000)

en savoir plus ?

Ventilation : un diagnostique gratuit

Arvalis propose un outil gratuit d'auto-diagnostique du système de ventilation adapté à votre stockage : Venti-Lis

› https://**ventilis.arvalis-infos.fr/accueil**

© https://ventilis.arvalis-infos.fr

6 Lutter contre les ravageurs des stocks de céréales

Connaitre les insectes et réussir à les identifier

Le principal danger d'une infestation d'un stock de grains réside dans la forte capacité de multiplication des insectes. Par exemple, si l'on compte un insecte par tonne en juillet (première génération), ce nombre peut passer à 25 insectes par tonne en septembre (deuxième génération) puis à 625 insectes par tonne en avril (troisième génération), lorsque les températures remontent après l'hiver.

Facteurs de multiplication :

- **Une température appropriée :** les insectes sont en hibernation au-dessous de 12-13°C, mais leur croissance repart dès que les conditions redeviennent favorables.
- **La teneur en eau du grain :** plus elle est élevée et plus les insectes se multiplient.

RAVAGEURS PRIMAIRES SE DÉVELOPPANT À L'INTÉRIEUR DU GRAIN JUSQU'À DEVENIR ADULTE

Charançon du riz
(*Sitophilus oryzae*)

Charançon du grains
(*Sitophilus granarius*)

Capucin du grain
(*Rhizopertha dominica*)

Alucite
(*Sitotroga cerealella*)

	Charançon du riz (*Sitophilus oryzae*)	Charançon du grains (*Sitophilus granarius*)	Capucin du grain (*Rhizopertha dominica*)	Alucite (*Sitotroga cerealella*)
Conditions de développement	Température : 12 à 34° Humidité ambiante : > 40% Humidité du grain : >12%	Température : 12 à 35° Humidité ambiante : > 40 à 45% Humidité du grain : > 11% (à 12°)	Température : 22 à 38° Humidité ambiante : > 40% à 70% Humidité du grain : > 12 à 14%	Température : 15 à 35°C Humidité ambiante : > 30 à 40% Humidité du grain : 9%
Longétivité adultes	4 à 12 mois	4 à 6 mois	4 à 8 mois	2 à 4 semaines
Multiplication en 1 mois	Par 25	Par 20	Par 20	Par 50
Température pour stopper le développement	T°C <15°C ou T°C > 34°C	T°C < 12°C ou T°C >32°C	T°C < 21°C ou T°C > 38°C	T°C < 15°C ou T°C > 35°C

RAVAGEURS SECONDAIRES SE NOURRISANT DU GRAIN PAR L'EXTÉRIEUR, AU STADE LARVAIRE ET ADULTE

Sylvain
(*Oryzaephilus surinamensis*)

Petit sylvain
(*Cryptolestes ferrugineus*)

Tribolium
(*Tribolium castaneum*)

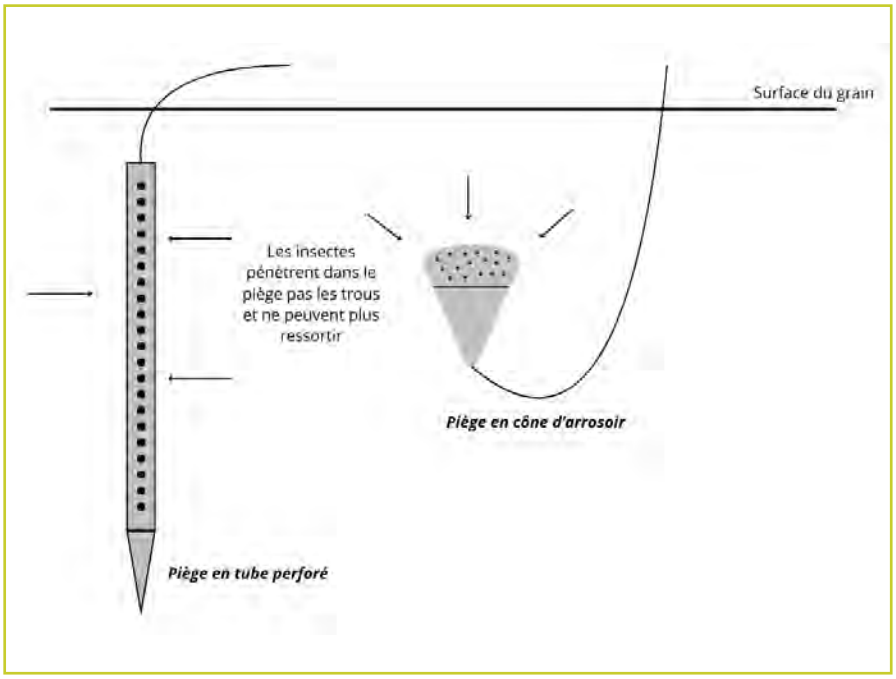
Teigne des fruits
(*Plodia interpunctella*)

