

Capteurs solaires

pour le séchage en grange

Energies renouvelables



Capteurs solaires pour le séchage en grange

Le séchage du foin en grange à l'aide de capteurs solaires: une solution intéressante pour l'agriculture.

Il existe en Suisse un grand nombre d'installations de séchage du foin en grange fonctionnant à l'aide de ventilateurs avec ou sans chauffage d'appoint. Le nombre d'exploitations qui s'équipent de telles installations augmente encore chaque année.

Pour remplacer ou compléter un chauffage d'appoint vorace en énergie, l'option des capteurs solaires intégrés à la toiture du bâtiment présente des avantages indéniables, tant du point de vue énergétique qu'économique.

La brochure «Capteurs solaires pour le séchage en grange» élaborée dans le cadre du programme PACER (Programme d'action énergies renouvelables) de l'Office fédéral des questions conjoncturelles traite de ce problème.

Les bases théoriques et pratiques pour le dimensionnement, la planification et la construction de ces installations y sont présentées.

La brochure est complétée par un logiciel de dimensionnement décrit en annexe et qui est un outil de calcul utile à tous ceux qui désirent dimensionner les capteurs solaires et le système de ventilation nécessaire pour le séchage du foin.

Cet ouvrage assorti du logiciel est destiné aux personnes concernées par la planification de constructions agricoles, soit les architectes, ingénieurs, conseillers et enseignants, ainsi qu'au personnel des services d'améliorations foncières.

ISBN 3-905232-25-1

Edition originale: ISBN 3-905232-01-4

1993, 60 pages

N° de commande 724.221.1 f

Capteurs solaires pour le séchage en grange

Conception, rédaction et réalisation de l'édition originale allemande

- Jürg Baumgartner, FAT, 8356 Tänikon
- Franz Nydegger, FAT, 8356 Tänikon

Collaborateur

- Josef Eugster, Holzbau, 8376 Fischingen

Logiciel de dimensionnement (IBM-PC)

- Jürg Baumgartner, FAT, 8356 Tänikon (Concept et programmation)

Rédaction

Kurt Egger, INFOENERGIE, 8356 Tänikon

Adaptation de l'édition française

- J.-M. Chapallaz, ingénieur EPFL, 1450 Ste-Croix
- P.-A. Mouchet, agro-ingénieur ETS, 1040 Echallens

Correcteur

Jean-Claude Scheder, Bercher

Mise en page et photocomposition

Consortium DAC/CITY COMP SA, Lausanne et Morges

Coordination générale

Jean Graf, EPFL-DA-ITB-LESO

Associations de soutien

ASETA Association suisse pour l'équipement technique de l'agriculture

SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes

SRVA Service romand de vulgarisation agricole

UTS Union technique suisse

ISBN 3-905232-25-1

Edition originale: ISBN 3-905232-01-4

Copyright © 1993 Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, avril 1993.

Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source.

Diffusion: Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie» EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne (N° de commande 724.221.1f).

Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le programme d'action «Construction et Energie» se compose des trois programmes d'impulsions suivants:

PI-BAT – entretien et rénovation des constructions
RAVEL – utilisation rationnelle de l'électricité
PACER – énergies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Ils doivent favoriser une croissance économique qualitative et, par là, conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Jusqu'ici, si l'on fait abstraction du potentiel hydro-électrique, la contribution des énergies renouvelables à notre bilan énergétique est négligeable. Aussi le programme PACER a-t-il été mis sur pied afin de remédier à cette situation. Dans ce but le programme cherche:

- à favoriser les applications dont le rapport prix/performance est le plus intéressant;
- à apporter les connaissances nécessaires aux ingénieurs, aux architectes et aux installateurs;
- à proposer une approche économique nouvelle qui prenne en compte les coûts externes;
- à informer les autorités, ainsi que les maîtres de l'ouvrage.

Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Le programme PACER se consacre, en priorité, à la formation continue et à l'information. Le transfert de connaissances est basé sur les besoins de la pratique. Il s'appuie essentiellement sur des publications, des cours et d'autres manifestations. Les ingénieurs, architectes, installateurs, ainsi que les représentants de certaines branches spécialisées, en constituent le public cible. La diffusion plus large d'informations plus générales est également un élément important du programme. Elle vise les maîtres de l'ouvrage, les architectes, les ingénieurs et les autorités.

Le bulletin «Construction et Energie», qui paraît trois fois par an fournit tous les détails sur ces activités. Ce bulletin peut être obtenu gratuitement sur simple demande. Chaque participant à un cours ou à une autre manifestation du programme reçoit une publication spécialement élaborée. Toutes ces publica-

tions peuvent également être obtenues en s'adressant directement à la Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie» EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux écoles ou aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles intéressées.

Ce sont également les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités. Pour la préparation de ces activités une direction de programme a été mise en place; elle se compose du Dr Jean-Bernard GAY, du Dr Charles FILLEUX, de M. Jean GRAF, du Dr Arthur WELLINGER ainsi que de Mme Irène WUILLEMIN et de M. Eric MOSIMANN de l'OFQC. La préparation des différentes activités se fait au travers de groupes de travail, responsables du contenu des matières abordées, du maintien des délais et des budgets.

Documentation

La brochure «Capteurs solaires pour le séchage en grange» traite le problème du séchage du foin en grange à l'aide de capteurs solaires intégrés à la toiture du bâtiment.

Les bases théoriques et pratiques pour le dimensionnement, la planification et la construction de telles installations y sont présentées.

La brochure est complétée par un logiciel de dimensionnement décrit en annexe et qui est un outil de calcul utile à tous ceux qui désirent dimensionner les capteurs solaires et le système de ventilation nécessaire pour le séchage du foin.

Cet ouvrage assorti du logiciel est destiné aux personnes concernées par la planification de constructions agricoles, soit les architectes, ingénieurs, conseillers et enseignants, ainsi qu'au personnel des services d'améliorations foncières.

Ce document a fait l'objet d'une procédure de consultation, il a également été soumis à l'appréciation des participants au premier cours pilote, ce qui a permis aux auteurs d'effectuer les corrections qu'ils jugeaient nécessaires. Ils assurent ainsi l'entière responsabilité de leurs textes. Des améliorations sont encore possibles et des suggestions éventuelles peuvent être adressées soit au directeur du cours, soit directement auprès de l'Office fédéral des questions conjoncturelles.

Enfin, nous ne voudrions pas conclure cet avant-propos sans remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette publication.

Dr Heinz Kneubühler
Directeur suppléant de l'Office fédéral
des questions conjoncturelles

Table des matières

1.	Séchage en grange	7
1.1	Généralités	9
1.2	Planification d'une installation de séchage en grange	10
1.3	Choix du ventilateur	15
1.4	Autres critères de choix	19

2.	Données de base pour les capteurs solaires	21
2.1	Energie solaire disponible	23
2.2	Principe de fonctionnement	23
2.3	Capteur solaire avec couverture translucide	24
2.4	Capteur solaire avec couverture foncée	25
2.5	Paramètres principaux d'un capteur solaire	27

3.	Planification d'une installation à capteur solaire	29
3.1	Déroulement de la planification	31
3.2	Surface de toit utilisable et exposition	32
3.3	Conduite idéale de l'air	34
3.4	Différentes longueurs des canaux d'aspiration	37
3.5	Calcul de la hauteur du canal à l'aide d'un logiciel de dimensionnement utilisable sur PC	37
3.6	Canal collecteur	38
3.7	Canal de transport de l'air	38

4.	Construction d'installations avec capteur solaire	39
4.1	Capteurs solaires	41
4.2	Canal collecteur	43
4.3	Canal d'air	46
4.4	Caisson du ventilateur	47
4.5	Formes spéciales	48

5.	Coûts d'investissement	49
1.	Couverture du capteur	51
2.	Sous-couverture du capteur	51
3.	Canal collecteur	52

	Bibliographie	53
--	---------------	----

	Annexe	55
--	--------	----

	Publications du programme d'action PACER – Energies renouvelables	59
--	---	----

1. Séchage en grange

1.1	Généralités	9
-----	-------------	---

1.2	Planification d'une installation de séchage en grange	10
1.2.1	Surface de séchage	10
1.2.2	Calcul du besoin en foin	11
1.2.3	Poids par rapport au volume	11
1.2.4	Volume de stockage	12
1.2.5	Surface de stockage	12
1.2.6	Tas de foin et de regain séparés?	13
1.2.7	Effet de masse	13

1.3	Choix du ventilateur	15
1.3.1	Débit d'air QW	15
1.3.2	Pression d'air pW	15
1.3.3	Choix du ventilateur	16
1.3.4	Contrôle du débit minimum d'air QK	16
1.3.5	Pression d'air au débit minimum pK	16
1.3.6	Réserve de pression disponible pD	16
1.3.7	Puissance électrique Nel	18
1.3.8	Rendement Eta	18
1.3.9	Bruit	19

1.4	Autres critères de choix	19
-----	--------------------------	----

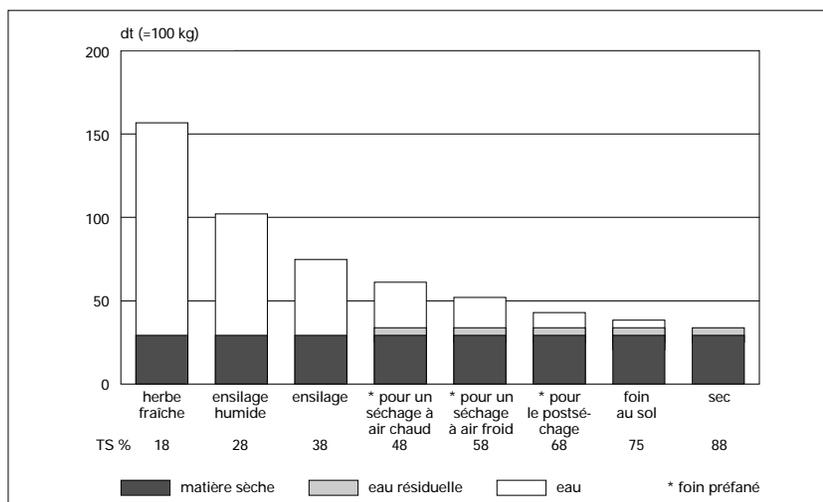
1. Le séchage en grange

1.1 Généralités

Le nombre d'exploitations équipées d'une installation de séchage en grange augmente encore chaque année. Selon le dernier recensement des exploitations agricoles de 1990, 44 000 agriculteurs possèdent aujourd'hui une ou plusieurs installations de séchage en grange.

Un tiers des installations a 20 ans ou plus. Parmi celles-ci on en compte encore un nombre important dotées de ventilateurs axiaux. Une coupe plus précoce du fourrage, un engrangement avec une humidité plus importante ainsi que l'installation d'un capteur solaire en toiture exigent une pression plus importante sous le tas et le remplacement des ventilateurs axiaux par des ventilateurs radiaux fournissant une pression plus stable. Le premier chapitre traite de la sélection d'un ventilateur adapté parmi la liste des machines mesurées par la FAT.

Un hectare (ha) de foin fraîchement fauché produit environ 30 décitonnes (dt, 1 dt = 100 kg) de matière sèche (MS). Par exemple ce foin, avec 18% de MS contient encore 136,7 dt d'eau. Lors de la fenaison, il faut faire descendre la quantité d'eau contenue dans le fourrage à 4,1 dt, pour que celui-ci, avec 88% de MS, se conserve. Une installation de séchage en grange d'une surface de base de 100 m² ne permet pas d'éliminer cette quantité d'eau sans altération du fourrage. Cela n'est possible qu'avec des moyens techniques importants, par exemple avec une installation de déshydratation, qui ne demande que trois à quatre heures pour l'évaporation de cette quantité d'eau. Une telle capacité de séchage exige des besoins en énergie importants (environ 1300 litres de mazout et 400 kWh électriques pour 30 dt de MS).



Selon le degré de fanage de l'herbe, une part importante d'eau s'évapore encore sur le tas de foin.

Le foin fait en un jour (avec un taux de matière sèche équivalent à l'ensilage) est une exception et n'entre en considération que pour des quantités de fourrage réduites.

Du foin fauché au sol perd par son propre échauffement un peu d'eau par transpiration.

Le système le meilleur marché pour le préséchage est encore et toujours le séchage sur champ au moyen de la chaleur du soleil.

Selon le degré de préséchage, il reste encore une importante quantité d'eau à évaporer au moyen de l'installation de séchage en grange.

Le graphique montre qu'avec le séchage à air chaud (capteur solaire, pompe à chaleur ou chauffage à air chaud à mazout) il faut éliminer trois fois plus d'eau qu'avec le procédé dit de postséchage. Ce dernier nécessite cependant plus de deux jours de beau temps pour le préséchage sur champ, ce qui représente un risque important face aux conditions météorologiques et davantage de pertes.

Un système de ventilation par le haut, une tour à foin ou un système par aspiration ne sont adaptés qu'à un postséchage, et pas pour le séchage du foin avec une teneur de moins de 70% de MS. On ne peut pas utiliser de telles installations avec des capteurs solaires.

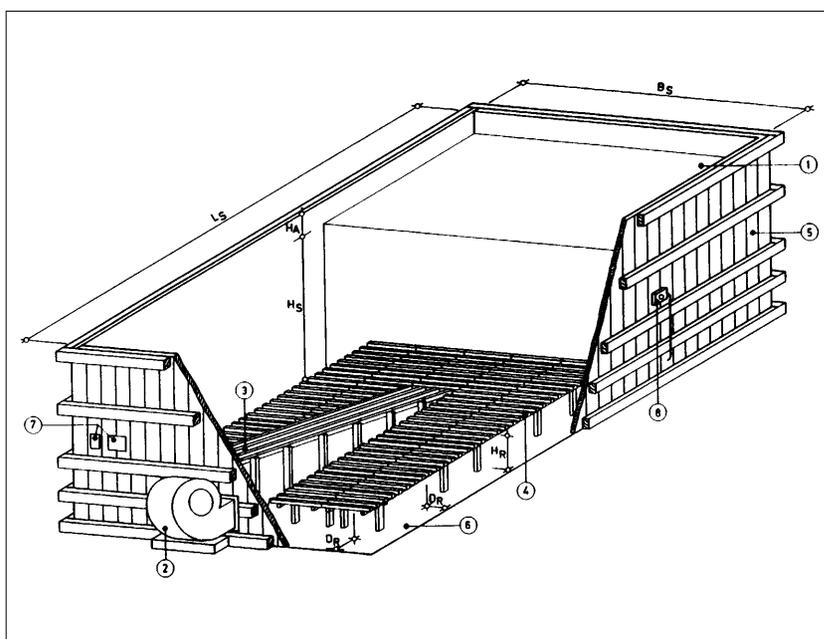
1.2 Planification d'une installation de séchage en grange

1.2.1 Surface de séchage

Installation de séchage par le bas

- 1 tas de foin
- 2 ventilateur
- 3 canal de ventilation
- 4 claies
- 5 parois
- 6 sol
- 7 système de commande
- 8 contrôle de pression

- LS longueur du tas
- BS largeur du tas
- HS hauteur du tas
- HA hauteur de déchargement
- HR hauteur des claies
- DR distance entre les claies et la paroi



Une installation de séchage en grange par le bas, avec une surface de claies telles que présentées dans le dessin est de règle dans les nouvelles constructions ou les rénovations.

Les installations avec un canal principal et des canaux secondaires ne se font plus, car le tas de foin sèche irrégulièrement.

Comment planifier une installation de séchage en grange?

1.2.2 Calcul du besoin en foin

Le besoin en foin est lié:

- au nombre et au type d'animaux consommant du fourrage sec;
- à la durée de la période d'affouragement d'hiver (150 – 210 jours);
- à la part du foin en kg de MS dans la ration (en tenant compte de l'ensilage, de la farine d'herbe, des fourrages concentrés, des betteraves fourragères, etc.);
- aux achats ou ventes réguliers de foin.

