

Séchoir en grange 2015

Amélioration des performances: Différents équipements, différentes solutions

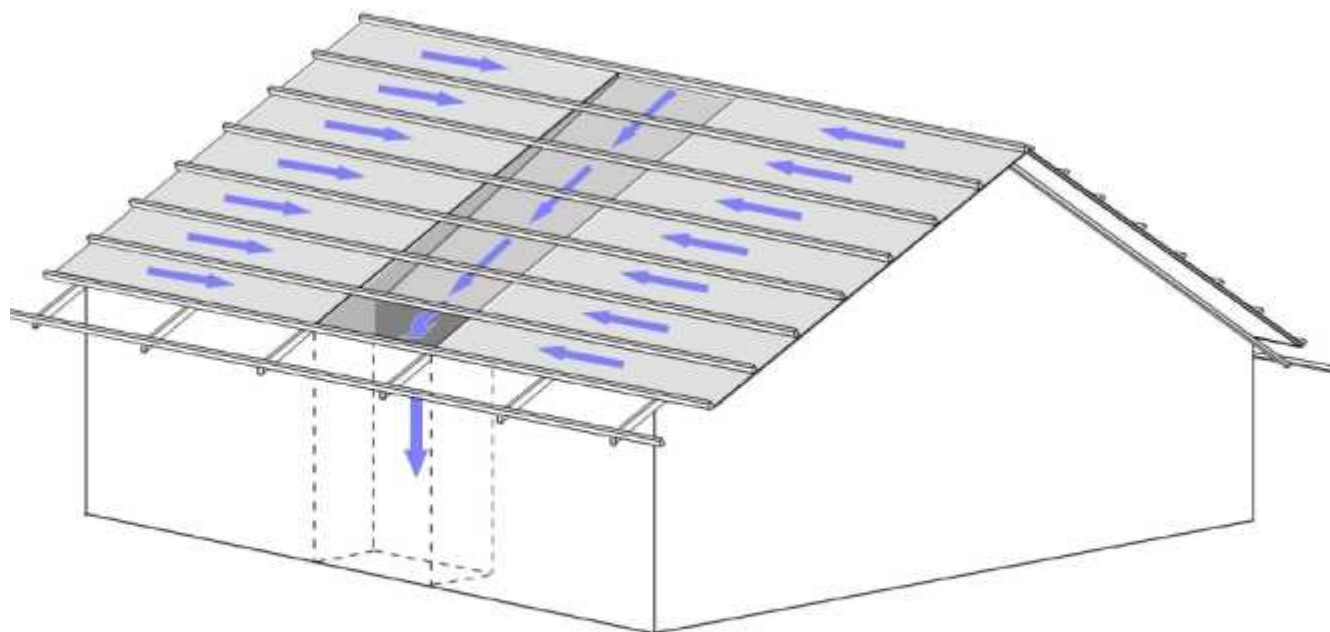


**Pierre Aeby, Sylvain Boéchat, Aloïs Cachelin, Yann Charrier,
Michel Roy, Stéphane Moura, Vincent Huwiler, Sébastien Grandjean**

1. Récupération de chaleur sous toiture



1. Récupération de chaleur sous toiture



Le «standard» : aspiration en façades, et canal collecteur vers le ventilateur

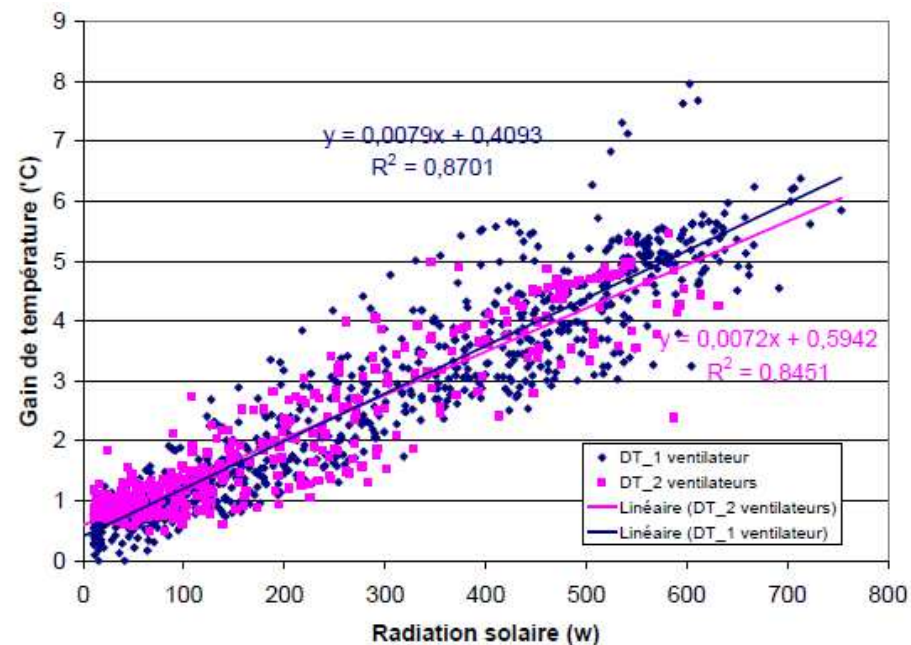
Source photo : Wirleitner 2013

1. Récupération de chaleur sous toiture

Échauffement moyen de +6 à +8 degrés C.

