

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 52 (1990)
Heft: 4

Artikel: Etables non-isolées : climat, débits de ventilation, construction
Autor: Göbel, Wilfried
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1084716>

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: 26.03.2026

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



Etables non-isolées – climat, débits de ventilation, construction

Wilfried Göbel

Le présent rapport résume les résultats d'analyses de climat effectuées dans les étables non-isolées de la FAT. Les calculs des débits de ventilation se basaient sur des mesures de la vitesse de l'air amené et les différences de teneur en vapeur d'eau et en dioxyde de carbone entre l'air sortant et l'air amené. Ils se faisaient pour la première fois à l'aide d'une méthode permettant de faire la distinction entre chaleur sensible et chaleur latente (c'est-à-dire la chaleur liée à la vapeur d'eau) et de déterminer le dégagement de chaleur en fonction de la température ambiante. Grâce à cette méthode on peut également

calculer le climat d'étables non-isolées ou faiblement isolées. La condensation observée aux parois et au plafond était à prévoir selon les calculs théoriques. Dans certains cas, les débits de ventilation doivent être aussi importants en hiver qu'en été. Le rapport renseigne également sur les coefficients k nécessaires et les dimensions exigées pour les orifices d'amenée d'air.

Bien des étables ne se construisent plus de façon traditionnelle. Les veaux, les bovins et les porcs sont de plus en plus souvent installés sur une litière dans une étable non-isolée. On se conten-

te alors d'une protection contre des influences atmosphériques extrêmes (soleil, pluie, neige, vent). Si l'étable non-isolée, qu'il s'agisse d'un nouveau bâtiment ou de la transformation d'un bâtiment existant, promet des économies de frais de construction, les planificateurs aussi bien que les utilisateurs devraient toutefois observer quelques points importants afin d'éviter que les animaux ne tombent malades et pour prévenir des dommages à la construction.

Les étables analysées

La fig. 1 représente une coupe transversale des étables analysées, c'est-à-dire d'une étable à veaux (avec logettes et boxes) et d'une étable d'engraissement de bovins (détenus sur caillebotis). La fig. 2 montre la façade ouest de l'étable à veaux avec les orifices d'amenée d'air. La fig. 3 est une vue partielle de l'étable d'engraissement de bovins (vue depuis le passage d'affouragement). Les valeurs sur lesquelles les calculs se basent, sont spécifiées dans le tableau 1.

Dans le courant du premier hiver, la partie supérieure de la façade (longitudinale) ouest de l'étable à veaux (voir fig. 2) a été fermée

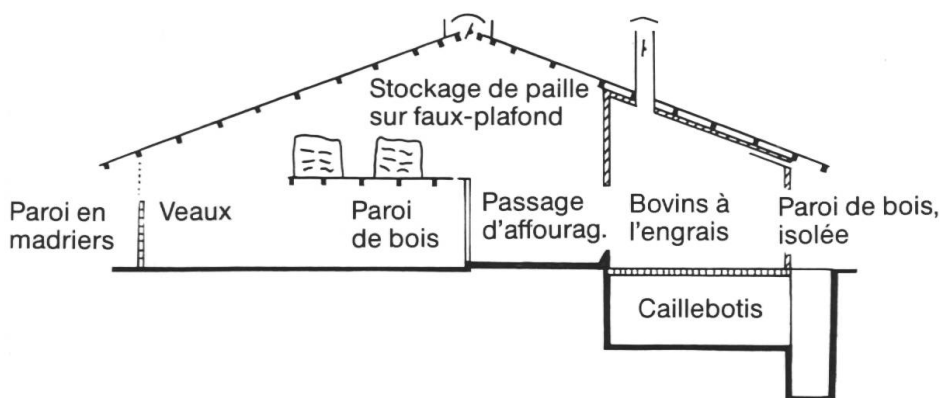


Fig. 1: Coupe transversale de l'étable à veaux et de l'étable d'engraissement de bovins (sur caillebotis). Les deux étables se trouvent, avec une troisième partie réservée à des bovins en général, sous un seul toit. L'une est située vis-à-vis de l'autre, en sens diagonal.

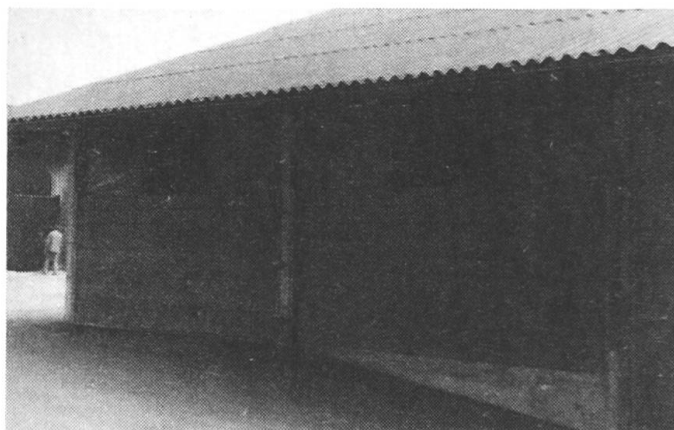


Fig. 2: Façade ouest de l'étable à veaux, vue du sud. Des parois doublement revêtues de planches de bois séparent l'étable du reste du bâtiment et, au pignon nord, de l'extérieur.

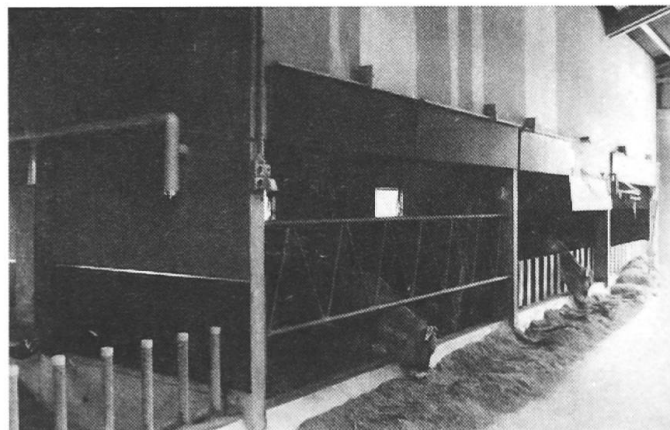


Fig. 3: Vue partielle de l'étable d'engraissement de bovins (vue depuis le passage d'affouragement). Cette étable est isolée et entièrement équipée d'un caillebotis.

Tableau 1: Valeurs de base des étables analysées

Catégorie d'animaux	Poids kg	Chaleur produite W	Nombre d'animaux	Longueur m	Largeur m	Hauteur m	Surface m ²	Coefficient k W/m ² K
Veaux	60 – 80	170 – 200	13 – 25	9,0	8,6	2,7	172	2,2
Bovins à l'engrais	300 – 350	640 – 700	15 – 23	13,5	5,0	3,3	196	0,7

Tableau 2: Formules servant à calculer le climat d'étable

Quote-part de chaleur sensible	$Q_s = Q (0,8 - 1,85 [t + 10]^4 / 10^7)$	[W]
Quote-part de chaleur latente	$Q_l = Q - Q_s$	[W]
Production de vapeur d'eau	$X = Q_l / 0,68$	[g/h]
Production de dioxyde de carbone	$C = 0,163 Q$	[l/h]
Débit de ventilation en hiver	$V_h = X (x_a - x_e)$	[kg/h]
Débit de ventilation en été	$V_e = Q_s / 0,28 \text{ dt}$	[kg/h]
Norme suisse du climat d'étable [14]	$V_e = Q / 0,93 \text{ dt}$	[m ³ /h]
Débit de ventilation selon l'échelle de CO ₂	$V_c = C / (ca - ce)$	[m ³ /h]
Pertes de chaleur par ventilation	$Q_p = 0,28 V_h \text{ dt}$	[W]
Chaleur restante	$Q_r = Q_s - Q_t - Q_p$	[W]