La table ci-contre présente un exemple de calcul.

Une deuxième variante de calcul consiste à estimer les quantités de foin produites sur les différentes surfaces.

1.2.3 Poids par rapport au volume

Selon une étude de la FAT, le poids au m³ varie de 51 à 129 kg MS, soit dans un rapport de 1 à 2,5. Il est donc impossible de donner, pour l'ensemble de la Suisse, une norme valable pour tous les tas de foin.

Les nouvelles valeurs montrent que le stade de maturation à la récolte, dont dépend la teneur en cellulose du foin, influencent le poids au m³. La hauteur du tas joue également un rôle.

Les facteurs suivants augmentent le poids au m³:

- grande épaisseur de foin lors de l'engrangement;
- faible teneur en MS (engrangement humide);
- fourrage fin et jeune;
- fourrage préfané coupé court;
- fourrage avec beaucoup de trèfle;
- la préparation du fourrage sur le champ, par exemple par le passage d'une «conditionneuse»;
- une certaine compression du fourrage dans l'autochargeuse.

L'engrangement à l'aide d'un pont roulant muni d'une griffe réduit jusqu'à 20% le poids au m³.

Calcul des besoins en foin		
16 vaches à 4'800 kg lait, 16 kg MS =	256 kg	MS
4 génisses de 6 à 12 mois, 4,5 kg MS =	18 kg	MS
5 génisses 13 à 18 mois, 6,5 kg MS =	32,5 kg	MS
3 génisses 19 à 24 mois, 8,5 kg MS =	25,5 kg	MS
Total par jour	332 kg	MS
Besoins durant 200 jours	66'400 kg	MS
dont 1/3 de foin	22'130 kg	MS
15 % de réserve	3'320 kg	
Besoins pour la période d'hiver	25'450 kg	MS
Poids du foin	28'700 kg	de foin
Vente de foin	10'900 kg	de foin
Total	39'600 kg	de foin

Poids du foin avec 88% de MS, exprimé en kg/m ³		
Stade de maturation à la récolte	hauteur du tas	
	3 m	6 m
2 – 3; précoce à moyen	90	100
3 – 4; moyen	80	90
4 – 5; moyen à tardif	70	80

Calcul du volume du tas	
Volume du tas en m ³ =	$\frac{\text{Quantité totale de foin en kg}}{\text{Densité en kg/m}^3}$
Exemple:	$\frac{39'600 \text{ kg}}{80 \text{ kg/m}^3} = 495 \text{ m}^3$

Calcul de la hauteur du tas	
Hauteur du tas HS en m =	$\frac{\text{Volume du tas en m}^3}{\text{Surface de base en m}^2}$
Exemple:	$\frac{495 \text{ m}^3}{110 \text{ m}^2} = 4,5 \text{ m}$

Valeurs indicatives pour un tas de foin	
Surface au sol:	7 – 8 m ² /UGB jusqu'à un maximum de 150 m ²
Hauteur:	maximum 5 m
Forme:	carrée ou rectangulaire jusqu'à un rapport de 1 : 1,5

1.2.4 Volume de stockage

A partir du besoin en foin et du poids au m³ il est possible de calculer le volume de stockage nécessaire.

1.2.5 Surface de stockage AS

La hauteur du tas (HS dans le schéma de la ventilation par le bas) doit être limitée à une hauteur de 5 mètres. Une plus grande hauteur exige une pression trop importante pour faire passer l'air sec à travers le tas.

Lors de la planification d'une nouvelle installation, la norme pour un affouragement complet au foin est de 7 à 8 m² par UGB. Un poids au m³ élevé (100 kg/m³) permet de réduire cette surface de 1 à 2 m². Un faible poids au m³ (70 kg/m³) provoque l'effet contraire.

La surface au sol du tas est définie par les plans de l'architecte ou d'après les données de la construction. Cette surface dépend plus souvent de la distance entre les fermes que de la grandeur optimale pour le séchage en grange. Une surface ainsi qu'un volume donnés permettent de calculer la hauteur du tas.

Un tas long et étroit, par exemple de 5 x 20 m, est plus difficile à ventiler qu'un tas carré ou rectangulaire avec un rapport des longueurs des côtés de 1:1,5. La largeur maximale d'un tas de foin est déterminée par le système de déchargement. Un souffleur muni d'un tuyau télescopique et d'un coude répartiteur est adapté jusqu'à une largeur de répartition de 14 m.

Il est conseillé de diviser les tas de plus de 150 m² de surface de base. Des parois de séparation ne sont pas nécessaires. Il suffit de supprimer les claies à l'endroit du partage.

Les raisons poussant à partager les tas d'une surface trop importante sont les suivantes:

- De faibles quantités engrangées sont difficiles à épandre de façon régulière sur une surface importante. Ainsi, au lieu que l'air passe à travers la couche de fourrage humide, il s'échappe par les surfaces déjà sèches.
- L'aspiration et le canal de conduite d'air doivent être de grandes dimensions pour ne pas être à

l'origine de trop grandes pertes de pression. Un ventilateur de 15 kW nécessite déjà une section de 4 m².

- Un grand tas de foin s'adapte moins bien à l'utilisation d'un capteur solaire en toiture. On cherche à obtenir une augmentation minimale de la température de l'air de 5 à 6°C.
- Les installations avec une pompe à chaleur ou un déshumidificateur demandent un raccordement électrique de puissance élevée entraînant un investissement important.

1.2.6 Tas de foin et de regain séparés?

Malgré la division des tas de plus de 150 m², on évitera de séparer le tas de foin de celui du regain. Cette séparation diminue la capacité de séchage et double la durée du temps de séchage. Deux tas formés simultanément et alimentés par deux ventilateurs présentent une capacité de séchage importante. Si l'on engrange l'ensemble des foin sur une courte période et sur la moitié de la surface du séchoir, l'épaisseur de fourrage engrangé par jour est importante et demande des pressions d'air plus élevées. Cela conduit à des problèmes durant le séchage (formation de moisissures) en raison d'une trop longue durée de ventilation.

1.2.7 Effet de masse

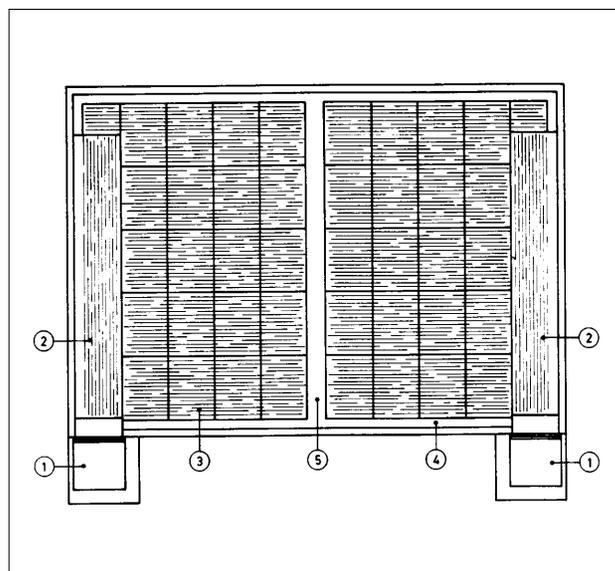
Lors de la planification d'une installation de séchage, on oublie souvent la masse que cela représente; celle-ci a une influence directe sur le volume du tas ou sur l'efficacité du séchoir.

La hauteur sous les claies HR est de 30 cm pour une surface de tas de 50 m², 35 cm pour des tas entre 50 et 100 m² et 40 cm au-dessus.

Le tassement du foin durant le séchage représente une hauteur HA d'environ 20% de la hauteur de remplissage. Cela représente 20 cm pour une couche d'une hauteur de 1 mètre.

La distance DR donne l'écart entre les claies et la paroi. Elle s'obtient à partir du rapport surface de claies – surface de base du tas.

Le tableau suivant contient des valeurs indicatives.



Ventilation de deux tas de foin

Un mur de séparation n'est pas nécessaire lorsque les deux tas sont constitués simultanément.

Les ventilateurs (1) amènent l'air par les canaux (2) sous les deux demi-surfaces de claies (3). La distance de séparation entre les claies (5) est double de celle entre les claies et la paroi (4).

Distance (DR) en cm entre la paroi et les claies en fonction de la surface de base du tas de foin													
Largeur du tas (BS) en m	Longueur du tas (LS) en m												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	30	30	35	35	35	35	35	40	40	40	40	40	40
5	35	40	40	40	40	45	45	45	45	45	45	50	50
6	40	40	45	45	45	50	50	50	50	55	55	55	55
7	45	45	50	50	55	55	55	55	60	60	60	60	65
8	45	50	55	55	55	60	60	65	65	65	65	70	70
9	50	55	55	60	60	65	65	70	70	70	70	75	75
10	55	55	60	65	65	70	70	70	75	75	80	80	80
11	55	60	65	65	70	70	75	75	80	80	85	85	85
12	55	60	65	70	70	75	80	80	85	85	85	90	90
13	60	65	70	70	75	80	80	85	90	90	90	95	95
14	60	65	70	75	80	80	85	90	90	95	95	100	100

<---- au-dessus de cette surface, partager le tas

1.3 Choix du ventilateur

Le choix d'un ventilateur se fera en premier lieu en fonction de la surface et de la hauteur du tas.

Ces données déterminent le débit et la pression d'air fournis par le ventilateur.

Les autres critères de sélection sont le rendement et le bruit. L'emplacement du ventilateur, l'altitude et la température ambiante fixent les besoins en puissance électrique.

Le prix, les garanties, etc., jouent également un rôle.

Le tableau page suivante présente un schéma de calcul, avec un exemple, pour le choix d'un ventilateur.

1.3.1 Débit d'air QW

Le débit d'air QW dépend de la surface de base du tas AS. Il s'élève à 0,11 m³/s et par m² de surface. Si, en règle générale, on engrange le foin le jour suivant la fauche, le volume d'air peut être réduit de 10%. On devra augmenter le volume d'air de 10% si on engrange, régulièrement, du foin préfané en dessous de 60% de MS.

Un trop grand débit d'air conduit à une pression plus élevée avec une consommation en courant plus importante. L'augmentation du débit n'améliore pas la capacité de séchage.

1.3.2 Pression d'air pW

Le ventilateur débite une certaine quantité d'air à une pression donnée. La pression pW est influencée par la hauteur du tas HS, le type de fourrage et le débit d'air QW (voir tableau). Pour évaluer la pression pW, on ne tient compte que de la moitié de la hauteur du tas.

Pour des installations avec réchauffage de l'air, telles que capteur solaire en toiture, pompe à chaleur et déshumidificateur, le débit calculé sera multiplié par un coefficient de correction Z.

Le chauffage à air chaud à mazout ou d'autres systèmes munis de ventilateurs d'appoint se calculent sans correction.

Valeurs indicatives pour la ventilation

Débit d'air:	0,11 m ³ /s et par m ² de surface de tas
Pression d'air, capteur solaire inclus:	4 mbar pour 4 m de hauteur de tas 5 mbar pour 5 m de hauteur de tas

Pertes de pression prévisibles PF (mbar) à travers le tas de foin (PF) et les composants de l'installation (Z)

Débit d'air QW (m ³ /s x m ²)	0,11	0,07
Type de fourrage selon l'ADCF*):	Pertes de pression en mbar par mètre de hauteur de tas	
	PF1	PF2
Equilibré A	1,6	1,1
Graminées ou herbacées G, K	1,2	0,8
Trèfles L	2,4	1,5
Installations:	Pertes supplémentaires en mbar	
	Z1	Z2
Capteur solaire	1,2	0,5
Pompe à chaleur	1,5	0,6
Déshumidificateur	0,7	0,3
*) Association pour le développement de la culture fourragère		

Exemple de calcul pour le choix d'un ventilateur							
Procédure de calcul	Exemple numérique						
Surface de tas AS (m ²)	chap. 1.2.5 110 m ²						
Hauteur du tas HS (m)	chap. 1.2.5 4,5 m						
Choix du ventilateur							
Débit d'air QW (m ³ /s): (AS x 0,11) - 10%	10,9 - 12,1						
Pression d'air pW (mbar): 0,5 x HS x PF1 + Z1	4,8						
Contrôle							
Débit d'air QK (m ³ /s): AS x 0,07	min. 7,7						
Pression d'air pK (mbar): HS x PF2 + Z2	5,5						
Pression d'air pD (mbar): pK + 2	7,5						
FAT N°	QW (m ³ /s)	QK (m ³ /s)	pmax-pD (mbar)	Nel/NelN (%)	Eta (%)	Bruit (dBA)	Prix Fr.
0001	7,1	-	-	-	-	-	-
0002	11,1	10,6	3,6	14	49	73	7500.-
0003	11,8	11,0	4,1	17	43	72	8000.-
0004	10,9	8,8	-0,6	-	-	-	-

1.3.3 Choix du ventilateur

A partir du débit d'air QW et de la pression pW nécessaires, il est possible de choisir le ventilateur dans le tableau de la page suivante. Pour une pression d'air de 5 mbar (valeur arrondie de 4,8), on suit la colonne V8 verticalement de haut en bas.

Tous les ventilateurs qui fournissent à une pression de 5 mbar un débit d'air de 10,9 à 12,1 m³/s (10,9 m³/s = 12,1 - 10 %) dans la ligne H1 peuvent être pris en considération pour une première sélection. Celle-ci comprend tous les ventilateurs à l'exception du N° FAT 0001. Le modèle X1 n'est pas utilisable.

1.3.4 Contrôle du débit minimum d'air QK

Certains ventilateurs perdent une part importante de leur capacité de ventilation lorsque la pression augmente, ce qui signifie qu'avec une hauteur de tas trop importante, ils ne délivrent plus assez d'air. Un ventilateur doit encore pouvoir débiter au minimum 0,07 m³/s par m² de surface au sol du séchoir lorsque le dernier regain est placé sur le tas.

1.3.5 Pression d'air au débit minimum pK

Au débit minimum d'air QK correspond une certaine pression pK. Celle-ci se calcule en fonction du tableau des pertes de pression, à partir du débit d'air minimum de 0,07 m³/s par m². Le calcul de pK se fait pour la hauteur totale du tas HS. Cette condition est remplie par tous les ventilateurs restants.

1.3.6 Réserve de pression disponible pD

Pour que le ventilateur puisse continuer à travailler lorsque, exceptionnellement, quelques remorques de fourrage peu préfané sont engrangées, on conseille d'avoir une réserve de pression d'au moins 2 mbar. La pression maximale pmax dans le tableau des ventilateurs (V3, H3) dépasse dans ce cas la pression d'air pK de 2 mbar ou plus.

Le N° FAT 0004 ou type Z a une réserve insuffisante et est éliminé.

Extrait de la liste des ventilateurs testés par la FAT
(une liste complète peut être obtenue auprès de la FAT)

	V1	V2	V3	V5	V8	V11					
	FAT N°	Liste des ventilateurs	(mmCE) p mbar	(20) 2	(30) 3	(40) 4	(50) 5	(60) 6	(70) 7	(80) 8	
H1 → H2 → H3 →	0001 84 RE	Société A Type X 1 Bruit dB(A) V 68 S 74	n = 960 t/min NelN = 5.5 kW pmax = 10.1 mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	8,7 5,5 31	8,2 5,9 42	7,7 6,1 51	7,1 6,0 59	6,4 6,1 63	5,9 6,3 66	5,2 6,3 66
H1 → H2 → H3 →	0002 84 RD	Société A Type X Bruit dB(A) V 71 S 74	n = 980 t/min NelN = 9.2 kW pmax = 11.1 mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	13,6 9,4 30	13,0 9,9 39	12,3 10,3 48	11,6 10,5 55	10,6 10,5 60	9,7 10,6 64	8,6 10,5 66
H1 → H2 → H3 →	0003 84 RD	Société B Type Y Bruit dB(A) V 71 S 73	n = 1043 t/min NelN = 10.0 kW pmax = 11.6 mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	13,5 10,3 26	12,9 10,9 36	12,4 11,2 44	11,8 11,7 51	11,0 11,5 57	10,2 11,7 61	9,3 11,7 64
H1 → H2 → H3 →	0004 84 RD	Société C Type Z Bruit dB(A) V 69 S 71	n = 660 t/min NelN = 7.5 kW pmax = 6.9 mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	15,6 7,3 43	14,1 8,0 53	12,6 8,1 62	10,9 8,4 65	8,8 8,3 64	.	.

