

Mesures effectuées au cours de l'utilisation pratique d'échangeurs thermiques à plaques

Wilfried Göbel

Dans les étables, on utilise de plus en plus, depuis quelques années, des échangeurs thermiques pour récupérer la chaleur de l'air d'évacuation et la faire passer dans l'air amené. Ces appareils permettent de réduire la production thermique et suffisent même souvent à couvrir la totalité des besoins de chaleur dans les installations de pré-engraissement de volailles, veaux, porcelets ou porcs. Dans d'autres étables, ils renforcent la ventilation. Durant l'hiver 1984-1985, quatre marques, choisies au hasard, d'échangeurs thermiques à plaques de forme cubique ont été testées à la faveur de mesures exécutées au cours de l'utilisation pratique des appareils: dans deux cas, il s'agissait de modèles pourvus de plaques à nervures, dans les deux autres, de modèles à plaques ondulées. L'année suivante on a testé deux de ces mêmes types d'échangeurs, ainsi qu'une cinquième marque, dans d'autres étables et en usant de méthodes de mesures un peu plus élaborées.

- Ces échangeurs ont permis de récupérer, par une température extérieure de zéro degré et avec une puissance calorifique de 2000 m³/h, environ 25 % de la chaleur entraînée par l'air usé.
- Une modification du volume d'air de quelque 1000 m³/h, vers le haut ou vers le bas, réduit ou accroît l'échange thermique de 5%, en chiffres ronds, lorsque la température extérieure est constante.
- Lorsque la température extérieure varie, le taux de transmission thermique se modifie aussi, à savoir de 1 % par degré.

1 Procédé utilisé

On a commencé, durant l'hiver 1982-1983, par effectuer des

mesures au cours de l'utilisation pratique de cinq types d'échangeurs thermiques les plus répandus (1). Or de tous ces appareils, aucun n'existe plus, soit que leur fabrication selon le

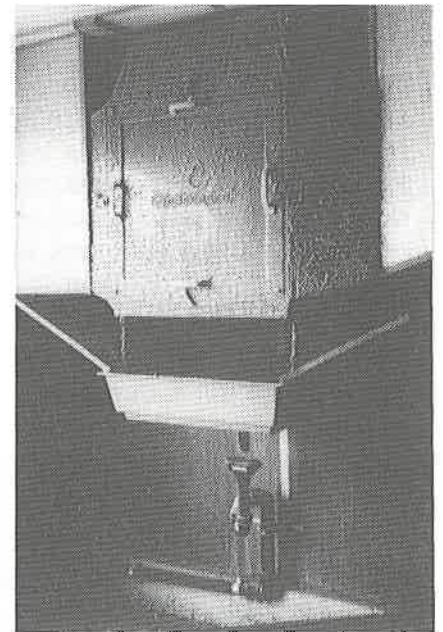


Fig. 1: Echangeur thermique à plaques ondulées, avec système d'écoulement de l'eau de condensation et de pulvérisation. Lieu: poulailler.

mode de construction de l'époque ait cessé (modèles pourvus de plaques à nervures, de plaques ou de feuilles Aluman), soit que l'on ait dû renoncer à leur diffusion dans le commerce (échangeurs à plaques ondulées et à tubes de verre). Les raisons en étaient les suivantes:

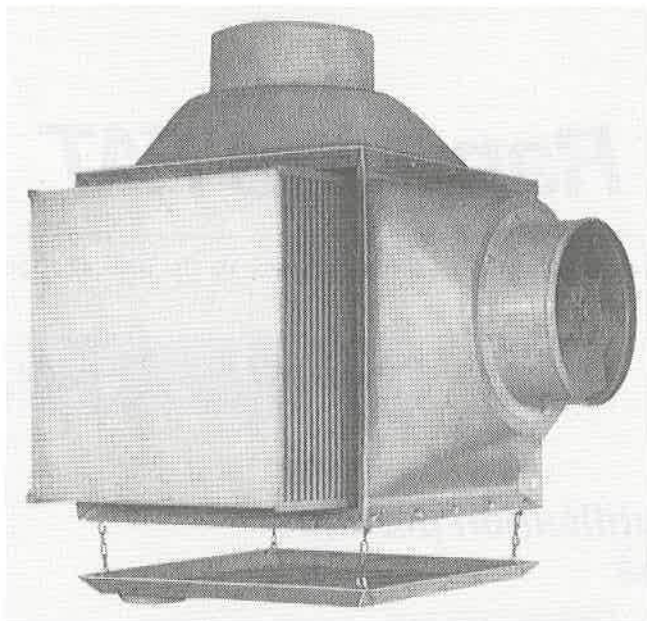


Fig. 2: Echangeur thermique avec bloc d'échangeurs (plaques à nervures) amovible et cuve réceptrice d'eau de condensation.

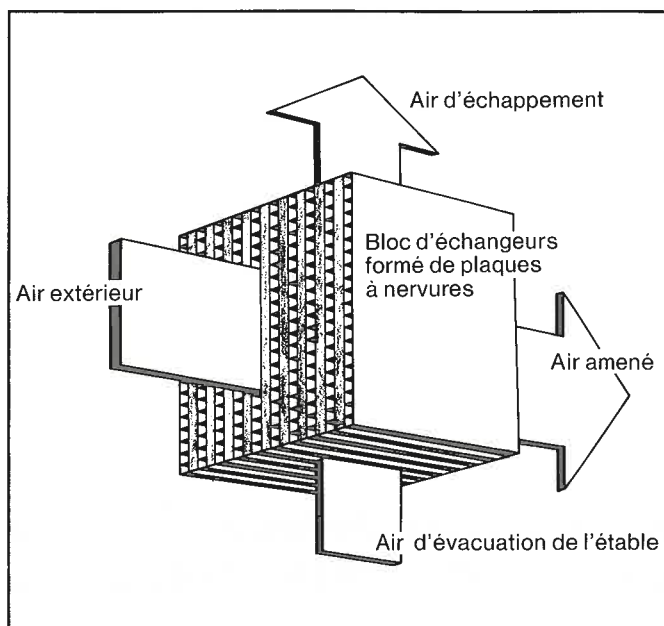


Fig. 3: Bloc de plaques à nervures d'un échangeur thermique, avec indications relatives à la circulation de l'air.

- les échangeurs à tubes de verre étaient lourds et fragiles;
- les échangeurs à plaques ondulées coûtaient trop cher; en outre ils n'envoyaient pas le même volume d'air dans les deux directions et ne pouvaient être installés que sur les toits;

- les échangeurs à feuilles, si leur prix était peu élevé, se sont révélés fragiles aussi. Comparativement à d'autres types d'échangeurs, ils récupéraient moins de chaleur;
- les échangeurs Aluman laissaient surtout à désirer en ce qui concerne la résistance à la corrosion;

- les premiers échangeurs pourvus de plaques à nervures étaient construits selon le principe du contre-courant, ce qui en faisait des appareils trop lourds et trop chers.

Les échangeurs qui semblent s'imposer aujourd'hui sont des modèles qui ne présentent pas ces inconvénients. Les nouveaux appareils sont en général résistants à la corrosion, plus simples à utiliser, meilleur marché et n'exigent surtout que peu d'entretien. Seuls les échangeurs thermiques à courant inversé et dont le bloc de plaques est facilement accessible sont d'un entretien aisé. Le bloc de plaques est généralement amovible, ce qui permet de le nettoyer à la main (fig. 1, 2 et 3). Il est le plus souvent en matière synthétique et de forme cubique. En été, on le retire tout bonnement ou lui substitue un élément de rechange simple, de manière à ce que les mêmes ventilateurs fournissent les quantités d'air plus grandes qui

