

**Zeitschrift:** Technique agricole Suisse  
**Herausgeber:** Technique agricole Suisse  
**Band:** 52 (1990)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Déshumidificateurs-pompes à chaleur pour le séchage de foin et de maïs  
**Autor:** Baumgartner, Jürg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1084710>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Août 1989

370

## Déshumidificateurs-pompes à chaleur pour le séchage de foin et de maïs

Jürg Baumgartner

Après avoir terminé les tests d'une pompe à chaleur air-air (voir Rapport no. 324), la FAT a entrepris des essais de séchage de foin et d'ensilage de maïs haché au moyen d'un déshumidificateur. Contrairement à la pompe à chaleur air-air, le déshumidificateur enlève une partie de l'eau contenue dans l'air avant de réchauffer ce dernier. Cette méthode permet de sécher du fourrage humide même pendant la nuit et par temps de pluie.

### 1. Introduction

Il existe plusieurs possibilités pour augmenter le potentiel de travail d'une installation de séchage en grange:

a) Réduction de l'humidité relative de l'air par chauffage. Ce procédé fait augmenter la déficience de saturation, c'est-à-dire que l'air peut absorber davantage d'eau. La déficience de saturation est la dif-

férence entre la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la pleine saturation qui correspond à 100% d'humidité relative. La pleine saturation n'est toutefois jamais atteinte au cours du processus de séchage du foin. En plus, du fourrage presque sec dégage beaucoup moins d'eau qu'une matière très humide.

L'air peut être chauffé à l'aide des systèmes suivants: pompe à chaleur air-air, soufflerie à air chaud (équipée d'un brûleur à mazout, à propagaz ou à biogaz; chauffage direct et indirect), chauffage central avec échangeur thermique, capteurs solaires, etc.

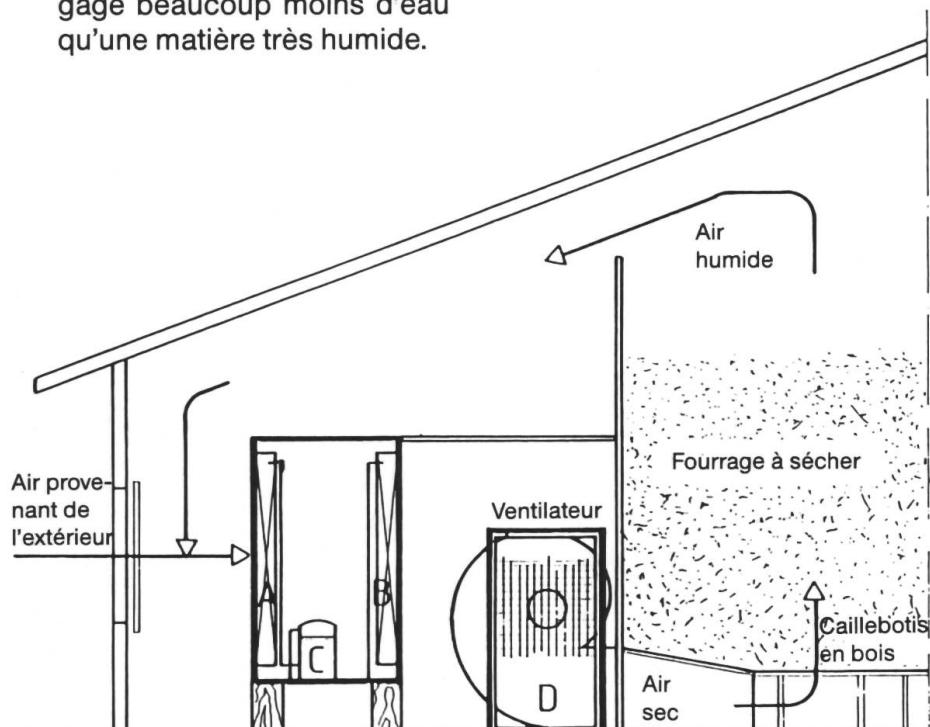


Fig. 1: Principe de fonctionnement du déshumidificateur BP.

- b) Déshumidification de l'air de séchage. L'eau est évacuée par condensation. Alors que la teneur absolue en eau diminue, l'humidité relative de l'air va jusqu'à 100%. Par la suite, l'air est réchauffé, sinon la déficience de saturation ne serait pas augmentée.
- c) Une autre possibilité consiste à planifier des tas dont la surface de base est suffisamment dimensionnée. Rappelons dans ce contexte la valeur indicative de 7 - 8 m<sup>2</sup> par UGB en cas d'affouragement en foin. Les tas dont le foin doit être enlevé et pressé après ou pendant la fenaison, ont une surface de base trop petite; ventilés à l'air froid, ils ne sèchent pas assez. Des déshumidificateurs-pompes à chaleur sont alors utilisés afin d'accélérer le processus de séchage.