1 mmCE = 1 mm colonne d'eau

Fusibles minimaux, section des fils et capacité de surcharge des moteurs de ventilateurs						
Section des fils électriques mm ²	Ampérage des fusibles		Puissance nominale NeIN		Puissance maximale en kW avec surcharge de	
	Nor- maux	retar- dés	kW	CV	20%	13%
2,5/1,5	15	10	3	4	3,6	3,4
4/2,5	20	15	4	5,5	4,8	4,5
4/2,5	20	15	5,5	7,5	6,6	6,2
6/4	25	20	7,5	10	9	8,5
10/4	40	20	9	12*)	10,8	10,2
10/6	40	25	10	13,5*)	12	11,3
10/6	40	25	11	15	13,2	12,4
16/10	50	40	15	20	18	17
16/10	60	40	18,5	25	22,2	20,9
16	60	50	22	30	26,4	24,9

*) moteur pas normalisé

1.3.7 Puissance électrique Nel

Le moteur électrique d'un ventilateur supporte une certaine surcharge. Jusqu'à 700 mètres d'altitude celle-ci s'élève à 20%, au-dessus 13% de la puissance nominale. La densité et la température de l'air influencent l'efficacité du refroidissement du moteur. C'est pour cela que, sur les installations avec capteurs solaires ou pompe à chaleur, la surcharge sera limitée à 13%, même pour une altitude inférieure à 700 mètres.

Dans le tableau des données des ventilateurs, la valeur la plus élevée de la puissance électrique Nel (H2, V5 - V8) est tout d'abord recherchée. Elle sera divisée par la puissance nominale NeIN (H2, V3). Multipliée par 100, on obtient la surcharge en %.

Il convient de vérifier si le raccordement électrique convient pour le moteur choisi. La section du câble électrique, le type (normal ou retardé) et la taille des fusibles indiquent quelle est la puissance maximale qui peut être raccordée.

Le tableau ci-contre présente la section de fil, les fusibles, la puissance nominale et la consommation électrique maximale nécessaires.

1.3.8 Rendement Eta

Le ventilateur fournit, sous forme de puissance mécanique, un débit d'air sous une pression donnée. La puissance mécanique provient du moteur électrique qui prélève, pour la créer, de la puissance sur le réseau de distribution.

Le rendement est le rapport entre la puissance délivrée par le ventilateur (débit et pression d'air) et la puissance électrique (en kilowatt, kW). Plus le rendement est élevé, meilleur est le ventilateur, (moteur électrique compris).

La comparaison du rendement de ventilateurs différents à une pression donnée, par exemple 2 mbar, peut donner un résultat trompeur. En effet, durant la période de récolte des foin, par exemple dans l'exemple calculé, la pression d'air pK monte de 2 à 5,5 mbar.

Il est donc nécessaire d'examiner le rendement d'un ventilateur sur tout son domaine de fonctionnement et d'en établir une moyenne arithmétique. Des différences de 2 à 3% ne sont pas significatives, elles

Valeurs de rendement, sur la base de 203 ventilateurs radiaux Etat au 1 ^{er} janvier 1991				
Domaine de pression	Rendement en %			
mbar	faible	acceptable	bon	très bon
2 - 4	< 38	38 - 42	43 - 47	> 47
2 - 5	< 42	42 - 46	47 - 50	> 50
2 - 6	< 45	45 - 49	50 - 53	> 53
2 - 7	< 47	47 - 52	53 - 54	> 54
2 - 8	< 49	49 - 52	53 - 55	> 55

peuvent intervenir en raison de courroies moins tendues, ou de résultats de calcul arrondis. Une différence de 5%, par contre, influence déjà le choix d'un ventilateur. Le tableau ci-contre permet de juger le rendement d'un ventilateur.

La tablelle classe les ventilateurs en fonction du niveau de leur rendement, soit faible, acceptable, bon, très bon.

1.3.9 Bruit

Dans les installations de séchage en grange avec capteur solaire, il n'y a en règle générale pas de problème de bruit, car le ventilateur est placé dans un canal.

Si malgré tout des difficultés sont à attendre de ce point de vue, il est recommandé, lors du choix d'un ventilateur, de tenir compte de son émission sonore. La liste FAT des ventilateurs testés présente exclusivement des ventilateurs radiaux. Le tableau ci-contre indique l'émission sonore mesurée et classe les ventilateurs en fonction de leur niveau de bruit. De la valeur la plus faible à la plus haute, la différence est de 20 dB (A) ce qui représente une intensité sonore 4 fois plus forte entre le ventilateur le moins et le plus bruyant.

Evaluation du bruit sur la base de 203 ventilateurs radiaux mesurés Etat au 1 ^{er} janvier 1991				
Intensité sonore du bruit en dB(A)				
Mesure	trop bruyant	bruyant	silencieux	très silencieux
de face	> 71	69 - 71	67 - 68	< 67
de côté	> 74	72 - 74	70 - 71	< 70

1.4 Autres critères de choix

Mis à part les caractéristiques techniques, il sera tenu compte du prix, des conditions de garantie et de livraison ainsi que du service et de l'appui technique offert par le fournisseur.

2. Données de base pour les capteurs solaires

2.1	Energie solaire disponible	23
2.2	Principe de fonctionnement	23
2.3	Capteur avec couverture translucide	24
2.4	Capteur avec couverture foncée	25
2.4.1	Capteur en Eternit	26
2.4.2	Capteur en tuiles	26
2.4.3	Capteur en tôle	26
2.5	Paramètres principaux d'un capteur solaire	27
2.5.1	Réchauffement de l'air	27
2.5.2	Rendement	27
2.5.3	Pertes de pression	28

2. Données de base pour les capteurs solaires

2.1 Energie solaire disponible

L'énergie fournie par le soleil varie fortement en fonction de la saison et des heures de la journée. Durant cinq mois, de mai à septembre, l'énergie rayonnée par le soleil sur un mètre carré de surface horizontale en plaine atteint en moyenne 100 à 180 kWh (mesures à Aadorf). Par beau temps le rayonnement solaire atteint environ 1000 W/m² au maximum ou en moyenne 600W/m² entre 8 heures et 18 heures. Un capteur solaire est en mesure d'absorber en 10 heures, avec un rendement de 45%, 2,5 à 3 kWh d'énergie par mètre carré.

Le principal avantage de l'énergie solaire, valorisée pour le séchage en grange, est d'être utilisée lorsque le soleil manifeste sa plus grande intensité.

Pendant la fenaison, les périodes de beau temps sont souvent interrompues par des orages qui réduisent les possibilités de sécher le foin au sol, ce qui demande trois jours sans pluie, voire davantage. D'où l'intérêt du séchage en grange.

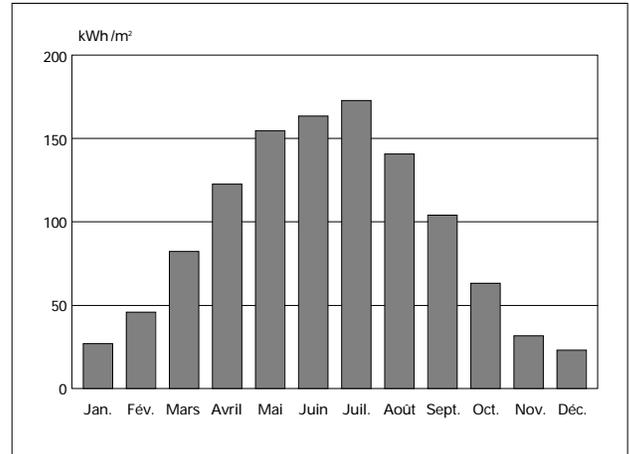
Pour augmenter l'efficacité de ce procédé, on recourt à l'utilisation de chauffages à mazout, de pompes à chaleur, de déshumidificateurs ou de capteurs solaires.

Le capteur solaire est le seul système qui n'exige pas d'autres sources d'énergie. Il permet de profiter des jours où le rayonnement solaire est important alors que l'on se contente, les autres jours, de ventiler par intermittence afin d'empêcher la fermentation du fourrage.

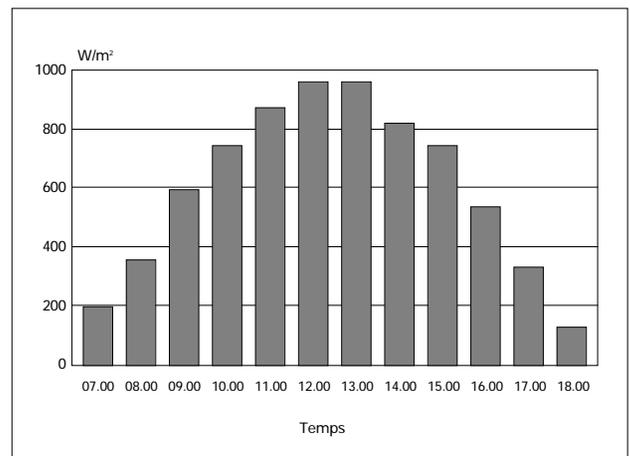
2.2 Principe de fonctionnement

Une surface absorbante foncée est chauffée par le rayonnement solaire et redonne cette chaleur à son environnement. C'est le principe du capteur solaire.

Dans un capteur solaire à air, la surface d'absorption sombre donne sa chaleur à l'air qui traverse le capteur.



Valeurs mensuelles moyennes d'ensoleillement dans la commune d'Aadorf



Ensoleillement lors d'un jour de beau temps en W/m² au niveau du capteur

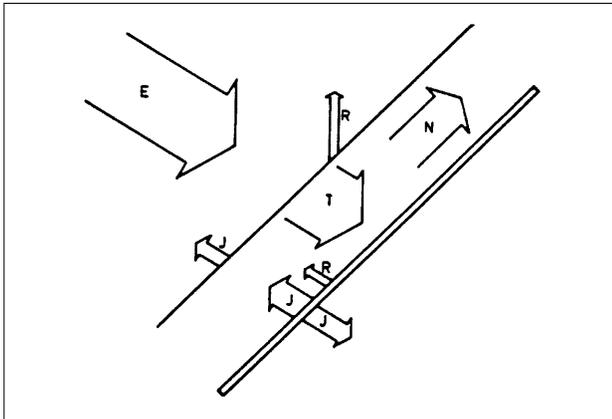


Schéma du capteur solaire

E: rayonnement solaire

R: rayonnement réfléchi

J: rayonnement de la chaleur

N: énergie utilisable

T: avec capteur translucide, passage du rayonnement solaire

T: avec couverture foncée, transmission de la chaleur à l'air

L'augmentation de la température de l'air réduit son humidité relative et permet d'augmenter sa capacité d'absorption en eau.

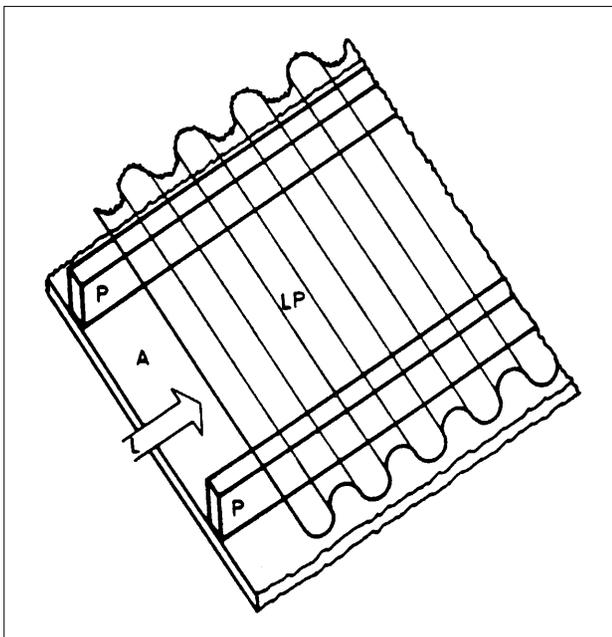
Selon l'installation, la capacité d'absorption par m³ d'air peut être augmentée de 50 à 75%, et les besoins en électricité du ventilateur sont réduits d'autant. Ainsi il est possible d'engranger du fourrage plus humide ou d'augmenter la rapidité de séchage. L'agriculteur choisit généralement de combiner ces deux avantages.

Il existe deux types principaux de capteurs solaires en toiture.

2.3 Capteur solaire avec couverture translucide

Le capteur solaire avec une couverture translucide utilise l'effet de serre. Les rayons du soleil traversent la couverture pour être absorbés par une plaque foncée qui s'échauffe.

Les capteurs solaires translucides ne peuvent pratiquement plus être installés en campagne pour des raisons esthétiques. Pour cette raison, nous n'examinerons pas plus en détail ce type de capteur.



Capteur solaire transparent

P: pannes

LP: plaque translucide

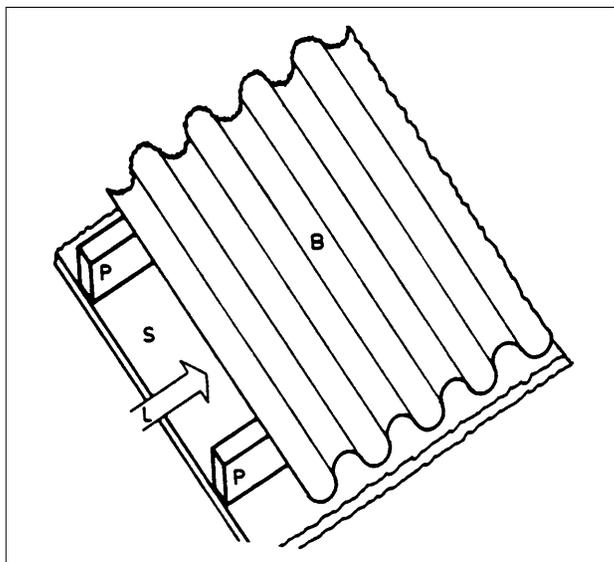
A: plaque absorbante de couleur foncée

L: air

2.4 Capteur solaire avec couverture foncée

Dans les capteurs solaires avec couverture foncée, la chaleur du rayonnement solaire est directement absorbée par la couverture de la toiture. Cette chaleur est transmise aussi bien à l'air extérieur qu'à l'air passant dans le capteur, sous la couverture.

La chaleur est transmise à l'air principalement par convection. C'est pour cela que la circulation de l'air dans le capteur est très importante. Plus la vitesse de l'air est grande, meilleure est l'efficacité; par contre la perte de pression s'accroît.