Q, Q_s, Q_l = chaleur totale, chaleur sensible, chaleur latente (produite par les animaux)
 Q_r, Q_t, Q_p = chaleur restante, pertes par transmission, pertes par ventilation
 t = température ambiante, en °C
 X = production de vapeur d'eau, en g/h
 C = production de dioxyde de carbone, en l/h
 V_h, V_e, V_c = débit de ventilation en hiver, en été et selon l'échelle de CO₂, en kg/h et m³/h
 x_a, x_e = teneur en vapeur d'eau de l'air ambiant et de l'air extérieur, en g/kg
 ca, ce = teneur en dioxyde de carbone de l'air ambiant et de l'air extérieur, en l/m³
 dt = différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur

Avis:

- Le débit de ventilation, spécifié en kg/h, divisé par le poids spécifique soit de l'air sortant, soit de l'air amené, suivant le cas (système de ventilation à dépression ou à surpression), donne le débit de ventilation en m³/h.
- La teneur en vapeur d'eau de l'air amené et de l'air sortant s'obtient par calcul ou par un diagramme Mollier [12].

quasi entièrement par un film plastique, de sorte que l'air ne pouvait plus entrer qu'en dessous des dalles éternit ondulées du toit ($0,25 \text{ m}^2$) et par deux fentes courtes et étroites ($0,50 \text{ m}^2$ au total) en dessous de la ligne d'égout. Vu la condensation qui se produisait aux parois en dessous du faux-plafond, celui-ci a été pourvu de deux fentes de ventilation de $0,1 \text{ m}^2$.

Dans le courant de l'hiver suivant, un tiers de la partie supérieure de la façade ouest a été muni d'un grillage contre les mouches; ainsi la surface laissant entrer l'air pouvait être réglée (environ 4 m^2 de surface totale dont $1,2 \text{ m}^2$ ouverts en moyenne; voir fig. 2).

Contrairement à l'étable à veaux, l'étable d'engraissement de bovins est isolée et entièrement équipée d'un caillebotis.

Bases théoriques

Débits de ventilation

Lorsque les débits de ventilation sont calculés à des températures ambiantes basses, il faut faire la distinction entre chaleur sensible et chaleur latente (c'est-à-dire la chaleur liée à la vapeur d'eau), car la quote-part de chacun de ces deux genres de chaleur varie en fonction de la température ambiante (tout en restant plus ou moins la même avec toutes les espèces d'animaux domestiques). A des températures en dessous de zéro, la quote-part de chaleur sensible atteint environ 80% du total de la chaleur dégagée [4, 8]. Elle baisse rapidement au fur et à mesure que la température monte (voir fig. 4). Les débits de ventilation se calculent à partir de la différence entre la teneur absolue en vapeur d'eau et en CO_2 de l'air ambiant et de l'air extérieur. Ce calcul exige la con-

Tableau 3: Coefficient k exigé pour éviter des processus de condensation en surface

Coefficient k exigé $< 6 (t_a - t_c) / dt$	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
t_a = température ambiante	$[\text{°C}]$
t_c = point de condensation (obtenu du diagramme Mollier)	$[\text{°C}]$
dt = différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur	$[\text{°C}]$
6 = coefficient de transmission thermique, à l'intérieur	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$

naissance des quantités de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone produites par les animaux et variant en fonction de la température ambiante [4, 13, 14, 16]. Les formules à appliquer se trouvent dans le tableau 2.

Condensation

La condensation qui peut se produire sur les différentes parties de la construction, dépend du degré d'isolation (coefficient k), de la différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur ainsi que du degré d'humidité de l'air ambiant [6, 14]. Le coefficient

k exigé pour éviter des processus de condensation résulte de la formule du tableau 3. La température du point de condensation s'obtient d'un diagramme Mollier (voir fig. 5).

Résultats

Températures

La fig. 6 montre le cours de la température à l'intérieur de l'étable à veaux pendant deux journées ensoleillées où la température

Quote-part de chaleur sensible, en %

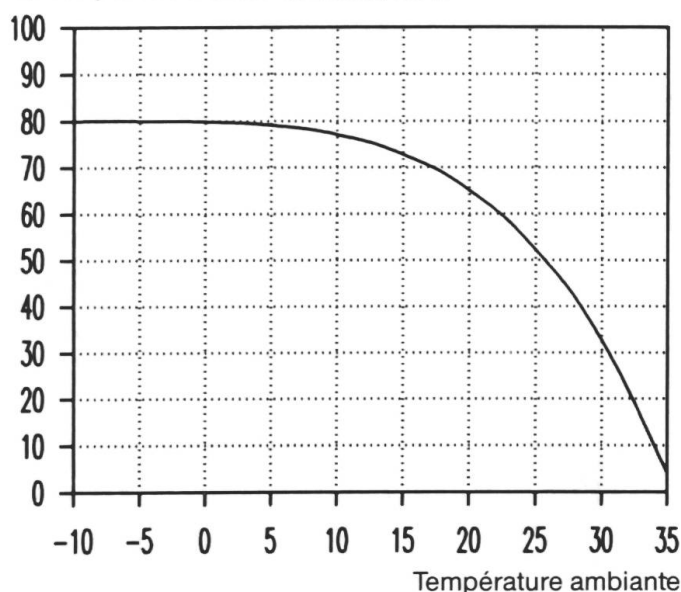


Fig. 4: Relation entre la chaleur sensible et la chaleur latente en fonction de la température ambiante [4]. Entre -10°C et $+35^\circ\text{C}$, la quantité totale de chaleur produite par les animaux reste la même.