**Tableau 1: Résultats des essais 1987/88 (regain et foin, valeurs moyennes)**

Essai no.		1	2	3	4	5	6
Poids au remplissage	kg	5303	2970	7564	13953	6917	7824
MS au remplissage	%	67,3	55,6	60,6	39,5	65,3	48,8
MS après séchage	%	88,4	87,5	88,3	84,8	89,1	88,0
Air à l'entrée du déshumidificateur:							
- température	°C	20,2	14,6	17,3	12,2	9,5	9,1
- humidité relative	%	73,9	87,5	77,3	81,0	88,6	91,0
- déficience de saturation (100%)	g/m <sup>3</sup>	5,9	2,0	4,8	2,9	1,3	1,3
Air à l'entrée du ventilateur:							
- température	°C	25,2	20,9	23,0	17,8	16,1	15,5
- humidité relative	%	53,5	58,6	52,5	55,7	57,3	59,3
- déficience de saturation	g/m <sup>3</sup>	12,0	8,3	10,9	7,4	6,3	5,9
Augmentation de la déficience de saturation:							
- valeur absolue	g/m <sup>3</sup>	6,1	6,3	6,1	4,5	5,0	4,6
- valeur relative	%	203	315	227	155	485	454
Heures de marche de ventilateur	h	52,8	111,0	86,0	290,0	128,7	136,9
Heures de marche du déshumidificateur	h	42,0	107,7	68,7	244,0	125,2	128,1
Quantité totale d'eau extraite	kg	1273	1018*)	2437*)	7445	2182*)	3290*)
Quantité horaire d'eau extraite	kg/h	24,1	9,2	28,3	25,7	17,0	24,0
Débit du ventilateur	m <sup>3</sup> /s	5,2	5,0	4,7	5,2	5,0	4,7
Quantité spécifique d'eau extraite	g/m <sup>3</sup>	1,3	0,5	1,7	1,4	0,9	1,4
Pression du tas	mbar	2,1	2,5	3,6	3,7	4,5	5,2
Hauteur du tas au remplissage	m	1,2	1,7	2,9	1,2	2,5	3,6
Hauteur du tas après tassemement	m	1,1	1,6	2,4	1,0	2,1	2,9
Perte de pression dans l'évaporateur et le condenseur	mbar	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6
Puissance requise du ventilateur	kW	2,9	3,1	3,2	4,5	4,6	4,6
Puissance requise du déshumidificateur	kW	6,5	6,7	6,8	5,3	5,3	5,3
Consommation spécifique de courant électrique	Wh/kg H <sub>2</sub> O	335	1042	297	348	574	397
Consommation de courant électrique	kWh/dt foin	10,6	56,2	14,3	39,9	24,7	30,1

\*) Le passage de l'air à travers le fourrage peut entraîner un surséchage, c'est-à-dire une augmentation de la teneur en MS au-delà de 88%. Lors du séchage de la couche suivante, une partie de l'eau est simplement déplacée. L'air humidifie alors les couches inférieures précédemment surséchées. La déficience de saturation de cet air est cependant encore suffisante pour permettre le séchage de la couche la plus élevée, c'est-à-dire du fourrage humide.

## 2. Principe de fonctionnement des déshumidificateurs-pompes à chaleur

Le déshumidificateur (voir fig. 1) se compose essentiellement de l'évaporateur (élément de refroidissement, A), du condenseur (élément de réchauffement, B) et du compresseur (C). L'appareil est placé devant le ventilateur (D).

Le foin et le regain se sèchent généralement par de l'air provenant de l'extérieur. Environ 80% de l'air passent par l'évaporateur tandis que 20% sont dérivés vers le condenseur. L'air passant par l'évaporateur refroidit et dégage de la vapeur d'eau. La chaleur de condensation résultant de ce processus est transportée, au moyen du compresseur, vers le condenseur. Celui-ci réchauffe l'air (désormais un peu plus sec)

sortant de l'évaporateur et celui qui est amené directement de l'extérieur. Le ventilateur envoie l'air, par l'intermédiaire de la gaine de passage, puis à travers le caillebotis, dans le tas de fourrage à sécher.

En cas de températures en dessous d'environ 7° C, l'air extérieur

est peu approprié, étant donné que l'évaporateur risque de geler. On applique alors le procédé de séchage par circulation d'air, c'est-à-dire que l'air sortant du tas est réaspiré par le ventilateur. Cette méthode est également usuelle pour le séchage de maïs haché.

