

Séchage solaire des fourrages en zone Roquefort

Résumé du rapport technique final

Contractants : Association SOLAGRO - 219, Avenue de Muret - 31300 TOULOUSE - France

Période : Juillet 1993 - Décembre 1996

Partenaires : Commission Européenne - Direction Générale de l'Énergie DG XVII (THERMIE)
Conseil Régional Midi-Pyrénées à Toulouse (Haute-Garonne - France)
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) Délégation Régionale de
Midi-Pyrénées
Confédération Générale de Roquefort à Millau (Aveyron - France)

Coût total : 3,6 MF

Recettes :	Autofinancement	SOLAGRO :	19%
	Aide CE - DG XVII	agriculteurs :	35%
	Aide Conseil Régional Midi-Pyrénées et ADEME		30%
			15%

1. Contexte et but du programme

Le séchage en grange des fourrages présente un grand intérêt dans le cadre de la production laitière à vocation fromagère. La technique est développée de manière inégale selon les régions et pays européens. Dans le sud-ouest de la France, environ 100 installations de séchage des fourrages existent, principalement sur la zone de production du fromage ROQUEFORT.

La région concernée par les 29 réalisations est le sud-ouest du Massif Central de la France. L'agriculture y est une activité économique dominante et l'élevage des ruminants en particulier de bovins et d'ovins (dans une moindre mesure de caprins) joue un rôle primordial permettant la valorisation des herbages. C'est une zone de montagne, dont l'altitude varie de 300 à 1500 m. Les premières récoltes de fourrages (première coupe) débutent entre fin Avril et début Juin suivant l'altitude et les conditions météorologiques de l'année.

Les conditions météorologiques moyennes au mois de Mai sont assez homogènes sur la région, avec

toutefois des décalages en fonction de l'altitude qui expliquent les fauches plus ou moins précoces :

Température :	13.5 à 14.0 °C
Humidité relative :	72%
Rayonnement solaire :	5600 à 6000 kWh/m ² /jour
Vitesse du vent :	3.4 à 5.1 m/s

L'analyse fréquentielle des types de journées montrent que seuls 10% des jours sont pluvieux, et que le séchage solaire est intéressant dans 75% des jours, et possible sur les 15% restants.

Pour bien sécher les fourrages, il est nécessaire - que ce soit dans le sud-ouest de la France ou dans les autres pays européens - de réchauffer l'air de séchage, ce qui se fait classiquement à grand renfort d'énergies fossiles.

La technologie proposée est simple : elle consiste à utiliser des capteurs solaires à air pour le séchage des fourrages en réchauffant l'air de 3 à 5°C, en substitution des brûleurs au fioul. Elle constitue l'innovation technique.

Deux installations de démonstration avaient été réalisées en milieu des années 80 ; 4 ou 5 installations solaires supplémentaires avaient été réalisées avant le démarrage du programme mais sans vérification des performances. Le premier objectif est donc d'ordre technique. Il était nécessaire de mieux connaître les performances énergétiques et les performances de séchage des installations solaires.

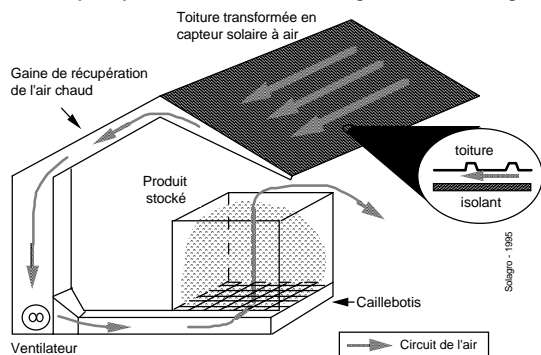
La principale innovation est relative à la dissémination de la technologie du séchage solaire des fourrages et se décline en 2 objectifs :

- réaliser une vitrine de 30 installations solaires sur la zone Roquefort en 3,5 ans. Ce programme avait donc une dimension volontariste très forte et un objectif ambitieux.

2. Description des installations

Le séchoir solaire de fourrages est un des éléments de la chaîne de récolte - conservation - distribution du fourrages, qui comprend un ensemble d'équipements permettant généralement une mécanisation totale de la manutention des fourrages, de la récolte aux animaux. Les « faibles » besoins en main d'œuvre sont un des principaux atouts du séchage en grange mis en avant par les agriculteurs.