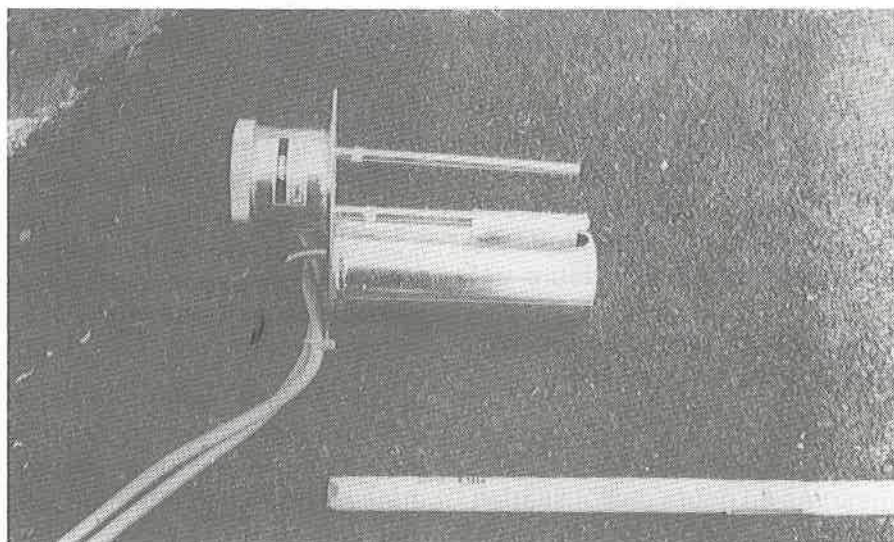


Fig. 4: Dispositif de mesure de la température du point de condensation en vue de déterminer l'humidité de l'air à une vitesse aérodynamique supérieure à 1 m/s. Sonde Pt 100 recouverte d'un bas dont l'extrémité est plongée dans un réservoir à eau.

Tableau 1: indications portant sur la construction des échangeurs thermiques

Installation	Type d'échangeur	Type de construction	Dimensions en cm	Poids en kg	Surface d'échange en m ²	Espacement des plaques en mm	Section de circulation d'air en m ²	2 ventilateurs max. kW
1984 / 85								
A	WRK 25	pl. à nerv.	60.60.60	25	25	8	0.17	0.7
B	AN 60	pl. ondulées	66.66.70	33	30	12	0.22	0.9
C	WPT 645	pl. ondulées	60.60.70	25	30	11	0.20	0.6
D	KKW 42	pl. à nerv.	70.70.70	22	42	8	0.24	0.7
1985 / 86								
E	KKW 42	pl. à nerv.	70.70.70	22	42	8	0.24	0.9
F	WPT 645	pl. ondulées	60.60.70	25	30	11	0.20	0.6
G	SCH 4060	pl. à nerv.	2x40.60.60	25	30	10	0.18/0.24	1.8

sont nécessaires en été par rapport à la saison froid.

Le rendement des sept échangeurs thermiques a été mesuré ou calculé selon la méthode décrite dans les ouvrages consacrés à ce sujet (1, 3, 4): mesures de courte durée pour déterminer le taux de transmission thermique en fonction du débit d'air lequel peut être réglé; mesures de longue durée (plus d'une semaine) pour le déterminer par rapport aux variations de la température extérieure, qui ne peut être influencée (fig. 4).

2 Echangeurs testés

Le tableau 1 contient les données relatives à la construction des échangeurs. Les diverses marques existantes ne présentent pas, entre elles, d'importantes différences, à l'exception des échangeurs à plaques en matière synthétique (plaques à nervures ou plaques ondulées); seules varient la surface d'échange (25 m² à 42 m²)

ainsi que l'intensité du courant d'utilisation. On notera aussi l'espacement des plaques, qui est normalement de 8 mm à 12 mm. L'expérience a démontré qu'un espacement trop faible entraînait des obstructions, tandis que s'il est trop fort, l'efficacité de l'appareil en souffre. Le coût total de l'installation, suivant qu'elle est pourvue ou non de canaux et d'une buse de pulvérisation, est de Fr. 7000.- à Fr. 11000.-.