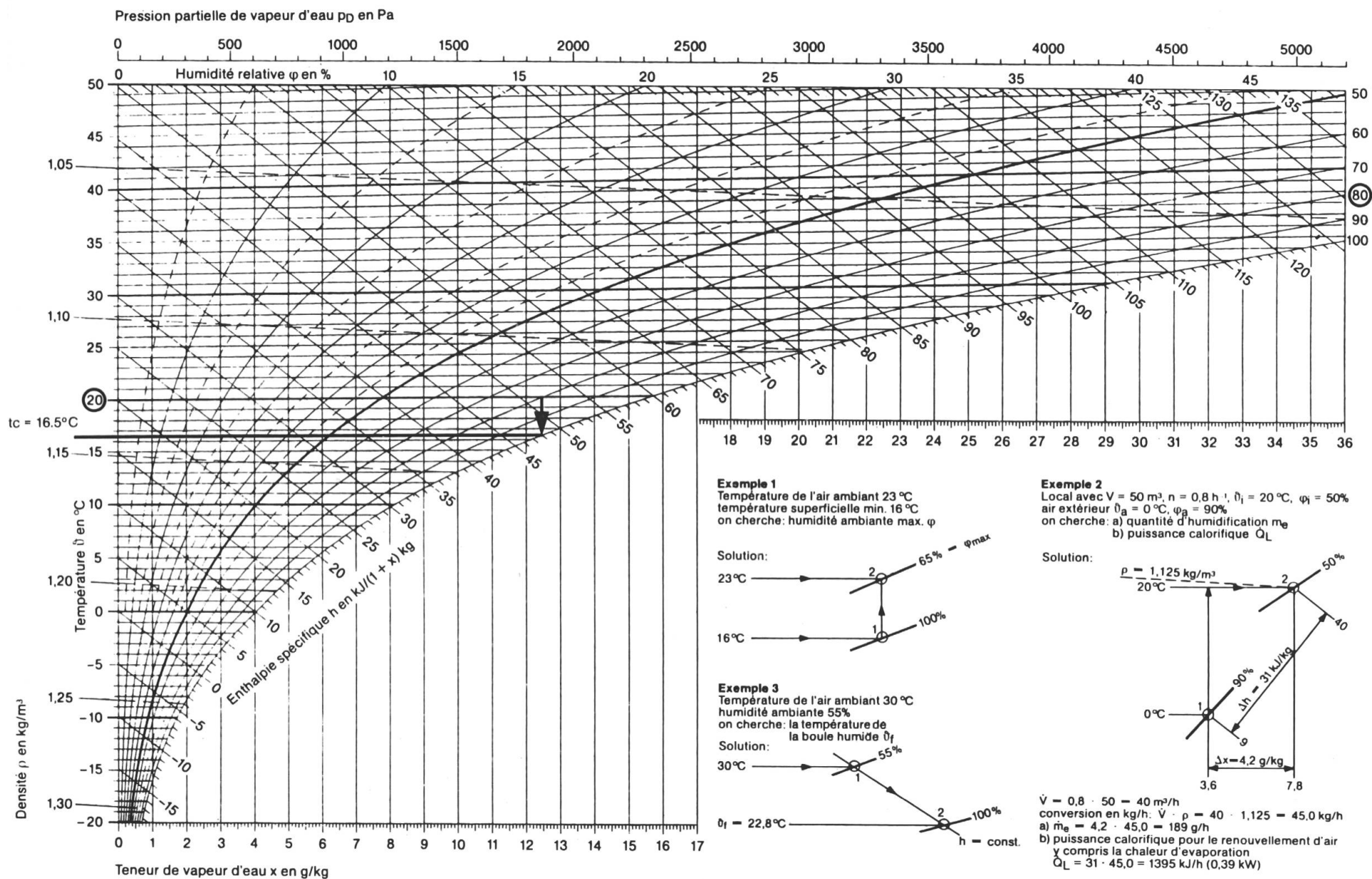


Fig. 5: Diagramme h, x (dit diagramme Mollier) pour de l'air humide; $p = 950 \text{ mbar}$, altitude = 540 m.
Un exemple: avec 20°C et 80% d'humidité relative, la température du point de condensation est de $16,5^\circ\text{C}$.

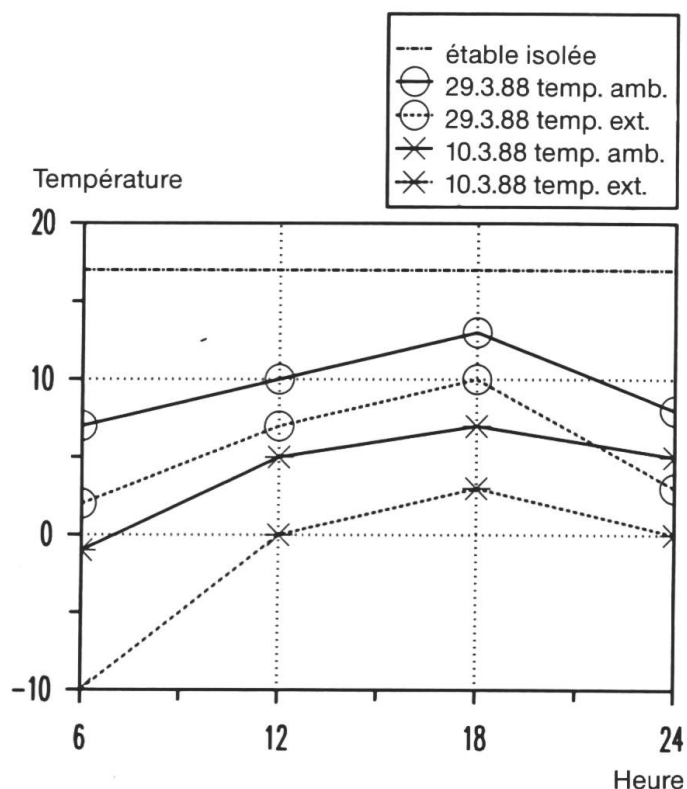


Fig. 6: Etable à veaux, 1^{er} hiver: température ambiante et température extérieure mesurées dans le courant de deux journées ensoleillées (à 6, 12, 18 et 24 heures); en haut, à titre comparatif, la température de l'étable isolée.

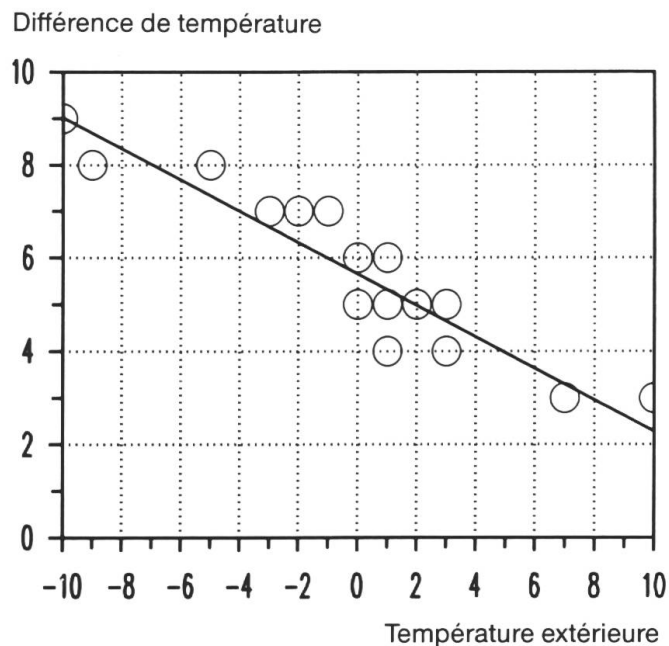


Fig. 7: Etable à veaux, 1^{er} hiver: différence entre la température ambiante et la température extérieure en fonction de la température extérieure (résultats de cinq journées différentes, températures mesurées chaque fois à 6, 12, 18, et 24 heures).

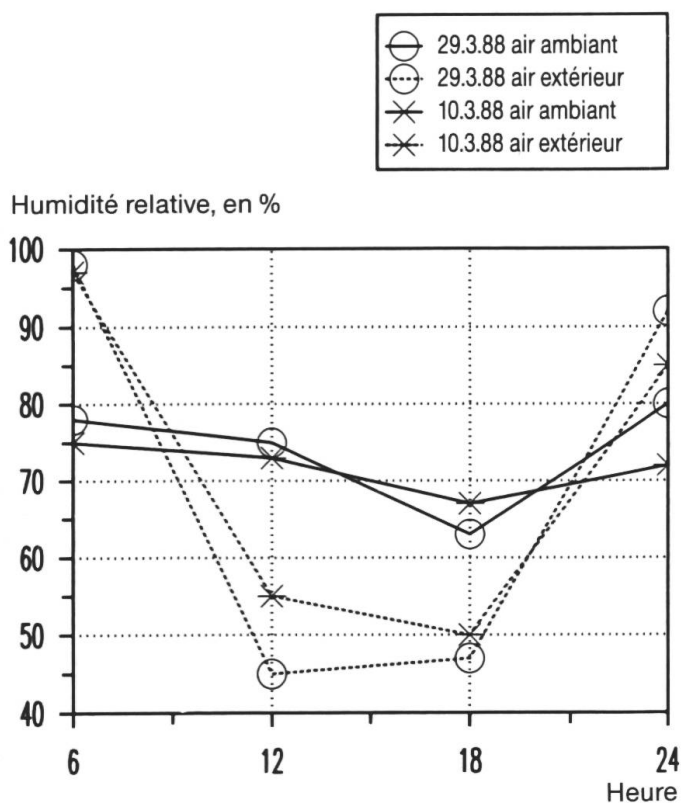


Fig. 8: Etable à veaux, 1^{er} hiver: degré d'humidité relative mesuré à l'intérieur et à l'extérieur dans le courant de deux journées ensoleillées.