Tôle > fibrociment

Evaporation moyenne =
1.7 g eau/m³ air
contre 1.0 g en air
froid (Nydegger, 2011),



Source graphique : Tremblay et al., Québec, Installation et évaluation d'un système de récolte de foin sec en vrac, 2012

1. Récupération de chaleur sous toiture

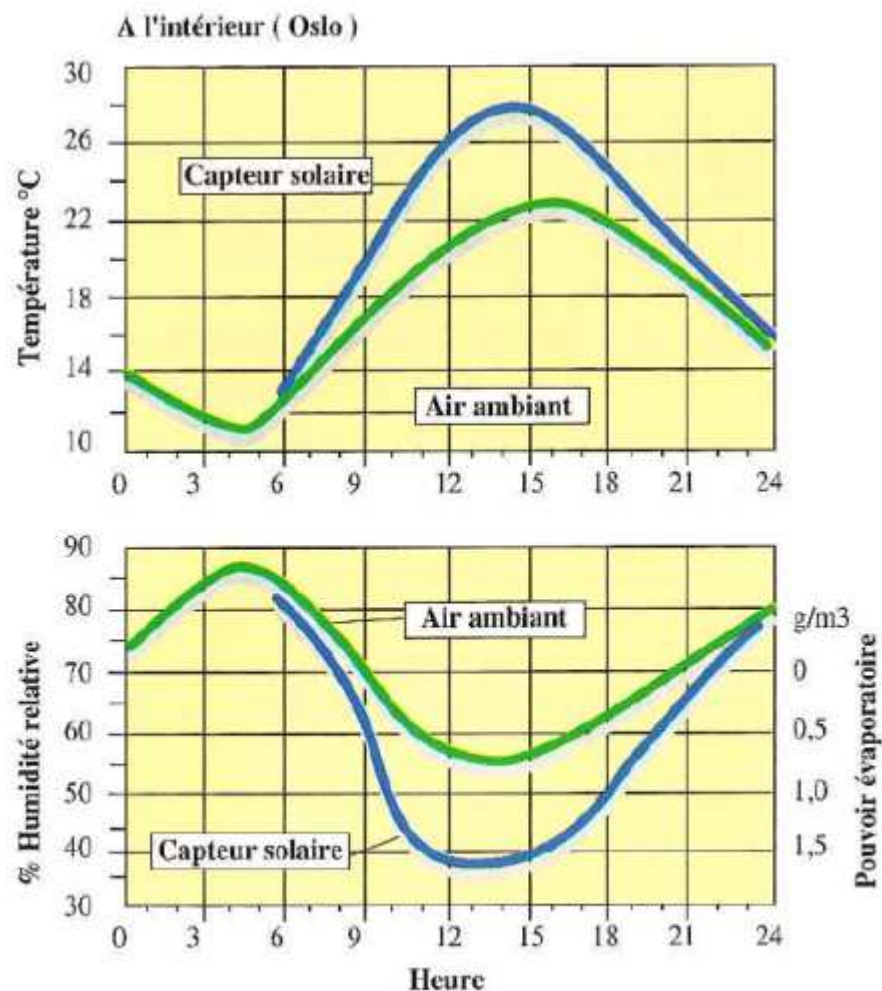


Figure 6 : Exemple du gain apporté en Norvège par le réchauffage solaire de l'air ambiant.

Source : Rhônalpénergie-environnement, Séchage solaire des produits agricoles en Europe, 1996

1. Récupération de chaleur sous toiture

Un récupérateur de 100m² capte environ 12'000 kWh par année, soit l'équivalent de 1'200 litres de mazout.

Rendement énergétique = 20% (à 30%) entre énergie solaire et énergie dans l'air échauffé, pour un toit de tôle.

= 200 à 350 W par m², sur un rayonnement moyen du soleil de 800 W Source : Nydegger, cours agridea 2011

1. Récupération de chaleur sous toiture

Section d'aspiration

= Facteur souvent limitant !

Section nécessaire = débit d'air
nécessaire / vitesse de l'air souhaitée
ex.: $11\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2 / 4\text{m}/\text{sec} = 2.75\text{m}^2$

Section disponible = H des pannes *
largeur des intervalles entre-pannes *
n intervalles
ex.: $10 \text{ intervalles} * 0.22\text{m} \text{ H} * 0.9\text{m} = 1.98\text{m}^2$

