

**PRELUDE**

2000 – 2006

Programme REgional de LUtte contre l'effet de serre et pour le Développement Durable



# *Le séchage* solaire des fourrages

La qualité au service du développement et de l'environnement



**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



**RÉGION  
MIDI-PYRÉNÉES**



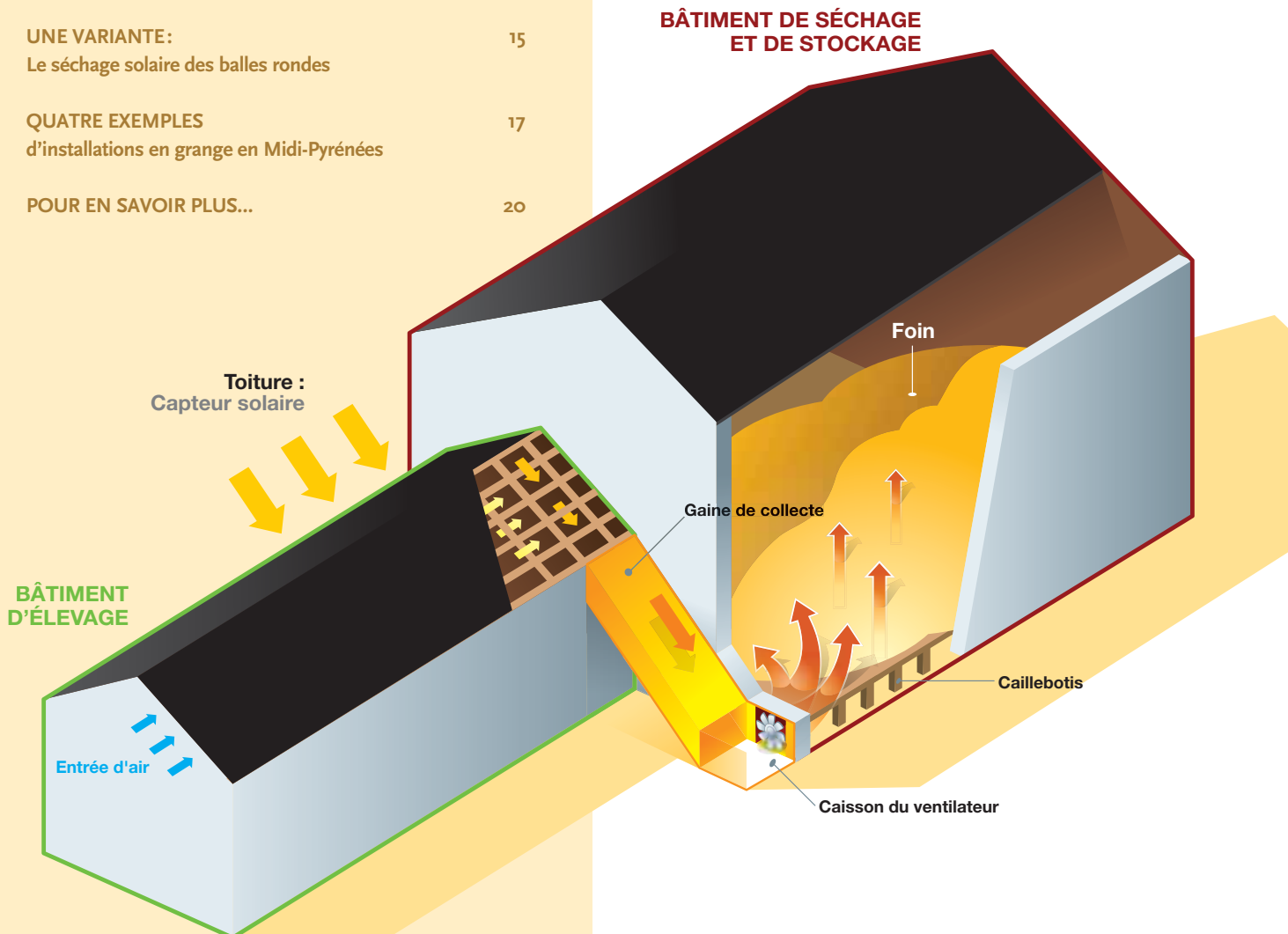
**Agence Régionale  
Pour l'Environnement**

# LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

## SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
LE SÉCHAGE PAR VENTILATION : Les conditions d'un fourrage de qualité	5
LE FONCTIONNEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES À AIR OPAQUES EN TOITURE	8
LES COMPOSANTS D'UNE INSTALLATION DE SÉCHAGE SOLAIRE EN GRANGE	10
LES GRANDES ÉTAPES : Récolte - conservation - distribution	12
DÉMARCHE D'AIDE À LA DÉCISION	13
UNE VARIANTE : Le séchage solaire des balles rondes	15
QUATRE EXEMPLES d'installations en grange en Midi-Pyrénées	17
POUR EN SAVOIR PLUS...	20





## Introduction

*En Midi-Pyrénées, région au relief très contrasté, les hivers sont souvent longs, notamment en altitude, et impliquent un important stockage d'herbe. Depuis de nombreuses années, l'ensilage est la méthode de stockage la plus répandue, avec son cortège de nuisances (jus, odeurs, bâches, vieux pneus...). Pourtant, une autre solution existe et présente de nombreux avantages.*

### ● PERFORMANCE, ÉCONOMIE, ORGANISATION DU TRAVAIL ET RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

**Le séchage solaire des fourrages en grange** est un mode de récolte et de conservation particulièrement efficace, économe en énergie et respectueux de l'environnement.

- **La récolte et le séchage** se font dans de très bonnes conditions, et les pertes de matière sèche par dégradation organique sont ainsi limitées. De plus, l'absence de moisissures évite les maladies respiratoires chez l'animal comme chez l'homme. Les fourrages sont donc de meilleure qualité; le séchage en grange est d'ailleurs le seul mode autorisé de conservation des fourrages dans certains bassins de production fromagère (Emmental, Comté, Beaufort...).
- **L'organisation du travail est facilitée** :
  - souplesse dans les récoltes fourragères : chantier maîtrisé, facilement programmable,
  - amélioration des conditions de travail et de la pénibilité,
  - valorisation de toutes les parcelles, petites et éloignées, et de toutes les productions fourragères (graminées et légumineuses),<sup>2</sup>
  - utilisation de tracteurs de faible ou moyenne puissance suffisent pour la récolte
- **La ration équilibrée** peut être facilement complétée par les céréales de l'exploitation, permettant ainsi l'autonomie, l'adéquation sol/troupeau et une sécurité optimale de la production et de la transformation des produits laitiers ou carnés.
- **Les nuisances sur l'environnement** sont réduites de manière considérable :
  - nettement moins de déchets (ficelles, films et bâches plastiques, pneus),
  - suppression de rejets polluants (jus d'ensilage, odeurs nauséabondes),
  - utilisation limitée des intrants (carburants, engrais, pesticides, produits phytosanitaires) atténuant les risques de pollution de l'air et des eaux,
  - diminution des risques agronomiques (érosion, appauvrissement des sols, réduction de la vie microbienne) par l'allongement des rotations,
  - valorisation des prairies naturelles et contribution à la diversité des espèces fourragères et à la biodiversité.
- **La technique** permet de maîtriser les consommations d'énergies « classiques » et les émissions de gaz à effet de serre induites grâce à l'utilisation de l'énergie solaire, énergie locale, gratuite et renouvelable.

# LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

## LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

### ● UNE DÉMARCHE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE EXEMPLAIRE

D'un point de vue plus global, la technique du séchage solaire répond aussi aux exigences du développement durable, qui tient compte à la fois des conditions économiques, socioculturelles et environnementales pour le respect des générations futures (cf. rapport Brundtland, 1987, définition originelle du Développement Durable).

Outre les bénéfices environnementaux, cette technique contribue aussi au développement économique et social régional :

- le procédé favorise le travail en groupe limité (seul, en famille ou avec les voisins) et renforce ainsi les liens sociaux; certaines tâches peuvent dans certains cas être remplies par des membres de la famille à la retraite.
- il crée parallèlement des activités pour les artisans et les distributeurs locaux de matériels,
- il favorise surtout les agriculteurs qui gagnent en compétitivité grâce à une meilleure qualité de fourrage et du lait, à une réduction des coûts de fonctionnement et du temps de travail (de 10 à 15 %).

Tous ces avantages correspondent tout à fait à l'image « naturelle » des produits que recherchent les consommateurs aujourd'hui.

#### L'avis des spécialistes :

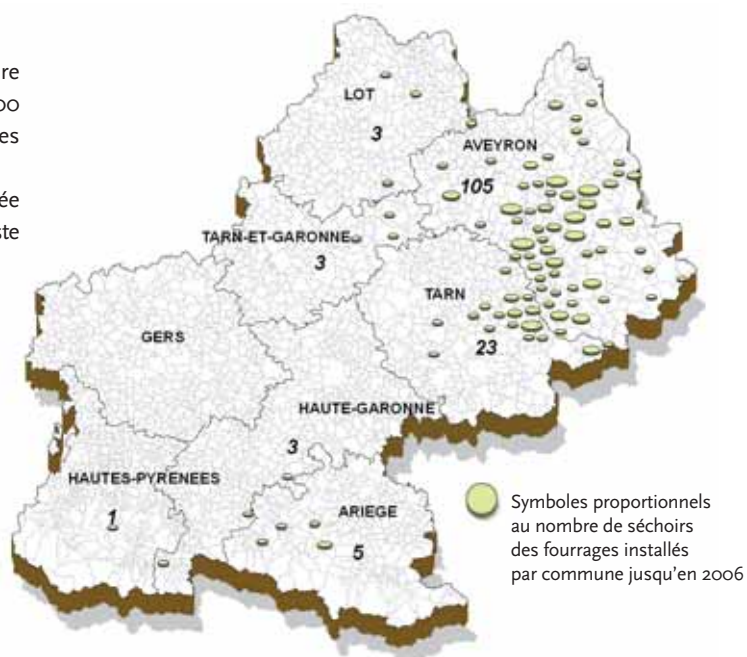
##### « Une bonne réponse aux attentes des consommateurs »

« De plus en plus de consommateurs souhaitent connaître les conditions de production des aliments qu'ils consomment; les produits sous signe officiel de qualité (label, AOC, AB, ...) sont de plus en plus prisés; les produits agricoles d'origine animale issus d'animaux élevés en liberté et alimentés exclusivement à base d'herbe pâturée, de foin et de céréales ont une bonne image auprès des consommateurs soucieux de bien se nourrir; seuls ces consommateurs acceptent d'y mettre le prix. »

### ● LA SITUATION EN MIDI-PYRÉNÉES

En mai 2006, on recensait déjà 150 installations de séchage solaire des fourrages en Midi Pyrénées (79 avant 2000 et 71 depuis 2000 - données de l'Observatoire Régional de l'Énergie Midi-Pyrénées OREMIP [www.oremip.fr](http://www.oremip.fr)).