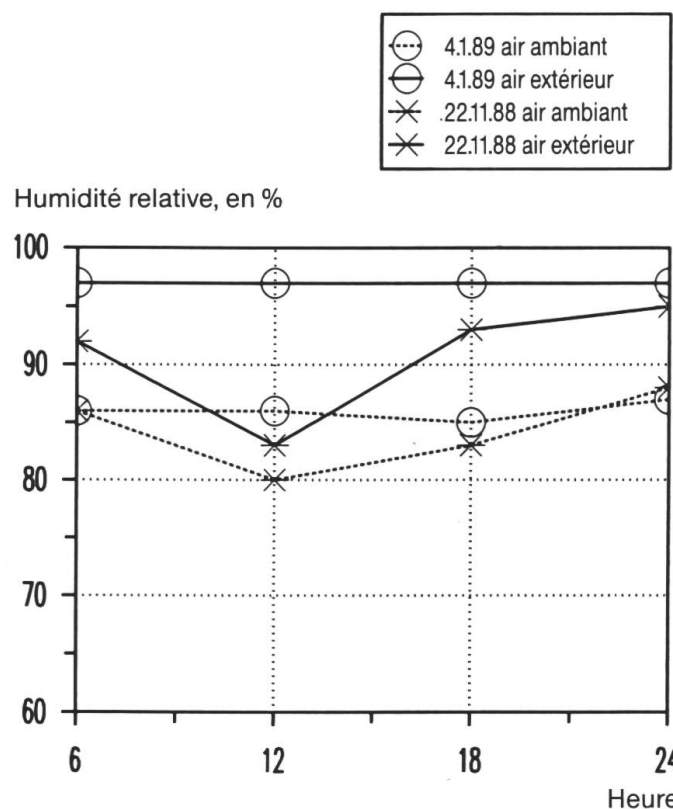


Fig. 9: Etable d'engraissement de bovins (entièrement sur caillebotis): degré d'humidité relative mesuré à l'intérieur et à l'extérieur dans le courant de deux journées différentes.

extérieure variait considérablement. La température ambiante suivait plus ou moins la température extérieure; la différence était plus prononcée par des températures extérieures basses.

Nous avons donc noté les **différences de température** à plusieurs reprises et avec des températures extérieures différentes (voir fig. 7). 6°C de différence ont été mesurés avec une température extérieure de 0°C et 9°C de différence avec -10°C à l'extérieur. Après que la surface des orifices d'amenée d'air avait été quasiment doublée l'hiver suivant, ces différences tombaient à 4,5°C (avec 0°C à l'extérieur), resp. à 7,5°C (avec -10°C à l'extérieur), autrement dit: la différence de température diminuait de 1,5°C dans les deux cas.

Les valeurs mesurées dans l'étable d'engraissement de bovins correspondaient plus ou moins aux résultats obtenus dans l'étable à veaux pendant le premier hiver. A noter toutefois que la température mesurée au passage d'affouragement (bovins en général) tenait environ le milieu

entre la température extérieure et la température du domaine des bovins à l'engrais, le degré d'humidité relative de l'air y étant le même qu'à l'extérieur.

La fig. 7 montre que la différence entre la température ambiante et la température extérieure augmente en ligne droite au fur et à mesure que la température extérieure tombe. **Cette différence, mesurée à une température extérieure de 0°C, est donc une valeur qui montre l'effet de l'étable non-isolée.**

Humidité relative de l'air

En moyenne mensuelle, le degré d'humidité relative noté à l'intérieur de l'étable à veaux lors des deux séries de mesurages égalait celui de l'air extérieur.

Dans le courant de journées ensoleillées, le cours sinusoïdal de l'humidité relative était moins prononcé à l'intérieur de l'étable. Alors que le degré d'humidité relative de l'air extérieur variait entre 40 et 100%, les valeurs limites n'étaient que de 60, resp. de 80% à l'intérieur de l'étable (voir fig. 8).

Par des journées humides, l'humidité relative de l'air ambiant était tout aussi constante qu'à l'extérieur.

Les valeurs mesurées à l'intérieur de l'étable d'engraissement de bovins étaient de 5 à 15% inférieures par rapport à l'extérieur (voir fig. 9). A noter que la différence était d'autant plus prononcée que l'air extérieur était plus humide.

Mouvement d'air à l'intérieur de l'étable

Des différences de température peu prononcées entre l'air ambiant et l'air extérieur n'entraînent que de faibles **forces ascensionnelles thermiques**. Or, les mesurages de dioxyde de carbone, effectués à différents endroits de l'étable, ainsi que des observations de fumées indiquaient que l'étable non-isolée était pourtant suffisamment ventilée, même par vent plus ou moins nul. Voici l'explication:

- d'une part, les forces ascensionnelles thermiques, occasionnées par la chaleur des animaux (veaux de plus de 60 kg) et favorisées par la température ambiante basse, entraînaient ça et là des mouvements d'air allant jusqu'à 40 cm/s;
- d'autre part, les surfaces bien dimensionnées des orifices d'amenée d'air n'occasionnaient pas de pertes de pression [1].

Rappelons toutefois que le mouvement d'air dépend normalement très fortement de la **direction** et de l'**intensité du vent**. La direction du vent avait même un effet sur la direction du flux d'air à l'intérieur de l'étable: sous l'influence d'un vent d'est de 2 à 3 m/s, l'air ambiant de l'étable à veaux se dirigeait du faite en direction de la ligne d'égout, c'est-à-dire dans le sens opposé à celui qui

Fréquence cumulée, en %

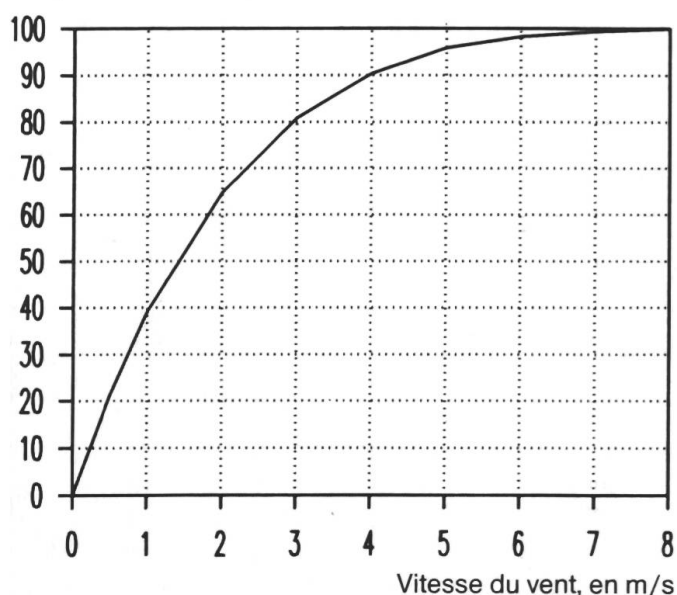


Fig. 10: Fréquence cumulée des vitesses du vent à Tännikon (mesures effectuées, toutes les 10 minutes, de 1980 à 1987.)