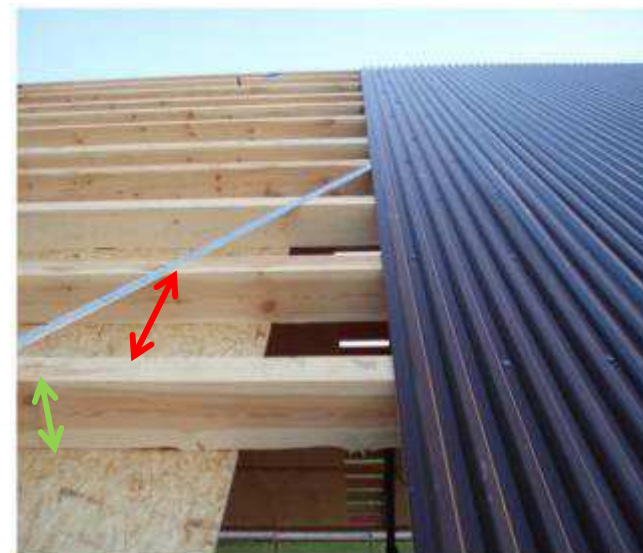
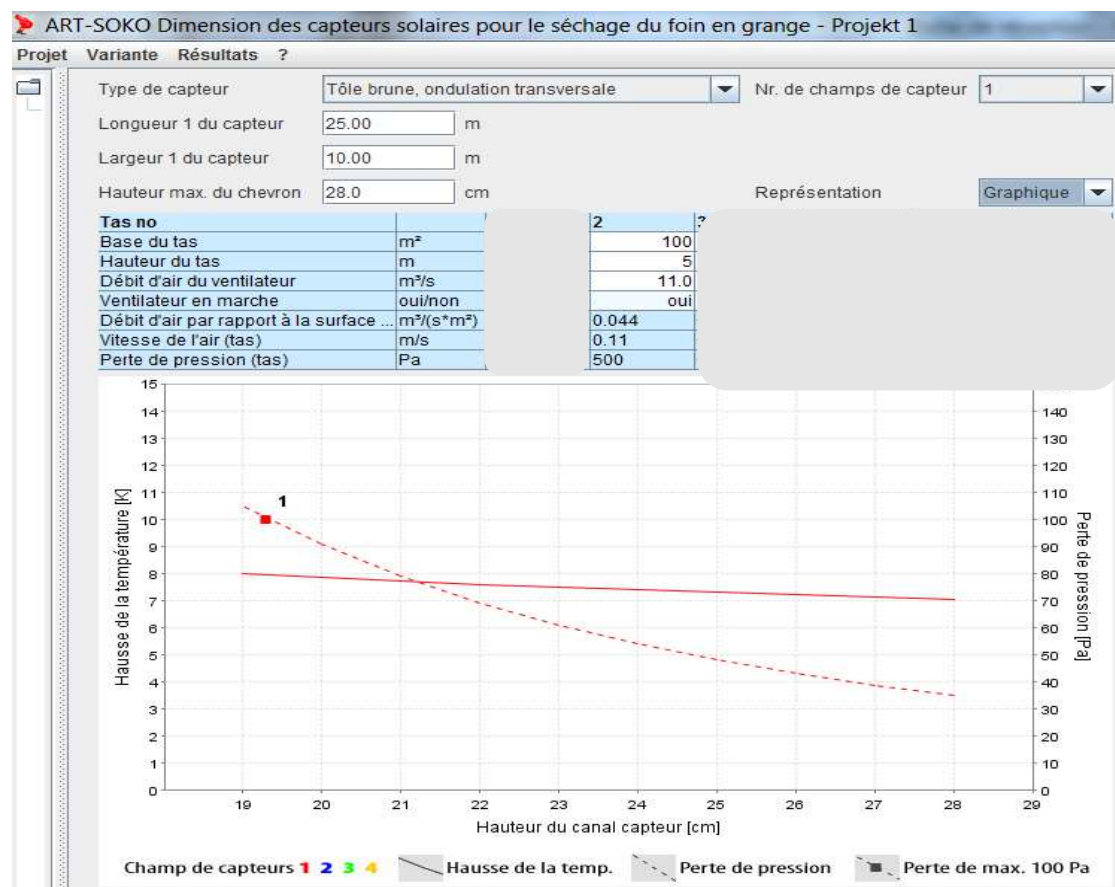


photo : Wirleitner 2013, Überlegungen bei der Planung einer Boxentrocknung

Effet de la hauteur des pannes (exemple)

Section d'aspiration nécessaire = 2.75m²



Source du tableau : SOKO

Utilisation relative du rayonnement solaire selon la pente et l'orientation du toit

(en % de l'exposition Sud avec une pente de 20°)

	10°	20°	30°	40°	50°
Plein sud	98%	100%	99%	96%	89%
Est-ouest	91%	88%	84%	79%	72%
Plein nord	85%	74%	62%	47%	32%

Le pan Nord peut aussi apporter de la chaleur !



Charge maximale sur un séchoir

Elle dépend de la masse d'eau dans la charge. En principe:

avec air froid : <50 litres d'eau/m² séchoir

avec air chaud : <60 litres d'eau/m² séchoir

Exemples : Charge de 2m de hauteur avec foin à 60%MS dans un séchoir avec récupérateur de chaleur = 66 l eau/m².

Charge de 3m de hauteur avec foin à 75%MS dans un séchoir avec récupérateur de chaleur = 60 l eau/m².

Source : Rapport ART 168



1. Récupération de chaleur sous toiture

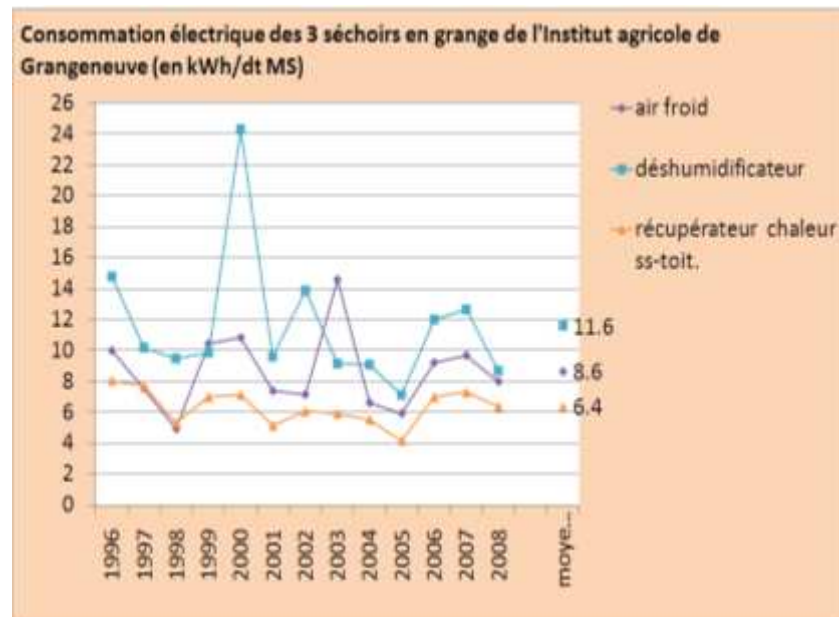
Investissements

Entre +15'000 et +20'000 francs supplémentaires

Ex.: surcoût d'une tôle simple + RCST OSB = +15 fr/m²

Tenir compte d'un besoin de puissance du ventilateur +15 à +25%

Consommation électrique plus faible : 35-50%



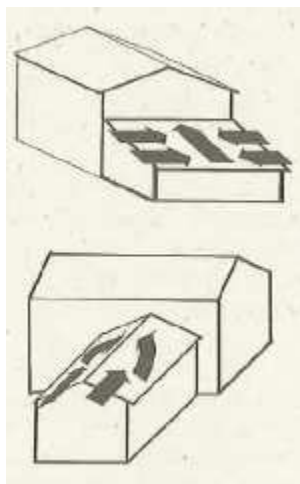
2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

Principe identique que sous toiture

Gain thermique moyen ~fibrociment

Puissance récupérée = jusqu'à 4 kWh par m² en été (pour 0.77 kWh de courant.