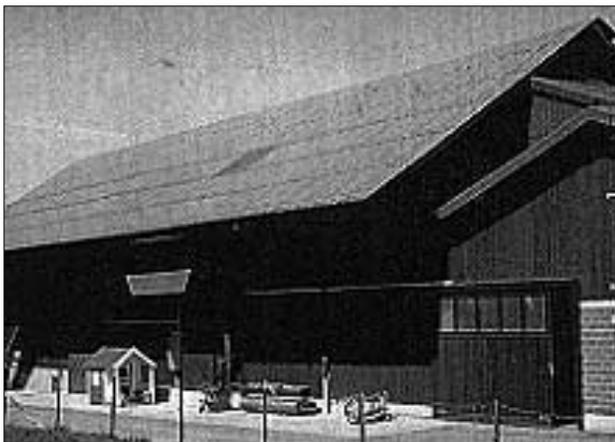
Capteur solaire avec couverture foncée

- P: pannes
- B: éternit ou tôle ondulée
- C: sous-couverture
- L: air

Propriétés du collecteur	Avantages	Inconvénients
Couverture translucide par exemple: polyester, polycarbonate, vitres	<ul style="list-style-type: none"> - rendement élevé - peu de pertes avec une faible circulation d'air ou par le vent circulant sur la couverture. 	<ul style="list-style-type: none"> - mauvaise résistance à la grêle - s'altère en vieillissant - matériel combustible - aspect peu esthétique
Couverture foncée par exemple: Eternit, tôle, tuiles	<ul style="list-style-type: none"> - meilleure esthétique - longue durée de vie - résistant au feu et à la grêle 	<ul style="list-style-type: none"> - rendement légèrement inférieur - pertes de pression plus importantes avant tout avec l'Eternit - dans les régions exposées au vent, diminution de l'efficacité



Les capteurs solaires en Eternit s'intègrent bien au paysage et conviennent particulièrement aux sites présentant des exigences esthétiques élevées pour les bâtiments



Capteur solaire en tôle en remplacement d'un toit de tuiles. L'entrée de l'air se fait au faite du toit sur le versant opposé. Le canal sous l'avant-toit conduit l'air du capteur au ventilateur

2.4.1 Capteur en Eternit

Le capteur solaire en Eternit est utilisé dans la majorité des nouvelles installations. Du point de vue esthétique, il ne pose pas de problème. Son rendement se situe entre 40 et 50%. Pour obtenir une bonne efficacité, il est cependant nécessaire de bien planifier l'installation et de dimensionner correctement la hauteur du canal, facteur déterminant pour la vitesse de l'air et les pertes de pression.

2.4.2 Capteur en tuiles

Pour des sites protégés, le capteur solaire en tuiles peut être pris en considération lors de nouvelles réalisations ou de rénovation.

Il faut compter avec une diminution d'efficacité et un rendement se situant entre 30 et 40%.

Un dimensionnement optimal du canal n'est pas possible, en raison des risques d'entrées d'air entre les tuiles. On cherche à compenser la faible efficacité en augmentant la surface du capteur dans les limites du possible.

Il est également difficile d'estimer l'effet de la pluie sur un capteur en tuiles. Il est connu que les tuiles demandent plus de temps pour sécher après un orage; il y a également des risques que de l'eau soit aspirée entre les tuiles lorsque le ventilateur fonctionne par intermittence.

2.4.3 Capteur en tôle

Le rendement et l'apparence du capteur solaire en tôle d'aluminium ou d'acier se situent entre ceux des capteurs en Eternit et des capteurs solaires en matériaux translucides – qui ne se réalisent plus actuellement.

Pour des exploitations situées à la limite d'une zone industrielle ou dans des régions où elle est utilisée traditionnellement, la tôle est une solution intéressante tant du point de vue de l'efficacité que du coût. La possibilité d'utiliser des tôles imitant la tuile permet d'améliorer l'esthétique du bâtiment.

2.5 Paramètres principaux d'un capteur solaire

2.5.1 Réchauffement de l'air

Le rôle du capteur solaire consiste à préchauffer l'air entrant dans le ventilateur du séchoir en grange. Cet air réchauffé absorbe plus d'eau et diminue la durée du séchage du tas de foin.

Si, par exemple, de l'air à 90% d'humidité relative et d'une température de 15°C est réchauffé de 6°C et amené à une température de 21°C, son humidité relative est ramenée à 60%. Cet air permettra de sécher à 88% de MS du fourrage préfané.

Le rendement d'un capteur solaire est jugé satisfaisant lorsqu'il augmente de 6°C la température de l'air avec un rayonnement solaire de 800 W/m².

2.5.2 Rendement

Plus grande est la quantité d'énergie absorbée par le capteur puis transmise à l'air, meilleur est le rendement.

Le rendement est lié directement à la vitesse et à la turbulence de l'air passant à travers le capteur. Le choix d'une vitesse de l'air optimale est particulièrement important pour un capteur avec une couverture de couleur foncée.

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.

Mais, en augmentant la vitesse de l'air, on augmente également la perte de pression dans le capteur.

Le rendement est également lié à la longueur du capteur. Plus le récupérateur est long, moins il est efficace.

2.5.3 Pertes de pression

Le ventilateur de l'installation de séchage en grange aspire l'air préchauffé entre le toit et la sous-toiture. L'entrée et le passage de l'air sous une surface ondulée provoque une perte de pression. Cette perte augmente rapidement avec la vitesse de l'air (au carré).

La perte de pression dans le capteur solaire ne devrait pas dépasser 1 mbar.

Exceptionnellement, lors de l'emploi momentané de 2 ventilateurs en parallèle par exemple, il est possible de repousser cette limite à 1,5 mbar. Cette perte de pression comprend également les pertes intervenant dans le canal collecteur entre le capteur et le ventilateur (voir le chapitre 3.7).

La perte de pression liée au capteur solaire entraîne une augmentation des besoins en puissance du moteur de 25 à 35%. Ces besoins sont toutefois largement compensés par la réduction de la durée de séchage due à l'utilisation de l'air chaud. Ainsi la consommation d'électricité sera inférieure à celle nécessaire pour la ventilation avec de l'air froid.

Valeurs indicatives pour un capteur solaire

Réchauffement de l'air: au minimum 6°C
Pertes de pression: au maximum 1 mbar

3. Planification d'une installation à capteur solaire

3.1	Déroulement de la planification	31
3.2	Surface de toit utilisable et exposition	32
3.3	Conduite idéale de l'air	34
3.4	Différentes longueurs d'aspiration	37
3.5	Calcul de la hauteur du canal à l'aide d'un programme PC	37
3.6	Canal collecteur	38
3.7	Canal de transport de l'air	38

3. Planification d'une installation à capteur solaire

3.1 Dérroulement de la planification

La conception d'une installation à capteur solaire commence par la détermination de la surface du fenil et par là des besoins en air de ventilation. S'il y a deux tas de foin, la question est de savoir si les deux tas doivent pouvoir être alimentés simultanément avec de l'air chaud. Si, selon les indications données par l'agriculteur, cela ne semble pas être le cas ou seulement exceptionnellement, le capteur sera dimensionné pour les besoins du plus gros tas. Si les deux tas sont ventilés en même temps, les canaux du capteur et de transport de l'air seront calculés pour le débit d'air total des deux ventilateurs.

La surface de toit nécessaire au capteur sera ensuite définie. Il sera tenu compte de la surface et de l'exposition du toit, ainsi que de la possibilité de construire un canal de transport d'air jusqu'au ventilateur qui soit court et facile à monter.

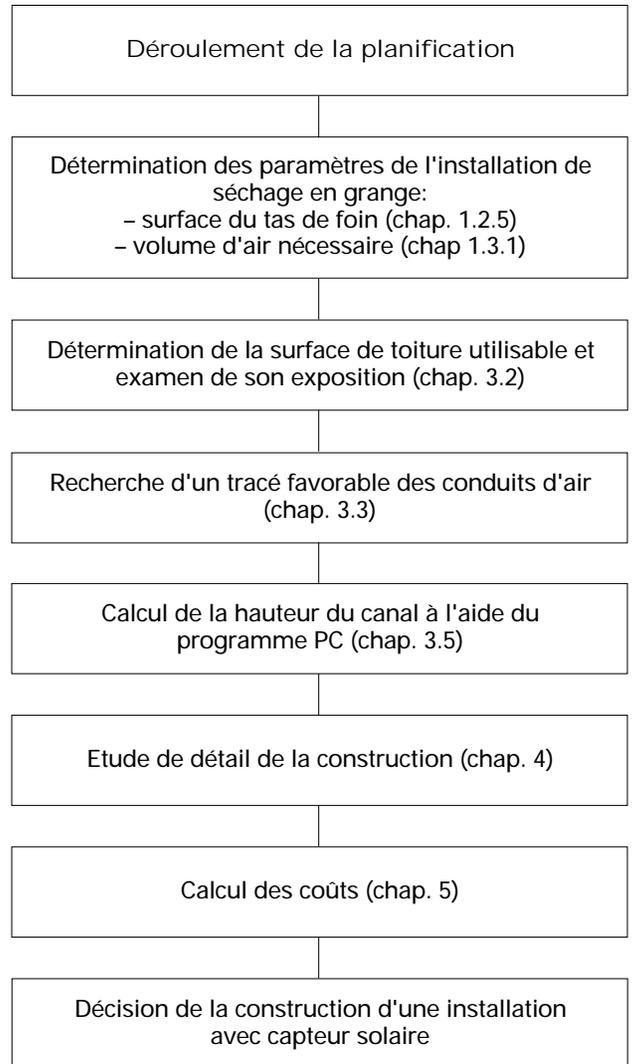
Pour la surface de toit choisie, on calculera la hauteur du canal. Les résultats sont jugés satisfaisants si:

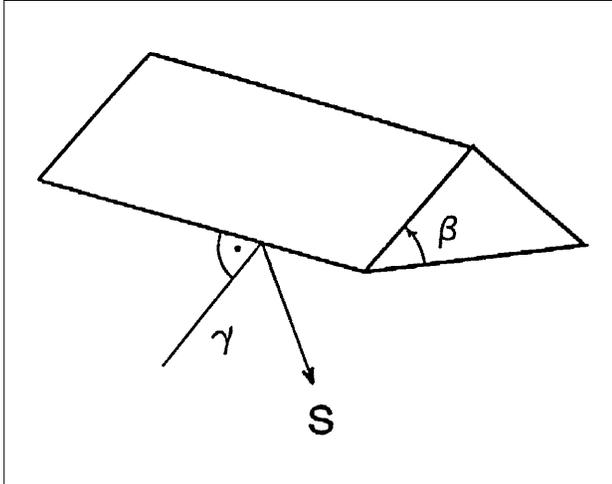
- l'augmentation de la température de l'air atteint au minimum 6°C;
- les pertes de pression sont inférieures à 1 mbar;
- la hauteur du canal est inférieure à celle des pannes.

Dans ce cas les conditions favorables à la construction du capteur solaire sont réunies. Si ces valeurs ne peuvent pas être atteintes, il faudra envisager une autre surface de toit, (plus grande, plus longue ou plus large) et recalculer la hauteur du canal.

Si les résultats sont satisfaisants, les dimensions du canal collecteur et de transport d'air seront calculées et le type de construction pourra être défini.

Le calcul du coût d'investissement nécessaire permettra enfin de prendre la décision définitive pour la réalisation.





Exposition du capteur
L'exposition du toit est définie par deux angles:
 γ : orientation par rapport au sud
 β : pente du toit

3.2 Surface de toit utilisable et exposition

La puissance d'un capteur solaire est directement liée à sa surface. La surface ne doit pas être trop petite, sinon les performances ne répondront pas à l'attente du propriétaire et des difficultés apparaîtront avec les conduits d'air (section trop faible).

La formule approximative suivante est applicable:

Surface du capteur en Eternit = 2,5 x la surface du tas de foin.

Lors des calculs, cette surface peut être agrandie ou diminuée. A partir des plans, il est possible de déterminer les surfaces de toit les mieux adaptées à la construction du capteur solaire. L'exposition la plus favorable est celle qui est la mieux et la plus longtemps exposée aux rayons du soleil. Pour la période de mai à septembre, une exposition sud avec une pente de 20° est la plus favorable.

Apport relatif de l'ensoleillement direct par rapport à une exposition idéale, plein sud avec une inclinaison de 20°C

Exposition (orientation par rapport au sud)	Inclinaison du toit				
	10°	20°	30°	40°	50°
	%	%	%	%	%
0° sud	98	100	99	96	89
30	97	99	98	94	88
60	95	94	92	89	83
90 ouest/est	91	88	84	79	72
120	88	81	73	65	57
150	86	76	65	52	39
180 nord	85	74	62	47	32

Le rayonnement solaire se compose du rayonnement direct et diffus. En agriculture ce sont principalement les jours de beau temps où le rayonnement du soleil est intense qui nous intéressent. Ces valeurs d'ensoleillement direct pour différentes expositions sont données en % par rapport à une exposition optimale (plein sud avec une pente de 20°) dans la table ci-contre. On voit ainsi qu'un toit orienté de 90° à l'ouest ou à l'est, avec une pente de 10°, a un apport énergétique de 90% par rapport à un toit orienté plein sud et une pente de 20°. Avec une exposition de 90° par rapport au sud et une pente de 50°, l'apport diminue à 70%. Il est également possible de voir qu'en été un toit exposé au nord, avec une faible pente (10°), a encore une production de 85% par rapport à l'optimum.

Si le faite du toit est orienté nord - sud, la pose d'un capteur sur chacun des pans du toit se justifie. Lorsqu'il n'y a pas suffisamment de surface disponible sur le côté sud du toit (réchauffement insuffisant de l'air, perte de pression trop élevée entraînant un surdimensionnement des canaux), on utilisera aussi une partie du toit exposée au nord.

Pour une comparaison objective des variantes selon différentes expositions, l'augmentation de température obtenue à l'aide du programme PC sera multipliée par le facteur de correction de l'apport relatif en fonction de l'angle et l'orientation du toit, indiqué dans la table de la page précédente (valeur en % divisée par 100).

Les cheminées d'aération, le pont de grange ou toute autre construction intérieure peuvent influencer négativement le bon fonctionnement du capteur. Ces obstacles gênent le flux de l'air dans les canaux et rendent l'aspiration plus difficile. Il faut tenir compte de ces obstacles lors du choix de la surface de toit, et si possible les éviter.

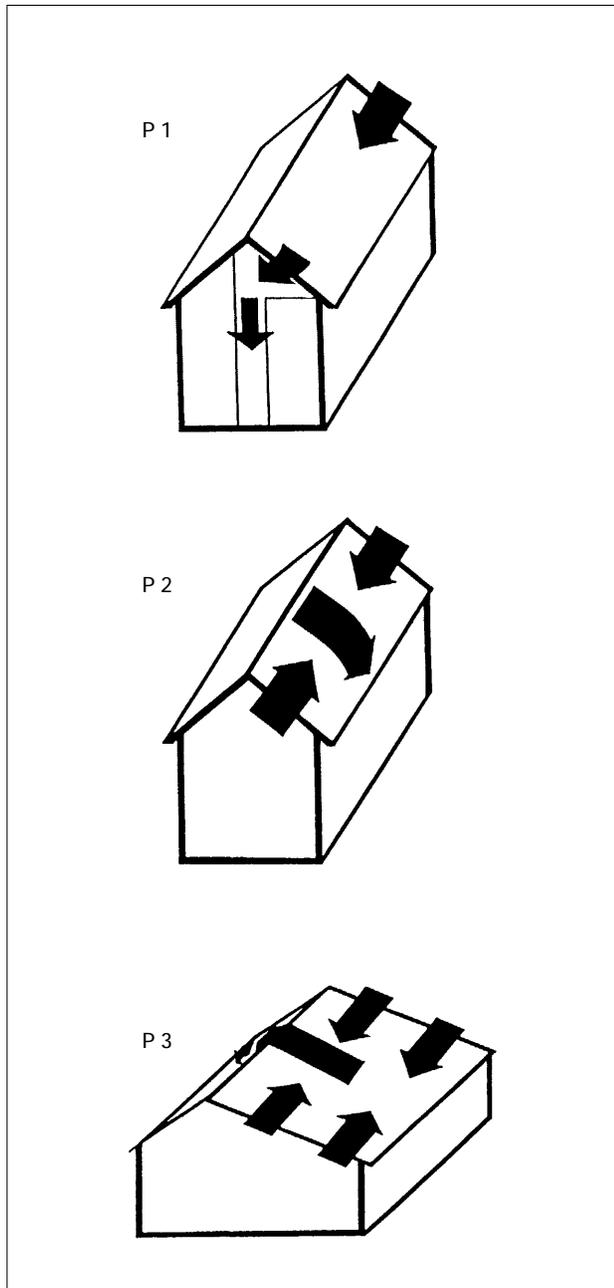
Une comparaison des puissances d'un capteur, sur la base d'un exemple est présentée dans le tableau ci-contre.