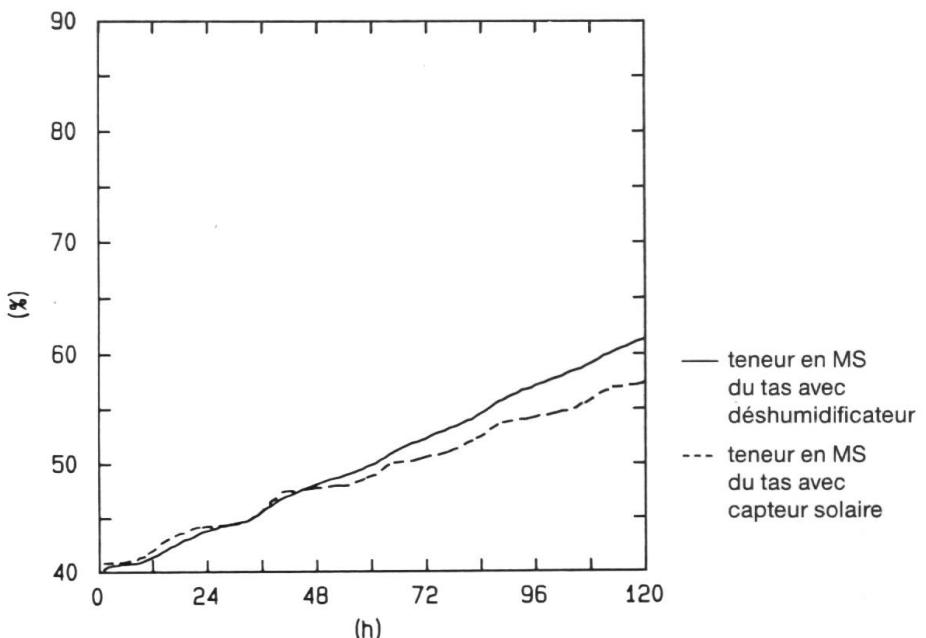


Fig. 2: Essai no. 4: par beau temps, le déshumidificateur n'a qu'une petite avance (d'environ une journée) sur le capteur solaire.

## 3. Données techniques et prix du déshumidificateur BP

Type:	2030/I
Dimensions extérieures:	
- largeur:	1650 mm
- hauteur:	1860 mm
- longueur:	1140 mm
Évaporateur et condenseur:	
- largeur:	1280 mm
- hauteur:	1610 mm
- surface:	1,06 m <sup>2</sup>
Chacun des deux éléments comprend 2 rangées de tubes	
Poids:	450 kg
Puissance nominale du compresseur:	6 kW
Prix 1989:	
- appareil:	Frs. 17'900.-
- commande	
hygrométrique:	Frs. 240.-

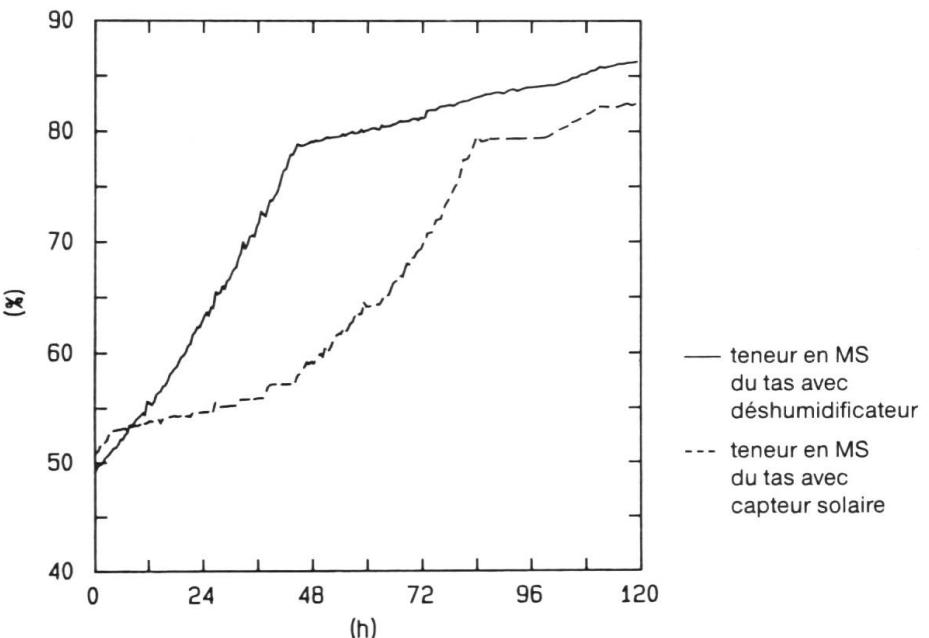


Fig. 3: Essai no. 6: par un temps pluvieux, le séchage au moyen d'un capteur solaire peut prendre plusieurs jours de plus pour fournir le même taux de MS que le déshumidificateur.

## 4. Séchage de foin et de regain

Les essais 1 à 3 (été 1987) avaient pour objet le séchage de regain tandis que les essais 4 à 6 (printemps 1988) concernaient le sé-

chage de foin. L'herbe préfanée, rentrée au moyen de l'autochargeuse, fut répartie en parties égales sur deux tas d'essai au moyen d'une griffe à foin. La surface de base de chacun des deux tas mesurait 50 m<sup>2</sup> alors que la hauteur nette était de 4,5 m. Dans l'une des installations d'essai,

l'air fut réchauffé au moyen d'un capteur solaire alors que dans l'autre, il fut déshumidifié et réchauffé par le déshumidificateur.