Source : Nydegger, cours agridea 2011



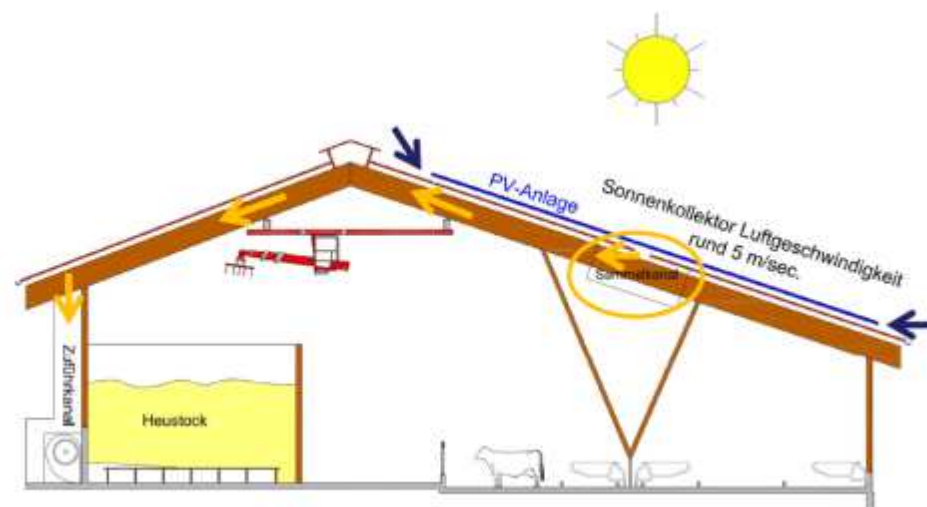
Source photo : internet

2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

... mais solutions différentes

Aspiration : sur façades ou sur base du toit

Canal collecteur : central, au milieu du toit ou sous le faîte



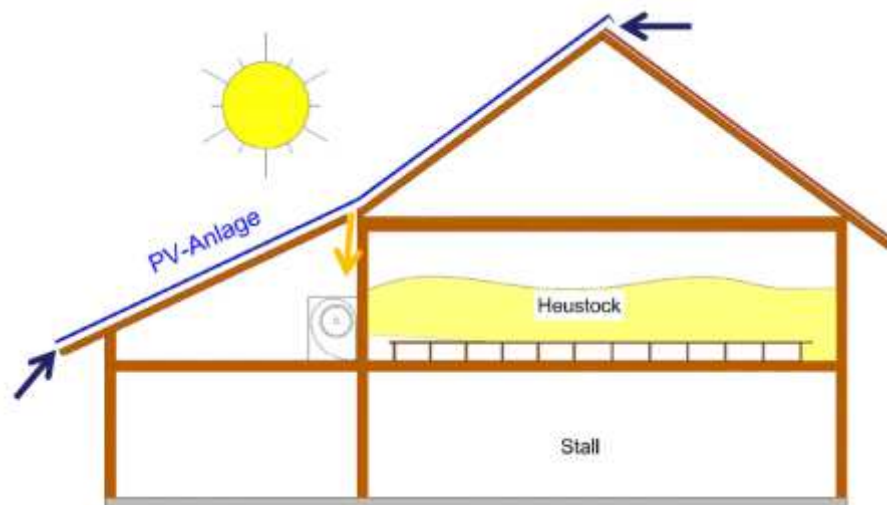
Source schéma : Walthert, thermische Nutzung von Photovoltaikanlagen

2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

... mais solutions différentes

Aspiration : sur façades ou sur base du toit

Canal collecteur : central, au milieu du toit ou sous le faîte



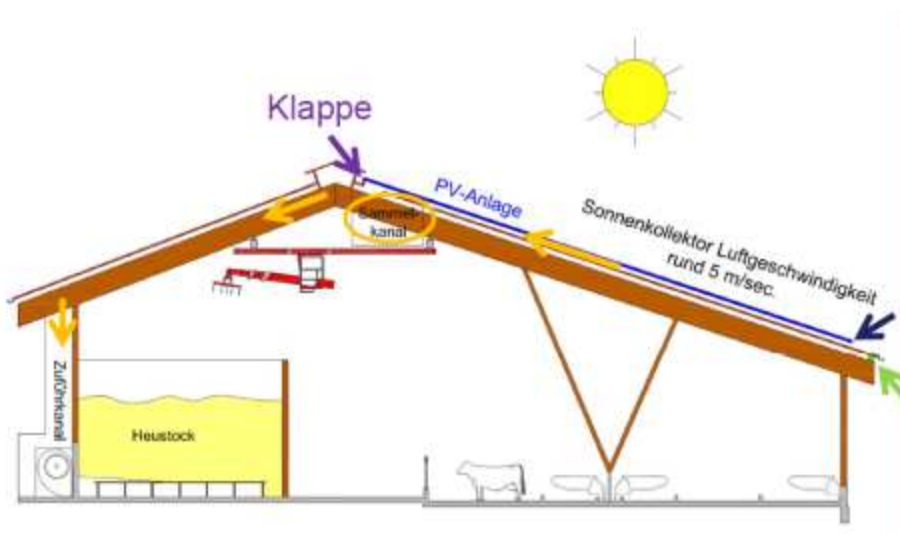
Source schéma : Walthert, thermische Nutzung von Photovoltaikanlagen