Cette technique, bien implantée en région, est surtout développée dans les départements de l'Aveyron (Roquefort) et du Tarn. Elle reste maintenant à diffuser sur l'ensemble du territoire régional.



Source: ADEME / Auteur: ARPE

# Le séchage par ventilation : les conditions d'un fourrage de qualité

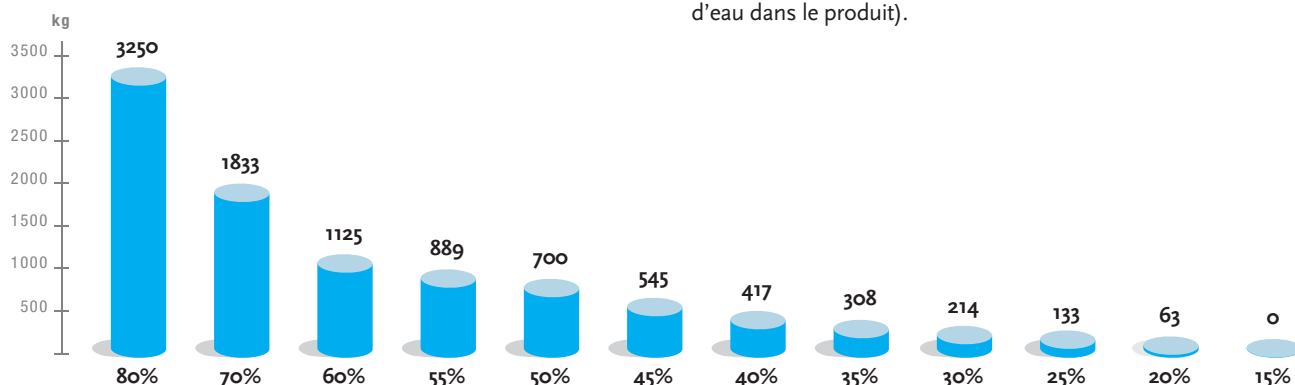
## ● ÉLIMINER L'EAU DU PRODUIT

Le séchage solaire est un mode de séchage par entraînement, où le produit agricole est placé dans un courant d'air chaud et sec. La circulation de l'air peut se faire naturellement (convection naturelle) ou le plus souvent grâce à un ventilateur (convection forcée). Quand un produit végétal sèche, c'est l'eau de surface qui est évaporée puis entraînée par un courant d'air, d'où le nom de séchage par entraînement. L'eau contenue à l'intérieur du produit migre vers la surface au fur et à mesure du séchage, où elle est à son tour évaporée et évacuée.

Ce processus est composé de 2 phases distinctes :

- dans un premier temps, le séchage est facile, le produit étant gorgé d'eau. On évapore l'eau « libre », comme l'eau pure à l'air libre,
- dans un second temps, il faut évaporer l'eau « liée », fixée aux constituants du produit, qui se vaporise de plus en plus difficilement au cours du séchage.

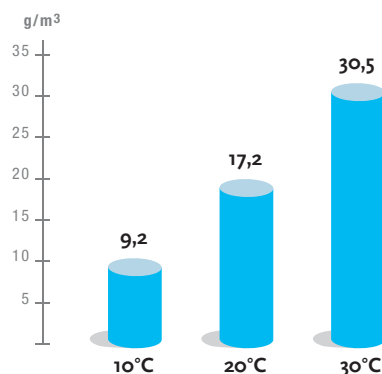
Un séchage total mène à évaporer toute l'eau du produit (il ne reste alors que la matière sèche : MS). On considère qu'un foin sec est à un taux de 85 % de matière sèche (il ne reste alors que 15 % d'eau dans le produit).



Quantité d'eau (en kg) à éliminer pour obtenir une tonne de produit sec à 15 % selon l'humidité initiale

## ● CHAUFFER L'AIR POUR FACILITER LE SÉCHAGE

L'air contient de l'eau sous forme de vapeur invisible. Cette quantité d'eau est très variable : un mètre cube d'air à 20 °C peut contenir au maximum 17,2 grammes de vapeur d'eau. Au-delà de cette valeur, l'air est saturé en vapeur (humidité relative de 100 %) et celle-ci se condense en fines gouttelettes : c'est le brouillard. On peut observer sur le graphique ci-contre la quantité maximale de vapeur d'eau contenue dans de l'air saturé selon sa température.

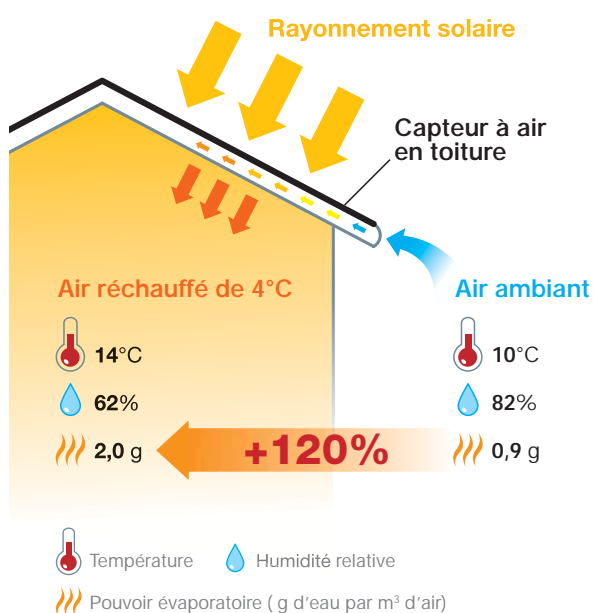


Quantité maximum de vapeur d'eau à saturation (g/m<sup>3</sup>) contenue dans l'air selon la température de celui-ci (°C)

## LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

Le pouvoir évaporatoire de l'air correspond à sa capacité d'absorber de l'eau. Il est lié aussi à sa capacité de se refroidir. Un air proche de la saturation a un pouvoir évaporatoire et une possibilité de refroidissement faibles, et inversement pour un air sec. Le chauffage de l'air a pour effet d'augmenter ce pouvoir évaporatoire: une hausse de température de l'air de 4 °C engendre une hausse de son pouvoir évaporatoire de 120 %.



L'air de séchage doit être suffisamment sec pour pouvoir éliminer correctement l'eau liée. L'humidité initiale de l'air devient alors une caractéristique qui conditionne la teneur finale en eau du produit, et donc sa qualité de conservation.

De manière générale, les conditions climatiques moyennes dans la plupart des régions n'impliquent pas une humidité relative assez basse pendant les périodes de séchage. Par exemple, un air à 80 % d'humidité relative pourra sécher la luzerne jusqu'à une teneur finale en eau de 18 % (acceptable) et les graminées jusqu'à une teneur finale en eau de 30 %, ce qui est, par contre, insuffisant pour une bonne conservation.

Pour assurer un séchage efficace, le pouvoir évaporatoire de l'air doit donc être augmenté par élévation de la température de l'air de séchage (de 3 à plus de 10 °C):

- c'est un bon compromis entre les objectifs du séchage et les coûts d'investissement et de fonctionnement
- on observe une diminution du volume d'air nécessaire et/ou une augmentation de la capacité de séchage
- la rapidité et la sécurité du séchage sont accrues, surtout en fin d'opération.

## UN SÉCHAGE RAPIDE POUR MAINTENIR LA QUALITÉ INITIALE

La rapidité du séchage est un facteur très important pour conserver la qualité initiale du produit. Mais des contraintes spécifiques au produit sont à respecter impérativement, comme le seuil de température maximum de 42°C afin de maintenir le pouvoir germinatif des semences.

Le produit, qui reste vivant avant et après le séchage, respire et cette activité respiratoire est d'autant plus importante que sa teneur en eau est élevée. Par exemple, un fourrage d'une teneur en eau de 45 % perd environ 2 % par jour de sa matière sèche par dégradation organique. Diminuer rapidement la teneur en eau d'un produit permet donc de limiter la respiration et ainsi les altérations qu'il subit.

La rapidité du séchage est directement liée aux conditions climatiques et aux choix des matériels de ventilation et de réchauffage de l'air. La puissance de ces moyens détermine la rapidité du séchage et la consommation énergétique avenante. Pour un même produit à sécher et avec des technologies identiques, l'augmentation de la quantité d'énergie injectée permettra d'accélérer le rythme du séchage. Les dégradations du produit lors du séchage sont alors très limitées, voire totalement évitées, et sa qualité est optimale.