Lors de chaque apport sur le tas de fourrage, le poids de l'herbe préfanée et sa teneur en matière sèche furent déterminés. La température, l'humidité et le débit d'air, la pression et le poids du tas etc. furent saisis à intervalles de dix minutes dans chacun des deux tas. La connaissance de la hauteur barométrique ainsi que de la température et de l'humidité de l'air permettait de calculer la déficience de saturation. Les résultats des six mesures effectuées chaque heure donnaient une valeur moyenne.

Des valeurs moyennes furent calculées pour chacun des six essais de séchage. Le tableau 1 donne une vue d'ensemble des résultats obtenus.

L'herbe préfanée séchait plus vite dans l'installation équipée du déshumidificateur qu'avec le capteur solaire. (Lors des essais précédents, la pompe à chaleur air-air s'était d'ailleurs également avérée plus efficace que le capteur solaire.) La supériorité du déshumidificateur n'était pas aussi prononcée par du beau temps (essai no. 4, fig. 2) que dans des conditions météorologiques plutôt froides et humides (essai no. 6, fig. 3).

Le déshumidificateur était capable de multiplier par 1,5 à 4,8 la déficience de saturation, celle-ci étant décisive pour le processus de séchage.

Par beau temps, des gains de chaleur ne furent généralement notés que pendant la nuit et dans le courant de la matinée (voir fig. 4). L'augmentation de la déficience de saturation s'exprimait non seulement par une réduction

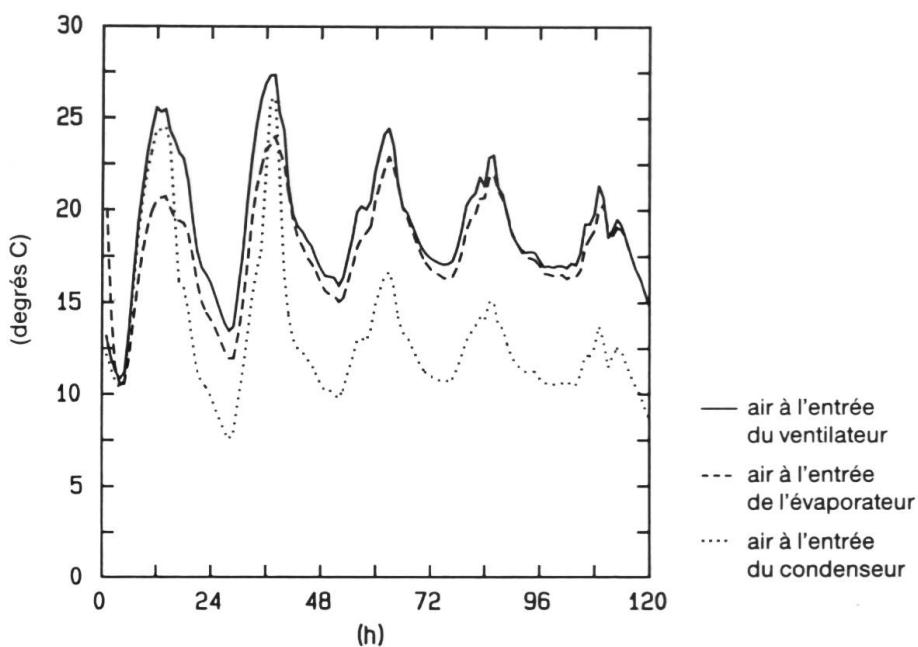


Fig. 4: Essai no. 4: évolution de la température de l'air pendant une période de beau temps.

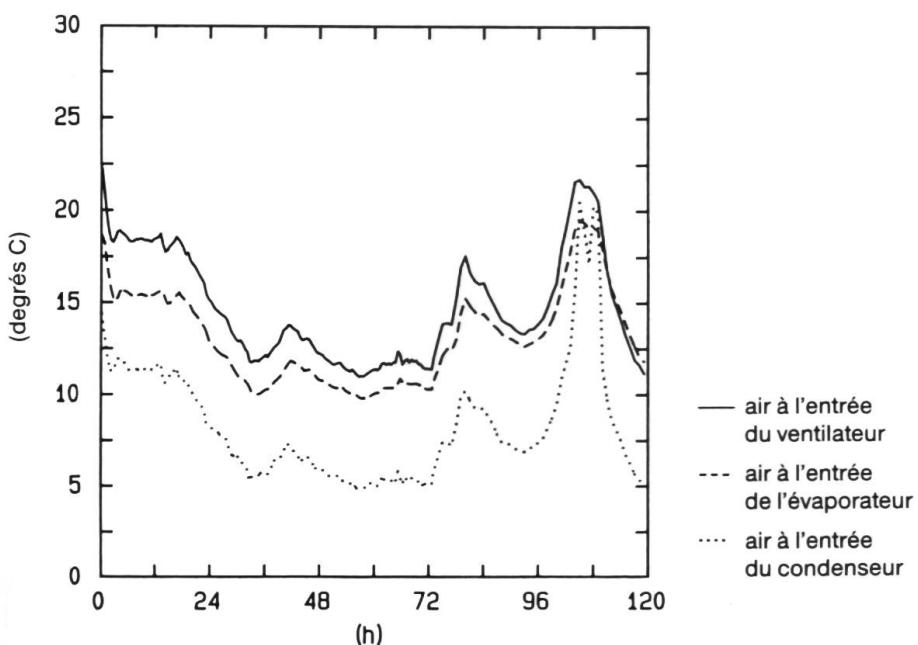


Fig. 5: Essai no. 6: ce graphique de l'air met en évidence la période de mauvais temps.