2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

... mais solutions différentes

Aspiration : sur façades ou sur base du toit

Canal collecteur : central, au milieu du toit ou sous le faîte



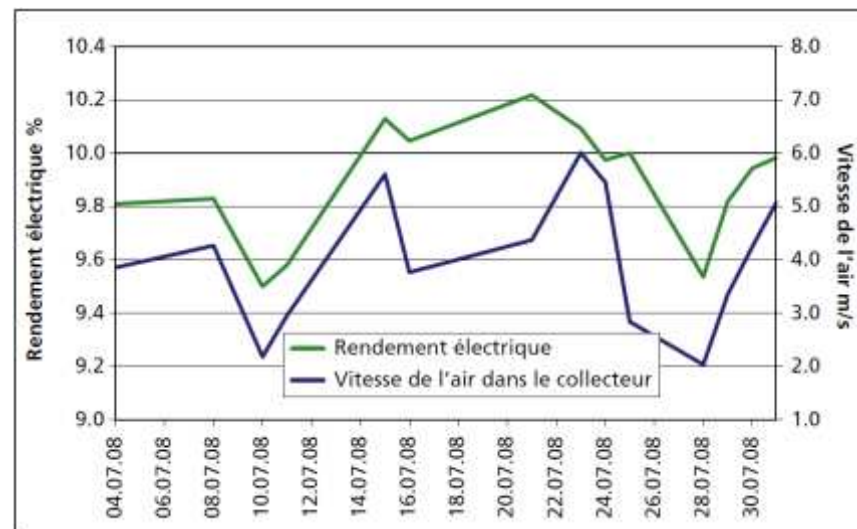
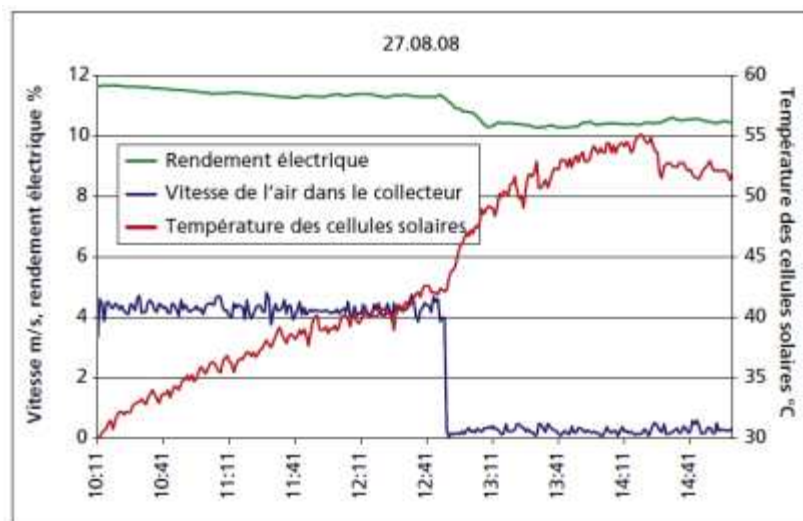
Source schéma : Walthert, thermische Nutzung von Photovoltaikanlagen



2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

Un rendement électrique supérieur si l'air circule

+0.3 à +0.5% par degré perdu Source : Nydegger, cours agridea 2011



Source des graphiques : van Caenegem et al., exploitation thermique des installations photovoltaïques intégrées dans la toiture, 2009

2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

Protection incendie

«Couverture continue, étanche à la poussière, indice incendie >4.2 , densité de 450 kg/m^3 et épaisseur minimale de 10mm »

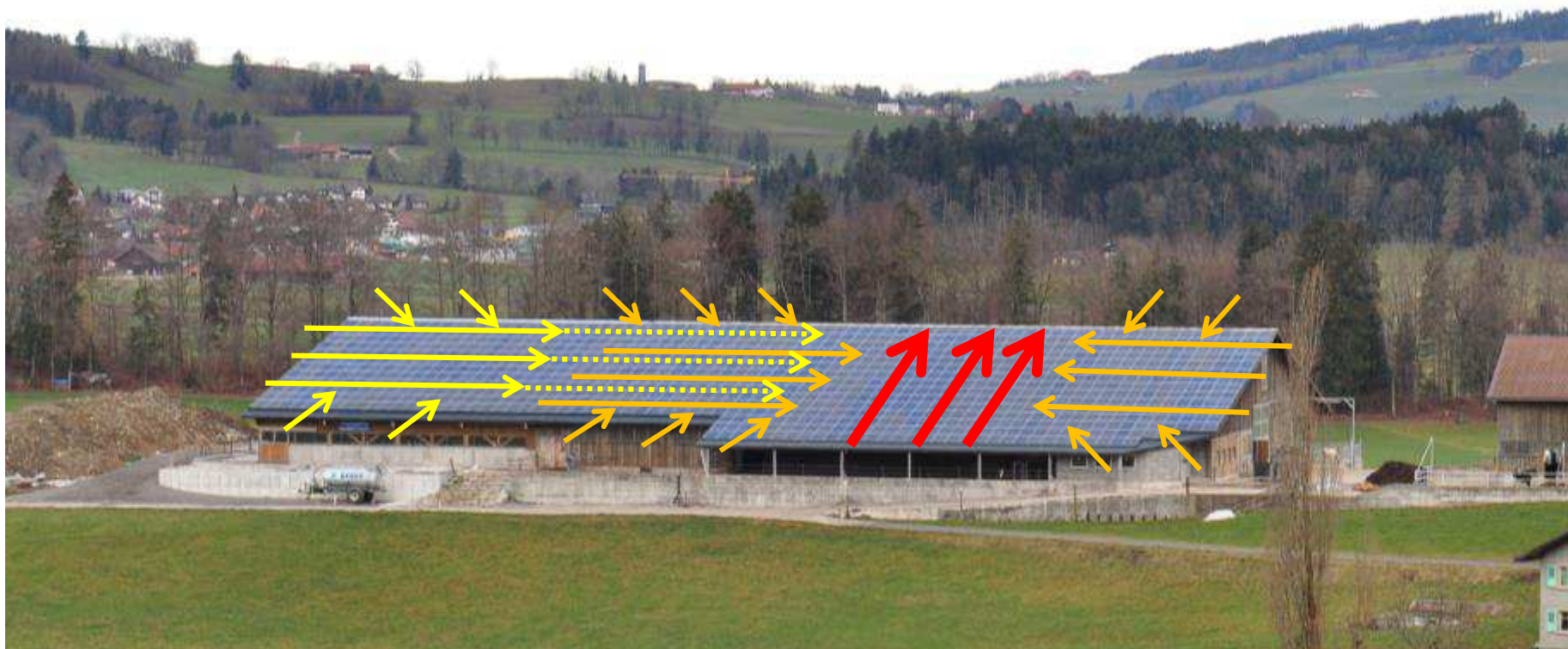
Source : inspection cantonale du feu, comm. Pers. 2014