Le tableau 2 fournit des indications quant aux conditions dans

Tableau 2: données concernant l'installation des échangeurs thermiques

Installation	Genre d'animaux*	Nombre d'animaux	Mise en service	Emplacement	Aspiration d'air	Position	Distribution d'air	Entretien	Température ambiante
1984 / 85									
A	PE 80kg	108	oct. 84	étable	ext.	■	canal	manuel	20
B	PE 70kg	140	déc. 84	étable	ext.	■	feuille	manuel	18
C	VE 0,4	5000	sept. 84	étable	combles	■	feuille	buses	26
D	PE 80kg	130	déc. 84	étable	ext.	◆	tube T	manuel	20
1985 / 86									
E	PE 50kg	80	janv. 86	étable	ext.	◆	canal	manuel	18
F	VE 1,6	5000	oct. 85	com- bles	combles	■	canal	buses	23
G	PE 40kg	90	oct. 85	étable	entrepôt	■	canal	manuel	20

*) PE = porcs d'engraissement VE = volailles d'engraissement

Tableau 3: conditions dans lesquelles les mesures de courte durée ont été effectuées

Installation	Air amené m ³ /h	Température extérieure degrés	Différences de température entre l'intérieur et l'extérieur degrés
1984 / 85			
A	1216 – 2921	4,0 – 6,3	15,6 – 11,1
B	339 – 2255	0,2 – 2,4	20,8 – 16,8
C	1240 – 2391	0,0 – 3,4	23,0 – 16,8
D	643 – 1954	-6,0 – -1,8	24,6 – 19,6
1985 / 86			
E	1240 – 4000 *)	-6,2 – 4,3	24,2 – 15,2
F	1250 – 2520 *)	-2,2 – -1,8	25,1 – 24,0
G	450 – 3300 *)	1,4 – 5,8	18,1 – 14,3

*) mesures de courte durée répétées

lesquelles les modèles testés fonctionnaient. Les récupérateurs C et F se trouvaient dans des poulaillers d'engraissement. Dans trois cas, l'air d'amenée arrivait non pas par l'extérieur mais par les combles ou par un entrepôt. Les échangeurs étaient tous installés dans l'étable ou le poulailler même, à l'exception d'un seul. Pour celui-ci, l'isolation faisant défaut, la perte de chaleur peut correspondre à 0,5 kW.

Il faut noter aussi la position des échangeurs dans le corps de l'appareil. Dans les modèles d'une certaine marque, le bloc d'échangeurs est placé sur l'une de ses arêtes (D et E). Les échangeurs se trouvant dans un poulailler (D et E) sont munis de buses de pulvérisation en raison du risque d'encrassement plus élevé qu'ailleurs (enclenchement automatique cinq minutes par heure).

chaque étable ou poulailler, lors des mesures de courte durée. Elles varient suivant le flux d'air et les températures extérieures, ainsi que les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur; c'est pourquoi les résultats ne permettent pas de comparer les échangeurs entre eux. Par exemple, la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est plus grande d'environ 50% pour les échangeurs B, C et D par rapport à l'échangeur A.

Les températures extérieures durant la période de mesure varient entre -6° et +6°. Le débit d'air minimum, lors des mesures, a accusé suivant les instal-

lations des variations de presque 1000 m³/h dans les cas extrêmes, car on n'a pas touché aux commandes. La différence a atteint le double pour un débit d'air maximum; les installations E, F, et G n'ont pas été poussées à fond. Le volume d'air amené était toujours à peu près égal au volume d'air sortant.

Dans les porcheries, où les mesures ont été effectuées l'hiver dernier (installations A, F et G), le débit d'air maximum des échangeurs était d'à peu près le quadruple des valeurs habituelles en hiver. Sans le bloc d'échangeurs (équipement d'été), pour la même consommation de courant, on peut es-

