



LE SÉCHAGE DE FOIN EN BOTTES

Les différents types de séchoirs de foin en bottes

Itinéraire technique au champ

Itinéraire technique au séchoir

Intérêts et limites de la technique

Le séchage de foin en bottes rondes ou cubiques est moins développé que le séchage de foin en vrac mais suscite un regain d'intérêt auprès des éleveurs en recherche d'un fourrage de qualité. Plus adaptée à des tonnages modestes, cette technique nécessite un itinéraire technique au champ maîtrisé et un suivi du séchage minutieux.

Le séchage en bottes présente un investissement plus faible que le séchage de foin en vrac et peut facilement être aménagé à l'intérieur ou accolé à un bâtiment existant sous un auvent.

Le dimensionnement de l'installation et de ses équipements doit être en adéquation avec le rythme de récolte souhaité et le tonnage annuel à sécher.

Ce document a pour but d'expliquer le principe du séchage de foin en bottes, de présenter les différents types de séchoirs et équipements, l'itinéraire technique au champ, l'itinéraire technique dans le séchoir ainsi que les intérêts et limites de la technique.



Présentation de la technique

Le séchage en bottes consiste à sécher du fourrage (herbe, méteil...) conditionné en balle ronde ou carrée sur une plate-forme équipée de bouches de ventilation. Les bottes sont mises en place puis retirées après séchage avec un tracteur avec chargeur, un télescopique ou un valet de ferme.

De l'air préalablement réchauffé passe à travers des bouches de ventilation rondes ou rectangulaires de taille adaptée aux bottes réalisées au champ.

La plate-forme de séchage en bottes n'a pas vocation à servir de lieu de stockage des bottes. Une fois sèches, celles-ci sont stockées dans un bâtiment prévu à cet effet.

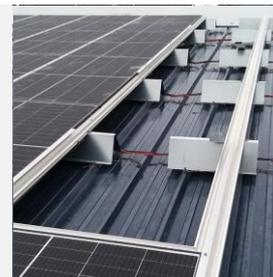


Séchoir de foin en bottes rondes avec récupération d'air chaud sous panneaux photovoltaïques

(source photo : Terre-net Média)

Les séchoirs de foin en bottes sont équipés d'un ou plusieurs ventilateur(s) selon leur conception et la capacité de séchage requise. Les ventilateurs sont équipés de variateurs de fréquence et peuvent être pilotés par une armoire de régulation / automate de ventilation. Cela permet d'adapter le débit de ventilation aux caractéristiques du lot à sécher et aux données de l'air (température et humidité relative). En amont du ventilateur, différentes sources de chaleur sont possibles :

■ **Capteur solaire** : Composé d'une double peau (soit bac acier ou panneaux photovoltaïques + panneaux en OSB rainuré bouveté, soit panneaux photovoltaïques + bac acier) il réchauffe l'air sous l'action des rayons du soleil. Le rendement du capteur et donc la quantité de chaleur récupérée varie principalement selon le matériau de couverture utilisé et l'intensité du rayonnement solaire. Dans le cas où les panneaux photovoltaïques sont intégrés à la couverture, il faut veiller à ce que l'étanchéité à l'air et à l'eau soit effective. Ce dispositif n'engendre aucun frais de fonctionnement mais est très dépendant de l'ensoleillement.



■ **Déshumidificateur d'air** : Composé d'une batterie froide et d'une batterie chaude, le déshumidificateur d'air assèche et réchauffe successivement l'air. Celui-ci nécessite une conception de bâtiment particulière avec la nécessité de fermer le bâtiment pour recycler l'air en provenance des cases de séchage. Cela entraîne également la mise en place de trappes pour aspirer l'air soit en provenance du capteur solaire, soit en provenance du bâtiment (recyclage).



■ **Générateur d'air chaud au bois déchiqueté** : Composé d'une trémie de stockage du bois, d'une vis d'incorporation, d'un foyer de combustion et d'un échangeur air/air. L'air en provenance du capteur solaire ou de l'extérieur du séchoir est réchauffé dans le générateur situé à l'extérieur du bâtiment. L'air chaud est refoulé dans le caisson de ventilation en face de l'ouïe du ventilateur. Il est possible d'alimenter le générateur d'air chaud avec des plaquettes de bois produites sur l'exploitation.



■ **Batterie d'eau chaude en provenance d'une chaudière ou d'une unité de méthanisation en co-génération** : Placée devant l'ouïe du ventilateur, l'échangeur air/eau permet de réchauffer l'air en provenance du capteur solaire ou de l'extérieur du séchoir. L'eau chaude circulant dans l'échangeur peut provenir d'une chaudière ou du système de refroidissement du moteur d'une unité de méthanisation en co-génération.