2. Récupération de chaleur sous cellules photovoltaïques

Exemple exploitation Sébastien Grandjean, Epagny





Cellules photo-voltaïques en panneaux intégrés



Lattage sur l'ancienne toiture



Aspiration sur façade Nord

Échauffement 26m de longueur (5x5.2m)

Et 2 aspirations sur façade Sud

Échauffement 22m de longueur (4x5.5m) dans nouvelle aile
+ échauffement sur 20.8m (4x5.2m) avec toit fibrociment



**Canal collecteur comme
pour RCST
«classique»**

*En fait, c'est le même canal
que dans l'ancien
RCST.*

3. Brûleur à mazout

Bon marché à l'achat < 10'000 francs

Souple d'utilisation

- D'une cellule à une autre
- Aménageable dans ancien bâtiment
- Utilisable par jour de pluie ou de nuit

Efficace

- évaporation moyenne = 2.2 g eau/m³ air contre 1.7 g avec récupérateur et 1.0 avec air froid (Nydegger, 2011)



3. Brûleur à mazout

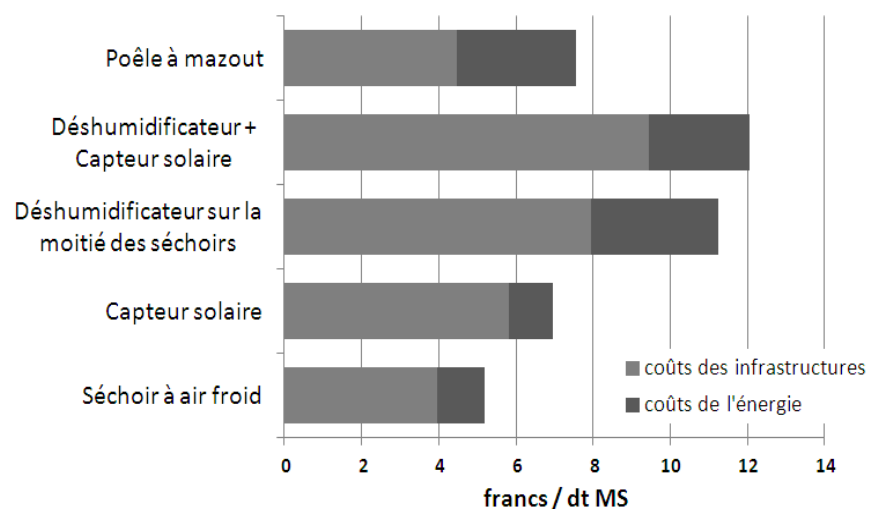
Mais consommation importante !

En moyenne, consommation de 10 à 15 litres de mazout par heure de chauffage (source : Rémi Pléau et al., ADEME 2011)

ou 10 (6-12) litres de mazout / m³ de foin (source : enquête Küssnacht, cours Grangeneuve 1974)

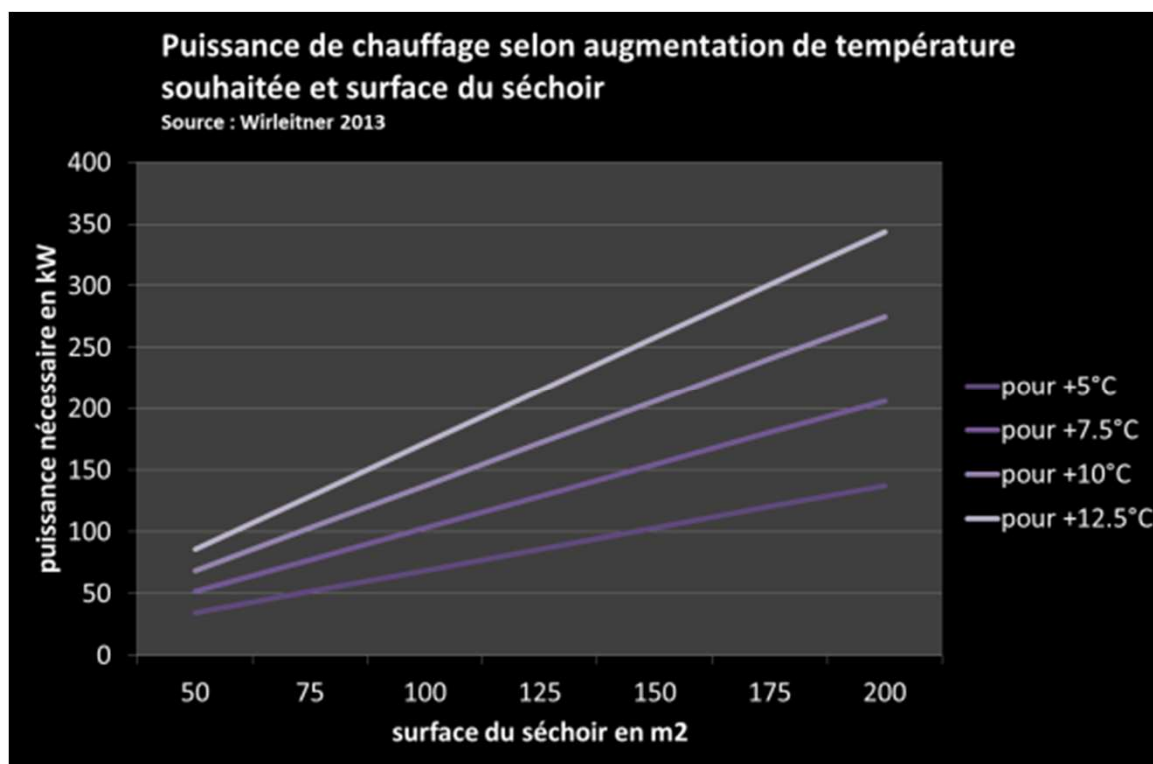
Coûts de différents systèmes de séchage en grange