3 Résultats et commentaires

3.1 Généralités

Le tableau 3 indique quelles étaient les conditions, dans

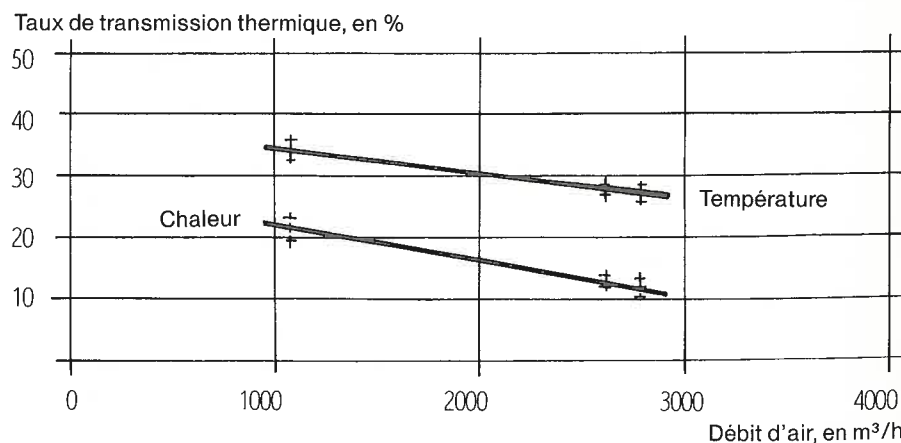


Fig. 5: Taux de transmission thermique et d'échange de température de l'échangeur A par rapport au débit d'air.

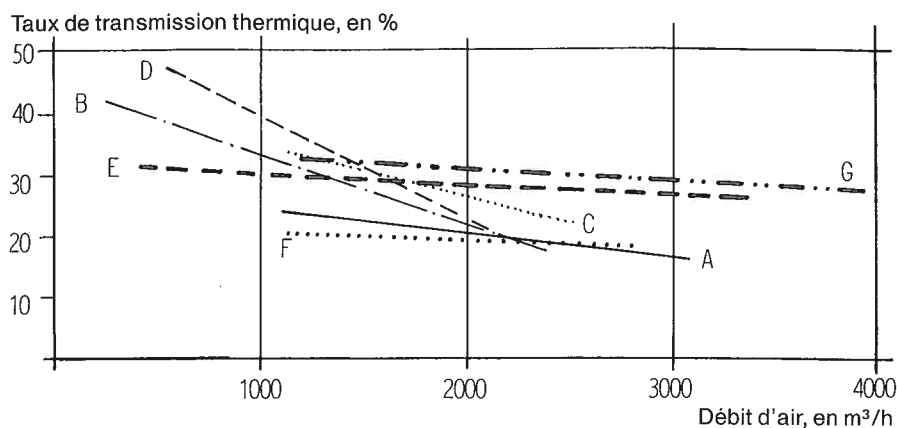


Fig. 6: Taux de transmission thermique, par rapport au débit d'air, pour les échangeurs A à G.

compter un volume d'air de 50% à 100% supérieur. Dans les poulaillers, le système de ventilation normal a été raccordé à l'échangeur.

Les figures 5 à 9 sont la représentation graphique des résultats. La relation entre le taux de transmission thermique et le volume d'air, la température extérieure, etc., peut en effet être représentée par des droites.

3.2 Mesures de courte durée

Ainsi qu'il ressort de la figure 5, le taux d'échange de température par rapport au volume d'air est, pour l'installation A, de 50% à 100% plus élevé que le taux de transmission thermique (5). Pour déterminer l'économie thermique d'une étable, seul le taux de transmission thermique revêt de l'importance.

Les échangeurs testés récupèrent, lorsque la température extérieure est d'environ zéro degré et pour un débit d'air de 500 m³/h à 4000 m³/h, 40% à 15% de la chaleur entraînée par l'air d'évacuation (fig. 6). Quel que soit l'échangeur, le taux de transmission thermique diminue à mesure que s'accroît le volume d'air et cela, dans une proportion de 1% à 15% pour un rendement de 1000 m³/h. En moyenne, on peut estimer cet

abaissement à 5% par 1000 m³/h. Ce résultat diffère quelque peu de ceux d'essais antérieurs où les appareils utilisés étaient en majeure partie parcourus par du courant alternatif (1); or pour ce type d'installations, le taux de transmission thermique par rapport au débit d'air est plus ou moins constant.

Dans le graphique de la fig. 6, les droites représentant la transmission thermique des ins-

tallations A et F constituent la limite inférieure pour l'ensemble des appareils testés. En raison des très faibles différences entre les températures intérieures et extérieures et de la température extérieure élevée, la récupération de chaleur est faible, ainsi qu'il fallait s'y attendre, pour l'installation A (tableau 3). En revanche, comment se fait-il qu'elle le soit tout autant pour l'installation F, en dépit d'un écart marqué entre les températures intérieures et extérieures? L'installation où le taux de transmission thermique est élevé comporte le même échangeur que l'installation F (tableau 1). Mais l'appareil y était moins encrassé. Ceci montre bien l'importance que revêt la propreté de l'appareil pour l'obtention d'un taux élevé de récupération thermique.