■ **Brûleur fioul ou gaz** : Certains constructeurs de solutions « clés en main » proposent encore ce genre d'équipement composé d'une citerne (à fioul ou à gaz) et d'un brûleur. L'air chaud est refoulé dans le caisson de ventilation en face de l'ouïe du ventilateur.



Source photos : SEGRAFO

Les différents types de séchoirs de foin en bottes

On rencontre deux types de séchoir en bottes :

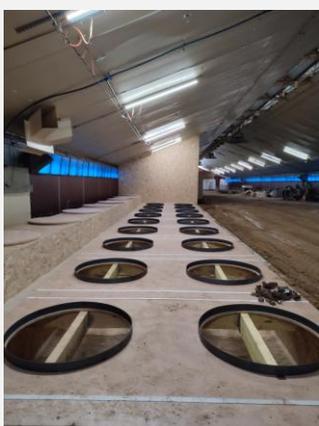
■ Les solutions « en dur »

Les installations dites « en dur » font appel à la mise en œuvre d'une charpente, de maçonnerie, d'un local de ventilation et de gaine de ventilation.

Ce type de séchoir peut être aménagé dans un bâtiment existant ou greffé en long pan via la création d'un appentis. Il peut être réalisé entièrement en auto construction.

La récupération de chaleur via l'utilisation d'un capteur solaire est de série sur ce type d'installation. Il permet de limiter les coûts de fonctionnement de l'installation.

Les séchoirs « en dur » se caractérisent par un séchage plus lent que les solutions « clé en main » (entre 36 et 48 heures). En revanche ils disposent d'un nombre de bouches de séchage plus important et permettent de sécher un nombre de bottes plus important par lot.



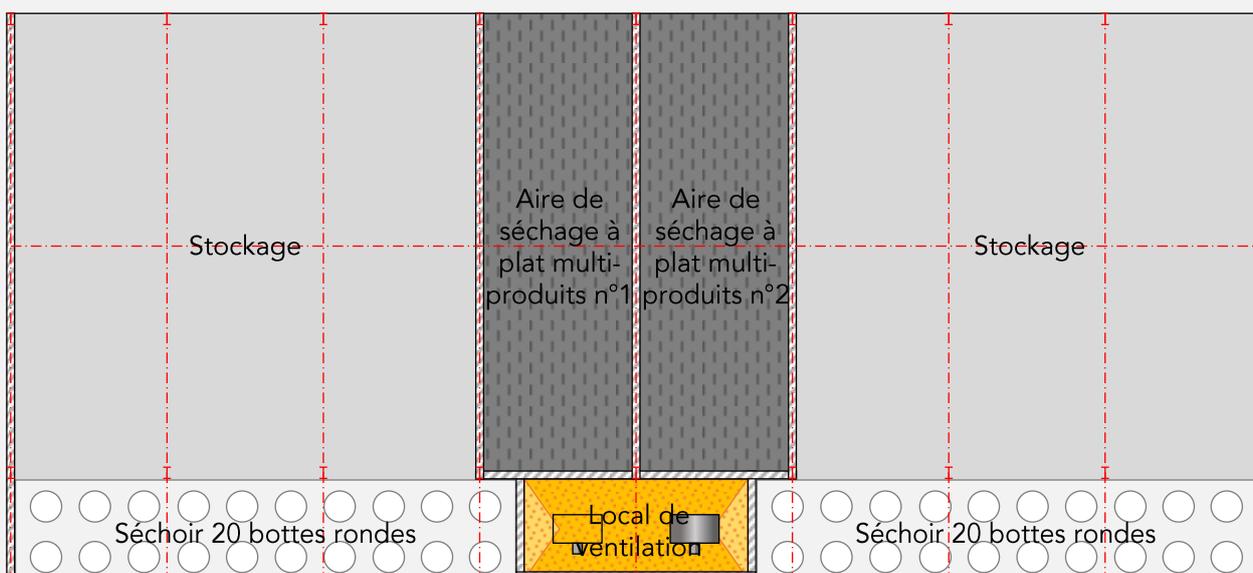
Séchoir simple flux 2 x 18 bottes rondes entièrement réalisé en auto construction dans un ancien poulailler (source photo : SEGRAFO)



Séchoir simple flux 2 x 20 bottes rondes équipé de modules de séchage situés sous un appentis (source photo : SEGRAFO)



Séchoir de bottes rectangulaires simple flux (source photo : ZEKA)



Exemple d'un séchoir de foin en bottes sous un auvent accolé à un bâtiment de stockage

Les solutions « clé en main »

Les installations dites « clé en main » sont composées d'une structure métallique rassemblant tous les éléments du séchoir (ventilateur, automatisation de la ventilation, brûleur fioul ou gaz et système de diffusion de l'air), posée sur une dalle bétonnée.