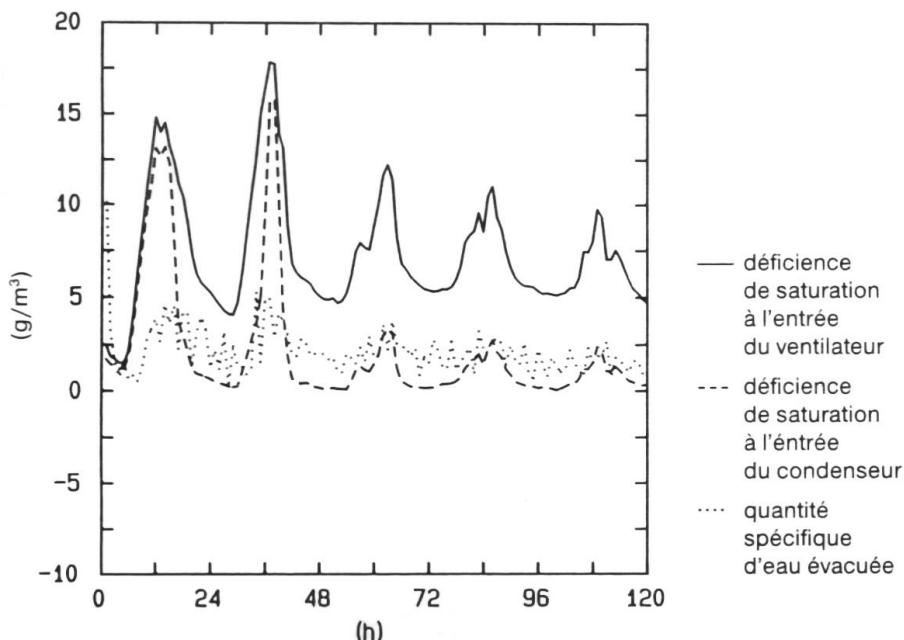


Fig. 6: Essai no. 4: l'augmentation de la déficience de saturation occasionnée par le déshumidificateur ainsi que la quantité d'eau évacuée par  $m^3$  d'air sont bien reconnaissables.

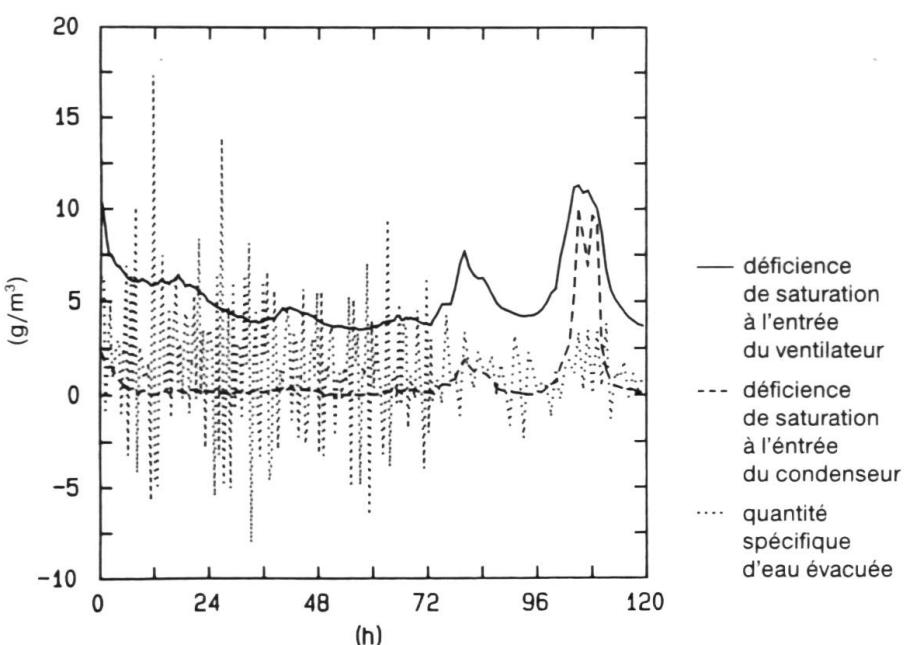


Fig. 7: Essai no. 6: ce graphique montre l'alternance de la déshumidification et de la réhumidification du foin dans le courant d'une période de mauvais temps.

de l'humidité relative de l'air, mais également par la différence de température entre l'air entrant de l'extérieur et l'air à l'entrée du ventilateur. Cette différence était plus grande lorsqu'il faisait plutôt frais (voir fig. 5).