### L'avis des spécialistes :

#### « Un foin et un lait d'une excellente qualité »

- **Une récolte au stade végétatif optimal:** « Le séchage en grange permet de faucher tôt la première coupe (précocement au printemps), au moment même où le fourrage atteint le stade optimal de sa valeur alimentaire. Celui-ci se situe une dizaine de jours avant l'épiaison pour les graminées, et au stade de bourgeonnement pour les légumineuses. »
- **Aucune perte à la récolte:** « Le séchage permet de ramasser l'herbe encore souple (50 à 65 % de MS) limitant ainsi les pertes de feuille au champ, surtout pour la luzerne. Séché à l'ombre, le foin conserve ses vitamines, sa couleur et sa très bonne appétence. »
- **Une excellente conservation:** « La ventilation maîtrisée et efficace limite la dégradation organique et les pertes de matière sèche et de valeurs alimentaires. »
- **Un foin très appétant:** « Le foin ventilé est équilibré, appétant et peu encombrant. Une vache laitière en pleine lactation en consomme le plus souvent 18 à 20 kg par jour et une brebis laitière 3,5 à 4 kg par jour. »
- **Un foin sain:** « Les germes butyriques provenant de la terre ne peuvent survivre et proliférer qu'en milieu humide et en absence d'oxygène. Le foin ventilé est donc exempt de moisissures. Il limite les maladies respiratoires chez les animaux et l'homme (maladie du poumon fermier, asthme...) et le risque de contamination du lait, sécurisant notamment les filières fromagères au lait cru. »





## ● BIEN CHOISIR SON ÉNERGIE DE SÉCHAGE

Lorsque l'hygrométrie de l'air est élevée (>80%, très courant en Midi-Pyrénées), le réchauffage de l'air ventilé devient nécessaire surtout en mai et juin. Plusieurs solutions sont alors possibles :

- **fioul, gaz naturel et propane** : brûleur avec échangeur sur les fumées,
- **électricité** : résistance électrique (effet Joule, comme un simple convecteur) ou pompe à chaleur (déshumidification de l'air par condensation de la vapeur d'eau sur une batterie froide)

• **les énergies renouvelables** : solaire, bois énergie, etc.

L'utilisation directe d'énergie étant nécessaire, il convient donc d'optimiser la consommation énergétique : le critère d'efficacité est la consommation spécifique d'énergie rapportée à la quantité d'eau évaporée. Selon les produits et les procédés, la consommation spécifique de séchage en convection forcée varie d'un facteur 1 à 100 : de 0,1 à plus de 10 kWh par kg d'eau évaporée (rappel : 10 kWh  $\approx$  1 litre de fioul).

Type de séchage	Consommation kWh/kg d'eau évaporée (à titre indicatif)	Notes
Séchage solaire de fourrage en grange	0,6 = énergie solaire gratuite plus 0,1 pour la ventilation électrique	Variation selon la durée journalière de ventilation, le rendement du capteur solaire, la zone géographique et la période de séchage
Séchage solaire de céréales	0,7 = énergie solaire gratuite plus 0,15 pour ventilation électrique	
Séchage traditionnel en grange	0,25	Utilisation d'une énergie classique payante (contrairement à l'énergie solaire), séchage moins rapide et moins efficace, moindre qualité des fourrages
Séchage classique de céréales à haute température	1,8	/
Séchage de plantes aromatiques et médicinales ou de fruits	8	Consommation importante : saturation incomplète de l'air en eau en raison de la faible épaisseur de produits. Le solaire est donc ici très intéressant

Vu les quantités d'énergie mises en jeu, on devine aisément l'intérêt des énergies renouvelables (intérêts économiques, environnementaux et sociaux). Celles-ci peuvent intervenir à plusieurs niveaux :

- **Production d'électricité nécessaire au fonctionnement du ventilateur (tout ou partie) à partir de sources renouvelables** : hydraulique, photovoltaïque, groupe électrogène + huile végétale pure (HVP) ou biogaz (si le réchauffement de l'air se fait par capteurs solaires thermiques, on aboutit à un système 100 % renouvelable).
- **Production de chaleur pour le réchauffage de l'air et l'augmentation de son pouvoir évaporatoire** : capteurs solaires thermiques, biocombustibles (bois, HVP, biogaz, coproduits agricoles).

Les vastes toitures des bâtiments agricoles (soumises en quasi-permanence au rayonnement solaire) constituent naturellement des capteurs solaires simples et rustiques.

Récupérer une partie de l'énergie solaire incidente sous ces toitures apparaît comme simple et facile : il suffit de canaliser l'air, de le mettre en mouvement sous la toiture à l'aide d'un ventilateur pour l'acheminer jusqu'au fourrage à sécher.

### L'avis des spécialistes :

« L'énergie solaire est plus qu'économique et respectueuse de l'environnement »

« Cette technique n'engendre ni déchets, ni rejets polluants. Les capteurs solaires utilisés permettent de récupérer l'équivalent de 2000 à 5000 litres de fioul par an (1 litre de fioul = env. 10 kWh). Si ce fioul particulièrement cher n'est généralement utilisé qu'en périodes climatiques défavorables, l'énergie solaire, quant à elle, est disponible gratuitement toute l'année. Elle permet d'augmenter la rapidité du séchage en doublant le pouvoir évaporatoire réel de l'air ambiant, ce qui accélère la durée du séchage de 30 à 70 % par rapport à une ventilation de l'air ambiant. Les économies sur l'électricité consommée par le ventilateur sont alors de 40 à 50 %. »

## LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

### Le fonctionnement des capteurs solaires à air opaques en toiture

*Il existe plusieurs types de capteurs solaires à air pour le séchage des produits agricoles : capteur toiture opaque, capteur toiture translucide à effet de serre, capteur toiture avec tuiles, capteur toiture à absorbeur poreux, capteur type serre maraîchère, etc. N'est présenté dans ce guide que le capteur toiture opaque car c'est le plus fréquemment rencontré, le plus simple à mettre en œuvre, le plus adapté à nos climats et donc le plus diffusé en Midi-Pyrénées.*

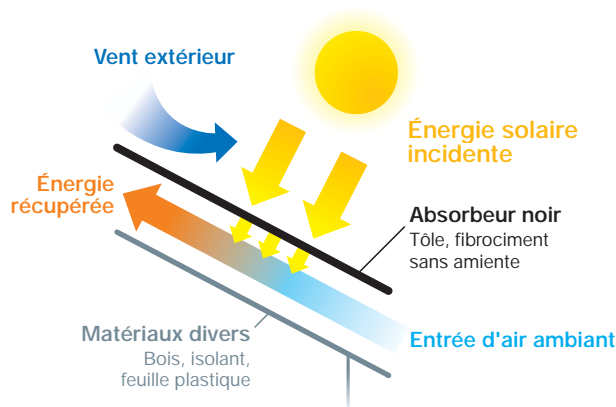
Ce système de capteur opaque en toiture est utilisé pour sécher des produits en quantités variables, avec des surfaces de captation de 10 à 2500 m<sup>2</sup>.

**C'est la toiture, composée d'une double paroi avec une lame d'air, qui constitue le capteur solaire :**

- La **paroi extérieure** est opaque et de couleur sombre pour pouvoir bien absorber le rayonnement solaire. Elle constitue l'absorbeur solaire et est en surimposition par rapport à une paroi intérieure. La toiture existante d'un bâtiment agricole peut donc être utilisée comme absorbeur (la seule modification est de recouvrir le toit d'une peinture sombre et mate pour améliorer l'absorption du rayonnement solaire)
- La **paroi intérieure** est nécessaire pour canaliser l'air entre l'aspiration et la sortie du capteur. Elle est souvent isolée et étanchéifiée sur sa sous-face pour limiter les pertes d'énergie et les infiltrations d'air.

La couverture extérieure absorbe le rayonnement solaire et la restitue à l'air circulant entre les deux parois : l'air se trouve donc réchauffé par l'énergie solaire (quand les conditions climatiques le permettent). Selon l'installation, le pouvoir évaporatoire de l'air peut être augmenté de 50 à plus de 100 %, et les besoins en électricité du ventilateur sont réduits d'autant. Ainsi, il est possible d'engranger du fourrage plus humide et/ou d'augmenter la rapidité de séchage. L'agriculteur choisit généralement de combiner ces deux avantages.

La conception du capteur (matériaux, formes et caractéristiques thermiques, dimensions, orientation et inclinaison) doit être effectuée avec précision pour optimiser la récupération de chaleur par le fluide caloporteur (l'air dans notre cas) et donc le rendement global du capteur (cf. Démarche d'aide à la décision p.13).



Principe général du capteur solaire à air et couverture opaque et foncée.



Vue intérieure du capteur solaire (installation de M. Marre, Caussade 82)

#### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU CAPTEUR

Rendement moyen sur la journée	25 - 35 %
Coût indicatif	de 7 à 23 €/m <sup>2</sup> (hors toiture)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"><li>• simplicité de mise en œuvre</li><li>• faible coût</li><li>• durée de vie : 20 ans</li><li>• utilisation des toitures existantes, particulièrement pour les bâtiments d'élevage déjà isolés</li></ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"><li>• forte sensibilité au vent qui fait baisser le rendement de captation (déconseillé en site très venté : V moyen &gt; 5 - 7 m/s)</li></ul>





## ● L'EFFICACITÉ DU CAPTEUR SOLAIRE

**Le rendement du capteur solaire correspond au ratio :**

$$\frac{\text{Énergie récupérée}}{\text{Énergie solaire incidente}}$$

Outre l'intensité de l'énergie solaire incidente (l'énergie fournie par le soleil varie fortement en fonction de la latitude, de la saison et des heures de la journée), l'énergie récupérée est fonction du débit de ventilation, de la vitesse du vent extérieur, de la longueur du trajet de l'air dans le capteur et de la couleur du capteur (caractéristiques thermo-optiques). Plus la vitesse et la turbulence de l'air sont gran-

des dans le capteur, meilleurs sont les transferts thermiques et donc meilleure est l'efficacité; par contre, les pertes de charge s'accroissent et impliquent des consommations électriques de ventilation plus importantes et/ou un temps de ventilation plus long.