Schéma de principe d'une installation de séchage solaire de fourrages



Le capteur solaire utilisé pour le séchage a pour rôle de chauffer l'air de séchage, ce qui lui confère une capacité de séchage plus importante que celle de l'air ambiant. Son principe est simple : un corps noir, constitué par la toiture d'un bâtiment agricole ou d'élevage (matériaux : bac acier ou fibre-ciment) capte le rayonnement solaire; une isolation, posée en sous-face de cette toiture à une distance bien précise (calculée), permet de canaliser l'air - aspiré par le ventilateur du séchoir - qui s'échauffe au contact du corps noir. Il suffit ensuite de créer des

- Informer, former les agriculteurs et leurs prescripteurs, et transférer le savoir-faire de l'association Solagro, porteur du projet, vers les techniciens et organismes agricoles.

L'enjeu du projet n'est pas négligeable car le développement du séchage des fourrages pourrait atteindre, selon EdF, la Confédération Générale de Roquefort et les industriels de la production fromagère, 400 installations dans les années à venir, sur la zone Roquefort. L'enjeu énergétique est donc de 1600 TEP par an. Positionner le solaire au début de ce développement offre donc la perspective d'une dissémination rapide et intégrée aux pratiques des acteurs locaux, qui par ailleurs ont besoin d'acquérir des compétences techniques sur le séchage des fourrages.

ouvertures et des gaines de circulation de l'air pour rejoindre le ventilateur.

Les caractéristiques techniques des séchoirs solaires réalisés sont :

Volume de stockage de foin sec :	2100 m ³
Quantité de foin sec :	210 tonnes
Débit moyen du ventilateur :	13.6 m ³ /s
Aire de séchage de la première coupe :	160 m ²
Surface du capteur solaire :	540 m ²

La répartition des installations solaires est :

- Répartition géographique :
 - 27 en région Midi-Pyrénées (19 dans le département de l'Aveyron et 8 dans le Tarn) ;
 - 1 en région Limousin (département Corrèze) ;
 - 1 en région Auvergne (département Cantal).
- Type d'exploitations :
 - 26 installations en brebis laitières pour le Roquefort, et 3 en vaches laitières (Aveyron, Cantal et Corrèze) ;
 - 14 installations avec cheptel de 350 brebis ou moins ; 12 installations avec cheptel de plus de 350 brebis, et 3 installations avec cheptel de environ 40 vaches laitières.
- La moitié des installations ont une capacité de stockage de fourrages (secs) de moins de 200 tonnes, la plupart des séchoirs étant en vrac (3 installations en balles rondes).

Le séchage solaire des fourrages concerne donc aussi bien les « petites » exploitations que les « grandes ».

3. Fonctionnement et résultats

La mise en marche des installations s'est étalée tout le long du programme avec un fort développement vers la fin :

- 6 installations en Mai 1994,
- 4 installations en Mai 1995,
- 10 installations en Mai 1996,
- et 9 installations en Décembre 1996.

D'autres projets ont été étudiés mais leur réalisation n'a pas pu être effectuée pendant la durée du programme.

Les performances énergétiques des capteurs solaires ont été contrôlées pour chaque installation lors de mesures effectuées sur sites et sur la campagne de séchage et comparées aux études individuelles de faisabilité.

Les mesures sur sites

Les campagnes de mesures ont été effectuées sur toutes les installations en fonctionnement, selon le protocole de mesures élaboré en début de programme. Ainsi, sur les 3 années, 45 journées de mesures sur site ont été effectuées, dans des conditions climatiques très variables allant du très beau temps à des journées pluvieuses où il est normalement déconseillé - car inutile - de ventiler le fourrage. Ces journées de mesures ont permis de quantifier le rendement du capteur solaire, l'élévation de température obtenue et le débit des ventilateurs.