Chaque fois que l'humidité relative de l'air tombait en dessous

d'environ 50%, le déshumidificateur fut arrêté par la commande hygrométrique; l'appareil ne travaillait donc pas toujours en même temps que le ventilateur. La quantité spécifique d'eau éliminée variait entre 0,5 et 1,7 g par  $m^3$  d'air. La moyenne de tous les essais était de 1,2 g/ $m^3$ .

Pendant les périodes de beau temps (essai no. 4), une réhumidification du foin était peu probable. Lorsque par contre la déficience de saturation de l'air extérieur dépassait à peine 0 g/ $m^3$  pendant une période prolongée, il fallait s'attendre à une déshumidification et réhumidification en permanence (fig. 7).

La consommation de courant électrique variait entre 297 et 1042 Wh par kg d'eau évacuée. Les valeurs limites par 100 kg de foin séché étaient de 10,6 / 56,2 kWh et la consommation moyenne de 27,2 kWh.

Pour permettre la comparaison avec les résultats obtenus par d'autres appareils, les moyennes horaires ont été notées selon la déficience de saturation de l'air extérieur (= entrée dans l'évaporateur) et la teneur en matière sèche du fourrage. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 2.

## 5. Séchage de maïs

Pour le séchage de maïs haché, la surface du tas fut réduite d'environ la moitié, cela sur la recommandation du fournisseur (voir fig. 8). Le caillebotis fut recouvert de tôles perforées. Eu égard à la pression d'air, il fallait veiller à ce que le cloisonnement et les conduites d'air, bien dimensionnées, fussent suffisamment étanches à l'air. Cinq apports de 2 à 3,3 t furent effectués au moyen d'une griffe munie d'une pelle à maïs. Le séchage eut entièrement lieu par circulation d'air, c'est-à-dire que l'air humide sortant du maïs fut toujours redirigé à travers l'évaporateur.

**Tableau 2: Séchage de foin: augmentation de la déficience de saturation occasionnée par le déshumidificateur et quantité d'eau évacuée (en g par m<sup>3</sup> d'air) en fonction de la teneur en MS de l'herbe préfanée**

	inférieure à 2,5	Déficience de saturation de l'air entrant en g/m <sup>3</sup>				supérieure à 10
		2,5 - 5	5 - 7,5	7,5 - 10		
MS en %						
< 50	6,2/2,1	11,6/3,4	(15,0/1,6)	14,4/4,8	(13,9/4,2)	
50 - 60	6,5/2,0	11,6/3,1	—	—	—	
60 - 70	5,7/1,4	10,5/2,9	(11,7/2,2)	(15,1/2,0)	(16,6/3,6)	
70 - 80	5,3/1,0	10,7/1,7	13,9/1,6	(14,9/1,1)	(14,0/1,8)	
> 80	6,0/0,5	12,0/1,1	14,5/1,1	14,1/1,1	17,5/0,5	
Consommation moyenne de courant: 5,7 kW						

Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs particulières résultant pourtant de six mesures.

**Tableau 3: Résultats des essais 1988 (maïs haché, valeurs moyennes)**

Essai no.		1	2	3	4	5
Poids au remplissage	kg	2254	2043	3018	3330	2123
MS au remplissage	%	27,7	32,4	28,3	32,5	37,4
MS après séchage	%	62,5	88,7	75,1	88,4	88,5
Air à l'entrée du déshumidificateur:						
- température	°C	12,6	13,7	12,7	11,7	9,4
- humidité relative	%	89,7	82,6	88,5	91,9	99,0
- déficience de saturation (100%)	g/m <sup>3</sup>	1,2	2,2	1,5	1,0	0
Air à l'entrée du ventilateur:						
- température	°C	18,0	19,6	19,0	19,2	17,7
- humidité relative	%	63,5	57,0	59,4	56,9	58,0
- déficience de saturation	g/m <sup>3</sup>	6,0	7,7	7,4	7,6	6,6
Augmentation de la déficience de saturation:						
- valeur absolue	g/m <sup>3</sup>	4,8	5,5	5,9	6,6	6,6
- valeur relative	%	500	350	493	760	—
Heures de marche du ventilateur	h	44,2	56,7	43,0	83,5	38,8
Heures de marche du déshumidificateur	h	44,2	56,7	43,0	83,5	38,8
Quantité totale d'eau extraite	kg	1256	1595	1620	2515	1098
Quantité horaire d'eau extraite	kg/h	28,4	28,1	37,7	30,1	28,3
Débit du ventilateur	m <sup>3</sup> /s	5,1	5,0	4,6	3,9	3,9
Quantité spécifique d'eau extraite	g/m <sup>3</sup>	1,6	1,6	2,3	2,2	1,9
Pression en dessous du fourrage et de la tôle perforée	mbar	2,9	3,7	5,2	7,4	7,3
Hauteur du tas au remplissage	m	0,29	0,45	0,70	0,95	1,22
Perte de pression dans l'évaporateur et le condenseur + perte d'aspiration	mbar	2,3	2,0	1,8	1,3	1,3
Puissance requise du ventilateur	kW	5,4	5,7	5,4	5,5	5,5
Puissance requise du déshumidificateur	kW	5,3	5,2	5,3	5,3	5,3
Consommation spécifique de courant électrique	Wh/kg H <sub>2</sub> O	374	388	285	359	384
Consommation de courant électrique	kWh/dt maïs	66,2*)	82,4	47,5*)	73,5	47,0