	Sylvain (*Oryzaephilus surinamensis*)	Petit sylvain (*Cryptolestes ferrugineus*)	Tribolium (*Tribolium castaneum*)	Teigne des fruits (*Plodia interpunctella*)
Conditions de développement	Température : 31 à 38°C Humidité ambiante : > 50% Humidité du grain : > 10%	Température : > 35°C Humidité du grain : 17 à 18%	Température : 20 à 40°C Humidité ambiante : > 30% Humidité du grain : > 10%	Température : 17 à 37°C Humidité ambiante : > 40 à 75% Humidité du grain : > 10%
Longétivité adultes	6 à 10 mois		2 à 3 ans	1 à 3 semaines
Multiplication en 1 mois	Par 50	Par 60	Par 60	Par 20
Température pour stopper le développement	T°C > 21°C ou T°C > 38°C	T°C < 20°C ou T°C > 42,5°C	T°C < 20°C ou T°C > 40°C	T°C < 17°C ou T°C > 37°C

Tableau créé par Myriam Jouchet, à partir des données de Fleurat-Lessard, Francis. "Gestion intégrée de la protection des stocks de céréales contre les insectes sans traitement insecticide rémanent : Practical Integrated Approach of Prevention and Control of Stored Grain Insects without Use of Residual Insecticides." Phytoma, n° 716 (septembre/octobre 2018) : 32-40.

Installer des pièges en tubes perforés ou en pomme d'arrosoir permettent de détecter les insectes le plus rapidement possible. Ce sont des pièges sans appât, à disposer dans la partie supérieure du stock, en son centre. Les insectes circulent sur le grain, tombent dans le piège et ne peuvent plus en ressortir. Il existent aussi des pièges à phéromones. Tous ces pièges sont à relever au moins deux fois par mois. Comptez entre 10 et 15 € pour un piège.
Il est aussi possible de poser près de ses silos des capsules de confusion sexuelle qui libèrent des phéromones et empêchent les ravageurs de se reproduire.

Piège à tube perforé dans les silos de la ferme Sainte-Raffine (photo Myriam Jouchet)



Piège à tube perforé et piège en pomme d'arrosoir

Mesure de prévention contre les mycotoxines

Les mycotoxines sont des **composés chimiques toxiques, voire cancérigènes**, produits par certains champignons.

La contamination peut survenir à deux niveaux :

- **Au champ**, avec des mycotoxines comme le **déoxynivalénol** (DON) et les **zéaralénones**, issues des fusarioses.
- **Lors du stockage**, avec des mycotoxines telles que les **ochratoxines**, produites par les champignons **Aspergillus** et **Penicillium** sur le blé, l'orge et d'autres céréales, ainsi que les **aflatoxines**, générées par l'**Aspergillus** principalement sur le maïs et oléagineux.