Des solutions existent avec un nombre de bouches fixe ou variable selon le nombre et le type de balles à sécher (ronde ou rectangulaire). Selon les constructeurs, la diffusion de l'air se fait en simple ou en double flux.

Du fait de sa faible surface couverte, ces solutions ne disposent pas de récupération d'air chaud via l'utilisation d'un capteur solaire. Elles fonctionnent donc uniquement au bois déchiqueté, au fioul ou au gaz.

Les séchoirs « clé en main » se caractérisent par un séchage plus rapide que les solutions « en dur » (entre 8 et 12 heures selon les constructeurs). En revanche ils disposent d'un nombre de bouches de séchage moins important et nécessitent la construction d'un pré-séchoir afin de ramasser un nombre de bottes satisfaisant.

À noter qu'avec un séchage trop rapide, le foin peut sembler sec au bout de 8 ou 12 heures et peut se remettre à transpirer au bout de plusieurs jours. Dans ce cas, il est nécessaire de le repasser au séchoir afin d'atteindre l'état stabilisé ($\geq 87\% \text{ MS} / \leq 13\% \text{ H}$).



← Séchoir simple flux de bottes rondes ou rectangulaires (source photo : AGRICOMPACT)



Séchoir double flux 2 x 16 bottes rondes (source photo : CLIMAIR50) →

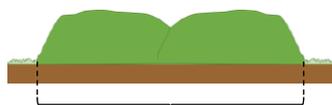
Itinéraire technique au champ

Pour que le séchage s'opère de façon régulière et rapide, il est essentiel que le fourrage soit le plus homogène possible à l'intérieur des bottes et d'une botte à l'autre. L'humidité, la densité, le poids et la forme des bottes doivent être le plus régulier possible.

- **Fanage** : Le premier fanage intervient tout de suite après la fauche et doit être énergique afin d'exposer rapidement et au maximum le fourrage au soleil et au vent. Il est indispensable de décoller tout le fourrage du sol pour ne pas que des paquets de fourrage vert soient ramassés au moment de l'andainage et se retrouvent dans l'andain. Au fur et à mesure que le fourrage sèche, le régime de la prise de force doit diminuer progressivement pour ménager le fourrage pour conserver les feuilles du fourrage.



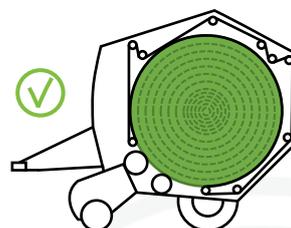
Source photo : SEGRAFO



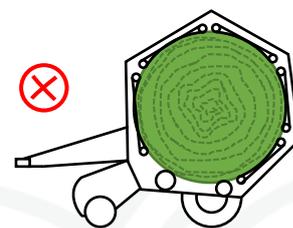
Double andain de la largeur du pick-up

- **Andainage** : L'andainage est une étape à ne pas négliger. Il est conseillé de réaliser des andains larges, doubles et bien aérés. Le résultat dépend de la qualité d'alimentation de la presse, donc de la taille et de la forme des andains.

- **Pressage** : Le pressage est l'étape clé du séchage en bottes. Pour les systèmes de séchage simple flux, la botte doit être serrée au maximum pour éviter un passage d'air préférentiel notamment au cœur de la botte au moment du séchage. L'utilisation d'une presse à chambre variable est indispensable. Le pressage des bottes doit s'effectuer au delà de $65\% \text{ MS} / 35\% \text{ H}$. Le liage filet est préférable au liage ficelle pour avoir une périphérie de botte régulière.



Presse à chambre variable



Presse à chambre fixe

Avec un fourrage plus humide la quantité d'eau restante à extraire pour atteindre l'état stabilisé du fourrage ($\geq 87\% \text{ MS} / \leq 13\% \text{ H}$) est trop importante pour assurer une durée et des coûts de séchage acceptables. De plus un fourrage plus humide au moment du pressage ne permettra pas à l'air de progresser dans la botte. Pour contrer cela, la solution pourrait être de diminuer la densité du fourrage mais les bottes se déforment et s'éventrent une fois sèches.