Les installations E et G accusent, même lorsque le taux de circulation d'air est fort et qu'il dépasse 3000 m³/h, un taux de transmission thermique élevé.

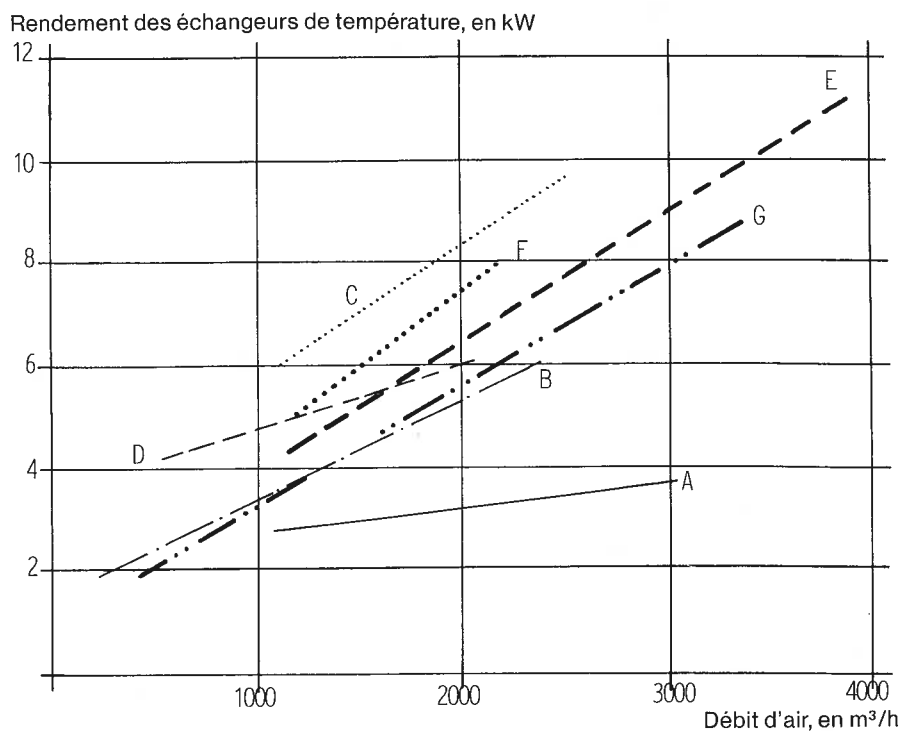


Fig. 7: Récupération thermique, par rapport au débit d'air, pour les échangeurs A à G.

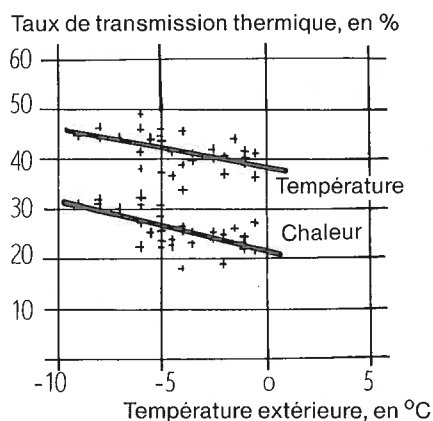


Fig. 8: Taux de transmission thermique et d'échange de température, par rapport à la température extérieure, pour l'échangeur A.