Les principaux enseignements tirés de ces contrôles de performances sont :

- la quantification des **rendements des capteurs solaires** qui varient selon leurs caractéristiques, de **15% à 50%** en moyenne sur la durée du jour, et en particulier la vérification de l'importance de la coloration en noir de la toiture (qui permet de gagner 50% par rapport à une coloration du fibre-ciment naturelle - gris clair) ;
- les élévations de température obtenues en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques techniques, et leur corollaire la diminution de l'humidité relative de l'air de séchage. Les mesures effectuées sur site ont permis de montrer que certains capteurs, de par leur caractéristiques, permettent d'obtenir une **augmentation de température jusqu'à 25°C** ;
- la modification de la formule de calcul du rendement des capteurs solaires, qui maintenant prend en compte 4 paramètres principaux : la vitesse de l'air à l'intérieur du capteur, la vitesse du vent extérieur, la longueur du capteur et la coloration noire plus ou moins forte suivant les

techniques utilisées. Validées par les mesures sur site, cette formule est aujourd'hui très fiable pour prévoir les performances des capteurs solaires de ce type;

- la connaissance et l'analyse de la variabilité des données météorologiques locales, qui complétée par la connaissance des pratiques de séchage des agriculteurs, permet d'évaluer et de conseiller les nouveaux agriculteurs sur la conduite du séchage à envisager.

Il est aujourd'hui possible de prévoir avec une bonne précision la capacité de séchage de l'installation - par ailleurs toujours soumises aux conditions climatiques du moment - avec un capteur solaire, et par comparaison avec un fonctionnement à l'air ambiant ou au fioul.

Bilan de campagnes de séchage :

Les analyses de campagne de récolte et de séchage ont été faites chaque année (1994, 1995 et 1996). Les informations traitées et validées permettent de présenter un bilan sur deux campagnes, pour 8 installations.

L'énergie solaire moyenne récupérée sur ces 8 installations est de 4,1 TEP/an, avec toutefois des variations selon les installations, qui s'expliquent par la conduite du séchage et les conditions météorologiques locales. Certaines installations sont en effet situées dans des zones plus humides (centre Aveyron) où le fourrage sèche plus difficilement au champ. L'humidité moyenne initiale du fourrage avant séchage est plus élevée, ce qui se traduit par des durées de séchage plus longues. Ces agriculteurs ont aussi peu d'ancienneté dans la pratique du séchage et pratiquent une ventilation quasi-permanente (environ 1000 h/an).

Les autres installations, situées plus au Sud de la zone, peuvent mettre au séchage des fourrages moins humides, qui nécessitent donc moins d'heures de ventilation. Par ailleurs, ils ont souvent une ancienneté plus forte dans la pratique du séchage, qui se traduit par une ventilation limitée aux périodes nécessaires. Les durées de séchage étant plus faibles (environ 500 h/an), l'énergie solaire récupérée l'est aussi.

Ces éléments montrent que même au sein d'une région géographique limitée (rayon de 100 km), les performances globales de chacune des installations sont tributaires des conditions climatiques

annuelles, des caractéristiques des installations et de la pratique des exploitants. Cela ne remet pas en cause les intérêts du séchage solaire, mais montre la nécessité de l'adaptation au cas par cas de la conception des installations solaires et de

l'accompagnement des agriculteurs dans la gestion de leur séchoir.

4. Coûts des installations et viabilité économique

Le coût réel moyen des installations est de 83500 FF, soit 4.4% en plus du coût moyen prévisionnel. Les travaux d'isolation (en dehors de quelques modifications sur l'isolation existante pour la construction de la gaine de récupération par exemple) n'ont pas été nécessaires dans 7 cas. Dans tous les autres cas, l'isolation de la toiture a fait partie des travaux à réaliser, avec un coût de fourniture et de pose de 70 à 150 F/m². Le reste des travaux est constitué de la coloration en noir de la toiture et de la création des gaines de récupération de l'air chaud et de raccordement au ventilateur, ce qui représente des coûts de 20 000 F à 70 000 F suivant les caractéristiques dimensionnelles et la complexité des gaines.

L'analyse de la viabilité économique a été menée par comparaison à un fonctionnement avec générateur d'air chaud au fioul, dont l'investissement est de environ 15000 FF.

La viabilité économique a été appréciée à partir de 4 critères d'analyses : le temps de retour simple, le coût unitaire de l'énergie solaire, la différence avec le prix du fioul et la durée de vie de l'installation.