Le choix d'une vitesse de l'air optimale est particulièrement important pour un capteur avec une couverture forcée. Pour un ventilateur donné, on définira la vitesse de l'air en fonction de la hauteur du canal et du débit d'air total. Plus la hauteur du canal est faible, plus grande sera la vitesse de l'air et meilleur sera le rendement.

source : SOLAGRO	Énergie solaire disponible kWh par m <sup>2</sup> et par jour	Rendement moyen du capteur	Énergie récupérée kWh par m <sup>2</sup> et par jour	Énergie récupérée pour 200 m <sup>2</sup> de toiture kWh par m <sup>2</sup> et par jour	Hausse de T° air : Δ T moyen °C	Humidité relative finale de l'air avant séchage
Jour moyen du mois de mai (éclaircies et nuages)	5	30 % (de 20 à 40)	1,5	300 (soit 30 litres de fioul)	+3,5°C	65 %
Jour favorable du mois de mai (beau temps, ciel dégagé)	7,5	30 % (de 20 à 40)	2,25	450 (soit 45 litres de fioul)	+5,6°C	55%
À midi solaire par beau temps					= 2 x ΔT moyen *	40-45%

\* Pour connaître le delta T moyen d'un capteur solaire existant, il faut mesurer le delta T à midi solaire (température ambiante à l'ombre et température dans la gaine, avant le ventilateur si possible). En divisant par 2 cette valeur, on obtient le delta T moyen sur la journée.

Le capteur solaire exige une bonne exposition, de manière à ce qu'il soit soumis au rayonnement solaire le plus longtemps et le plus complètement possible. Pour le séchage des fourrages (période comprise entre les mois de mai et septembre), l'énergie solaire est abondante par la fréquence des durées d'ensoleillement et l'intensité du rayonnement solaire.

Le principal avantage de l'énergie solaire est d'être valorisée dès la moindre éclaircie. Le capteur solaire est un système qui n'exige pas de source d'énergie complémentaire pour le séchage en vrac des fourrages.

Une bonne adéquation entre le rythme de séchage et le rythme de récolte est nécessaire pour éviter les erreurs de conduite de l'installation.



## LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

### Les composants d'une installation de séchage solaire en grange

#### ● LES ENTRÉES D'AIR (1)

Elles se situent au niveau du toit, en général sur un des pignons ; elles sont grillagées pour éviter que les oiseaux viennent s'y loger.



#### ● LE CAPTEUR SOLAIRE (2)

- Il est constitué par la toiture elle-même (cf. page 8).
- Il réchauffe l'air ambiant pour augmenter son pouvoir évaporatoire afin de sécher plus efficacement les produits agricoles.



#### ● LES GAINES DE RÉCUPÉRATION (3)

- Elles canalisent l'air réchauffé sous la toiture pour le conduire vers le ventilateur.

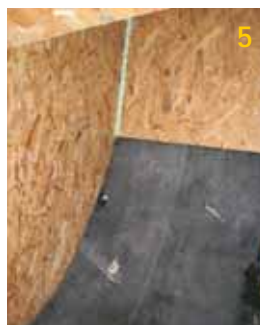
#### ● LE VENTILATEUR (4)

- Il fournit l'énergie nécessaire au déplacement de l'air dans le circuit : aspiration de l'air sous la toiture et refoulement de l'air vers les caillebotis.
- On trouve des ventilateurs centrifuges (déplacement radial de l'air) ou hélicoïdaux (déplacement axial de l'air) ; 90 % des installations utilisent un ventilateur centrifuge (plus performant et moins bruyant).



#### ● LE DIVERGENT (5)

- Il permet de raccorder de façon continue et régulière la sortie du ventilateur à la gaine de ventilation, sans singularité impliquant des pertes de charge supplémentaires et donc une surconsommation électrique du ventilateur.
- Un éventuel volet permet d'alimenter alternativement les différentes gaines de ventilation.



#### ● LA GAINÉ DE VENTILATION (6)

- Elle conduit l'air du ventilateur aux caillebotis d'une ou plusieurs aires de séchage (présence éventuelle d'un volet de distribution de l'air dans les gaines, si celui-ci n'est pas présent dans le divergent)
- La forme, le positionnement et les dimensions sont très variables ; dans la conception globale, on définit la position du ventilateur avant celle des gaines, qui seront dimensionnées et placées selon la configuration du sol (gainés centrales et/ou latérales, de section régulière ou non, superficielles ou enterrées, etc.)



### ● LE CAILLEBOTIS (7)

- C'est un assemblage de liteaux et de chevrons en bois reposant sur des plots de 25 à 50 cm de hauteur.
- Il couvre toute la surface horizontale de la cellule sauf sur un périmètre de 80 cm à 1 m autour des parois.
- Il supporte le tas de fourrage et répartit l'air sur toute la surface d'une aire de séchage.
- Il faut que l'espace sous les caillebotis soit suffisant afin que l'air pulsé puisse se mettre correctement en pression avant de traverser la masse de fourrage.



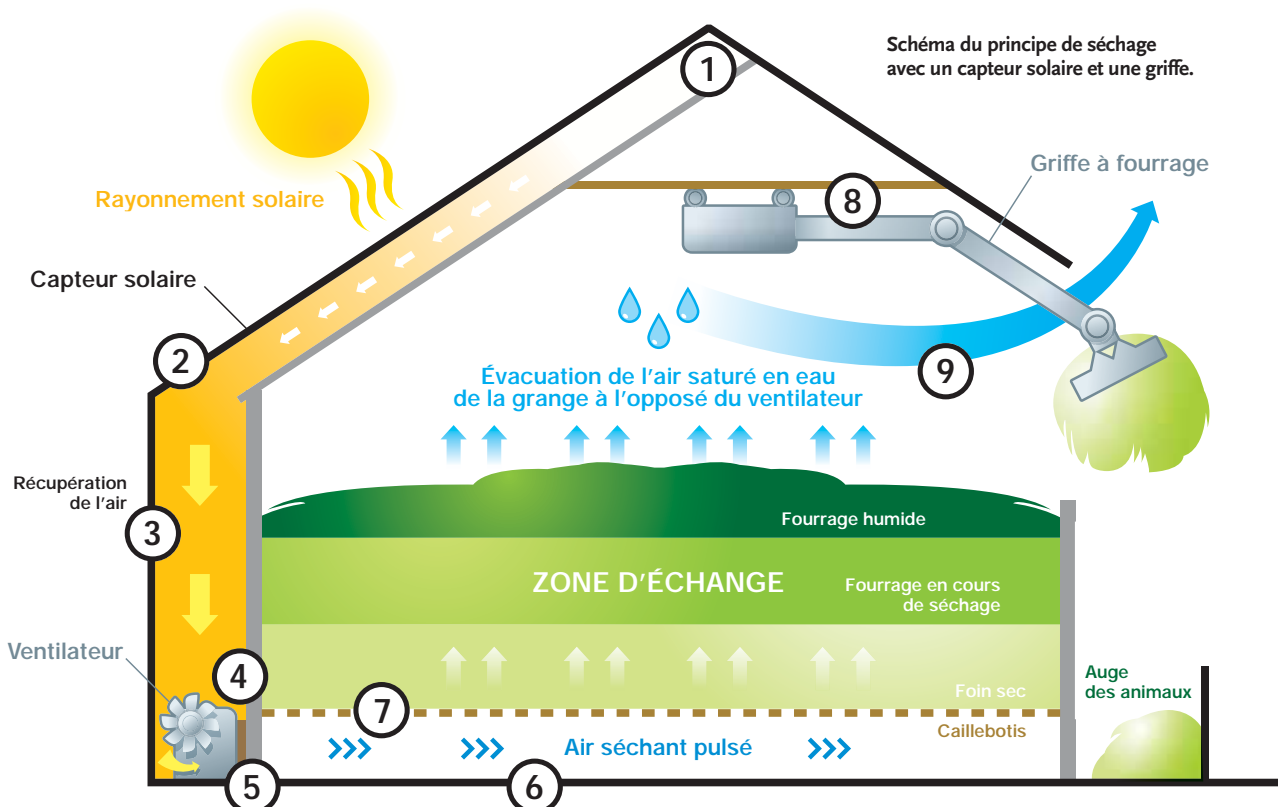
### ● LES CLOISONS DE SÉPARATION DES AIRES DE SÉCHAGE (Facultatif)

- Ces cloisons doivent être correctement étanches afin que de l'air saturé en eau n'aille pas humidifier du foin sec.

### ● LA GRIFFE HYDRAULIQUE À FOURRAGE (8)

- Elle peut être fixée sur:
  - un pont roulant à une ou deux poutres, disposées suivant la longueur du bâtiment
  - ou un bras télescopique installé sur un double rail au faîtage (disposé suivant la longueur du bâtiment) qui permet éventuellement un déplacement latéral de la griffe.
- depuis 1995 environ, 95 % des nouvelles installations utilisent une griffe hydraulique avec bras télescopique

### ● LES SORTIES D'AIR CHARGÉ EN EAU (9)



## LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

### Les grandes étapes : récolte - conservation - distribution

*La technique consiste à récolter à un stade précoce une plante riche, qui donne après une bonne conservation un foin de très haute qualité nutritive, ingéré en grande quantité sans gaspillage par les animaux. On obtient au final un fourrage à 85 % de matière sèche minimum, ce qui assure sa parfaite conservation sans échauffement ni dégradation organique.*

L'herbe, préfanée au champ pendant 24 à 48 heures, est récoltée en vrac au moyen d'une autochargeuse :

- 1 • on trouve sur le marché des autochargeuses allant de 20 à 70 m<sup>3</sup>.  
• avec une autochargeuse de 50 m<sup>3</sup>, on récolte environ 2,5 tonnes de matière sèche par voyage.

Le fourrage est ensuite déposé dans la zone de déchargement de la grange à environ 45-65 % de matière sèche :

- 2 • pour remplir une autochargeuse de 50 m<sup>3</sup> et la vider dans l'aire de déchargement, il faut environ 1/4 d'heure  
• pour une parcelle située à 5 minutes de la grange, il faut compter environ 25 minutes par voyage.

Ce foin humide est aussitôt repris par une griffe (sur un pont roulant ou sur un bras articulé) et réparti soigneusement dans une cellule de stockage/séchage.

- 4 Cette cellule est équipée d'un ventilateur pulsant de l'air (air ambiant ou réchauffé) sous un assemblage de liteaux de bois espacés et reposant sur des chevrons (le caillebotis) sur lesquels est disposé le foin humide.