(Nydegger, ART 2013)



Besoins en puissance élevés

Règle de base : puissance de 12.5 kW pour échauffer 10m³ d'air de +1 degré Celsius.



3. Brûleur à mazout

Attention à ne pas trop chauffer l'air

Cible = +10 degrés C, avec un maximum à +15 degrés C par rapport à l'air ambiant

- *Consommation élevée*
- *L'air chaud ne se mélange pas à l'air froid*
- *Risques de condensation le long des parois du séchoir, sur la couche supérieure du foin et/ou sous le toit.*
- *Diminution de la digestibilité des protéines si $>45^{\circ}$ C*

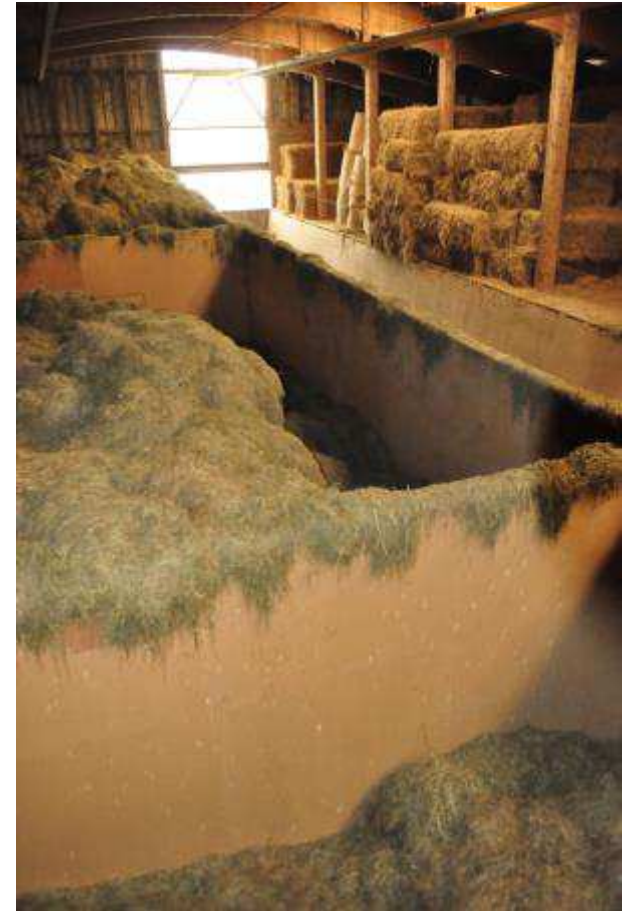
3. Brûleur à mazout

Exemple exploitation Stéphane et Jacques Moura, Grandvillard



Séchoir en grange

3 cellules de 9m x 9.5m chacun



Ventilateurs

Wild A7 11 kW

Zumstein R12 11 kW



Description brûleur

1 unité de 110 kW, 95'000 Kcalories/heure

Mobile

Consommation mazout = 1'000 litres/an



Discussions

- Consommation
- Aspiration depuis un seul côté!
- Aspiration gaz d'échappement ?

4. Brûleur à bois

Deux options principales

1. Poêle à bois avec chaleur directe
2. Brûleur à bois avec production d'eau chaude et échangeur de chaleur



Poêle à bois avec chaleur directe

- Pas cher à l'achat (60kW pour 80m²) : <10'000 Fr
- Travail journalier
- 1 m³ bois/jour pour 80m²
- Gain thermique: +8 à +10° C



Brûleur à bois avec eau chaude et échangeur de chaleur

- Besoins en puissance très élevée : <

Rappel : 12.5 kW pour échauffer 10m³ d'air de +1 degré Celsius.

- Coûts très élevés > 30'000 francs
- Amortissements si autres besoins de chauffage



5. Récupération de chaleur de biogaz

Exemple exploitation Michel Roy, Porrentruy



Description

Biogaz mis en route fin mars 2008.

Couplage force chaleur de 190 kW électriques et 210 kW thermiques.

Mise en service d'un deuxième moteur de même puissance en février 2012.

Echangeur et ventilateur



Echangeur de chaleur de 401 kW
Ventilateur Zumstein RLZ 130, moteur de 22 kW (30 CV)

Séchoir et sorties



Séchoir en grange dans un silo couloir de 25 m de long et 5.5 m de large ,hauteur de 5m = environ 680 m³.

Bennes et grillage



Pose d'un deuxième canal pour séchage de copeaux et de céréales .

Deux bennes peuvent sécher ensemble .