	Moyenne
Temps de retour simple	9.9 ans
Coût unitaire de l'énergie solaire	0.176 F / kWh
Différence avec le fioul	- 0.037 F / kWh
écart / prix fioul	- 17%
Durée de vie	15 ans

L'analyse globale des résultats montrent que le solaire est rentable, avec un temps de retour de 10 ans environ. Toutefois, une analyse plus fine des résultats montre trois cas de figure :

- 5 installations sont très rentables avec un temps de retour inférieur à 5 ans et un coût unitaire de l'énergie de moins de 0.10 F/kWh ;
- 15 installations ont une viabilité économique proche de celle du fioul avec un temps de retour de 7 à 12 ans et un coût unitaire de l'énergie solaire de 0.1 à 0.2 F/kWh ;
- 7 des 9 dernières installations ont un temps de retour compris entre la durée d'amortissement et la durée de vie des installations, les deux dernières ayant des temps de retour supérieures à la durée de vie estimée des installations.

Ces « niveaux » de rentabilité correspondent à des natures de travaux différents (surdimensionnement des capteurs solaires imposés par la taille de la bergerie, et / ou surcoûts unitaires des travaux par exemple) et à des performances de capteurs solaires inférieures à celles initialement prévues. Dans certains cas, des améliorations techniques sont envisageables. Dans d'autres cas, les quantités de fourrages mis en séchage lors des campagnes de mesures ont été très faibles à cause des conditions météorologiques.

5. Impacts environnementaux

Les principaux impacts environnementaux sont liés à l'économie d'énergie réalisée grâce aux capteurs solaires en substitution du fioul domestique, qui se traduit pour les 29 installations par une pollution atmosphérique évitée de 360 tonnes / an de CO₂, 720 kg / an de SO₂ et 250 kg / an de NO_x.

L'utilisation de l'énergie solaire permet de limiter les impacts indirects liés aux énergies fossiles : raffinerie, marée noire, ...

Les impacts sur le paysage sont plutôt favorables grâce à la finition des bâtiments et à la prise en compte des contraintes architecturales locales.

Ces impacts positifs s'ajoutent à ceux du séchage en grange des fourrages qui permettent la limitation des risques environnementaux sur les eaux, les sols et la biodiversité.

6. Enseignements et conclusions

Ce programme avait à l'origine un objectif quantitatif ambitieux : réaliser 30 installations de séchage solaire en 3,5 ans, alors que moins de 10 installations existaient sur la zone et avaient été réalisées sur une période de 10 ans.

Le choix de s'appuyer sur les distributeurs de matériels de séchage en grange des fourrages, initialement plus ou moins motivé par le solaire, s'est toutefois avéré efficace. Il a permis de nouer des relations étroites avec eux, de se faire reconnaître comme partenaire technique pour travailler ensemble au développement du séchage des fourrages. Des discussions avec la profession agricole ont été amorcées.

De plus, à l'initiative de Solagro, les agriculteurs ont créés l'association SEGRAFO qui pour objet l'échange, la promotion et le développement du séchage en grange des fourrages. Elle permet de passer d'une démarche individuelle à une démarche collective; elle est un lieu d'échanges et de confrontation d'informations techniques sur le séchage des fourrages, et elle constitue une prise en charge de la part des agriculteurs dans la promotion du séchage des fourrages.

La dissémination de la technologie semble bien engagée puisque la vitrine existe, les agriculteurs individuellement en font la promotion auprès de leurs collègues et amis, et collectivement grâce à SEGRAFO qui compte déjà environ 50 exploitations adhérentes (laitières pour l'instant) qui produisent, avec un signe officiel de qualité, du lait pour la fabrication du ROQUEFORT ou d'autres fromages (LAGUIOLE, ROCAMADOUR, ...) ou d'autres produits laitiers fermiers (agriculture biologique, fromages fermiers, ...). Cette dissémination est autant géographique qu'au niveau des types d'exploitations concernées.

Au niveau de l'activité économique, ce programme a généré un volume d'activités de 2,4MF pour les entreprises et artisans locaux, ce qui est positif sur le maintien d'emplois locaux et ruraux.

Enfin, ce programme fait l'objet d'une analyse de démarche de développement durable dans le cadre du programme européen PACTE. L'évaluation des critères d'efficacité économique, de finalité sociale et de précaution environnementale semble montrer que cette technologie contribue réellement à l'agriculture durable, respectueuse de l'environnement et économe en énergie.

Renseignements complémentaires :

Association SOLAGRO
Jean-Luc BOCHU
219, avenue de Muret
31300 TOULOUSE
FRANCE

Téléphone : (33) (0)5 - 61 59 56 16
Télécopie : (33) (0)5 - 61 59 98 41
E-mail : jean.luc.bochu@solagro.asso.fr