L'air, en traversant de bas en haut le fourrage, sèche le fourrage progressivement (par le bas).

- 6 Au bout de 3 à 5 jours (selon la météo), le fourrage est complètement sec : c'est alors du très bon foin qui se conservera longtemps.

Au cours de la récolte, on retrouve dans la cellule 3 couches différentes de foin (cf. schéma page 11) :

- 7 • une couche de foin sec (fourrage rentré depuis plus de 5 jours)  
• une couche de foin en train de sécher (fourrage rentré depuis 1 à 5 jours)  
• une couche de foin humide (fourrage rentré la veille ou le jour même)

Après le dernier jour de récolte, le séchage se poursuit encore quelques jours pour finir le processus de conservation. Une fois sec, le foin reste le plus souvent stocké dans cette cellule.

- 9 En hiver, le fourrage, repris avec la griffe, est distribué de diverses manières aux animaux

#### L'avis des spécialistes :

« Une récolte plus facile, plus efficace et sécurisée »

- La mécanisation de la chaîne de récolte est totale, ce qui supprime en partie la pénibilité des fenaisons. Cette chaîne de récolte est donc adaptée au travail d'un homme seul ou en groupe limité (souvent au niveau de la famille, pouvant dans certains cas faciliter une participation d'un parent à la retraite, d'une épouse, etc.), en toute indépendance de décision et d'organisation du chantier.
- La récolte est très rapide (en moyenne 3 heures pour récolter 1 ha en première coupe, mais tout dépend du matériel utilisé) et fractionnée : la qualité de la majorité des fourrages stockés ne se joue pas en un seul jour.
- Le temps de travail est réduit au moins de moitié par rapport au séchage sur le champ réalisé dans de bonnes conditions (fenaison sans pluie). Ce gain de temps est particulièrement important en hiver grâce à la mécanisation fréquente de la distribution du fourrage aux animaux.
- La fauche de l'herbe au stade optimal se situe très souvent pendant des périodes de précipitations fréquentes. Il est alors quasiment impossible de pouvoir sécher correctement le foin au champ car un minimum de 4 jours consécutifs sans pluie est nécessaire. Le séchage en grange permet, en laissant le fourrage environ 48 heures au sol puis en le mettant à l'abri, de s'affranchir en grande partie de cette contrainte météorologique (les prévisions météo sont fiables sur 48 heures). La ventilation du fourrage par un air réchauffé de quelques degrés permet d'atteindre le seuil de conservation (humidité du fourrage de 15 %) en quelques jours (2 à 5 jours selon l'ensoleillement) et ainsi de conserver toutes les qualités initiales du fourrage.
- La dépendance moindre vis-à-vis du climat permet donc de travailler avec plus de tranquillité et de sécurité.





## Démarche d'aide à la décision

### 1<sup>re</sup> ÉTAPE D'ANALYSE : LES DIMENSIONS DU CAPTEUR SOLAIRE À AIR

La création d'un capteur solaire nécessite de tenir compte des caractéristiques dimensionnelles du capteur et du ventilateur. Pour que le capteur fonctionne correctement, c'est-à-dire que le rendement soit optimal, il faut obtenir une vitesse de l'air correcte dans le capteur solaire, et qui soit non préjudiciable pour le débit du ventilateur.

Les calculs simples qui suivent permettent d'évaluer la faisabilité du projet.

En général, l'air dans le capteur solaire est aspiré sur un pignon du bâtiment et traverse le bâtiment jusqu'à l'autre pignon. Les autres configurations, plus délicates à concevoir du point de vue aérodynamique, doivent être réfléchies avec un spécialiste.

#### Surface de toit disponible pour une transformation en capteur solaire à air

- Longueur au sol \_\_\_\_\_ m
- Largeur au sol \_\_\_\_\_ m
- Surface \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
- Hauteur des pannes \_\_\_\_\_ cm

#### Ventilateur de séchage

- Débit en m<sup>3</sup>/h \_\_\_\_\_
- Débit en m<sup>3</sup>/s (÷ par 3 600) \_\_\_\_\_
- Type de ventilateur centrifuge/hélicoïdal \_\_\_\_\_
- Âge du ventilateur \_\_\_\_\_
- Marque (fabricant/modèle) \_\_\_\_\_

### 2<sup>e</sup> ÉTAPE D'ANALYSE : LES CALCULS

#### 1. Calcul de la surface de la section de passage de l'air, en considérant une isolation sous pannes :

→ Hauteur des pannes (\_\_\_\_ cm) x Largeur au sol (\_\_\_\_ m) = Section de passage \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

#### 2. Calcul de la vitesse « théorique » dans le capteur solaire :

→  $V \llcorner \text{repère} \gg = \text{débit (m}^3/\text{s)} / \text{Section de passage (m}^2) = \text{_____ m/s}$

Si la vitesse est inférieure à 3 m/s, il faut diminuer la hauteur de passage de l'air.

Si elle est proche de 4 m/s, une isolation sous les pannes peut être envisagée

Si elle est supérieure à 6 m/s, il faut augmenter la hauteur du passage de l'air pour réduire les pertes de charge à l'aspiration

#### 3. Calcul de l'énergie solaire récupérable :

Pour du séchage en vrac de fourrages, avec une conduite de ventilation usuelle, on peut estimer l'énergie solaire potentiellement récupérée par :

- Rayonnement solaire incident : env. 5 kWh/m<sup>2</sup>/jour (usage usuel du capteur en séchage en vrac)
- Rendement de capteur solaire : 30 %
- Surface du capteur solaire : \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

→ Énergie récupérable = 5 kWh/m<sup>2</sup>/jour x 30 % de rendement x surface du capteur \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
= \_\_\_\_\_ kWh/jour récupérables pour le séchage

- Nombre de jours de séchage : \_\_\_\_\_ jours /an (si donnée inconnue, prendre env. 50 jours /an)

→ Énergie solaire totale = \_\_\_\_\_ kWh /jour x nombre de jours = \_\_\_\_\_ kWh /an  
Soit l'équivalent de \_\_\_\_\_ litres de fioul /an (avec 1 litre de fioul = 10 kWh)

NB : Le débit de séchage ne peut pas être calculé simplement. Il nécessite de nombreuses données liées aux caractéristiques du fourrage à sécher (humidité à l'enlèvement, quantité, type, espèces), aux dimensions du séchoir (surface, hauteur des cellules) et du capteur solaire (surface, largeur...), aux dimensions des gaines de jonction entre le capteur et le ventilateur et aux données météorologiques du site.



## LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

### LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

#### 4. Estimation du coût approximatif du capteur solaire :

• Surface à isoler = \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

• Coût de l'isolation = \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> x \_\_\_\_\_ €HT/m<sup>2</sup> (\*) = \_\_\_\_\_ €HT

• Autres coûts :

- Coût de la peinture en noir (ou sombre et mate) : 3 €HT/m<sup>2</sup>

- Coût des gaines de jonction au ventilateur, des entrées d'air... : prix très variables de 1 000 à 3 000 €HT selon les situations

→ Coût total = isolation + peinture + équipements divers

= \_\_\_\_\_ €HT

(\*) Coût unitaire indicatif de l'isolation : si posé par entreprise 15 à 20 € HT/m<sup>2</sup> ; si posé en auto construction, 8 €HT /m<sup>2</sup>

#### 5. Rentabilité simple du capteur solaire :

• Coût du fioul évité = \_\_\_\_\_ litres fioul /an x prix unitaire du fioul (environ 0,5 €HT/litre)

= \_\_\_\_\_ litres /an x \_\_\_\_\_ €HT/litre

= \_\_\_\_\_ €HT /an

→ Temps de retour simple sur investissement = investissement du capteur solaire (€ HT)/économie annuelle de fioul (€ HT/an)

= \_\_\_\_\_ années

Le temps de retour d'un tel capteur solaire varie de 3 à 6 ans selon l'installation et les subventions disponibles. Cette fourchette est assez basse compte tenu du coût élevé du fioul à l'heure actuelle (environ 0,5 €HT/litre).

#### L'avis des spécialistes :

##### « Des systèmes de production simples, fiables et économes »

Les investissements peuvent être assez conséquents. Mais les multiples économies engendrées par cette technique permettent d'amortir en grande partie les dépenses nécessaires.

• **Matériel de fenaison :** La faucheuse, la faneuse, l'andaineur et l'autochargeuse demandent des puissances de traction modérées et donc une moindre consommation de fioul.

##### • Amélioration des prairies et réduction des intrants :

Le recours aux engrais, semences, pesticides et travaux du sol sont limités grâce au séchage solaire qui permet une fauche précoce et multiple. Cela favorise :

- Le développement des légumineuses en général. Au fil des années, leur proportion croît pour atteindre 25 à 30 % de la flore de la prairie : ceci engendre une réduction importante voire totale de l'utilisation des engrais azotés chimiques.

- Le développement des graminées à feuilles larges (ray-grass anglais, dactyle, fétuque...) dont la valeur alimentaire est supérieure à celles des graminées à feuilles fines (brôme dressé, ...)

- La régression voire l'anéantissement des plantes indésirables telles que les chardons, les ombellifères, rumex, renoncules : le recours au désherbage des prairies naturelles devient souvent inutile.

Le séchage améliore la pérennité des prairies : l'allongement des rotations, l'utilisation d'outils légers, la présence quasi perma-

nente d'un couvert végétal, les travaux du sol moins fréquents, contribuent à limiter les risques agronomiques (érosion, appauvrissement et destruction de la structure des sols, compaction, réduction de la vie microbienne,) et les travaux d'implantation des prairies. On observe donc une diminution des coûts et une meilleure protection des sols.

• **Économie d'aliments complémentaires :** Le foin étant très riche en protéines, il n'est pas conseillé de compléter la ration avec des tourteaux (risques de mammites). Pour les animaux les plus productifs, on complète avec des produits riches en glucides (céréales, farines, ...), éventuellement produits sur l'exploitation et permettant l'autonomie alimentaire totale. Le foin en grange équilibre, sans complément, la ration alimentaire d'une vache produisant 5 000 litres de lait par an.