Comparaison des puissances de capteurs

Type et direction de l'air par rapport aux ondulations	Hauteur pour perte de pression de 1 mbar	Rendement en %	Augmentation de température en °C
Eternit en travers	10 cm	44	7,1
Tôle en travers	8 cm	52	8,5
Polycarbonate transparent en travers	8 cm	58	9,5
Eternit en long	12 cm	42	6,9
Tôles en long	10 cm	37	6,1

Capteur de 250 m² pour un tas de foin d'environ 100 m², rayonnement solaire de 800 W/m² à 500 mètres d'altitude, longueur du capteur 10 mètres. Le capteur en Eternit, avec un rendement de 44% réchauffe l'air d'environ 7°C. Un capteur en tôle réchauffe l'air d'environ 8,5°C et un capteur translucide d'environ 9,5°C

Un capteur solaire translucide, rarement utilisé aujourd'hui, permet avec 180 m² déjà d'atteindre une augmentation de température de l'air de 7°C, alors qu'il faut 250 m² d'Eternit. Le rendement relativement mauvais du capteur Eternit peut dans la plupart des cas être compensé par une extension de la surface du capteur. Une différence de rendement existe également entre le capteur en Eternit et le capteur en tuile, mais elle ne peut que difficilement être compensée par une extension du capteur. Les conduits d'air ainsi que les surfaces de toiture disponibles fixent souvent les limites.



3.3 Conduite idéale de l'air

Le capteur et la liaison capteur - ventilateur de l'installation de séchage en grange est fortement dépendante de la conception du bâtiment. Nous faisons une différence entre les toits à pannes et les toits à chevrons. Dans les toits à pannes, celles-ci sont parallèles au faite et à la gouttière alors que les chevrons vont de la gouttière au faite. Les exemples de conduite d'air ci-après sont classés en deux groupes: les toits à pannes (P) et les toits à chevrons (S).

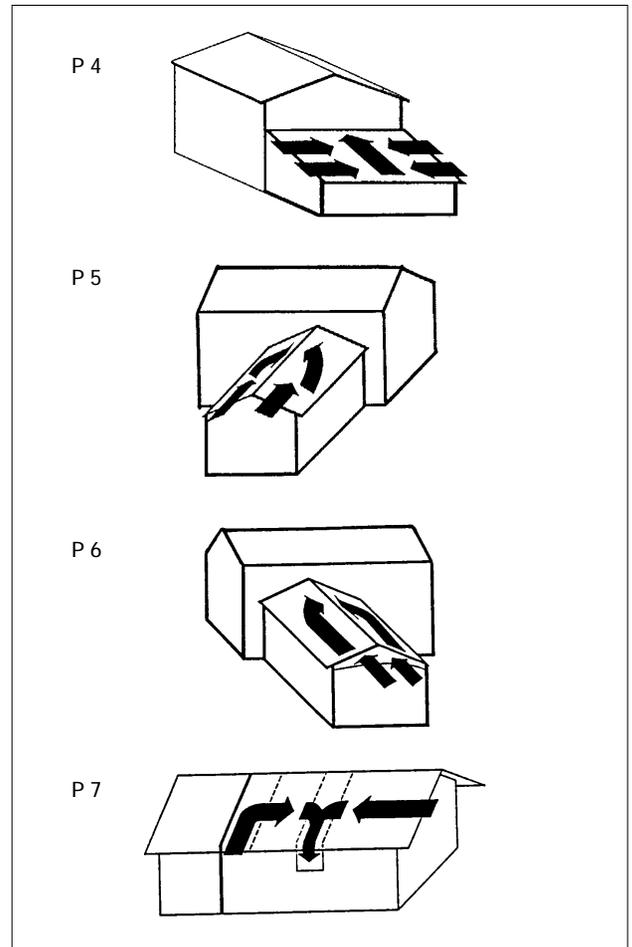
- P1 Solution simple, sur un pan du toit avec aspiration d'un côté et canal de récupération sur l'autre côté du bâtiment
- P2 Ce système se retrouve souvent dans les granges sur étable. L'air est aspiré des deux côtés et ramené par un canal central, entre deux fermes, vers le ventilateur. Dans cette variante, le canal collecteur est la partie la plus importante du capteur.
- P3 Une solution qui se retrouve dans les constructions importantes, telles que les étables à logettes. L'étable se trouve sous le pan sud, souvent peu incliné. Le stockage du foin au nord et le ventilateur sur la façade nord: une mauvaise solution pour une ventilation à air froid. Les longs canaux de conduite d'air sont l'inconvénient de ce système. A l'avantage de ce type de collecteur: des conditions d'aspiration favorables.

P 4-7 Une solution intéressante au point de vue coût réside dans la construction d'une étable ou d'un hangar accolé à une grange existante. La plupart du temps les étables construites sont de type «chaud» exigeant déjà une sous-couverture.

Pour P4 Le ventilateur aspire l'air dans l'espace laissé par les pannes entre le toit et la sous-couverture. L'abaissement de la sous-toiture permet de récupérer l'air.

Pour P5 et P6 L'air passe à travers le toit de l'étable et est collecté à la fin de son trajet pour être guidé vers le ventilateur. Une importante surface de toiture est nécessaire pour compenser une faible efficacité.

P7 Peut être utilisée dans des toitures très longues ou lorsque l'on est en présence d'un mur coupe-feu.

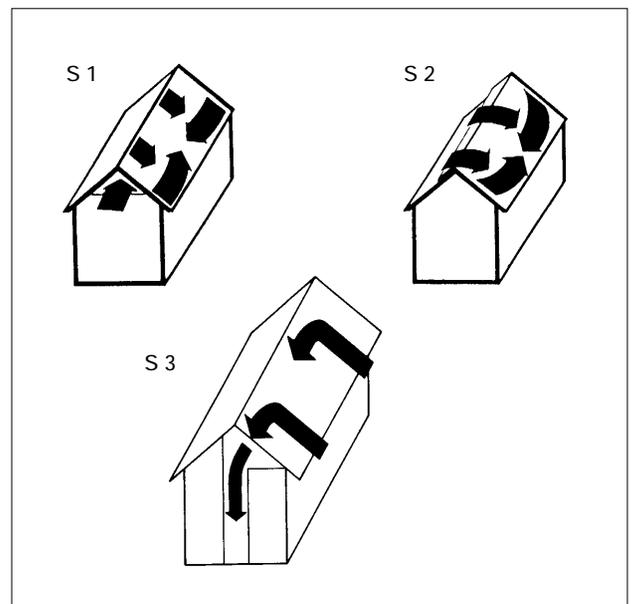


Dans les toits à chevrons, l'air circule entre le faîte et la gouttière. Il n'est pas possible de prévoir une circulation dans la longueur du toit.

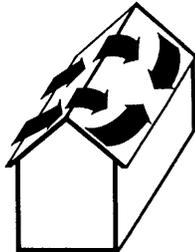
S1 Un canal placé dans le triangle du faîte amène l'air dans le capteur et un canal sous l'avant-toit le conduit vers le ventilateur.

S2 L'air est aspiré sur le faîte du toit par un canal réalisé en tôle d'aluminium par exemple, dont le bord a été recourbé.

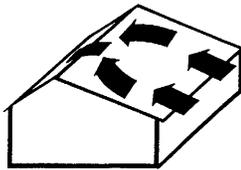
S3 L'air passe de la gouttière vers le faîte du toit où il est collecté pour être conduit vers le ventilateur.



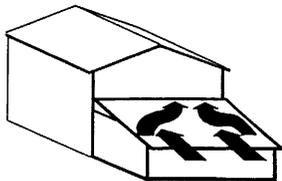
S 4



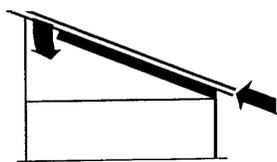
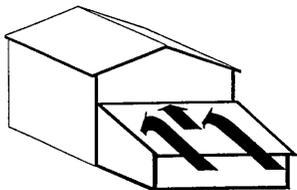
S 5



S 6



S 7



S4 Solution pour un toit orienté nord-sud avec un capteur sur le pan est et sur le pan ouest.

S5 L'air passe de la gouttière vers le faite où il est collecté et guidé vers l'arrière en direction du ventilateur.

S6 L'utilisation de l'espace entre la couverture et la sous-couverture a permis de créer ce capteur. Un canal collecteur reprend l'air du triangle grange - étable.

S7 Si l'on a dans une construction un plafond horizontal, il est nécessaire de placer une sous-couverture sous les chevrons de façon à ce que l'air ait une vitesse suffisante. Dans ce cas il n'est pas indispensable de refaire un canal collecteur pour autant que le plafond soit étanche.

Pour les variantes avec guidage de l'air par le faite du toit, il n'y a plus de ventilation par le faite. Pour compenser cela, il faudra prévoir une ventilation suffisante dans les pignons.

3.4 Différentes longueurs des canaux d'aspiration

Dans un capteur solaire avec deux entrées, le canal collecteur ne se situe pas toujours exactement au milieu. Dans ce cas il est nécessaire de calculer la hauteur des canaux pour chacune des parties du capteur (de l'aspiration jusqu'au centre du canal collecteur). Ainsi, le capteur aura sa meilleure efficacité.

Il faut aussi veiller, lors de la construction, à ce que les espaces différents de chaque canal soient correctement réalisés.

3.5 Calcul de la hauteur du canal à l'aide d'un logiciel de dimensionnement utilisable sur PC

Pour obtenir un bon rendement, la vitesse de l'air et, par conséquent la hauteur du canal, seront calculées avec précision.

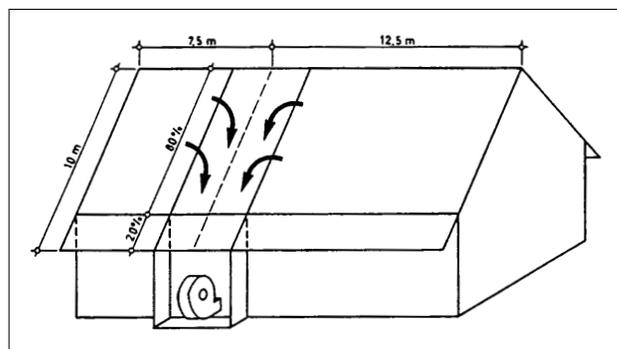
Le logiciel PC SOKO permet de déterminer la hauteur du canal.

Le logiciel calcule, pour une longueur et une largeur de canal données, la vitesse de l'air dans le capteur, la perte en pression, le rendement ainsi que l'augmentation de température de l'air de séchage pour un ensoleillement de 800 W/m^2 . Tous les résultats sont présentés en fonction de la hauteur du canal (dix hauteurs différentes de canal de 1 cm chacune).

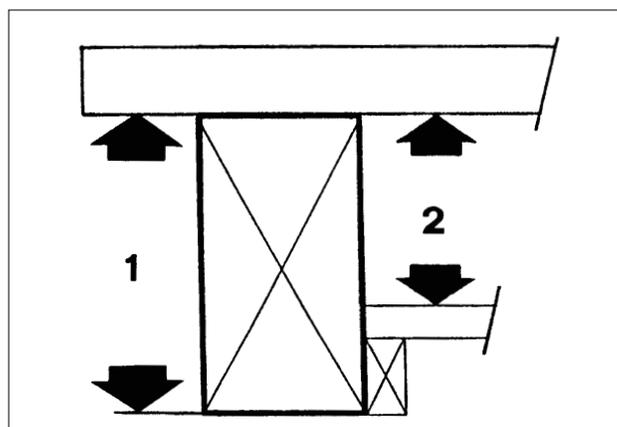
Le logiciel tient compte de quatre types de couverture de toiture. Une description détaillée de ce logiciel PC est donnée dans l'annexe 2.

La hauteur du canal est définie de façon à ce que l'air subisse une augmentation de température d'au moins 6°C et une perte de pression de moins de 1 mbar. Pour un montage simple, la hauteur du canal ne devrait pas dépasser la hauteur des pannes.

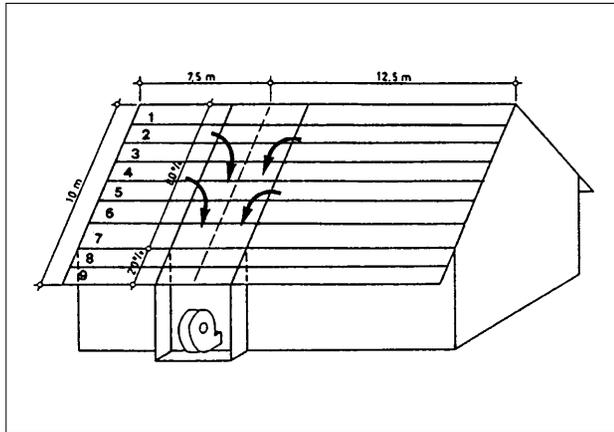
La hauteur du canal peut également être déterminée sans logiciel, à l'aide du rapport FAT N° 325 «Bases pour la planification de capteurs d'air pour le séchage du foin».



Différentes longueurs des canaux d'aspiration
 But: obtenir une augmentation de température identique dans les deux parties du capteur
 Moyen: calcul de longueurs partielles à l'aide du logiciel PC. Choix d'une hauteur pour chacun des capteurs donnant une augmentation de température et une perte de pression identique



Hauteur du canal
 1: hauteur des pannes
 2: hauteur du canal



Canal collecteur dans un toit à pannes

3.6 Canal collecteur

Dans le canal collecteur, la vitesse de l'air devrait être maintenue en dessous de 5m/s (normalement 4 m/s). Il ne faut cependant prendre en considération que le débit d'air effectivement disponible dans chaque tronçon du canal. Si une partie de l'air débouche directement dans l'abri du ventilateur, elle sera déduite lors du calcul de la section du canal collecteur.

La section du canal collecteur correspond à la somme des sections des canaux du capteur. Dans les toits à pannes, le canal collecteur est souvent de forme conique.

Exemple de calcul d'un canal collecteur

Tas de foin de 80 m²,
besoins en air 0,11 m³/s m² = 8,8 m³/s de débit d'air

Le toit comprend 9 canaux récupérateurs dont 2 se situent dans l'avant-toit. Cela veut dire qu'environ 20% de l'air passe directement du capteur à l'abri du ventilateur, ce qui correspond à un débit d'air de 1,9 m³/s. Le solde, 6,9 m³/s, passe par le canal collecteur.

7 canaux de récupération débouchent dans le canal collecteur
Débit d'air dans chaque canal: env. 1 m³/s
Largeur du canal collecteur (espace entre les fermes) 5 m

Augmentation de la hauteur du canal collecteur pour une vitesse de l'air maximum de 4 m/s:

$$\rightarrow \frac{1\text{m}^3/\text{s}}{4\text{m/s}} = 0,25\text{ m}^2 \quad \rightarrow \frac{0,25\text{ m}^2}{5\text{ m}} = 5\text{ cm}$$

1. Hauteur du canal collecteur au niveau du premier canal de récupération = 5 cm
2. Hauteur au niveau du second canal de récupération = 10 cm
- .
- .
- .
7. Hauteur au niveau du septième canal de récupération = 35 cm

3.7 Canal de transport de l'air

Ce canal doit conduire l'air de façon la plus directe, et sans perte de pression, du capteur au ventilateur. Pour cela sa section doit être importante, de façon à ce que la vitesse de l'air ne dépasse pas 4 m/s. Il faut également éviter les coudes et si possible casser les angles ou les arrondir.