\*) pas complètement séché.

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau 3.

Le séchage par circulation d'air permettait de maintenir l'air de séchage dans un état pour ainsi dire constant pendant tous les essais. L'humidité relative était d'environ 60% et la température moyenne de 18 à 20° C. La déficience de saturation se multipliait, suivant l'essai, par 3,5 à plus de 7,6.

Dans ces conditions, la quantité spécifique d'eau évacuée ne variait que peu et se situait entre 1,6 et 2,3 g par m<sup>3</sup> d'air. Alors que la consommation spécifique de courant électrique par kg d'eau éliminée était tout aussi constante (285 à 388 Wh), les valeurs par 100 kg de fourrage séché différaient fortement les unes des autres, étant donné que les différentes portions apportées sur le tas ne furent pas toutes séchées complètement. En moyenne, il fallait compter une consommation d'énergie de 63,3 kWh par 100 kg de maïs séché.

Contrairement au foin, le maïs haché ne se tasse pas. Ainsi la hauteur du tas restait toujours la même après chaque remplissage. Au fur et à mesure que le fourrage séchait, la pression à la base diminuait. Le passage de l'air de séchage (aspiré par le ventilateur) à travers l'évaporateur et le condenseur occasionnait, lors du séchage de foin, une perte de pression de 0,5 à 0,7 mbar. Le séchage de maïs entraînait des pertes supplémentaires de 0,8 à 1,6 mbar; celles-ci étaient dues au fait que l'air sortant du tas fut ramené dans le système de séchage.

Le séchage de maïs exige un ventilateur qui garantit des débits d'air aussi constants que possible, et cela même si la pression du tas augmente. La pression to-

**Tableau 4: Séchage de maïs haché: augmentation de la déficience de saturation occasionnée par le déshumidificateur et quantité d'eau évacuée (en g par m<sup>3</sup> d'air) en fonction de la teneur en MS du maïs.**

MS en %	Déficience de saturation de l'air entrant en g/m <sup>3</sup>	
	inférieure à 2,5	supérieure à 2,5
< 30	6,2/2,0	—
30 - 40	7,0/2,4	14,4/3,2
40 - 50	7,6/2,3	12,6/3,1
50 - 60	6,5/1,7	(10,7/0,2)
60 - 70	6,7/1,7	12,3/1,9
70 - 80	5,9/1,7	10,9/1,3
> 80	6,0/1,4	11,0/0,9
Consommation moyenne de courant: 5,3 kW		

Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs particulières résultant pourtant de six mesures.

tale variait entre 5,2 et 8,6 mbar, suivant la hauteur du tas qui allait de 0,3 à 1,2 m. En l'occurrence, la quote-part d'air par m<sup>2</sup> de tôle perforée diminuait de 0,21 à 0,16 m<sup>3</sup>/s · m<sup>2</sup>.

En vue de la comparaison avec les résultats obtenus par d'autres appareils, les moyennes horaires résultant des essais de séchage de maïs ont également été notées selon l'augmentation de la déficience de saturation, la quantité d'eau évacuée et la teneur en MS (voir tableau 4).

## 6. Conclusions

Le déshumidificateur BP s'avéra capable de multiplier la déficience de saturation de l'air par 1,5 à 4,8 lors du séchage de foin et même par 3,5 à 7,6 lors du séchage de maïs. Le fait que le déshumidificateur permet de faire travailler l'installation de séchage 24 heures sur 24, conduit à doubler la capacité de séchage par

rapport aux performances d'un système qui fonctionne à l'air froid et qui évacue, en moyenne, 1 g d'eau par m<sup>3</sup> d'air pendant douze heures. Le maïs haché ne peut pas être séché au moyen d'air froid seul.