• **Diminution des frais vétérinaires et du taux de renouvellement du troupeau :** La longévité, l'état de santé et la reproduction des animaux nourris avec du bon foin sont très satisfaisants. Les agriculteurs pratiquant le séchage en grange ont donc des dépenses vétérinaires assez faibles (15 à 40 % de moins que pour des éleveurs utilisant l'ensilage).

• **L'énergie solaire est plus qu'économique et respectueuse de l'environnement :** (cf. page 7)







## Une variante : le séchage solaire des balles rondes

*L'idée est exactement la même que pour le foin en vrac : récolter l'herbe à sa teneur alimentaire maximale et la conserver dans les meilleures conditions possibles pour l'hiver suivant tout en s'affranchissant partiellement des conditions météorologiques extérieures au moment de la récolte. Le matériel de récolte est identique (les presses à chambre variable sont bien adaptées) et il n'est pas nécessaire de construire un bâtiment spécifique (éventuellement pour stocker les balles séchées).*

### ● LES GRANDES ÉTAPES : RÉCOLTE - CONSERVATION - DISTRIBUTION

Les grandes étapes du séchage des balles rondes restent globalement identiques à celles des fourrages en vrac :

- après 2 à 3 jours de séchage au champ, le fourrage, d'une teneur en matière sèche de 60 à 70 %, est pressé en balles rondes qui sont alors disposées dans le séchoir.
- après 12 à 36 heures de séchage (avec un air à moins de 50 % d'humidité relative), les balles sont sèches et ont atteint leur stade de conservation (min. 85 % MS).
- elles sont ensuite retirées du séchoir et stockées sous abri. D'autres balles peuvent alors être mises au séchage. Le séchage s'effectue donc par lots de balles (capacité de séchage limitée par le nombre de bouches de ventilation), alors qu'en vrac, la cellule de séchage sert aussi la plupart du temps de stockage.

Deux principaux modes de séchage existent (qui dépendent de la stratégie d'exploitation de l'agriculteur) :

- le premier vise à sécher le plus rapidement possible (dans la journée) un lot de balles rondes et permet donc de récolter à peu près tous les jours. Il nécessite des investissements élevés en puissance de ventilation et en puissance thermique, liés à la rapidité du séchage. Le coût de fonctionnement est également important. Les capteurs solaires permettent des économies de fioul, qui reste tout de même indispensable pour assurer la rapidité du séchage.
- Le second vise à sécher plus lentement (entre 3 et 8 jours) les balles rondes et entraîne donc un échelonnement de la récolte. Son intérêt est de limiter les investissements en puissance de ventilation et en puissance thermique, mais aussi les coûts de fonctionnement (que de l'électricité). Ce mode de séchage correspond parfaitement à l'utilisation des capteurs solaires, qui sont ici la seule source d'énergie utilisée (pas d'appoint).

### ● LES COMPOSANTS D'UNE INSTALLATION DE SÉCHAGE DE BALLES RONDES

Le séchage des balles se faisant toujours dans une grange ou sous abri, l'installation est légèrement différente de la précédente du fait de la forme du produit à sécher. Il n'y a plus de caillebotis, mais plusieurs bouches de séchage rondes disposées régulièrement sur le sol pour pouvoir y disposer les balles (typiquement par lots de 8, 12, 15, 20 et jusqu'à 40 balles rondes, selon le procédé utilisé et les souhaits de l'agriculteur).



## LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

### Deux grands procédés de séchage existent :

- Par le bas (le plus rencontré) : à l'intérieur d'une grange, les balles sont disposées sur une dalle de séchage munie de bouches de soufflage ; ce système nécessite des travaux de génie civil.
- Par le haut et le bas : les balles sont entourées de chambres de ventilation (en haut, en bas, voire au milieu)

**Le séchage des balles rondes peut convenir aux agriculteurs déjà équipés d'une chaîne de récolte et de distribution en balles rondes. Toutefois, la qualité du fourrage séché est moindre que celle du fourrage en vrac :**

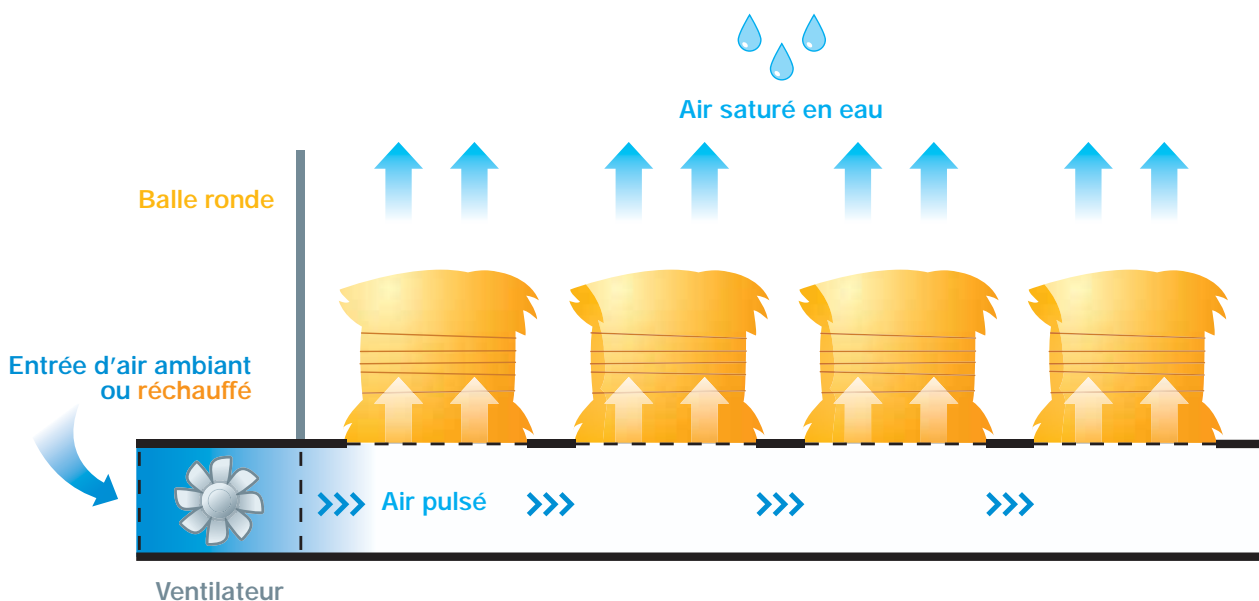
- Le séchage est souvent irrégulier au sein des balles, où subsistent des zones humides mal ventilées, qui ont donc tendance à s'échauffer et se dégrader ; les balles doivent être manipulées pour être séchées une nouvelle fois ou alors on trie les zones mal conservées avant de donner le foin aux animaux.
- La manutention des balles demande beaucoup plus de main-d'œuvre que pour le foin en vrac (1 à 2 heures supplémentaires par hectare récolté).

- Les coûts de fonctionnement sont au minimum 3 fois plus importants que pour le séchage en vrac.

Le système de pressage et le réglage de la pression de serrage de la balle ont une forte influence sur la circulation de l'air dans les balles. Il semble que le système de séchage des balles par le haut permette une meilleure répartition de l'air dans la balle, et donc un séchage plus homogène.

### L'avis du spécialiste :

« Dans l'état actuel de nos connaissances, le séchage des balles rondes par ventilation n'est pas un séchage en vrac au rabais. Cette technique est complémentaire d'un système foin traditionnel récolté en balles rondes. Sur ce plan, on peut la comparer à la technique de l'enrubannage. À l'avenir, des progrès restent à faire en terme de conception des séchoirs (homogénéité du séchage de la balle) et de coût. »





## Quatre exemples d'installations en grange en Midi-Pyrénées

### M. Jean Noël PUJO, Campan (Hautes-Pyrénées 65)

**Spécialités : bovin lait, ovin viandes, fabrication de fromages fermiers (Pyrénées)**

- M. et M<sup>me</sup> PUJO exploitent 45 ha de prairies permanentes situées entre 850 et 1 200 m d'altitude.
- Le parcellaire est très éclaté : 80 % de la surface agricole utilisée (SAU) se situent à moins de 5 km de la grange, 20 % entre 5 et 8 km.
- 14 vaches Montbéliardes et Abondances et 165 brebis viande Aure Campan composent le cheptel de l'exploitation. Le quota de 45 000 litres de lait est transformé en tomme des Pyrénées.
- Les 4,5 tonnes de fromages sont vendues sur l'exploitation à un prix moyen d'environ 8,7 €/kg (57 F/kg en 2001).