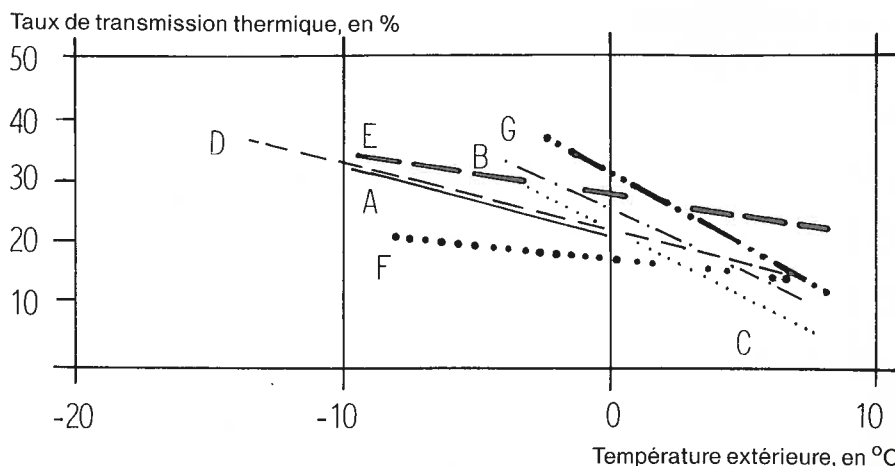


Fig. 9: Taux de transmission thermique, par rapport à la température extérieure, pour les échangeurs A à G.

Pour l'expliquer, on peut prendre en considération les facteurs suivants: dans l'installation E, la chambre de précombustion de l'appareil est plus grande que dans l'installation D (les deux échangeurs sont fabriqués par la même maison); l'afflux d'air sur le bloc d'échangeurs est donc plus régulier. Ces deux installations sont les seules où le bloc d'échangeurs repose sur une de ses arêtes (tableau 2). Celui de l'installation G est le seul qui ne soit pas de forme cubique.

Les droites concernant les installations B et D frappent par leur forte inclinaison. L'une et l'autre partent de points qui représentent de très faibles volu-

mes d'air. La réduction du volume d'air peut parfois entraîner une augmentation plus forte que prévue du taux de récupération thermique. Pour l'installation D, la température extérieure était en outre très basse, de sorte que l'on pouvait escompter un taux de transmission thermique relativement élevé (tableau 3).

La grande influence qu'exercent les fluctuations des différences de température entre l'intérieur de l'étable et l'extérieur, en d'autres termes l'importance qu'il y a à assurer dans l'étable une température assez élevée, ressort encore plus clairement si l'on considère les taux de transmission thermique par rapport au débit d'air (fig. 7). Les

droites portant sur les installations A et C sont celles qui s'écartent le plus l'une de l'autre. Les installations C et F sont celles où l'on a noté, au moment des mesures, les plus fortes différences de température entre l'intérieur de l'étable et l'extérieur, donc le plus fort pouvoir d'absorption de chaleur. Pour un débit d'air de 1000 m³/h, on peut récupérer en moyenne, dans les installations testées, quelque 4 Wh par m³ d'air et pour un débit de 2000 m³/h, environ 3 Wh par m³ d'air.

3.3 Essais de longue durée

Le facteur le plus important dans le calcul de l'économie

Tableau 4: valeurs maximales de quelques paramètres pour les sept échangeurs

Installation	Gain d'énergie	Rapport énergétique	Wh/m ³ d'air	Débit d'air, m ³ /de surface d'échange	Vitesse m/s	Débit d'air, m ³ /courant utilisé, Wh
1984 / 85						
A	4,0	12,8	2,6	117	4,8	8,0
B	7,5	17,2	6,9	75	2,9	5,1
C	9,6	20,7	5,5	80	3,3	8,0
D	6,1	6,1	7,5	46	2,3	5,6
1985 / 86						
E	17,7	20,1	5,5	84	5,6	9,1
F	8,2	19,2	4,5	95	4,7	10,5
G	10,0	5,5	3,7	110	5,1	3,7

thermique d'une étable est le rapport entre le taux de transmission thermique et la température extérieure. Ainsi que le montre la fig. 8, le taux d'échange de chaleur par rapport à la température est aussi de 50% à 100% plus élevé que le taux de transmission thermique. Les droites représentant le rapport entre le taux de transmission thermique et la température extérieure dans les sept installations sont toutes très proches les unes des autres, bien que le volume d'air nécessaire varie d'une étable à l'autre, suivant le genre d'animaux qu'elles abritent, le poids de ceux-ci et le degré d'occupation du local (fig. 9). Lorsque la température extérieure est de zéro degré, environ 20% à 30% de la chaleur entraînée par l'air d'évacuation sont récupérés, compte tenu de l'influence qu'exercent les variations du débit d'air lequel est fonction de la température extérieure.