Mesures de prévention aux champs :

- **Alternance des cultures dans la rotation** : éviter blé sur blé ou blé sur maïs ou sorgho
- **Labour** ou autre incorporation de surface efficace des pailles du précédent dans le sol
- **Choix de variétés à paille haute et tolérantes aux fusarioses**
- **Éviter des densités trop importantes**

Mesures de prévention au stockage :

- **Bien nettoyer** les silos et lieux de stockage
- **Trier** sa récolte avant le stockage
- **Ventiler et sécher** immédiatement après la récolte
- **Éviter la condensation** aux parois et sur le haut du tas
- **Lutter efficacement** contre les insectes du stockage
- **Abaisser la température** le plus vite possible à moins de 17°C

Méthode de lutte préventive et curative : la terre de diatomée

La terre de diatomée est composée de fragments de roche de diatomées (algues fossilisées) qui sont tranchants et créent des lésions sur les cuticules des insectes. Elle entraîne la mort des insectes par déshydratation.

Il existe deux types de terre de diatomée :

- Non calcinée qui est alimentaire
- Calcinée qui est toxique

Privilégier la terre de diatomée non calcinée pour le stockage de grains qui serviront à l'alimentation.

Il faut faire la différence entre le traitement du grain et le traitement du silo. Le Silicosec® est le seul produit à base de terre de diatomée pour lequel a été déposé une autorisation de mise sur le marché pour le traitement du grains. Il est donc le seul à être réglementairement autorisé pour cette opération. Cependant, il est tout à fait possible d'utiliser d'autres produits à base de terre de diatomée non calcinée (alimentaire) pour le traitement des locaux.

Facteurs impactant l'efficacité de la terre de diatomée :

- Certaines espèces sont plus sensibles que d'autres. D'après une étude d'Arvalis de 2016, le Petit sylvain plat est l'espèce la plus sensible, alors que le Tribolium brun est la plus résistante.
- La plupart des espèces peuvent devenir résistantes au bout de la 5e et de 7e génération.
- Une teneur en eau supérieure à 14% permettrait aux insectes de contrebalancer la déshydratation engendrée par le traitement*.

Pensez à bien nettoyer et brosser votre grain si vous le transformer en farine pour éliminer tous les résidus.

zoom zoom!

Utilisation du Silicosec®.

Le Silicosec® contient 920g/kg de terre de diatomée. Son usage est autorisé dans deux cas :

- **Désinsectiser les installations** en utilisant soit le système d'aération dans un silo vide, soit un pistolet à air comprimé réglé entre 5 et 8 bars, avec une dose maximale de 10 g/m². Cette opération doit être **réalisée entre 1 à 2 mois avant la réception du grain** et est limitée à **une application par an**.
- **Lors du remplissage des silos**, il est conseillé de bien mélanger la poudre avec les grains en respectant les doses suivantes : **1 kg/t en l'absence d'insectes et 2 kg/t si des insectes ont été détectés**, avec une limite d'**une application par an**. Cette opération peut affecter le poids spécifique (PS) des grains. Des essais réalisés par Arvalis ont montré que **l'application de Silicosec® à des doses de 0,5 à 1 kg/t de blé tendre peut entraîner une perte de PS de 3 à 5 kg/hl**. Toutefois, des doses plus élevées n'ont qu'un impact marginal sur une accentuation de la diminution du PS. Selon une étude de Z. Korunić et Mackay (2000), traiter uniquement la couche superficielle des grains permettrait de limiter l'impact sur le PS. **Ainsi, pour ne pas dépasser une perte de 2-3 kg/hL, la portion du lot traitée avec 0,5 ou 0,75 kg/t de Silicosec® doit pas excéder respectivement 20 % et 10 % du total.**

Pour l'appliquer, il est nécessaire de porter des gants, une combinaison de travail et un masque de type FFP2.

Méthode de lutte curative

En cas de présence de ravageurs dans le grain :

- **Refroidir le grain :** une température à 5°C pendant plusieurs semaines est létale pour la plupart des insectes.
- **Traitement thermique à 55°C pendant 1h30** en passant les grains dans un séchoir (attention, uniquement pour de l'alimentaire, car perte du pouvoir germinatif avec ce traitement)
- **Fumigation ou gazage au CO_2** dans les locaux ou les silos fermés hermétiquement (intervention d'un prestataire spécialisé)
- **Crémation :** élimination de 80% des insectes en passant une flamme en sortie de la vis à grain.