Accouplement et variateur



6. Récupération de chaleur avec génératrice

La génératrice fournit le courant électrique pour le ventilateur (ampérage insuffisant sur le réseau) et la chaleur pour réchauffer l'air (caisson fermé).



7. Déshumidificateur

- ▶ **Vitesse de l'air** $< 4 \text{ m/sec}$ dans le condenseur
- ▶ **Relation puissances** déshumidificateur/ventilateur
au moins 0,75/1
jusqu'à 2,5/1
- ▶ **Conditions de travail** : mauvaises si températures basses
ou si humidité relative de l'air $< 40 \%$
- ▶ **Éventuelle autre source de chaleur** : placer après le
déshumidificateur



Source : Wirleitner 2013

7. Déshumidificateur

- ▶ **Condensation** : 1 à 4 g d'eau / m³ d'air
- ▶ **Échauffement** : +1 à +8° C
- ▶ C'est le cumul de ces 2 facteurs qui démultiplient les capacités



Combinaison déshumidificateur /
récupérateur chaleur sous toiture

Ca vaut la peine ?

Comparaison de qualité du foin – Essai Gumpenstein 2010-12

Source : Resch, 2014, Auswirkungen unterschiedlicher Trockungsverfahren auf die Raufutterqualität

	<i>n</i>	MA	CB	Sucres	Cendres	carotène
Séchage au sol	66	140.5 a	233.1	134.6	90.3	71.5 a
Ventilation à air froid	66	142.8 ab	234.2	139.4	89.5	97.1 b
Déshumidificateur	66	145.4 b	232.5	137.1	59.9	96.4 b
	<i>n</i>	DMO	NEL	Odeur	Couleur	Structure
Séchage au sol	66	67.8 a	5.55 a	2.4 a	3.4 a	6.3 a
Ventilation à air froid	66	69.2 b	5.71 b	3.4 b	4.5 b	6.8 b
Déshumidificateur	66	69.8 b	5.77 b	2.8 ab	4.2 b	6.9 b

NB1: qq problèmes techniques avec déshumidificateur.

NB2: Interactions élevées entre mode de conservation et année ou n° de coupe.

7. Déshumidificateur

Exemple exploitation Vincent Huwiler, Semsales



Altitude

- Moyenne à 800m
- Région assez froide et tardive

Surface

- SAU : 44 ha prairies (y c. fanage Blonay+St-Légier à 1200 m)
(dont 5 ha SCE + 39 ha en prairies intensives)

Effectif animaux (au 31.01.2015)

- 35 vaches
- 9 génisses de 1 à 2 ans
- 9 génisses de 3 mois à 1 an
- 3 croisements race à viandes

Niveau de production (selon fédération Holstein 2014)

28 vaches : 9053kg de lait à 3.73 de mg et 3.03 de protéine

NRG : plan d'alimentation – J. et V. Huwiler

Tél. : ...

Portable : 078/640 46 15



La ration de base

Corrections de l'ingestion :

- Multipares : 110% + 1.2 kg
- Primipares : 106% + 0.8 kg

Libellé		Qté. MS	Qté. MB à vol.	Prop.	MS	CB	NEL	PAI	PAIN	MA	Ca	P	Mg	
Foin		9.95	10.82	☒	50	92.0	269	5.7	82	77	121	8.8	3.2	2.5
Regain		9.95	10.82	☒	50	92.0	240	5.6	91	92	145	9.3	4.0	2.9
Apport total		19.91	21.64			5 067	1 125	1 722	1 682	2 648	140.4	71.7	53.8	
Couverture							85 %	91 %	89 %		112 %	85 %	183 %	
Concentration						255	5.7	87	85	133	7.1	3.6	2.7	
Lait Permis							23.5	26.1	25.3		35.1	21.7	78.0	

Séchoir en grange (actuel)

1 cellule de 47m² (4.5m x 10.5m) * 6m H
= 282m³

1 cellule de 136m² (13m x 10.5m) * 6m H
= 819m³

1 seul ventilateur de 9.5 kW



Déshumidificateur

Puissance de 9 kW

Rapport DZU/ventilo = ~1/1



Avantages

Qualité de fourrage exceptionnelle

Pas lié à la météo du lendemain

Fonctionne la nuit

Permet de rentrer du fourrage relativement humide

Fourrage très appétant

Réduction du temps de ventilation

Inconvénients

Coût d'achat et coûts d'utilisation

Débit du chantier lié à la capacité du séchoir

Limite de fonctionnement en automne avec températures basses

Système actuel sous-dimensionné (travail avec un chauffage à mazout pour dépanner)

Agrandissement avec nouvelle ferme installation d'un nouveau déshumidificateur

Engrangement

Hauteur de coupe 10 cm

Fourrage pirouetté 2x :

- 1x pour défaire les lignes
- 1x pour le retourner.
- 1x de plus si c'est début des foins

Andainage assez vite lors de la récolte

= dernier effet « coup de pirouette »

Déshumidificateur va sécher le dernier % d'humidité

Grande importance à la répartition du fourrage dans le séchoir !

Contrôle de la pression d'air

Cet appareil indique le degré de séchage

Indique si une partie du tas est plus sec ou que l'air passe entre des parties humides.

Indique aussi si filtre est sale

Et dernier moyen de contrôle = appréciation personnelle sur le tas.



8. Chauffage du sol : musique d'avenir ?

Exemple séchoir 200m²

Récupérateur de chaleur sous toiture

Chaudière à bois de 60 kW

Accumulateur de 3'500 litres d'eau à 90° C

Raccordement de 10mètres

Chauffage au sol de 2'500 mètres de tuyau dans le béton.

Source : Nydegger et Boéchat, cours agridea 2011



8. Chauffage du sol

Ou refroidissement au sol ?

Refroidissement de 1 degré Celsius par 10 mètres de béton.

Source : Nydegger, comm. pers. 2013