En cas de séchage de foin, un interrupteur automatique est indiqué, car sans lui le fourrage se déshumidifie et réhumidifie en permanence si les conditions météorologiques sont mauvaises (p. ex. 5 à 10° C et plus de 90% d'humidité relative de l'air). L'interrupteur automatique permet en même temps de réduire la consommation de courant électrique; celle-ci s'élève en moyenne à 27,2 kWh par 100 kg de foin, ce qui représente environ le double de l'énergie exigée par un système fonctionnant à l'air froid. Dans les régions qui profitent du tarif de nuit, les frais d'énergie seront à peu près les mêmes pour le déshumidificateur que pour le séchage à l'air froid puisque 40 à 50% du temps de séchage se déroulent pendant la nuit et les week-ends, c'est-à-dire pendant

les périodes de tarif réduit. D'autre part, le déshumidificateur exige une puissance de raccordement supplémentaire relativement importante de 10 kW (4 kW pour le ventilateur + 6 kW pour le déshumidificateur). Un dimensionnement trop juste du raccordement électrique ou la prise en compte de courant de pointe par la centrale électrique locale peut limiter considérablement, voire rendre impossible l'exploitation d'un déshumidificateur.

La perte de pression supplémentaire de 0,5 à 0,7 mbar est à négliger lors de la planification d'une installation de séchage équipée d'un déshumidificateur et seulement destinée au séchage de foin. Si, par contre, la même installation est également destinée au séchage de maïs, il faudra choisir un ventilateur équipé d'un moteur de 5,5 kW et garantissant une pression de 8 mbar au minimum.

L'investissement de Frs. 18'140.- que requiert un déshumidificateur pour une installation de 50 m<sup>2</sup>, est relativement important et engendre des frais fixes annuels de Frs. 2439.- (6,7% d'amortissement = Frs. 1215.-, 3,6% d'intérêts = Frs. 653.-, 3% de frais de réparation = Frs. 544.- et 0,15% pour l'assurance = Frs. 27.-). Les frais d'énergie étaient de Frs. 4.10 par dt en moyenne des essais de sé-

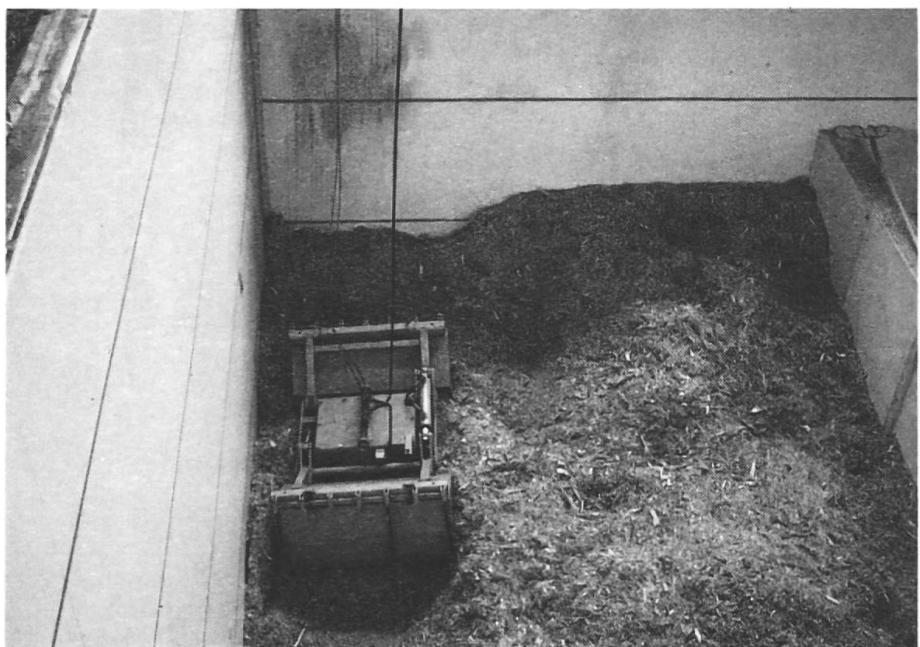


Fig. 8: Séchage de maïs: une surface de ventilation moitié plus petite que pour le séchage de foin fut complétée de deux parois, hautes de 2 m, et le caillebotis fut recouvert de tôles perforées. L'installation fut remplie et vidée au moyen d'une griffe munie d'une pelle à maïs.

chage de foin (27,2 kWh à Frs. -15) et de Frs. 9.50 par dt lors du séchage de maïs (63,3 kWh à Frs. -15). La différence par rapport aux frais d'une installation de séchage sur grande échelle (séchage d'herbe) n'est pas nécessairement gagnée, étant donné qu'il faut compter 20 à 30 minutes pour retourner le maïs (travail qui doit être fait quotidiennement) et calculer les investissements supplémentaires (p. ex. Frs. 32.- par m<sup>2</sup> de tôle perforée pour le séchage du maïs).

Une installation de ce genre ne sera donc rentable qu'aux exploitations où les conditions de séchage sont extrêmement défavorables, ou, à la rigueur, en tant que remplacement d'une installation de réchauffement fonctionnant au moyen d'une soufflerie et d'un brûleur à mazout. Un emploi plus diversifié de l'installation (séchage non seulement de foin, mais également de céréales et de maïs haché) permet de répartir les frais fixes annuels, qui sont élevés, sur plusieurs produits.