Certains agriculteurs utilisent aussi le produit TopGrain™, autorisé en AB. Il se pulvérise sur le point de chute du grain et protège les céréales contre les ravageurs en rompant leur cycle biologique au niveau des œufs, des larves et des adultes.

** Études de Baldassari, Martini, et al. (2014), Quarles (1992), et Zlatko Korunic (1998)*

zoom zoom!

Utilisation des huiles essentielles en Agriculture Biologique

L'utilisation des huiles essentielles d'orange douce, de menthe poivrée et de clou de girofle, déjà utilisées en agriculture biologique pour d'autres applications, s'est révélée prometteuse pour la lutte contre les ravageurs en silo, avec des taux de mortalité pouvant atteindre 90 % après plusieurs jours de contact.

Parmi les trois, l'huile essentielle d'orange douce se montre particulièrement efficace. Les études réalisées par l'UMR IATE[1], en partenariat avec Arvalis dans le cadre d'un projet Agriculture Biologique de l'INRAE, recommandent une application à hauteur de 1 % de la masse totale du grain, soit environ 10g d'huile essentielle pour 1kg de grain.

Cette quantité doit être diffusée de manière la plus homogène possible dans les grains pour une bonne efficacité pour lutter contre une infection. Toutefois l'utilisation des huiles essentielles est limitée de part leur volatilisation rapide dans le temps. L'utilisation d'un système d'encapsulation, comme des granulés jouant le rôle de réservoir à huile essentielle, permet une libération contrôlée dans des conditions de température et d'humidité élevée où le risque d'infestation augmente[2]. L'introduction de ces granules se fera préférentiellement en surface du silo là où le risque d'infestation est accru. Ces granules peuvent être obtenues à partir de co-produits biosourcés. Il est facilement séparable des grains et peut être rechargé en huile essentielle plusieurs fois[3].

La libération progressive des composés volatils en fonction des conditions environementales permet à la fois un effet préventif et curatif, tout en limitant les altérations organoleptiques de la farine (goût et odeur). En effet, les composés sont surtout absorbées dans les enveloppes du grain (le son). Leur seuil dans la farine reste donc très bas. Par ailleurs, ces huiles essentielles peuvent limiter le développement d'*Aspergillus westerdijkiae* et *Penicillium verrucosum* et leur production d'ochratoxines. Elles sont donc doublement actives.

---

1. José Daniel Wicochea-Rodriguez, Pascale Chalier. Intérêt des huiles essentielles pour la protection des grains stockés - Colloque insectes des grains, 9 octobre 2018, Paris organisé par Arvalis.
2. José Daniel Wicochea-Rodriguez, Stéphane Peyron, Peggy Rigou, et Pascale Chalier. "Rapid quantification of clove (Syzygium aromaticum) and spearmint (Mentha spicata) essential oils encapsulated in a complex organic matrix using an ATR-FTIR spectroscopic method". *PLOS ONE, 2018.*
3. José Daniel Wicochea-Rodriguez, Peggy Rigou, Valérie Lullien-Pellerin, et Pascale Chalier. "A new green insecticide for stored wheat grains: efficiency against Rhyzopertha dominica and risk assessment". *Journal of Cereal Science, 2021.*

© https://pxhere.com

www.bio-aude.com/cerealestransformees

en savoir plus ?

"Mettre en place un stockage à la ferme"

Rédaction : Myriam Jouchet, Dylan Clair, Axel Wurtz
Nous remercions nos relecteurs
Responsable de publication : Biocivam 11
Financeurs : l'Union Européenne via le FEADER et la Région Occitanie.
Le présent document a bénéficié, pour sa réalisation, du soutien financier du FEADER (Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural) - PSN 2023-2027 - intervention 78.01 : Accès à la formation, au conseil ; actions de diffusion et échanges de connaissances et d'informations.

Document cofinancé par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural. L'Europe investit dans les zones rurales.

Crédits photo : Julie Guguin (4e de couverture).
Conception graphique : Marie Le Breton, felinae.marie@gmail.com