**Quelques chiffres sur la production laitière (campagne 2000/2001 - installation de séchage solaire fonctionnelle à 50 % en 2000)**

- Production par vache : 4 400 litres
- Taux butyreux : 39,6 g/L
- Taux protéique : 31,6 g/L
- Taux de réussite à la 1<sup>re</sup> insémination artificielle (IA) : 75 %
- Quantité de concentré consommé par vache laitière : 1 448 kg (contre 1 800 kg en 1999/2000)
- Intervalle vêlage - vêlage : 355 jours

#### Le matériel de traction et de fenaison

- tracteur de 70 CV 4 roues motrices
- tracteur de 70 CV 2 roues motrices
- faucheuse rotative 6 assiettes de 2,4 m
- faneuse de 4,2 m
- andaineur de 3,2 m
- presse à balle ronde 90x120 à chambre fixe
- autochargeuse de 20 m<sup>3</sup>

#### L'installation de séchage

- capacité de stockage : 70 à 80 tonnes MS (matière sèche)
- 2 cellules de séchage de 62 m<sup>2</sup> chacune
- hauteur de stockage de 6 m
- griffe à fourrage Stepa-Palfinger sur double rail au faitage - bras télescopique de 9 m environ
- préchauffage de l'air : 308 m<sup>2</sup> de toiture aménagés en capteur solaire
- ventilateur : centrifuge Zumstein 10 CV
- coût de fonctionnement (électricité) : 230 à 300 €/an

#### Les investissements et les subventions

- |   |                   |
|---|-------------------|
| • griffe à fourrages (achat en 1999)                          | 21 000 €HT        |
| • ventilateur (achat en 2000)                                 | 5 200 €HT         |
| • aménagement capteurs solaires (2000)                        | 7 000 €HT         |
| • aménagement des aires de séchage (autoconstruction en 2000) | 2 400 €HT         |
| <b>Total des investissements</b>                              | <b>35 600 €HT</b> |

- |   |                  |
|---|------------------|
| • aide à l'acquisition de matériel en zone de montagne (griffe à fourrages) | 4 800 €HT        |
| • aide du PRELUDE pour la réalisation du capteur solaire                    | 3 430 €HT        |
| <b>Total des subventions</b>  | <b>8 230 €HT</b> |



### M. Serge BUFFALAN, Saleich (Haute-Garonne 31)

**Spécialité : bovin lait**

- Surface agricole : 4,5 ha de luzerne et 27,5 ha de prairies naturelles
- Cheptel : 23 vaches laitières et 6 vaches allaitantes
- Quota de 140 000 litres (valeur 2004), entièrement revendu à une coopérative laitière.
- Stockage de 90 tonnes de foin séché, de 25 tonnes de foin traditionnel
- Achat de 5 tonnes de pailles et de 25 tonnes de maïs

**Quelques chiffres sur la production laitière (campagne 2000/2001 - installation de séchage solaire fonctionnelle à 50% en 2000)**

- Production par vache : 6 000 litres
- Taux butyreux : 38 g/L
- Taux protéique : 34 g/L
- Taux de réussite à la première IA : 75%
- Quantité de concentré consommé par vache laitière : 257 €/vache/an
- Intervalle vêlage - vêlage : 380 jours

#### Le matériel de traction et de fenaison

- Tracteur de 45cv 2 roues motrices
- Tracteur de 55cv 4 roues motrices
- Tracteur de 62cv 4 roues motrices
- Faucheuse rotative 5 assiettes de 2,2 m
- Faneuse de 3,4 m - 4 toupies
- Andaineur de 2,5 m
- Presse balle ronde 100x135 chambre variable
- Autochargeuse de 35 m<sup>3</sup>



# LE SÉCHAGE SOLAIRE DES FOURRAGES

## LA QUALITÉ AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

### M. Serge BUFFALAN, Saleich (Haute-Garonne 31)

#### L'installation de séchage

- Capacité de stockage : 90 tonnes MS (matière sèche)
- 2 cellules de séchage de 85 m<sup>2</sup> chacune
- Hauteur de stockage de 6 m
- Griffe à fourrage AUER sur double rail au faitage - bras télescopique de 7,5 m environ
- Préchauffage de l'air : ~ 200 m<sup>2</sup> de toiture, exposée est/ouest et inclinée à 25% ; bac acier rouge + isolant polystyrène extrudé
- Ventilateur : radial, 12,5 cv
- Coût de fonctionnement (électricité) : 150 €/an

#### Détails des investissements :

- 170 m<sup>2</sup> de caillebotis : 4250 €
- 25 m de gaine de ventilation : 9 986 €
- 2 parois séparatives des aires de stockage, H=4m, S=60m<sup>2</sup> : 2 100 €

#### Calcul d'amortissement du propriétaire :

- 3 000 €/an (sur 30 ans) pour 90 tonnes de foin sec par an ; coût de revient du foin : 90 tonnes à 33,3 €/tonne, soit 0,03 c€/kg foin sec.

#### Les investissements et les subventions (2003/2004)

##### Les coûts

• Étude SGF Conseil	1 150 €
• Hangar (neuf) *	43 969 €
• Équipement séchage solaire	33 760 €
• Autoconstruction (estimation)	env. 20 000 €
• Autochargeuse	18 800 €
<b>Total des investissements</b>	<b>117 679 €</b>

##### Les subventions

• Étude SGF Conseil	1 035 € (90%)
• Hangar (neuf) *	8 933 € (20%)
• Équipement séchage solaire (aide PRELUDE)	10 735 € (30%)
• Autoconstruction	1 295 €
• Autochargeuse (CTE: Contrat Territorial d'Exploitation)	7 185 €
<b>Total des subventions</b>	<b>29 183 €</b>

\* Le hangar n'est pas un investissement spécifique à l'installation solaire : il devait dans tous les cas être construit ; le round baller existant datait de 25 ans et devait être remplacé (même s'il fonctionnait toujours).

### M. Roger MARRE, Caussade (Tarn-et-Garonne 82)

M. Marre travaille en CUMA depuis 1978. Vers 1998, plusieurs agriculteurs souhaitaient se reconverter, et un entrepreneur d'ensilage voulait augmenter sa puissance d'ensilage, ce qui nécessitait plus de personnel : tout ceci a poussé M. Marre à se lancer dans le séchage solaire. Après plusieurs visites chez des agriculteurs équipés de tels systèmes (« ne nous parlez plus de l'ensilage ! ») et la réalisation d'une étude par Ségrafo, il a décidé de se lancer en 2000. L'étude technique de Ségrafo apportait la confirmation d'un équilibre financier sur l'exploitation avec cet équipement, et aussi la réduction des intrants et de la production de déchets. Cette technique est tellement efficace que M. Marre décide en 2005 de doubler la capacité de son installation.

#### Spécialité : caprin lait

- Surface agricole : 29,5 ha de prairies (luzerne, dactyle, fétuque) groupées autour de l'exploitation
- Cheptel : 500 chèvres mères
- Quota de 350 000 litres, entièrement revendu à une coopérative laitière de Caussade pour la production de Cabécou d'Antan.
- Consommation de 350 tonnes de foin par an.
- Achat de 130 tonnes de maïs pour compléter la ration journalière

#### Quelques chiffres sur la production laitière

- Production par chèvre : 700 litres
- Quantité de maïs par chèvre : 700 grammes par jour

#### Le matériel de traction et de fenaion

- Tracteur 120 CV avec bras télescopique (CUMA)
- 2 tracteurs de 160 CV, avec faucheuse devant et derrière de 6 m de large (CUMA)
- Tracteur de 72 CV 4RM (personnel)
- presse à balles rondes (CUMA)
- faneuse de 8 m (CUMA)
- andaineur de 7 m (CUMA)
- autochargeuse de 30 m<sup>3</sup> DIN (personnelle)



#### L'installation de séchage initiale

- 2 cellules de séchage de 150 m<sup>2</sup> chacune
- Capacité de stockage : 180 tonnes MS (2x90 tonnes)
- Hauteur de stockage de 6 m
- Griffe à fourrage KIWA avec déplacement latéral (avantages du pont roulant) - bras télescopique de 11 m
- Préchauffage de l'air : ~ 530 m<sup>2</sup> de toiture, exposée sud et inclinée à 21% ; isolant en sous face en polyuréthane à 20 cm de la toiture
- Ventilateur : centrifuge 15 CV
- Coût de fonctionnement (électricité) : 1 500 €/an (estimation)

#### Les résultats

- 6 ha fauchés en 1h15 / 1h30, foin rentré en 3 à 5h après 24h de préfanage au champ (50 % MS)
- le foin récolté est séché en 4 à 6 jours en grange ; après, le ventilateur est remis en route ponctuellement (quelques heures par jour), pour finir correctement le séchage.
- Baisse du temps de travail : l'alimentation des chèvres se fait en seulement 30 minutes le matin et 20 minutes le soir.



### Les investissements et les subventions (2000)

#### Total des investissements

(construction d'un bâtiment neuf, griffe et autochargeuse)

• Subventions Contrat Territorial d'Exploitation	15 000 €
• Subventions (Région - construction bâtiment)	15 000 €
• Subventions PRELUDE (ADEME+RÉGION)	3 800 €
<b>Total des subventions</b>	<b>33 800 €</b>

**130 000 €**

### L'extension du système

Il s'agissait pour l'agriculteur de pouvoir sécher la première récolte dans sa globalité sans sectionner les récoltes. Il fallait aussi pouvoir conserver dans de bonnes conditions des végétaux difficiles à sécher, comme le trèfle et le ray-grass en rotation avec la luzerne, qui sont un régal pour les chèvres. À cet effet, le capteur solaire a été doublé et 2 aires de séchages supplémentaires ont été construites, afin de pouvoir sécher le trèfle et le ray-grass en demi couche.

### GAEC du Bousquet du Cambon, Calmels et le Viala (Aveyron 12)

M. et Mme Valentin souhaitent obtenir une meilleure qualité de foin pour maintenir un bon état sanitaire du troupeau, et donc une qualité bactériologique et chimique élevée du lait. C'est aussi un choix raisonné d'itinéraire de récolte, plus respectueux des sols, et des conditions de travail améliorées. Le tout pour un coût de fonctionnement moindre. Le fait que la grange et la bergerie soient juxtaposées a facilité l'adoption du séchage solaire. Le capteur assure également l'isolation de la bergerie. Une solution très économique qui accroît sensiblement l'efficacité du séchage en grange. L'installation initiale comportant 2 aires de séchage a été doublée et dispose donc aujourd'hui de 4 aires de séchage pour la même surface de captage en toiture.