Presse à chambre variable
(source photo : PÖTTINGER)

Pour s'assurer de l'homogénéité des boules à sécher, il ne faut pas écarter la possibilité d'enrubanner les bottes réalisées avec les andains situés en bord de champs (généralement plus humide pour des raisons d'ombrage de haies...).

Pour un séchage efficace, il est recommandé de réaliser des bottes d'environ 1,30 m de diamètre (de 1,10 à 1,60 m). Le diamètre de bouches de séchage doit être dimensionné en amont en fonction du diamètre souhaité des bottes.

Une fois pressées, les bottes doivent être mises au séchoir rapidement, afin d'éviter tout risque d'échauffement, traduisant une dégradation du fourrage par fermentation.



Botte déformée après séchage, dû à un pressage trop humide →
(source photo : SEGRAFO)

Diamètre de la botte [m]	Matière sèche [kg MS]	Poids des bottes [kg de foin] pour une teneur en matière sèche de					Nombre de bottes par ha
		87 %	80 %	75 %	70 %	65 %	
1,10	260	299	325	347	371	400	9,6
1,20	310	356	388	413	443	477	8,1
1,30	360	414	450	480	514	554	6,9
1,40	420	483	525	560	600	646	6,0
1,50	480	552	600	640	686	738	5,2
1,60	545	626	681	727	779	838	4,6

Nombre et poids des bottes rondes pour une densité de 260 kg de foin/m³ avec un rendement en foin de 2 900 kg/ha à 87 % MS, soit de 2 500 kg MS/ha. Source : SEGRAFO adaptée de Pr. Gotthard Wirleitner

Pour une botte ronde de 1,30 m de diamètre pressée à 65 % MS, il faut extraire 140 litres d'eau pour atteindre les 87 % MS, correspondant à l'état stabilisé du fourrage. Cela représente 25 % de son poids initial.



Presse à bottes cubiques équipée d'une chambre de pré compression à déclenchement et d'un système de pesé
(source photo : ZEKA)

Le séchage de foin en bottes cubiques est à réserver à la luzerne, plus facile à sécher. Le taux de matière sèche au pressage est encore plus stricte qu'en bottes rondes ($\geq 70\% \text{ MS} / \leq 30\% \text{ H}$). Un pressage à une humidité plus importante entrainera une augmentation de la pression et une diminution du débit d'air traversant la botte. La durée de séchage se trouvera fortement rallongée. De plus, l'extraction d'une quantité d'eau importante par botte aura pour conséquence une déformation des bottes une fois sèches, rendant très délicat leur manipulation et leur stockage.

Pour le pressage de bottes cubiques il est fortement conseillé de disposer d'une chambre de pré-compression à déclenchement afin que tous les plis de la bottes fassent la même épaisseur. Il est également recommandé de recourir à un système de pesée des balles sur la presse permettant de contrôler que le poids des bottes soit homogène. Dans le séchoir, les bottes sont posées sur la tranche sur des caillebotis de séchage.

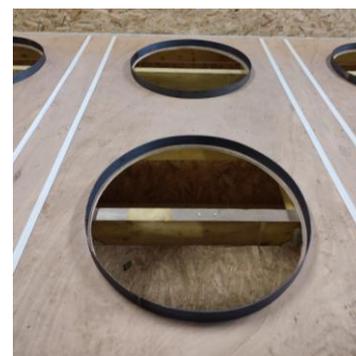
Itinéraire technique dans le séchoir

Une fois pressées, les bottes doivent être séchées immédiatement pour éviter tout risque d'échauffement. Elles doivent être placées sur des cerclages métalliques forçant l'air à rentrer dans la botte et limitant les pertes d'air par le bas de la botte.

Il est recommandé de manipuler les bottes avec une pince enrubannage afin d'éviter de créer des passages d'air préférentiel et d'abîmer le filet avec des doigts de fourche lors des différentes manipulations.

Si le nombre de bottes du lot est moins important que le nombre de trou : combler les trous avec deux bottes déjà sèches l'une sur l'autre.

Si le nombre de bottes du lot est plus important que le nombre de trou : Disposer une seconde hauteur de botte sur la rangées du bas. Les bottes du dessus seront juste ventilées et devront être mises sur les cerclage une fois les bottes du dessous sèches.