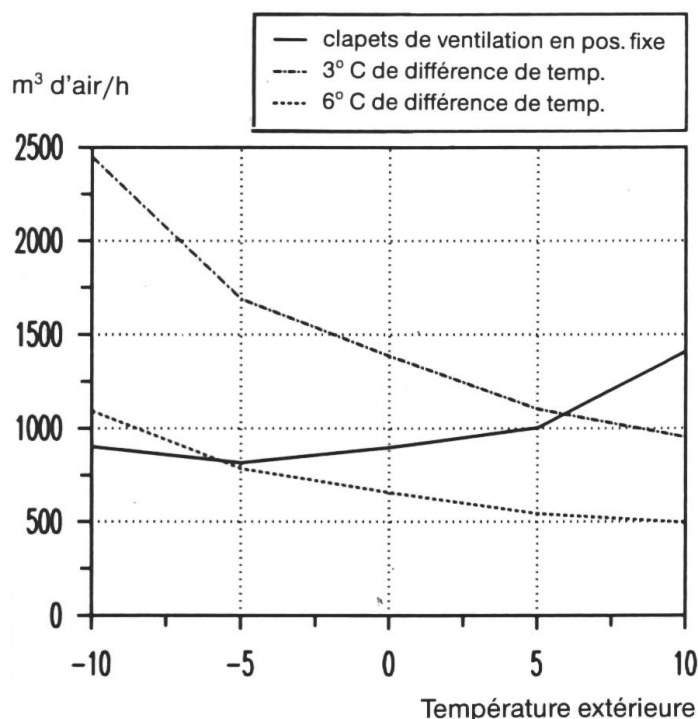


Fig. 11: Débits de ventilation dans l'étable à veaux (20 animaux à 70 kg), 75% d'humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur:

- avec clapet de ventilation en position fixe, ce qui occasionnait, pendant le 2^e hiver, des différences de température de 7,5° C (avec -10° C à l'extérieur), resp. de 4,5° C (avec 0° C à l'extérieur);
- avec 3° C de différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur;
- avec 6° C de différence de température.

était désiré [17, 18]. A Tänikon, ce phénomène ne se produit que rarement, étant donné que dans 75% des cas la vitesse du vent est inférieure à 2,5 m/s dans cette région (Plateau suisse) et qu'il s'agit dans 49% des cas de vents d'ouest et de sud-ouest. Les analyses effectuées au moyen de fumée démontraient qu'un vent de sud-ouest et d'une vitesse de 1,5 m/s dirigeait l'air, à travers les deux orifices (partiellement ouverts) insérés dans la paroi, vers les boxes situés en dessous des orifices, cela par saccades et à des vitesses de plus de 0,3 m/s. Telles vitesses ont été notées à l'intérieur de l'étable non seulement en hiver 1987/88 (avec des orifices plus hauts et moins dimensionnés), mais également

en hiver 1988/89 (avec des orifices plus bas et mieux dimensionnés).

Courants d'air

Les flux d'air frôlant une partie de notre corps et dont la température est inférieure par rapport à la température ambiante, se font sentir comme courants d'air. La différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur était de 6°C pendant le premier hiver et de 4°C pendant l'hiver suivant. Les veaux gardés directement en dessous des orifices d'amenée d'air étaient toujours les premiers à prendre froid. Pendant le deuxième hiver, les maladies étaient encore favorisées par des coups d'air de 30 cm/s,

mais éventuellement aussi par le fait que les veaux (achetés) étaient stressés par le déplacement. L'état de santé des animaux s'améliorait dès qu'une partie du box, c'est-à-dire la partie près de la paroi extérieure, avait été recouverte de panneaux de copeaux de bois.

Dans les boxes non recouverts, les animaux n'ont aucune possibilité d'éviter les courants d'air. En cas d'une bise soudaine, l'air froid peut les surprendre dans le sommeil. Le risque de maladies diminue si les boxes individuels sont installés à un endroit protégé contre les courants d'air.

Débits de ventilation

La fig. 11 montre les débits de ventilation pour 20 veaux à 70 kg. Dans le cas où les clapets de ventilation restaient en position fixe, la différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur augmentait, dans le courant du deuxième hiver, au fur et à mesure que la température extérieure tombait (4,5°C de différence avec 0°C à l'extérieur, 7,5°C de différence avec -10°C à l'extérieur). Les débits de ventilation sont également montrés avec des différences de température constantes (de 3°C, resp. de 6°C). Dans les trois cas, le degré d'humidité relative de l'air ambiant et de l'air extérieur était toujours de 75%.

Il n'étonne pas que les débits de ventilation étaient plus ou moins constants à des températures extérieures en dessous de 5°C et lorsque les clapets de ventilation restaient en position fixe. Afin de maintenir une différence de température constante entre l'air amené et l'air sortant, il faudrait pourtant des débits de ventilation allant fortement en augmentant au fur et à mesure que la température baisse, autrement dit: il faudrait agrandir les orifices de ventilation. Cela du fait que la quantité de vapeur d'eau produi-

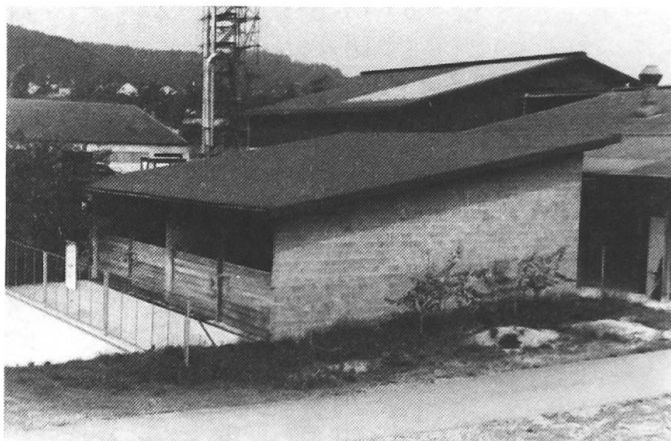


Fig. 12: Porcherie à front ouvert de la FAT, pour 60 porcs à l'engrais.

te par les animaux reste plus ou moins la même (fig. 4), mais que l'air perd de capacité d'absorption de vapeur d'eau au fur et à mesure que la température tombe.

Avec 3°C de différence de température, les débits de ventilation étaient environ deux fois plus importants qu'avec une différence de 6°C et cela à n'importe quelle température extérieure.

La teneur en CO₂ de l'air ambiant de l'étable à veaux variait, selon l'intensité du vent et la position des clapets de ventilation, entre 0,6 et 0,9 l/m³ (0,2 l/m³ à l'extérieur). Avec 20 animaux à 70 kg, 0,8 l de CO₂ par m³ d'air ambiant donnent, selon le tableau 2, un échange d'air d'environ 1000 m³/h. Des débits de ventilation de cet ordre (800 – 1200 m³/h) ont également été confirmés par des mesures individuelles de la température et du degré d'humidité relative de l'air. Ces valeurs doivent être tout aussi importantes en hiver qu'en été (environ 1000 m³/h selon le tableau 2) si l'on désire maintenir une différence de température de 4°C entre l'air ambiant et l'air extérieur [2].