#### Spécialités : ovin lait

- Surface agricole : 113 ha dont 88 ha de surface fourragère principale (SFP)
- Cheptel : 600 brebis traites
- Stockage de 4 600 m<sup>3</sup> - 360 tonnes de foin sec

#### L'installation de séchage

- Préchauffage de l'air : 1 500 m<sup>2</sup> de toiture qui chauffe l'air de 8°C en moyenne;
- Capacité de stockage : 300 tonnes MS (matière sèche)
- 4 cellules de séchage de 195 m<sup>2</sup> chacune
- 2 ventilateurs centrifuges Zumstein : RLZ140 72 000 m<sup>3</sup>/h & RLZ130

#### Résultats campagne 1996 (1<sup>re</sup> coupe; avec 2 aires de séchage)

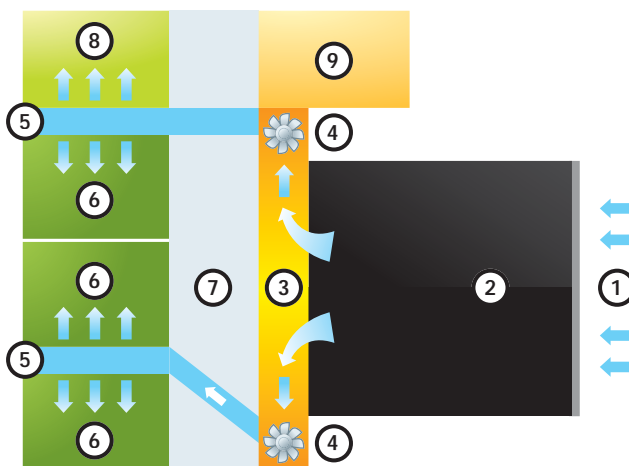
- Temps de travail en 1<sup>re</sup> coupe : moyenne de 3h20 min par ha avec la répartition globale suivante : 12,5 % fauche, 20 % fanage, 7,5 % andainage, 30 % récolte, 30 % engrangement
- Fourrages séchés : 110 tonnes (sec) récoltés en 8 jours
- Durée de ventilation : 382 heures en 28 jours
- Consommation électrique : 7 640 kWh
- Energie solaire récupérée : 56 000 kWh (soit 5800 litres de fioul)
- Rendement moyen du capteur : 32 %
- Gain de rapidité de séchage : 55 %
- Coût de fonctionnement du séchage : 3,8 €/t sec
- Economies de fioul (à même efficacité de séchage) : 12,8 €/t sec

#### Les investissements (données 1992 pour les 2 premières aires de séchage)

<b>Investissement (capteur solaire)</b>	<b>20 120 €</b>
Dont Isolation bergerie (matériel)	13 720 €
Abri du ventilateur	3 350 €
Gaine de récupération de l'air	3 050 €

#### Schéma de l'installation

- 1: entrée d'air sur le pignon est du toit
  - 2: capteur toiture solaire réalisé sur la bergerie, construit en isolant la toiture de la bergerie de stockage par des panneaux placés à 24 cm de la couverture
  - 3: gaine de collecte de l'air réchauffé
  - 4: caisson de ventilation
  - 5: gaine de distribution (possibilité de ventiler au choix 1 ou 2 aires de séchage à la fois)
  - 6: 3 aires de séchage de foin de 195 m<sup>2</sup> chacune
  - 7: quai de déchargement et couloir de distribution du fourrage
  - 8: zone de stockage de paille en vrac et de céréales
  - 9: grenier
- Flèches bleues** : sens de circulation de l'air





## Pour en savoir plus...

### LES CHAMBRES D'AGRICULTURE

- Tarn-et-Garonne - **Georges BEDENES**  
conseiller bâtiment d'élevage  
Tél. 05 63 63 30 25  
Courriel : batiment.ede@tarn-et-garonne.chambagri.fr,
- Hautes-Pyrénées - **Carine CHATAIN** - conseillère fourrages  
Tél. 05 62 34 66 74  
Courriel : c.chatain@hautes-pyrenees.chambagri.fr
- Tarn - **Julie JACQUET** - Conseillère bâtiment d'élevage  
Tél. 05 63 48 83 83  
Courriel : j.jacquet@tarn.chambagri.fr
- Gers - **Claude LATARE** - conseiller bâtiment d'élevage  
Tél. 05 62 61 79 78  
Courriel : ca32@gers.chambagri.fr
- Lot - **Damien LAUPRETRE** - conseiller bâtiment d'élevage  
Tél. 05 65 23 22 25  
Courriel : d.laupretre@lot.chambagri.fr
- Aveyron - **Denis MAYRAN** - Conseiller bâtiment d'élevage  
Tél. 05 65 73 77 10  
Courriel : denis.mayran@veyron.chambagri.fr
- Haute-Garonne - **Régis PAYRASTRE** - conseiller bâtiment d'élevage  
Tél. 05 61 10 43 20  
Courriel : regis.payrastre@agriculture31.com
- SUAIA Pyrénées - **Sylvie REDER** - Conseiller Bâtiment  
Appui aux organismes professionnels de montagne, formation/sensibilisation  
Tél. 05 61 02 14 20  
Courriel : reder.suaia@apem.asso.fr

### LES CONCEPTEURS / BUREAUX D'ÉTUDES

- Yann **CHARRIER** - SGF Conseil  
Pré grand - route d'Alayrac - 12500 Espalion  
Tél. 05 65 51 49 34 (fax 49 48)  
Courriel : yanno404@tiscal.fr
- Jean-Luc **BOCHU** - SOLAGRO  
75, voie du TOEC - 31076 Toulouse Cedex 3  
Tél. 05 67 69 69 69  
Courriel : jean.luc.bochu@solagro.asso.fr

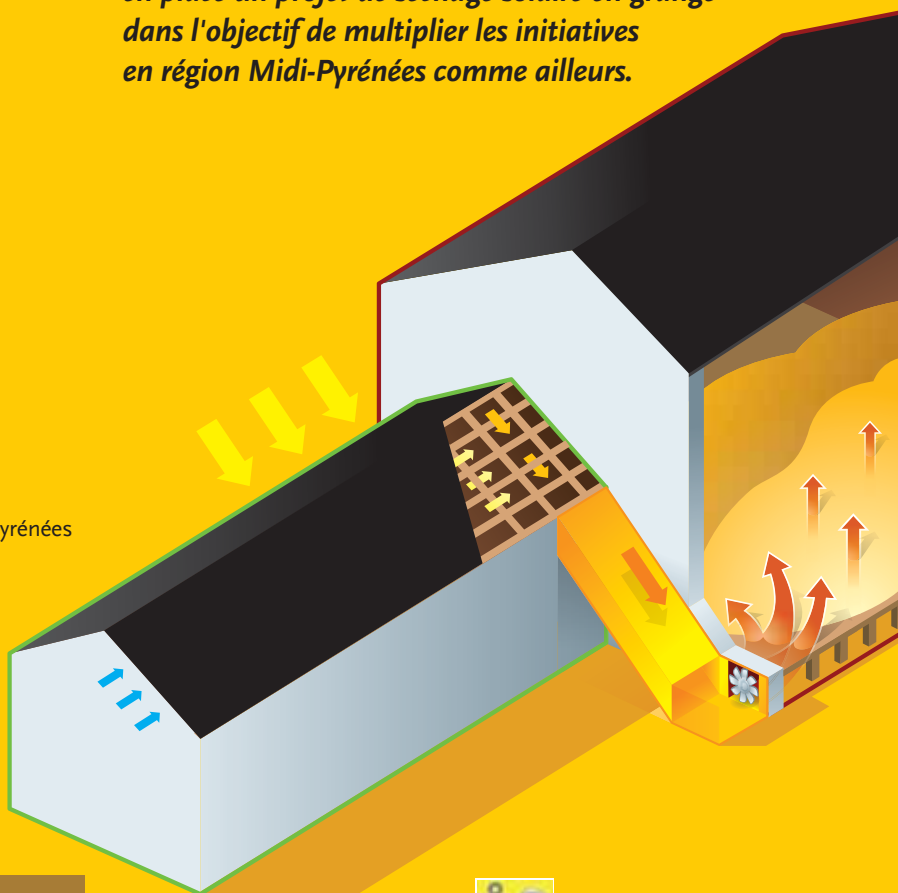
### LES PARTENAIRES TECHNIQUES ET FINANCIERS

- **ADEME** - Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie - délégation régionale Midi-Pyrénées  
Technoparc Bâtiment 9 - Voie Occitane  
BP 672 - 31319 Labège cedex  
Tél. : 05 62 24 35 36 – Fax : 05 62 24 34 61  
Courriel : ademe.midi-pyrenees@ademe.fr
- **ARPE** - Agence Régionale Pour l'Environnement Midi-Pyrénées  
14, rue de Tivoli 31068 Toulouse Cedex  
Tél. : 05 34 31 97 00 – Fax : 05 34 31 18 42  
Courriel : arpe@arpe-mip.com
- **Conseil régional Midi-Pyrénées**  
Direction Environnement et Développement Durable  
22, boulevard du Maréchal Juin  
31406 Toulouse cedex 04  
Tél. : 05 61 33 50 50 – Fax : 05 61 33 52 66

**Le séchage solaire des fourrages allie protection de l'environnement, maîtrise de l'énergie et utilisation d'une énergie naturelle renouvelable : le soleil.**

**C'est une technique simple, à la fois traditionnelle et moderne, qui consiste à récupérer l'énergie solaire sous les toitures des bâtiments pour chauffer l'air et ainsi sécher et conserver les fourrages dans les meilleures conditions. Ce mode de récolte et de conservation est particulièrement efficace, économe et respectueux de l'environnement. Sa contribution au développement économique et social régional est elle aussi indéniable. Les fourrages obtenus sont de meilleure qualité, et permettent d'optimiser la sécurité de la production et de la transformation des produits laitiers ou carnés.**

**Ce guide a été conçu pour vous aider à mettre en place un projet de séchage solaire en grange dans l'objectif de multiplier les initiatives en région Midi-Pyrénées comme ailleurs.**



AUTRE PARTENAIRE TECHNIQUE

Edition 2006 - Documents PRELUDE - Rédaction & crédits photos: ARPE & SOLAGRO  
Conception Nuances du Sud - www.nuances-du-sud.fr

Impression Parchemins du Midi sur papier recyclé non blanchi au chlore.



→ Pour connaître les aides de l'État concernant les plans de bâtiment d'élevage, la mécanisation en zone de montagne et les contrats territoriaux d'exploitation, contacter votre Direction Départementale de l'Agriculture.

Pour connaître les aides mobilisables au titre de l'utilisation de l'énergie solaire, contacter la Direction Environnement et Développement Durable du Conseil Régional Midi-Pyrénées et l'ADEME.