4. Construction d'installations avec capteur solaire

4.1	Capteurs solaires	41
4.1.1	Sur toit à pannes	41
4.1.2	Sur toit à chevrons	41
4.1.3	Sous-toiture	42
4.1.4	Entrée d'air	43
4.1.5	Étanchéité	43
<hr/>		
4.2	Canal collecteur	43
4.2.1	Sur toit à pannes	43
4.2.2	Sur toit à chevrons	45
<hr/>		
4.3	Canal d'air	46
<hr/>		
4.4	Caisson du ventilateur	47
<hr/>		
4.5	Formes spéciales	48
4.5.1	Capteur en sous-toiture	48
4.5.2	Capteur sur toiture	48

4. Construction d'installations avec capteur solaire

4.1 Capteurs solaires

4.1.1 Sur toit à pannes

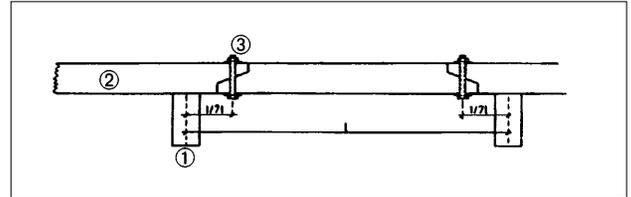
Par pannes on entend les poutres supportant les plaques d'Eternit. Ces poutres sont placées parallèlement au faîte. En règle générale, elles ont une hauteur de 16 à 22 cm pour une largeur de 8 à 12 cm. La hauteur des pannes ainsi que leur espacement sont déterminés par l'architecte ou le charpentier en fonction de la charge due à la neige dans la région.

Il est préférable que les pannes soient entaillées plutôt que juxtaposées latéralement, de façon à laisser passer le maximum d'air. Les pannes forment les parois des canaux du capteur. Généralement des panneaux de bois agglomérés sont utilisés pour réaliser la sous-couverture. Lorsque la hauteur du canal du capteur correspond à la hauteur des pannes moins 2 cm, il est recommandé de clouer des lattes sur les côtés des pannes avant le montage.

4.1.2 Sur toit à chevrons

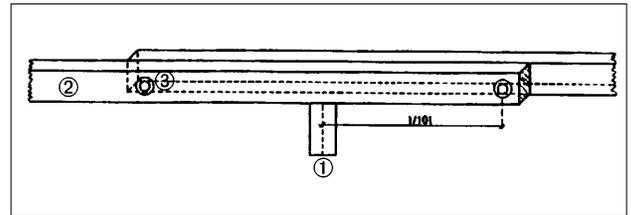
Par chevrons, on entend les poutres qui vont du faîte du toit à la gouttière et qui supportent les lattes à tuiles ou autres matériaux de couverture. Pour des nouvelles constructions, on peut travailler de la même manière que pour les toits à pannes. Sur les toits à chevrons, on profite généralement de la remise à neuf du toit pour installer un capteur solaire. Sur de vieilles toitures, généralement déformées, l'ajustage que nécessite la pose de panneaux entre les chevrons ne se justifie que lorsque la fixation des panneaux sous les chevrons laisse prévoir un réchauffement insuffisant de l'air.

Sur les toits à chevrons, il faut particulièrement prendre garde à la hauteur des canaux aux points de fixation des chevrons sur les pannes. Si ceux-ci sont entaillés, cela provoquera une diminution de la section du canal. Ceci apparaît dans l'exemple de la jonction des chevrons sur une panne inférieure.

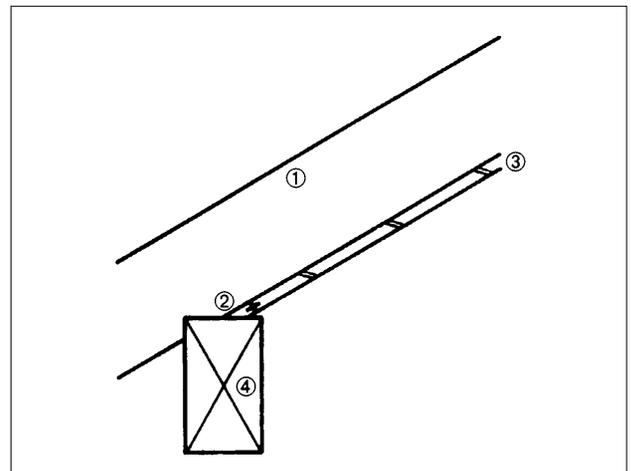


Pannes entaillées

- 1: ferme
- 2: pannes
- 3: vis de fixation

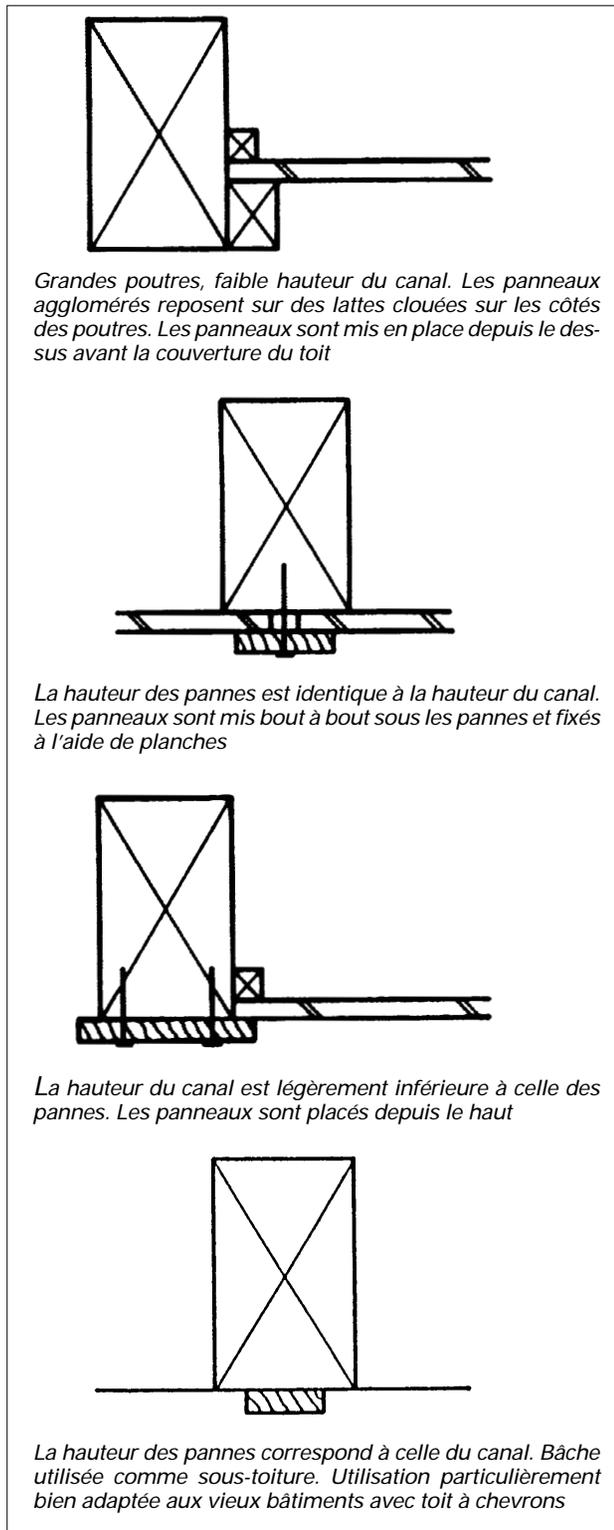


Pannes juxtaposées latéralement



Fixation des chevrons sur la panne inférieure

- 1: chevron
- 2: entaille
- 3: panneau de bois aggloméré
- 4: panne inférieure



Types de montages

4.1.3 Sous-toiture

Pour des constructions neuves, il est recommandé de poser les panneaux agglomérés des canaux d'air juste avant la couverture du toit. Le charpentier peut fixer sur les pannes, avant de les monter, des lattes sur les côtés ou des planches au-dessous. De cette façon les panneaux agglomérés (19 mm) une fois débités, peuvent être posés très rapidement depuis le dessus. Ce travail, pour une question de rapidité d'exécution, devrait, en pratique, toujours être confié à un charpentier. Car il faut se représenter le surcroît de travail pénible qu'exige le montage après coup des panneaux.

Ceux-ci sont de préférence liés les uns aux autres par une languette fixée dans une rainure. Il convient pourtant de laisser un jeu d'environ 2 mm afin que les panneaux d'aggloméré puissent «travailler».

Lors du montage des panneaux par dessous, les couvre-joints peuvent être cloués après la pose des plaques; des bandes métalliques peuvent également être utilisées dans ce but.

D'autres matériaux conviennent aussi comme sous-couverture (tôles profilées, plaques en fibres dures ou bâches). Les plaques en fibres dures sont plutôt à déconseiller, car le matériel pour des joints étanches fait défaut.

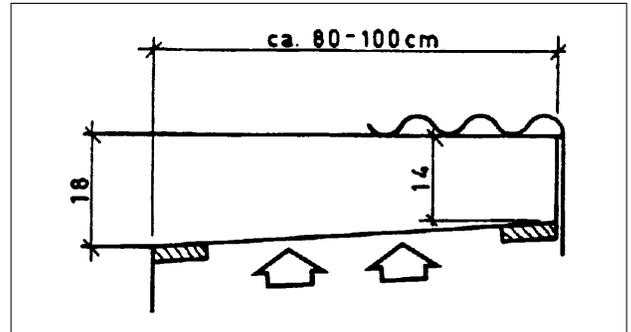
Lorsque l'espace nécessaire au canal d'air du capteur est égal ou légèrement inférieur à la dimension des poutres, il est possible d'utiliser des bâches de polyéthylène renforcé (Bigroflex, Nissan, Sarnafil). Ces bâches sont nettement plus légères que des panneaux. Il faut cependant bien les tendre avec un palan, lors du montage, en les enroulant sur des lattes à tuiles de façon à ce qu'elles ne se déforment pas trop avec la chaleur, en été, au risque de diminuer la section des canaux d'air. Il est possible d'acheter des bâches sur mesure aux dimensions des entre-pannes et de la largeur du toit.

Les bâches sont particulièrement bien adaptées au montage effectué après coup, dans des bâtiments anciens, par l'agriculteur lui-même. Elles doivent être placées dans des endroits où il n'y a pas de risques de déchirures par des outils de manutention (griffe à fourrage) ou la projection de pierres par un souffleur à fourrage.

4.1.4 Entrée d'air

Les canaux d'air du capteur prennent l'air à l'extérieur du toit. Leur entrée sera protégée par un filet ou un treillis contre les oiseaux. Leur ouverture doit correspondre au minimum à la hauteur des canaux. Si les pannes sont prises dans un mur antifeu, il faut aménager un canal d'aspiration.

Lorsque l'entrée d'air est située au faite du toit, prévoir également un filet contre les oiseaux ainsi que des volets à jalousies.



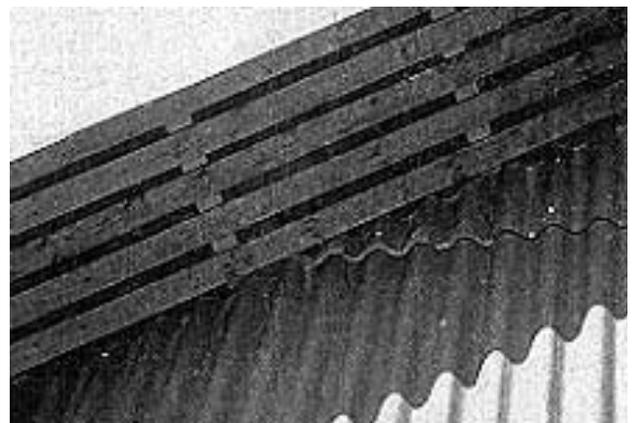
Entrée d'air

4.1.5 Etanchéité

Les capteurs doivent être étanches vers l'extérieur. Pour les plaques ondulées, il existe des profils d'étanchéité en caoutchouc mousse. Ceux-ci sont mis en place lors du montage. Il est suffisant de prévoir un joint d'étanchéité au bas et au haut du capteur.

Les panneaux sont en principe rainurés et reliés par une languette. Dans le canal leur étanchéité est assurée par de la mousse de remplissage. Les bâches seront fixées de tous les côtés à l'aide de lattes.

De l'eau de condensation ne devrait se former qu'exceptionnellement et elle provient généralement de l'air humide des étables.



Dans les endroits exposés au vent ou pour des questions d'esthétique, il est possible de monter des planches espacées les unes des autres. Il est cependant indispensable que la largeur totale des ouvertures corresponde au moins à la hauteur du canal

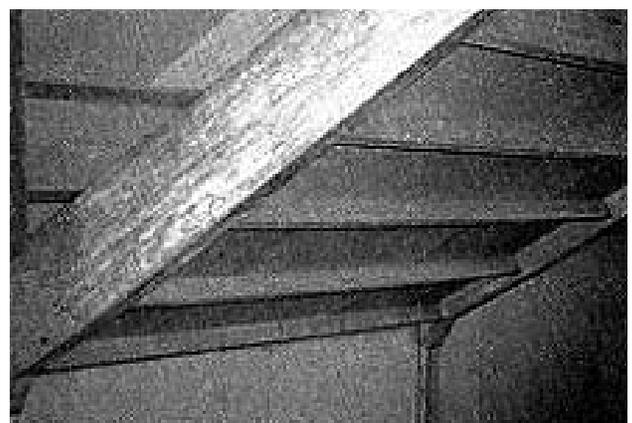
4.2 Canal collecteur

4.2.1 Sur toit à pannes

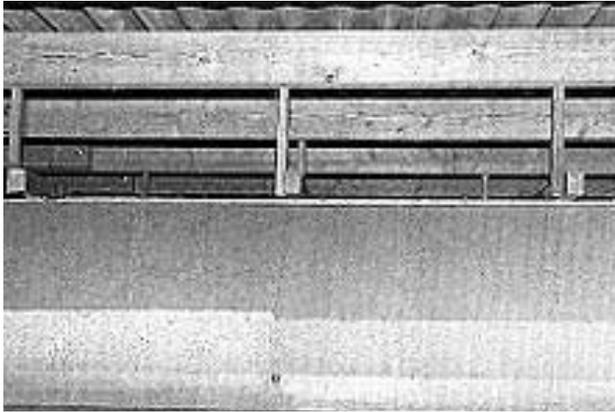
Dans les granges sur étables avec capteur placé sur le pan sud du toit et ventilateur placé également au sud, la longueur du canal est courte. L'espace entre deux fermes est utilisé pour réaliser le canal collecteur. Dans ce type d'installation, le canal collecteur est de forme conique.

Selon la section nécessaire, le canal peut être réalisé de différentes façons:

A: Des pannes sont fixées entre les fermes et soutiennent les panneaux agglomérés.