Toutes les droites s'abaissent à mesure qu'augmente la température extérieure, et cela, dans une proportion de 0,3% à 2,3% par degré. Pour les calculs, on peut tabler sur 1% par degré. Les points les plus élevés se trouvent sur les droites des installations G et E, les plus bas sur celles des installations C et F. Cela n'a rien de surprenant, car le débit d'air nécessaire pour les installations G et F était inférieur à celui qu'exigeaient les autres, A, B et D, placées dans les locaux qui abritaient davantage d'animaux et des bêtes plus grandes (tableau 2). Pour les installations C et F, le désavantage d'un encrassement plus fort en raison des grandes quantités de poussière présentes (engraissement de volailles) l'emporte apparemment sur l'aspect positif d'une plus forte différence de température.

3.4 Autres résultats

Pour les installations A et B, l'intensité du courant de consommation a été mesurée au moment du rendement maximum des appareils. Elle correspondait exactement aux valeurs indiquées dans les prospectus.

Aucun des quatre premiers échangeurs (A à D) n'a fourni plus de 3000 m³/h d'air à une vitesse de rotation maximale. Le débit indiqué pour les ventilateurs en question, lors du rendement maximum, varie entre 5000 m³/h et 8000 m³/h. L'échangeur G, pour lequel l'intensité du courant de consommation est environ double comparativement aux autres appareils, a atteint un débit de 3800 m³/h à 60% de la vitesse de rotation maximale des ventilateurs (tableau 1).

A une température extérieure de -8° à -10°, il arrive que l'eau de condensation produite par l'air d'évacuation gèle et mette ainsi l'échangeur hors d'état de fonctionner. On peut pallier ce risque, dans une certaine mesure, en réduisant l'apport d'air ou en déclenchant l'échangeur par moments. Lorsque celui-ci est complètement anéanti par la glace, il faut des heures pour le libérer sans taper dessus. Si de l'air d'évacuation de l'étable est mélangé à l'air extérieur, le gel peut être le plus souvent évité mais au prix d'un encrassement supplémentaire, dû à l'air amené.

Le tableau 4 contient les valeurs maximales de certains paramètres pour les échangeurs des sept installations. Il ne saurait non plus servir à comparer ces divers appareils, car les conditions de mesures n'étaient pas les mêmes dans tous les cas. Il indique cependant dans quelles limites les valeurs maximales se situent pour chacun des

paramètres pris en considération.

Un récupérateur de dimensions moyennes produit, pour un taux de circulation d'air maximum, 5 kW à 15 kW. L'énergie (chaleur) fournie peut être jusqu'à vingt fois supérieure à l'énergie consommée (courant). Dans des conditions optimales, il permet de récupérer jusqu'à 7 Wh par m³ d'air amené. La relation entre le débit d'air maximum, en m³/h, et la surface d'échange, en m², ne doit pas dépasser 120. Sinon, l'énergie récupérée (par m³ d'air amené) diminue encore davantage (installations A et G). La vitesse aérodynamique maximale, à l'intérieur de l'échangeur, ne dépasse pas 6 m/s (lors de mesures antérieures, elle était de 10 m/s [2]). Les échangeurs fournissent jusqu'à 10 m³ d'air par Wh de courant consommé.

Un autre rapport de la FAT donne les résultats d'essais effectués en vue d'établir quelles quantités de chaleur peuvent être récupérées, dans diverses étables, en fonction de la température extérieure et dans quels cas l'utilisation d'un échangeur est rentable.

Bibliographie

- [1] Göbel, W., Kohler, R., Rist, M., Wärmetaucher im praktischen Einsatz. Blätter für Landtechnik 244, FAT, Tübingen, 1984.
- (2) Göbel, W., Rist, M., Kohler, R., Wärmetauscher – was leisten sie? Landfreund 3, Berne, 1984.
- (3) VDI-Richtlinie 2071: Wärmehückgewinnung in raumluftechnischen Anlagen, Begriffe und technische Beschreibungen, Düsseldorf, 1978.
- (4) Richtlinie 2080: Luft-Durchfluss-Messregeln, Düsseldorf, 1984.
- (5) Vogt, St.: Wärmetauscher auf dem Prüfstand. Bayrisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, No 7, Munich, 1984.