Dans l'étable d'engraissement de bovins, l'échange d'air se déroulait, par vent nul, essentiellement à travers l'ouverture (d'environ 20 m²) entre le passage d'affouragement et l'étable. L'air entraînait

dans l'étable juste en dessus du sol, à une vitesse de 25 cm/s, et sortait par le haut de l'ouverture. Cela du fait que l'air frais entre toujours à l'endroit le plus bas [7]. Le bord inférieur de l'ouverture de ventilation était de plus de 2 m plus bas que la fente allant le long de la ligne d'égout et de plus d'un mètre plus bas que les fenêtres. Celles-ci étaient fermées pendant le premier hiver et basculées de 3 cm pendant le deuxième (450 m³ d'air amené par h). La vitesse de l'air sortant, mesurée dans la cheminée (53 cm de diamètre intérieur), n'atteignait que 0,5 m/s (400 m³ d'air sortant par

heure). Avec 20 animaux à 320 kg, les calculs, effectués sur la base de mesures de la teneur en CO₂, de la température et du degré d'humidité relative, donnaient un échange d'air total d'environ 3300 m³/h. Etant donné que l'échange d'air se déroulait principalement entre le passage d'affouragement et l'étable, celle-ci fonctionnait en tant qu'étable à front ouvert du côté du passage d'affouragement (le terme «étable à front ouvert» désignant une étable dont une façade est environ à moitié ouverte; voir fig. 12).

Réglage de la ventilation

Comme le montre le schéma de la fig. 13, l'échange d'air ayant lieu dans les étables non-isolées dépend essentiellement de l'intensité du vent, des forces ascensionnelles thermiques et du réglage de la ventilation. Notons à ce propos que la ventilation des étables à front ouvert est très difficile à régler. Aux étables avec fente de faîte et fentes dans la ligne d'égout, le débit de ventilation peut être réglé au moyen de clapets réglables, des fenêtres et des portes.

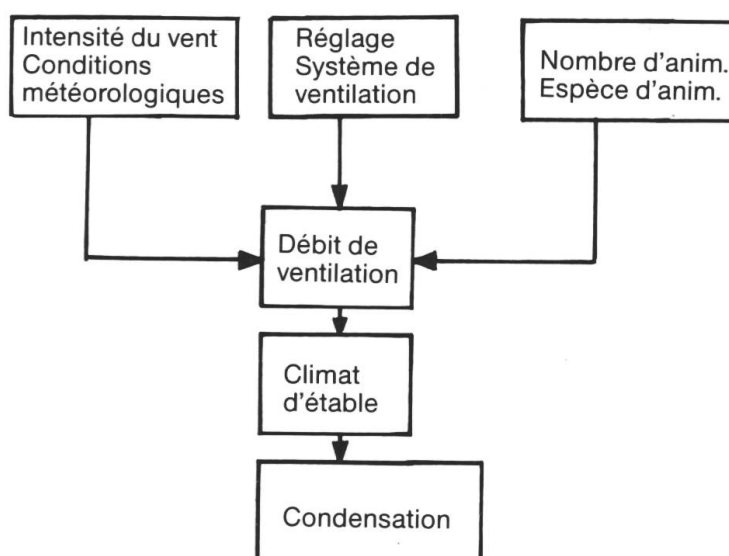


Fig. 13: Schéma simplifié des facteurs ayant une influence sur le débit de ventilation.

Tableau 4: Débit de ventilation: taux exigés pour différentes catégories d'animaux par rapport à une vache de 600 kg, en fonction de la quantité de chaleur produite (selon [14])

Catégorie d'animaux	Poids kg	Chaleur produite W	Débit de ventilation nécessaire
Vache	600	906	1,00
Veaux	50	140	0,15
	60	170	0,19
	80	200	0,22
	100	271	0,30
Bovins à l'engrais	300	639	0,71
	320	660	0,73
	350	700	0,77
	400	751	0,83

Lorsque l'air est relativement humide, sa capacité d'absorption de vapeur d'eau est bien plus faible; ce qui signifie qu'il faut faire entrer une quantité d'air bien plus importante. Il arrive parfois que le débit de ventilation doit être doublé lorsque le degré d'humidité relative de l'air extérieur monte de 80% à 90%. Cela peut se produire non seulement par un temps pluvieux ou de brouillard, mais également pendant la nuit. Rappelons dans ce contexte que le foin ne sèche pas pendant la nuit.

L'eau destinée au nettoyage est donc à utiliser avec mesure, particulièrement lorsque le degré d'humidité relative de l'air est élevé. Car une grande partie de l'eau s'évapore et doit être éliminée par ventilation. Des entrepôts de lisier ne dégageant pas de vapeur d'eau et des systèmes d'évacuation du fumier permettant d'éliminer rapidement la matière liquide sont préférables.

En doublant la superficie des orifices d'amenée et de sortie d'air, on double également le débit de ventilation (pourvu qu'il y ait du vent). Un vent deux fois plus fort a le même effet. Le débit de ventilation peut donc être réglé par

agrandissement ou réduction de la superficie des orifices de ventilation.

Superficie des orifices d'amenée d'air

Les orifices par lesquels l'air a été amené dans l'étable à veaux, avaient une superficie totale de 1,2 m². Par vent nul, la vitesse de l'air entrant était d'environ 25 cm/s, ce qui donnait 1080 m³ d'air par heure. Le débit de ventilation dépend de la quantité de chaleur produite par les animaux. 20 veaux à 70 kg dégagent autant de chaleur que cinq vaches et égalent donc cinq UGB-ventilation. L'étable disposait donc d'environ 0,25 m² de superficie d'amenée d'air par UGB-ventilation.

A l'étable d'engraissement de bovins, les orifices d'amenée et de sortie d'air, situés au-dessus de la crèche, servaient à 20 animaux d'un poids de 320 kg, c'est-à-dire à 14 UGB-ventilation (voir tableau 4). Dans ce cas-là, on comptait donc 20/14 = 1,4 m² par UGB-ventilation, ce qui représentait le sextuple par rapport à l'étable à veaux. La vitesse de l'air entrant était également d'environ 25 cm/s. En comptant un sixième

(le sixième le plus bas) de l'ouverture en tant que superficie d'amenée d'air, on arrive à 0,25 × 20 × 3600/6 = 3000 m³ d'air par heure.

Bilan thermique

Tout comme dans l'étable isolée, la chaleur produite par les animaux et les pertes de chaleur occasionnées par la ventilation et la transmission à travers différents éléments de construction se contrebalancent également dans l'étable non-isolée. Tout excédent de chaleur provoque une montée de la température ambiante et une réduction de l'humidité relative de l'air. Lors d'un déficit de chaleur, on note au contraire des températures ambiantes plus basses et un degré d'humidité relative plus élevé. C'était donc par suite de la bonne isolation que le degré d'humidité relative de l'air était en moyenne de 5 à 15% plus bas à l'intérieur de l'étable à bovins qu'à l'extérieur.