A: des pannes fixées entre les fermes soutiennent les panneaux agglomérés

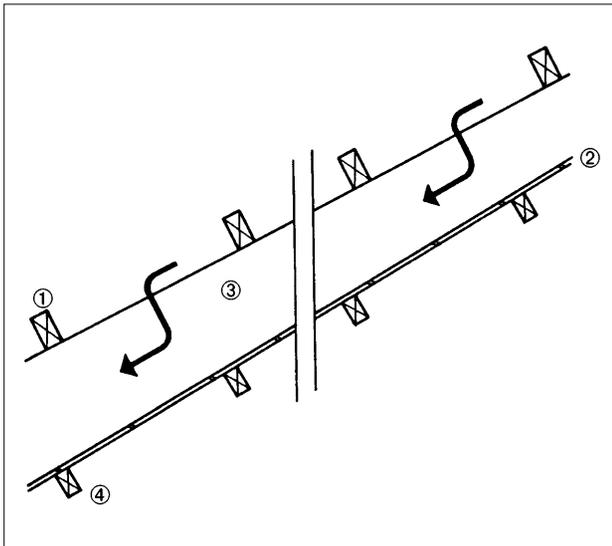


B: les lattes auxquelles sont fixées la sous-couverture du canal collecteur sont dirigées du faîte vers la gouttière ce qui favorise le passage de l'air. La sous-couverture est fixée aux pannes par des lattes

B: Les lattes soutenant la sous-couverture sont fixées aux pannes par des bandes métalliques ou des lattes en bois. Les lattes sous lesquelles sont fixés les panneaux sont dirigées dans le sens faîte – gouttière ce qui favorise le passage de l'air.

C: Les pannes sont fixées en travers, sous les fermes et les panneaux d'aggloméré sont posés depuis le haut.

Si la largeur entre fermes et leur hauteur est suffisante, la variante A sera choisie. Si la section est trop réduite les variantes B ou C seront préférées.



C: canal collecteur en coupe, lorsque la section nécessaire est identique à la hauteur des fermes

1: pannes

2: panneaux agglomérés

3: ferme

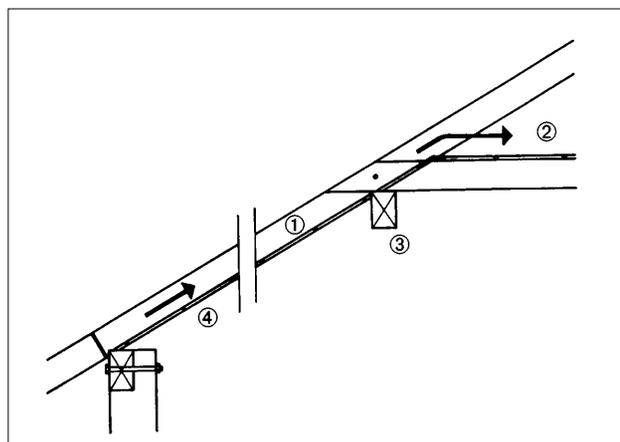
4: lattes supportant la sous-couverture

4.2.2 Sur toit à chevrons

Avec une entrée d'air le long de la gouttière, le canal collecteur se trouve dans le faîte. Dans le triangle du faîte, un plancher monté sur les poutres existantes sert de base au canal. Dans une nouvelle réalisation, on monte des pannes (8 x 16 cm) entre les fermes sur lesquelles on pose le plancher.

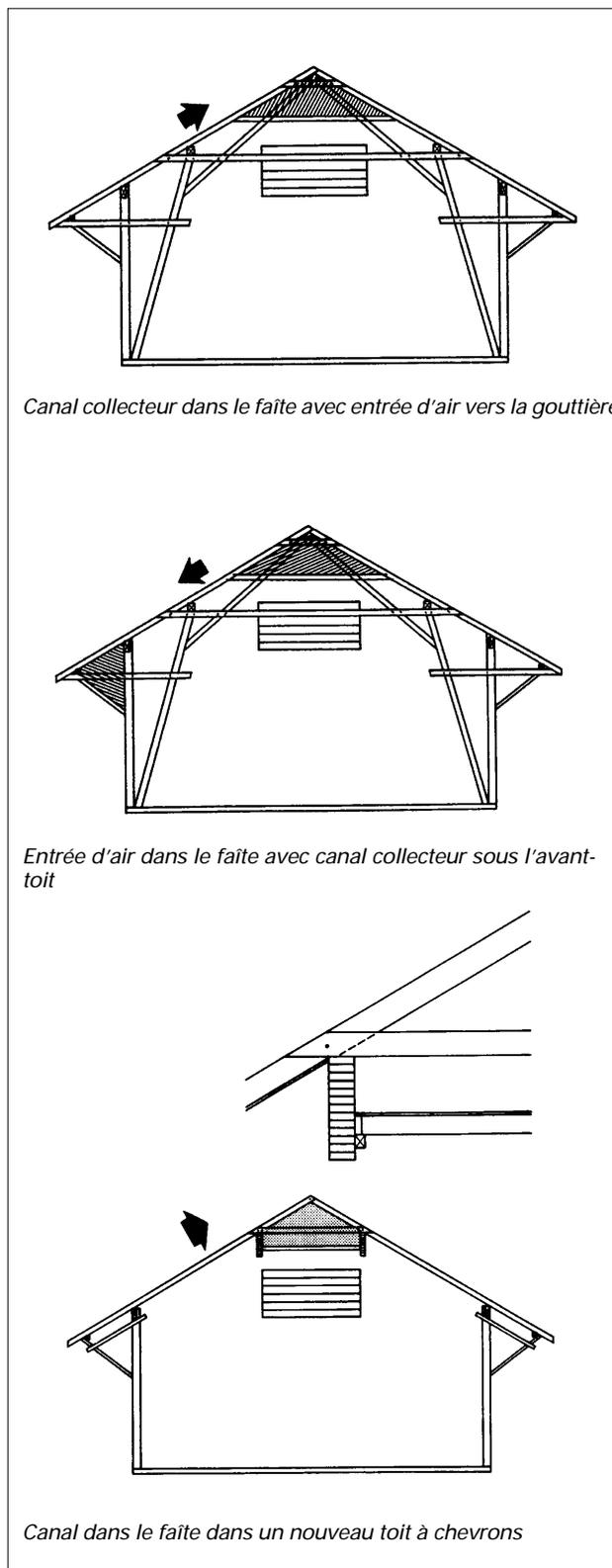
Lorsque l'air entre par le faîte par des jalousies et est conduit en direction des gouttières, le canal dans le faîte permet de répartir l'air dans le capteur, alors que l'avant-toit sert de canal collecteur. Ce type de réalisation peut se faire dans d'anciennes comme dans de nouvelles constructions. Dans les variantes avec aspiration par le faîte, on a le risque que l'air humide sortant du tas soit directement aspiré dans le capteur. De ce fait, les sorties d'air ne doivent pas se situer juste sous l'entrée d'air, mais être placées sur le côté opposé du bâtiment.

Dans toutes les variantes où le faîte est fermé parce qu'il constitue soit le canal d'entrée d'air, soit le canal collecteur, il faut particulièrement bien étudier la ventilation de l'étable.



Canal collecteur dans un toit à chevrons

- 1: Chevrans
- 2: Canal collecteur
- 3: Pannes
- 4: Panneaux agglomérés



Canal collecteur dans le faîte avec entrée d'air vers la gouttière

Entrée d'air dans le faîte avec canal collecteur sous l'avant-toit

Canal dans le faîte dans un nouveau toit à chevrons

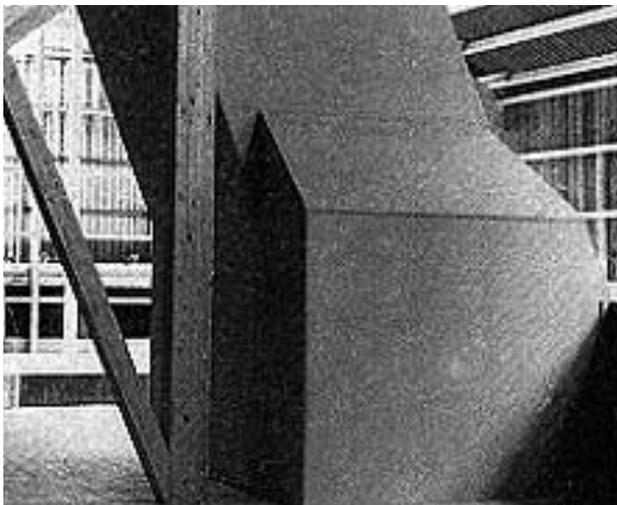


Canal d'air passant par le faîte. Dans ce type de canal particulièrement long, il faut que la section soit suffisante pour éviter de trop grandes pertes de pression

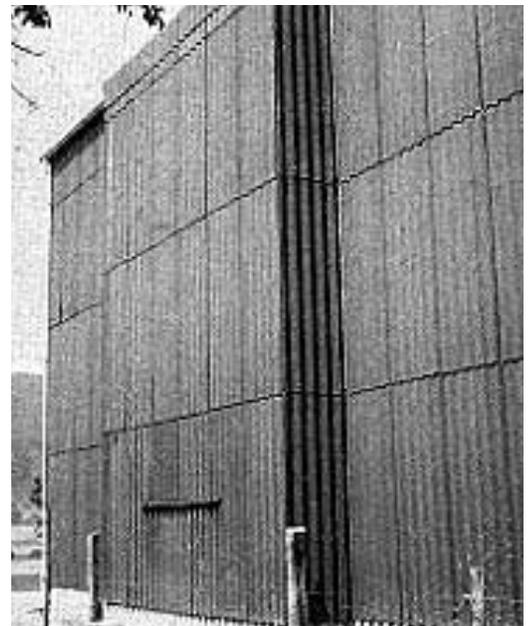
4.3 Canal d'air

Dans la plupart des cas, la liaison entre le canal collecteur et le ventilateur se fait par un canal vertical. Le ventilateur se trouve au centre de celui-ci, ce qui n'entraîne que peu de pertes de pression.

Les canaux d'air peuvent avoir des formes géométriques fort différentes. Ils sont le plus souvent carrés ou triangulaires. Ils peuvent occuper une partie importante d'un bâtiment. Parfois on monte une double paroi pour réduire la partie qu'ils occupent.



Le canal d'air relie le canal collecteur au ventilateur. Ce canal doit être de section suffisante

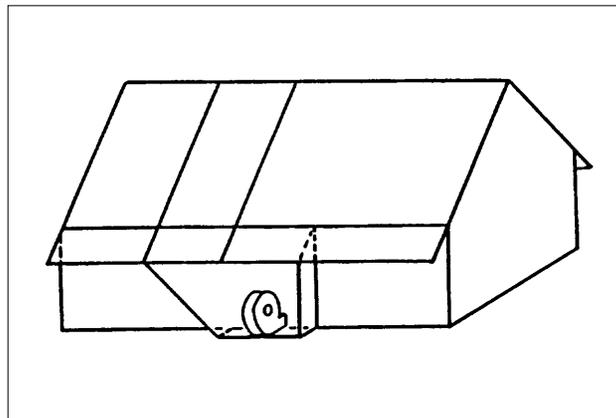


Dans les granges avec pont roulant, le chemin de roulement de celui-ci constitue un obstacle. Le canal peut se faire en dessus du pont roulant et l'air circule par un canal extérieur au bâtiment

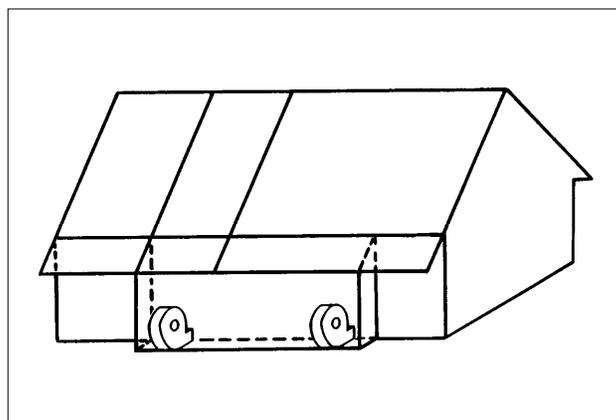
4.4 Caisson du ventilateur

Dans la majorité des cas, le ventilateur se trouve dans le canal de conduite d'air. Le caisson du ventilateur présente une forme et un volume très variables. A l'intérieur d'un bâtiment, il peut être placé dans un réduit pouvant servir également d'endroit de stockage (par exemple local entre la paroi du bâtiment et celle de l'installation de séchage en grange). Le caisson du ventilateur doit être étanche. La distance entre les parois du caisson et le ventilateur sera suffisante pour ne pas perturber l'entrée d'air dans le ventilateur.

Une double paroi en façade permet d'amener l'air au ventilateur, lorsque le canal collecteur construit entre deux fermes ne correspond pas à l'emplacement du ventilateur. Il est également possible, grâce à une double paroi en façade d'amener l'air à deux ventilateurs.



Caisson du ventilateur décentré par rapport au canal collecteur



Large caisson permettant d'alimenter deux ventilateurs



Caisson de ventilateur placé entre la façade et la paroi de l'installation de séchage en grange. Une porte donne accès au ventilateur et permet l'apport d'air extérieur



Cette étable est couverte de polyester translucide (190 m²) servant de capteur solaire. L'air entre dans le capteur le long de la gouttière. Il monte, puis est dirigé depuis chacun des côtés vers le ventilateur placé au centre



Capteur en tôle d'aluminium placé sur une grange existante. La deuxième couche de poutres repose directement sur le toit en Eternit existant. Ce dernier est percé en son milieu, afin que l'air puisse passer dans le canal collecteur placé juste en dessous

4.5 Formes spéciales

4.5.1 Capteur en sous-toiture

On utilise l'espace en sous-toiture, que l'on retrouve en général sur les étables, comme capteur solaire. Cette étable est placée contre la façade d'une grange existante. L'espace entre le plafond isolé de l'étable et la toiture constitue un capteur bon marché pour autant que la section entre le toit et le plafond ne soit pas trop importante et que le ventilateur puisse être alimenté par un canal relativement court. Dans des constructions neuves ou des rénovations, le capteur devrait être envisagé dès la planification.

4.5.2 Capteur sur toiture

Un capteur solaire peut également être construit sur un toit existant. Pour cela, on place sur le toit une armature de poutres que l'on superpose aux pannes existantes. L'ancienne toiture sert de sous-couverture alors qu'une nouvelle toiture est construite sur les poutres superposées. Un trou dans l'ancienne toiture permet de faire passer l'air dans le canal collecteur situé dans la grange. Ce type de construction est facile à réaliser, par contre, il présente l'inconvénient d'être coûteux, car il demande des matériaux supplémentaires: une deuxième poutraison et une deuxième toiture.

5. Coûts d'investissement

1	Couverture du capteur	51
2	Sous-couverture du capteur	51
3	Canal collecteur	52
	Exemple de calcul	52

5. Coûts d'investissement

Pour les capteurs solaires intégrés en toiture, les coûts d'investissement se composent:

- des coûts supplémentaires requis par la toiture en comparaison de ceux des matériaux standards utilisés à cette altitude dans la région;
- des coûts liés à la sous-toiture, au canal collecteur et au canal conduisant l'air au ventilateur.

Pour un capteur superposé à une toiture existante, c'est l'ensemble des coûts à l'exception des frais de sous-toiture.

Les prix indicatifs suivants permettent d'évaluer le coût d'un capteur solaire.