Emplacements avec cerclages métalliques pour forcer le flux d'air à rentrer dans la botte (source photo : SEGRAFO)



Les 40 bottes de la rangée inférieure sont en cours de séchage. Les 40 bottes supérieures sont ventilées dans l'attente d'être séchées (source photo : EARL DE KERFORNAN)



En rouge : la zone la plus difficile à sécher avec un séchoir « simple flux » (source photo : AGROSCOPE)

Dans les systèmes « simple flux », la partie la plus difficile à sécher est la périphérie du haut de la botte. Pour palier à cela et gagner en temps de séchage, il est recommandé de retourner les bottes au bout de 18 à 24 heures de séchage. Le retournement des bottes peut se faire à l'aide d'une pince pivotante ou avec un certains savoir-faire → scanner le QR code



Retournement des bottes à l'aide d'une pince pivotante (source photo : SEGRAFO)



← L'utilisation d'une sonde d'humidité permet de contrôler l'humidité des bottes avant et pendant le séchage. Avec l'expérience, les utilisateurs savent en rentrant la tige de la sonde si le foin est sec ou non (source photo : EARL DE KERFORNAN)

Afin de différencier facilement les bottes entre-elles selon la parcelle, la coupe, la qualité, etc.. Il est recommandé de les identifier en leur attribuant un code à l'aide d'une bombe de couleur (source photo : EARL DE KERFORNAN) →



Intérêts et limites de la technique

Les intérêts du système

- Investissement limité vis-à-vis du séchage en grange. L'investissement est cependant à pondérer selon le tonnage séché par an.
- Coût de maintenance limité (exemple : courroie du ventilateur, brûleur fioul à remplacer dans certains cas au bout de 10 ans).
- Valorisation du matériel existant (ex: tracteur avec chargeur ou télescopique). Seul le pressage peut faire l'objet de nouveaux réglages, voire de nouveaux investissements.
- L'auto-construction est facilement réalisable pour les installations « en durs ».
- Emprise au sol limitée pour les installations « clé en main » facilite l'intégration dans le corps de ferme



Les limites du système

- Le séchage en bottes requière un taux de matière sèche plus élevée comparé au séchage en vrac, nécessitant généralement une journée de séchage au champs supplémentaire.
- Avoir une solution de rechange pour la récolte de l'herbe en cas de :
 - conditions météo défavorables,
 - de quantité de foin à sécher supérieure à la capacité du séchoir,
 - de bottes non homogènes avec le reste du lot (humidité trop importante, pressage trop dense...).
- Temps de manutention : les nombreuses ruptures de charges (ramassage des bottes, mise en place dans le séchoir, éventuels retournement puis stockage) engendrent du temps de travail et des heures de matériel de manutention (tracteur ou chargeur télescopique) important.
- Besoin de sortir des produits secs pour mettre en place un autre lot : nécessite de bien planifier les chantiers de récoltes de l'herbe pour qu'ils correspondent au mieux à la capacité de séchage du séchoir.
- Nécessité de disposer d'un bâtiment de stockage à proximité du séchoir.
- Coût de fonctionnement, notamment pour les exploitations qui ne sont pas équipées de capteur solaire. Ce coût de fonctionnement est généré par la nécessité de sécher rapidement un lot pour pouvoir sécher le suivant (fonctionnement « tout plein/tout vide »).



SEGRAFO dimensionne votre installation

Notre service

Dimensionner de façon neutre et objective votre future installation de séchage en adéquation avec vos besoins en séchage en fourrage.

Le contenu

Une étude technique détaillée et chiffrée en deux parties :

✓ Une étude de dimensionnement comprenant :

- Rythme de récolte de l'herbe
- Surface / tonnage par lot de fourrage
- Quantité d'eau à extraire par lot
- Dimensionnement de la puissance et du débit d'air du ou des ventilateur(s)
- Estimation des performances de séchage permises par la création d'un capteur solaire
- Dimensionnement de solutions d'appoint au capteur solaire (déshumidificateur d'air, générateur d'air chaud,...)



✓ Un livret avec l'ensemble des plans de votre futur séchoir :

- Plan de masse,
- Plan général de l'installation,
- Plans vue de dessus et plans vue en coupe avec l'ensemble des éléments du séchoir (modules de séchage, bloc ventilation, gaines de ventilation, capteur solaire, ...)



Le SEGRAFO, association d'éleveurs créée en 2000, réalise la promotion et le développement du séchage de fourrage, de céréales et de biomasse.

Fort de son réseau de plus de 270 exploitations équipées de séchoir en grange, en botte et à plat dans l'Ouest, le SEGRAFO accompagne et forme les porteurs de projet dès le début de leur réflexion. Portes-ouvertes, formations, dimensionnement et conception de séchoirs, nous vous accompagnons tout au long de votre projet.

Association SEGRAFO

3 rue du Chêne Morand 35 510 CESSON-SEVIGNE

02 30 06 08 36 - contact@segrafo.fr

www.segrafo.com