A une température extérieure de plus de -7°C et avec une différence constante de 3°C entre la température de l'air ambiant et de l'air extérieur, la quantité de chaleur produite par les veaux dépassait les pertes occasionnées par transmission et ventilation (voir fig. 14). Avec 6°C de différence de température par contre, le bilan thermique n'était jamais positif. Celui-ci se présente donc d'une façon d'autant plus favorable que la différence de température est plus faible, c'est-à-dire que le débit de ventilation est plus élevé. De forts débits de ventilation permettent d'éviter des processus de condensation même si le coefficient k est très élevé, c'est-à-dire très mauvais (comme p. ex. les 2,2 W/m²K de l'étable à veaux). En l'occurrence, ce sont les pertes de chaleur occasionnées par transmission qui comptent. 6°C de différence de température provoquent deux fois

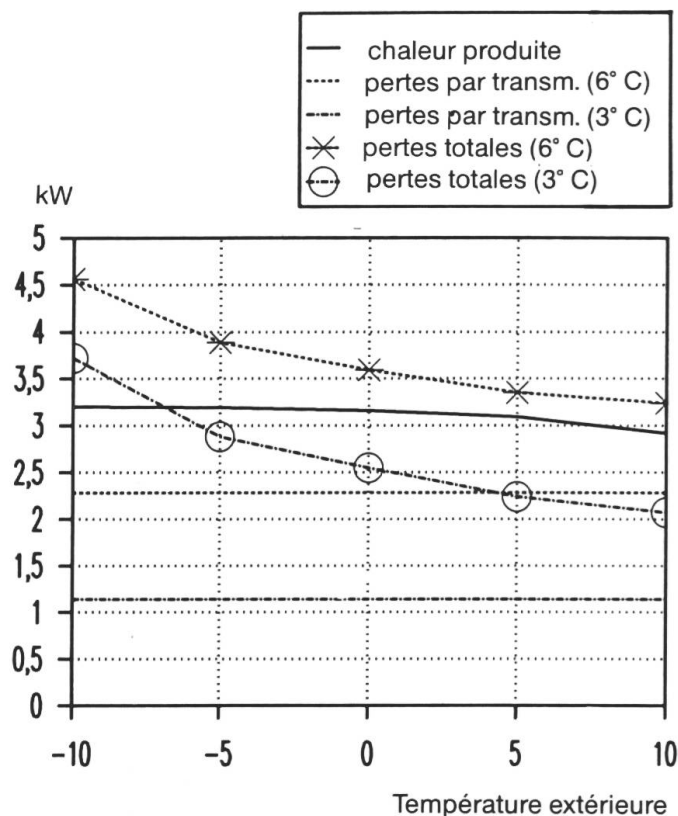


Fig. 14: Bilan thermique de l'étable à veaux (20 animaux à 70 kg), avec 3°C et 6°C de différence de température et 75% d'humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur. La production de chaleur par les animaux est à comparer au total des pertes de chaleur occasionnées par la ventilation et la transmission à travers différents éléments de construction.

plus de pertes que 3°C. Etant donné que la quantité de vapeur d'eau à évacuer ne change pas, les pertes occasionnées par la ventilation sont plus ou moins les mêmes dans les deux cas. Avec une différence de température de 3°C, l'évacuation de vapeur d'eau exige toutefois davantage d'air, cela du fait que ce dernier absorbe d'autant moins de vapeur d'eau que la différence de température est plus faible.

Condensation

Le premier automne, l'humidité relative de l'air était élevée, et les parois de la partie la moins ventilée de l'étable à veaux (en dessous du faux-plafond), doublement revêtues de planches, mais non-isolées (1,9 W/m²K), s'humidifiaient. Ce n'était que dans le

courant de l'hiver, après que le faux-plafond avait été pourvu de deux fentes de 0,1 m² et lorsque l'air extérieur était moins humide, que les processus de condensation commençaient à diminuer. L'automne suivant, les orifices

d'amenée d'air ont été agrandis. Cette mesure avait pour effet de faire diminuer la différence de température à 4,5°C (avec 0°C à l'extérieur) et de réduire les endroits embués à moins de 5% de la surface totale de la paroi du côté du passage d'affouragement et de la paroi extérieure (côté nord, en dessous du faux-plafond); cela en dépit de 50% plus d'animaux occupant l'étable.

Par contre, la toiture d'éternit (résistante à la condensation, coefficient $k = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) s'embuait dès que le degré d'humidité relative dépassait les 90%. A des températures ambiantes en dessous de 0°C, la toiture se couvrait de givre. Les plaques ondulées transparentes en matière synthétique que l'on voit parfois insérées dans le toit au lieu des dalles éternit ondulées, ont un coefficient k encore plus élevé et ne sont pas du tout absorbantes; ainsi le chevron en dessous du toit était toujours humide et dégouttait en hiver.

Avec des taux d'humidité si élevés, les processus de condensation étaient à prévoir. Le tableau 5 présente quelques valeurs se basant sur des calculs théoriques. Avec une température de 0°C et 90% d'humidité relative à l'intérieur de l'étable et

Tableau 5: Coefficients k nécessaires, en fonction de la température et du degré d'humidité de l'air ambiant ainsi que de la différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur (valeurs calculées selon tableau 3)

Différence de température, en °C	3	6	6
Humidité relative de l'air, en %	90	90	80
Température ambiante	Coefficient k , en $\text{W/m}^2\text{K}$		
-10	2,35	1,18	2,48
-5	2,45	1,23	2,58
0	2,88	1,44	3,03
5	3,00	1,50	3,16
10	3,12	1,56	3,29
15	3,25	1,63	3,42

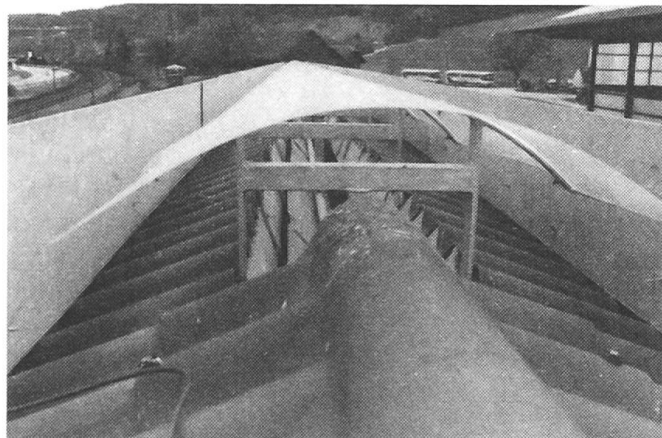
avec -3°C à l'extérieur, il faut un coefficient k de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. La valeur correspondante est de $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (parois: $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) lorsque la différence de température s'élève à 6°C . Ainsi la condensation accrue, observée aux parois ($2 \text{ W/m}^2\text{K}$) pendant le premier automne, s'explique par le fait que la différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur avait été plus élevée que l'automne suivant (6°C vis-à-vis de $4,5^{\circ}\text{C}$). L'isolation doit être d'autant meilleure (et le coefficient k donc d'autant plus bas) que la différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur est plus grande et que le taux d'humidité relative est plus élevé. Etant donné qu'en hiver le degré d'humidité relative de l'air extérieur n'est souvent pas loin d'atteindre les 100% et qu'il ne peut alors pas être beaucoup plus bas à l'intérieur de l'étable non-isolée, il faut toujours s'attendre, pour une courte durée, à certains processus de condensation. Si la température ambiante est basse, la santé des animaux n'est aucunement menacée par une forte humidité relative de l'air [1]. Dans l'étable isolée, les 80% ne devraient par contre pas être dépassés.

Recommandations concernant la construction de l'étable

Parois

Dans certaines conditions météorologiques, les processus de condensation ne peuvent pas être évités dans l'étable non-isolée. Les parois sont donc à construire en un matériau imprégné ou résistant à l'humidité.

Fig. 16: Fente de faîte, 30 cm de large, avec surtoiture transparente, clapet transparent réglable au milieu de la fente et chasse-vent (étable à bovins de la FAT).



Toit

Des plaques ondulées chevauchantes, posées de façon à laisser un écart de 1 – 2 cm à l'endroit où elles se recouvrent, se prêtent bien à empêcher que l'eau de condensation n'entre dans l'étable [3, 11] (fig. 15). Ce genre de ventilation supplémentaire réduit en plus le risque de condensation et aide à évacuer la chaleur en été.