Coûts d'investissement liés à la construction d'un capteur solaire pour le séchage en grange (prix indicatifs 1991)

Composant:	Unité	Coût supplémentaire pour capteur solaire en Fr. par unité
1. Couverture du capteur		
Couverture placée sur les pannes sans joints d'étanchéité		
1.1 Eternit brun (couverture standard Fr. 35.-/m ²)	m ²	--
1.2 Polyester ondulé (Fr. 50 à 60.-/m ²)	m ²	15-25.-
1.3 Aluminium ondulé brun (Fr. 50-60.-/m ²)	m ²	15-25.-
1.4 Tôle d'acier brune (Fr. 35.-/m ²)	m ²	--
1.5 Tôle d'acier brune avec imitation tuiles (Fr. 55-65.-/m ²)	m ²	20-30.-
Supplément pour les repères 1.1 à 1.5 pour:		
1.6 Eternit sur toit à chevrons, y compris lattage 60/40 mm (Fr. 65-75/m ²)	m ²	30-40.-
1.7 Lattage 60/60 mm pour montage sur toit en chevrons	m ²	5-7.-
1.8 Montage sur un toit Eternit existant	m ²	15-20.-
2. Sous-couverture du capteur posée, y compris lattes de fixation		
2.1 Panneaux agglomérés montés entre pannes ou chevrons	m ²	35-40.-
2.2 Panneaux agglomérés montés sous les pannes ou les chevrons, y compris joints d'étanchéité	m ²	50-55.-
2.3 Bâche plastique montée sous les pannes ou les chevrons, y compris joint d'étanchéité	m ²	25-30.-

Composant:	Unité	Coût supplémentaire pour capteur solaire en Fr. par unité
3. Canal collecteur, panneaux en aggloméré montés, y compris plaques/lattes de fixation		
3.1 Dans le capteur, supplément pour l'élargissement du canal	m ²	10-15.-
3.2 Dans les autres toitures	m ²	55-60.-
3.3 Canal collecteur au faite pour les toits à chevrons: supplément pour la création d'un canal	m ²	10-15.-
3.4 Canal sous l'avant-toit pour un toit à chevrons: supplément pour la création d'un canal	m ²	10-15.-
3.5 Canal vertical sur le côté du bâtiment (fermé sur 3 côtés) pour relier le ventilateur:		
1. Pour 1 ventilateur, section 250/200	par ml	290-360.-
2. Pour 2 ventilateurs, section 450/200	par ml	380-470.-

- Prix indiqués pour des travaux exécutés par un entrepreneur.
- Le prix des matériaux représente environ 60%, les frais de main-d'œuvre 40%.
- Pour un montage après coup, les frais d'échafaudage peuvent être calculés à Fr. 15.- par m².

Exemple de calcul

Surface de capteur	rep. 1.1	200 m ²		Fr.	-.-
Sous-couverture	rep. 2.1	200 m ²	à 37.-	Fr.	7'400.-
Canal collecteur	rep. 3.1	12 m ²	à 12.-	Fr.	144.-
	rep. 3.2	12 m ²	à 57.-	Fr.	684.-
	rep. 3.5.1	6 ml	à 320.-	Fr.	1'920.-

Coût total supplémentaire pour le capteur: Fr. 10'148.-

Bibliographie

Publications générales

Le séchage en grange de A à Z
J. Baumgartner, Rapport FAT N° 406, Tänikon, 1991

Projets et réalisations de capteurs solaires
pour le séchage du foin
F. Nydegger, Rapport FAT N° 407, Tänikon, 1991

Untersuchung von Luftkollektoren zu Heiz-
und Trocknungszwecken
J. Keller, V. Kyburz, A. Kölliker, PSI-Bericht Nr. 18,
Würenlingen, 1988

Sources des illustrations

(Pour autant qu'elles ne soient pas tirées des publi-
cations ci-dessus).

FAT – Station fédérale de recherches d'économie
d'entreprise et de génie rural

Ecole d'agriculture, Flawil

Annexe

Logiciel PC «Capteurs solaires pour le séchage en grange» (version 1.3)

1. Généralités

Ce logiciel permet de dimensionner un capteur solaire pour le séchage en grange. Il est basé sur des mesures faites sur des modèles réalisés à l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs (IFR) à Würenlingen. La base de ces résultats a été publiée dans le Rapport FAT N° 325 «Bases pour la planification de capteurs d'air pour le séchage du foin».

Elle a également donné lieu à un programme informatique. Le logiciel décrit est une version modifiée pour utilisation sur PC.

Le logiciel calcule, pour une surface de capteur donnée et un type de couverture, en tenant compte de la hauteur des pannes ou des chevrons, la vitesse de l'air dans le capteur, la perte de pression, le rendement et l'augmentation de température de l'air de séchage pour un rayonnement solaire de 800 W/m². Ce calcul est repris neuf fois avec chaque fois une différence de hauteur du canal de 1 cm, (le premier calcul correspond à la hauteur des pannes).

2. Données à introduire

Après l'appel du programme «SOKO» apparaît une liste de capteurs déjà calculés. Le fichier «SOKO.DAT» contient une série d'exploitations types qui peuvent être modifiées suivant les besoins. Après le choix d'une exploitation apparaît l'image-écran des données de l'exploitation concernée. Pour chaque calcul les données sont modifiables (toutes ou seulement quelques-unes).

L'image-écran contient les données suivantes:

- Adresse du conseiller
- Adresse de l'exploitation avec son altitude
- Nombre de ventilateurs
- Surface du tas (1 ou 2 tas)
- Hauteur du tas (1 ou 2 tas)
- Volume d'air introduit (pour 1 ou 2 tas)
- Pression de l'installation
- Type de capteur (matériel)

- Longueur totale du capteur
- Longueur partielle du capteur (lors de 2 entrées d'air)
- Largeur du capteur
- Hauteur des pannes

L'adresse du conseiller peut être adaptée à chaque utilisateur, celle de l'exploitation est à changer lors de chaque calcul. Ces deux adresses ne figurent pas sur l'écran, mais seulement lors de l'impression des résultats sur papier.

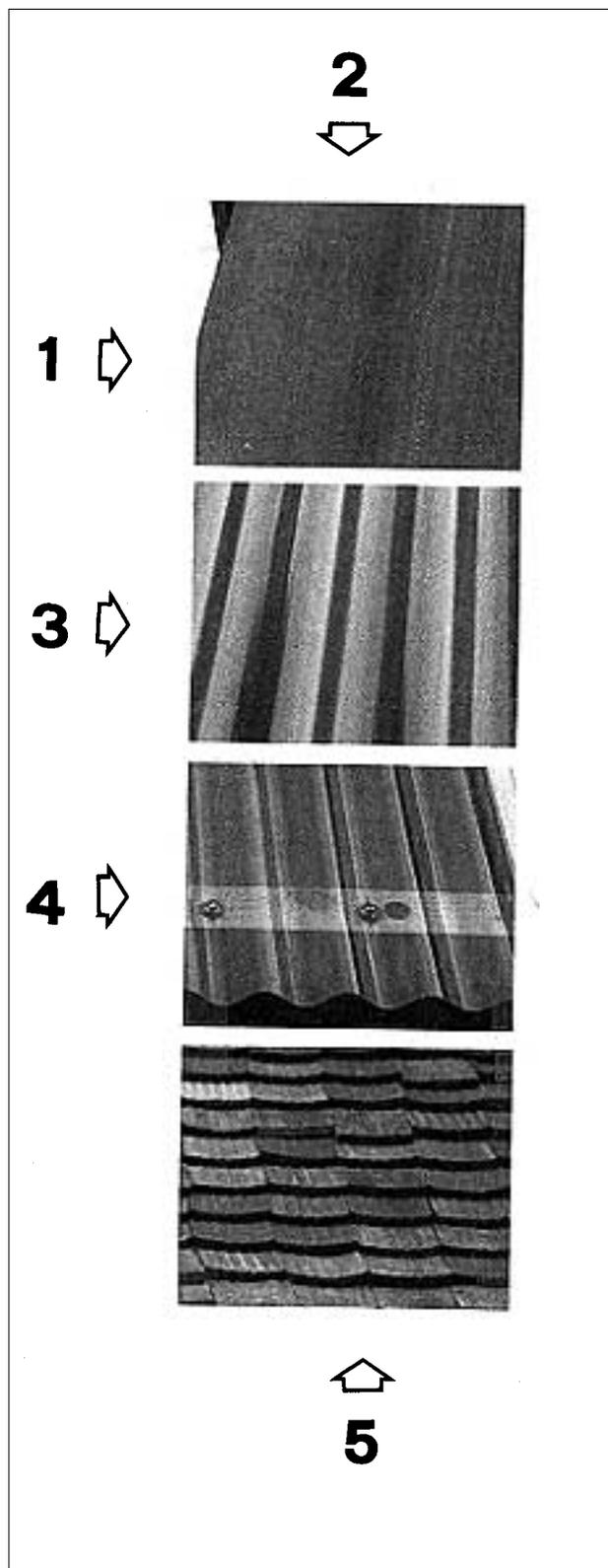
Par l'intermédiaire d'images-écrans, des explications sont données sur la manière d'introduire les données. Un test de plausibilité vérifie les données introduites. Celles-ci doivent se trouver entre les limites indiquées (chiffres entre parenthèses).

Les corrections dans le champ correspondant seront effectuées à l'aide de la touche «<-».

Après introduction d'une valeur, taper la touche «Enter». La touche de direction contre le haut permet de reculer d'un champ, la touche de direction vers le bas d'avancer d'un champ. Les touches de commande apparaissent sur la dernière ligne.

Si l'on dispose de 2 tas de foin, (équivalents ou de grandeur différentes) il est nécessaire de taper un 2 à la question Nombre d'installations, sinon taper 1.

En fonction de la surface du tas et de sa hauteur, le logiciel calcule le débit d'air et la pression de l'installation. Ces valeurs ne sont calculées que si l'on a tapé la touche Enter ou la touche de direction vers le bas dans les champs correspondants. Si l'on a défini le choix du ventilateur, il est nécessaire d'indiquer son débit avec sa pression respective.



Le calcul concerne les 5 types de capteurs suivants:

- Type 1: Eternit brun, en travers des ondulations
- Type 2: Eternit brun, dans le sens des ondulations
- Type 3: Aluminium brun, en travers
- Type 4: Polycarbonate translucide, en travers
- Type 5: Couverture en tuiles

Un capteur solaire en 2 parties n'entre en considération que s'il y a deux entrées d'air. Un collecteur placé sur un toit à chevrons n'a, en règle générale, qu'un côté d'aspiration.

Les données pour les dimensions des pannes ou des chevrons ainsi que la hauteur du canal sont proposées avec les dessins ci-contre. Après l'introduction de toutes les données taper la touche «Pg Dn».

Matériaux de couverture

- 1: Eternit brun, en travers
- 2: Eternit brun, dans le sens des ondulations
- 3: Aluminium brun, en travers
- 4: Polycarbonate translucide, en travers
- 5: Couverture en tuiles

3. Contrôle des données

Sur l'écran les indications suivantes apparaissent:

Les données avec le signe # (par ex. # 0,15) sont des données critiques et doivent être modifiées. Les données sont stockées dans Exploitation N° 1 de SOKO.DAT, et peuvent être rappelées depuis ce fichier.

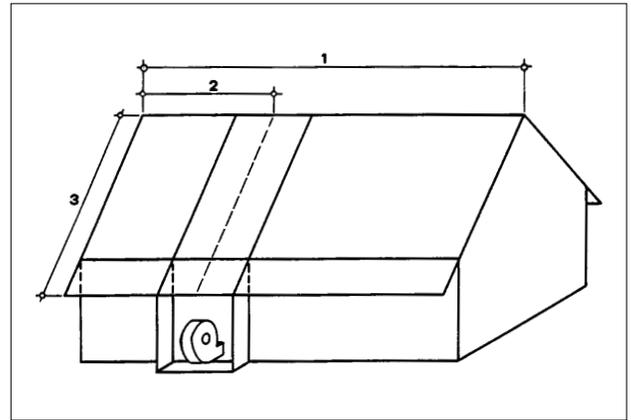
Les données avec le signe \$ sont en dehors des limites acceptées et doivent être vérifiées. Le programme ne sera pas pour autant interrompu.

Le choix sera défini par la section des entrées d'air (un ou deux côtés) et les données du ventilateur. Le contrôle du calcul indique si les valeurs sont normales ou critiques (signe #).

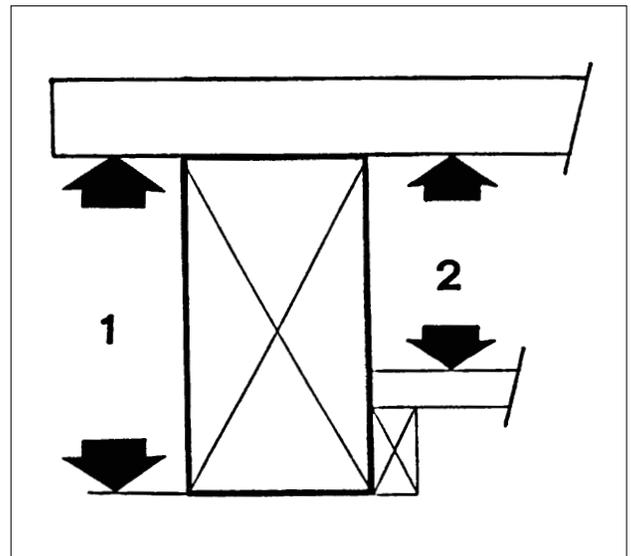
Le rapport entre la surface du capteur et la surface du toit est également vérifiée. Un signe \$ apparaît si le rapport est en dehors des valeurs suivantes:

Eternit:	2 – 3
Aluminium:	1,5 – 2,5
Polycarbonate:	1 – 1,5
Tuiles:	2,5 – 3,5

Le signe \$ apparaît lorsque l'on est en dessus ou en dessous de cette valeur. Une valeur trop élevée liée à une trop grande surface de capteur entraîne des frais d'investissement élevés. Des valeurs trop faibles ne permettent pas d'atteindre une augmentation de la température de l'air de 6°C.



Dimensions du capteur
 1: longueur totale
 2: longueur partielle
 3: largeur



Espacements
 1: hauteur des pannes
 2: hauteur du canal

4. Interprétation des résultats

Les résultats apparaissent à l'écran. On définit la hauteur du canal avec une augmentation de la température de 6°C et une perte de pression ne dépassant pas 1 mbar. L'image-écran se présente ainsi:

Hauteur des pannes (cm)	20		
Débit d'air (m ³ /s)	12,1		
Longueur du collecteur (m)	12,5		
Hauteur du canal (cm)	13	12	11
Vitesse de l'air (m/s)	5,82	6,30	6,88
Perte de pression (mbar)	0,98	1,23	1,58
Rendement (%)	49	50	52
Augmentation de la température*) (°C)	5,8	6,0	6,1
Longueur du collecteur (m)	7,5		
Hauteur du canal (cm)	8	7	6
Vitesse de l'air (m/s)	5,67	7	6
Perte de pression (mbar)	0,91	1,33	0,00
Rendement (%)	51	53	0
Augmentation de la température*) (°C)	6,0	6,3	0,0

*) avec un ensoleillement de 800 W/m²

Lorsque les longueurs d'aspiration ne sont pas équivalentes, le logiciel permet de calculer différentes hauteurs de canal pour avoir une perte de pression équilibrée.

Il est ainsi possible de décider si les résultats sont satisfaisants. Dans le cas contraire on contrôle les données, et on recommence depuis le début.

5. Imprimer et stocker les données

Lorsque les résultats sont satisfaisants, il est possible de les imprimer. Si l'imprimante n'est pas allumée, l'ordinateur nous avertit par un «bip».

Le logiciel demande sous quel N° d'exploitation les données doivent être conservées. L'exploitation N° 1 est réservée aux données en train d'être travaillées. Les N° 2 à 15 sont disponibles. Lorsque l'on n'a plus besoin des données d'une exploitation, il est possible de la remplacer par une autre.

La dernière question permet d'indiquer si l'on désire calculer un autre capteur ou une autre variante.

Associations de soutien

ASETA

Association suisse pour l'équipement
technique de l'agriculture

The logo for SIA (Société suisse des Ingénieurs et des Architectes) consists of the lowercase letters 'sia' in a bold, black, sans-serif font.

Société suisse
des Ingénieurs et des Architectes



Union technique suisse

SRVA

Service romand
de vulgarisation agricole

ISBN 3-905232-25-1

Edition originale: ISBN 3-905232-01-4