Si l'eau dégouttant du toit devient gênante, on peut également monter une plaque isolante de 4 cm d'épaisseur [15]. Celle-ci sert en même temps à ventiler les vides et à empêcher, en été, l'entrée de chaleur provenant de l'extérieur. Pour les toits larges, on prévoit des fentes continues, hautes de 6 à 10 cm, entre la plaque éternit ondulée et le solin arrière [6]. La fente entre l'éternit ondulé et le chevron a en moyenne

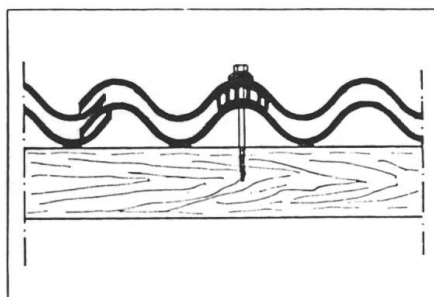


Fig. 15: Coupe transversale de la toiture: dalles éternit ondulées, posées de façon à laisser une fente de ventilation haute de 1 à 2 cm [5, 10].

2,5 cm de large; un contrelattis permet de gagner davantage de surface de ventilation.

Ventilation

Le flux d'air entrant peut être détourné des animaux soit par des plaques de guidage en contreplaqué, réglables et longues de plus de 1,2 m, soit par des panneaux de copeaux de bois montés en dessous des fentes d'amenée d'air allant le long de la ligne d'égout (ventilation dans la ligne du faîte et de l'égout). Des orifices bien dimensionnés éliminent le risque de courants d'air, car l'air entre alors à une vitesse plus faible (étable à front ouvert).

Afin d'être protégés contre les courants d'air, les animaux doivent se tenir à une certaine distance des fentes d'amenée d'air; l'écart doit être d'autant plus grand que la différence de température entre l'air ambiant et l'air extérieur est plus élevée et que la vitesse de l'air entrant est plus forte (la Norme suisse du climat d'étable admet, dans l'étable isolée et en hiver, une vitesse maximale de 10 cm/s aux endroits où se trouvent les animaux [14]).

La fente de faîte est munie de clapets réglables. En général, la superficie de la fente de faîte est égale à la superficie totale des orifices d'amenée d'air. Les cla-

pets et la surtoiture peuvent être faits de matière synthétique transparente pour former une source de lumière (souvent à double paroi afin de réduire le risque de condensation). La fente de faite ne serait pas complète sans chasse-vent.

Résumé

Les connaissances résumées ci-après ont été gagnées par des essais pratiques et des calculs théoriques; elles peuvent servir aux constructeurs aussi bien qu'aux utilisateurs d'étables non isolées.

- Par des journées froides, le **débit de ventilation** nécessaire est tout aussi important qu'en été; afin de limiter la différence de température, il faut alors profiter (tout comme en été) de **toutes les possibilités de ventilation**, c'est-à-dire ouvrir les fenêtres et les portes à défaut de suffisamment d'autres orifices.
- Si, avec une température extérieure de 0°C, la température ambiante doit être de 4 à 6°C, les **orifices d'amenée et de sortie d'air** de l'étable non isolée et ventilée par une fente de faite et des fentes dans la ligne d'égout doivent présenter une superficie d'environ 0,25 m²/UGB-ventilation. Pour les étables à front ouvert, il faut approximativement 1,5 m² de front ouvert par UGB-ventilation. Des différences de température plus faibles demandent des superficies de ventilation plus importantes.
- Alors que le degré **d'humidité relative** ne devrait pas dépasser les 80% à l'intérieur d'une étable isolée, les animaux supportent des valeurs plus élevées si la température ambiante est basse.
- Par des journées froides, avec une différence de température de 6°C entre l'air ambiant et l'air extérieur et avec 90% d'humidité relative, les processus de **condensation** ne s'évitent qu'aux endroits où le coefficient k de la partie concernée de la construction est inférieur à 1,2 W/m²K. Avec 3°C de différence de température, un coefficient k de 2,4 W/m²K est suffisant.
- Les parties d'une construction non-isolée dont le coefficient k est supérieur à 1,2 W/m²K, devraient être **imprégnées ou résistantes à l'humidité**.
- Afin d'éviter des **retenues de chaleur** en été, on construira un toit à double enveloppe permettant une ventilation des vides. En cas d'un toit à simple enveloppe, les dalles ondulées sont à poser de façon à laisser une fente de ventilation aux endroits où elles se recouvrent. Une telle construction aide à évacuer la chaleur en été et à réduire le risque de condensation en hiver.

Bibliographie

- [1] BARTUSSEK, H., Klima und Lüftung im einstreulosen Stall, 7. Arbeitstagung «Fragen der Güllerei», BVA Gumpenstein, 1981.
- [2] BORCHERT, K. L., Der Kaltstall für Rindvieh – ein konstruktives Problem, BLS-Landsiedlerdienst, München, 1973.
- [3] BORCHERT, K. L., Traufen und Firstlüftung für Rindviehställe – sinnvolle Alternative zur Zwangslüftung?, dlz, München, 1236-40, 1984.
- [4] CIGR, Climatisation of Animal Houses, Scottaspress Publishers Limited, Aberdeen, 1984.
- [5] DAENICKE, R., PIOTROWSKI, J., Kälberaufzucht in ungedämmten Ställen, Der Tierzüchter, Nr. 5, Frankfurt, 219-221, 1982.
- [6] ELEMENT 23, Wärmeschutz im Hochbau, Schweiz. Ziegelindustrie, Zürich, S. 66 und 72, 1984.
- [7] GOEBEL, W., Schwerkraftlüftung – Praxisuntersuchungen, FAT-Berichte 342, Tänikon, 1988.
- [8] HAHN, L., SHANKLIN, D., JOHNSON H. D., 24. Relation of Humidity to Lactation and Some Related Physiological Responses of Dairy Cattle, University of Missouri, Columbia, Missouri, 1953.
- [9] HAIGER, A., STORHAS, R., BARTUSSEK, H., Naturgemässe Viehwirtschaft, Ulmer Verlag, Stuttgart, 1988.
- [10] JAKOB, P., Offenställe für Mastschweine, FAT-Berichte 323, Tänikon, 1987.
- [11] JAKOB, P., SCHMIDLIN, A., STEINER, T., GOETZ, M., Die Benutzung des Liegeboxenbereiches im Boxenlaufstall durch Milchkühe, FAT-Schriftenreihe 31, 27-32 Offenstall, 1988.
- [12] JANSSEN, J., SCHOEDDER, F., Ableitung von Luftzustandsgrößen aus meteorologischen Daten, Grundlagen der Landtechnik, Bd. 30, Düsseldorf, 3-4, 1980.
- [13] OEKL-ANLEITUNG – STALLKLIMA, OeKL, Verlag J. Dressler, Wien, 1983.
- [14] STALLKLIMAKOMMISSION, Schweizerische Stallklimanorm, ETH Zürich, 1983.
- [15] RITTEL, L., Trauf-First-Lüftung, etwas für selbstbauwillige Landwirte?, dlz, München, S. 61 und 1652, 1981.
- [16] STROEM, J. S., Heat Losses from Cattle, Swine and Poultry as Basis for Design of Environmental Control System in Livestock Buildings. English Translation of SBI-landbrugsbyggeri 55, Statens Byggeforskningsinstitut, Hörsholm, 1987.
- [17] TECHEL, M., Klima in Kaltställen, Betriebswirtschaftliche Mitteilungen, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Nr. 379, Kiel, 9-15, 1988.
- [18] ZEISIG, H. D., KREITMEIER, J., Möglichkeiten und Probleme der Trauf-First-Lüftung in Rindviehställen, Der Tierzüchter, Nr. 7, Frankfurt, 303-305 Steuerung, 1982.