

Ventilation par système de gravité – essais pratiques

Wilfried Göbel

Nos enquêtes portant sur l'utilisation pratique de la ventilation par système de gravité, ont mené aux résultats suivants: le fonctionnement de ce système dépend du vent, de la hauteur des orifices d'amenée d'air ainsi que de l'isolation et du bilan thermique de l'étable. Le plan et la hauteur de l'étable n'ont par contre pas eu d'influence sur le fonctionnement de la ventilation par cheminées. La surface de section transversale des cheminées peut être bien inférieure aux dimensions spécifiées par la Norme suisse du climat d'étable (NSCE). Les détails concernant la construction et la surface de section transversale de la fente de faite des différents types d'étables sont fournis ci-dessous.

1. Introduction

Une grande partie des étables, avant tout celles qui sont destinées à l'exploitation bovine, sont ventilées par système de gravité. En été, c'est en premier lieu la chaleur produite par les bêtes, en hiver par contre la va-

peur d'eau qui s'échappe sans ventilateurs à travers des cheminées ou une fente de faite. D'une part, nous avons pu constater que les cheminées présentant une petite surface totale de section transversale fonctionnaient de manière satisfaisante (fig. 1) [5, 7, 9], d'autre part le climat des étables ventilées par système de gravité laissait parfois à désirer [3, 4]. Puisque les bases de planification pour l'installation de ce genre de ventilation ne sont pas complètes ou contradictoires, nous avons cherché à répondre aux trois questions suivantes:

- De quelles dimensions d'étable faut-il tenir compte et quels sont les critères pour l'isolation thermique et la ventilation?

- Par où et de quelle manière l'air frais doit-il être amené?
- Quelle doit être la construction des cheminées et des fentes de faite?

Nous avons examiné une cinquantaine d'étables différentes: des étables à faux-plafond (stockage de paille ou de foin), des étables sans plafond (le toit faisant office de plafond), des étables non-isolées (étables sans faux plafond ni isolation) ainsi que des étables à front ouvert.

Nous avons

- relevé les effectifs du bétail et les dimensions des étables, ainsi que celles des orifices d'amenée d'air et des cheminées,

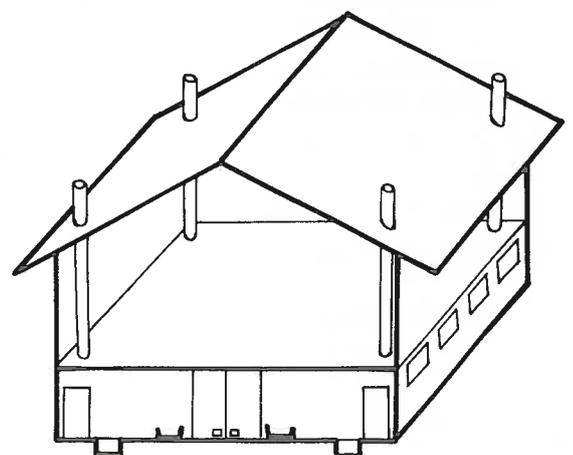


Fig. 1:
Cheminées de ventilation d'une vacherie à faux-plafond.

Tableau 1: Les étables examinées, différenciées suivant l'espèce animale, le type d'étable et le système de ventilation

Espèce animale	Type d'étable		Etable isolée, sans plafond		Etable isolée, sans plafond		Etable non-isolée, sans plafond	Etable à front ouvert
	Etable isolée à faux-plafond		Stabu- lation entravée	Stabu- lation libre	Stabu- lation libre	Stabu- lation libre		
	Stabu- lation entravée	Stabu- lation libre					Système de ventilation	
	Cheminée		Cheminée	Fente	Cheminée	Fente	Fente	
Vaches laitières	13	1	7	4	3	3	5	
Bovins à l'engrais	1			1	1	1		3
Porcs à l'engrais					2			1
Truies sèches					1			
Dindons à l'engrais					1			
Poulets					1			
Total	14	1	7	5	9	4	5	4

- calculé les indices k et des valeurs comparatives (telles que la surface de base de l'étable et la surface de section transversale des cheminées par rapport à une UGB),
- noté les dégâts provoqués par la condensation et retenu d'autres expériences faites par les propriétaires,
- établi la vitesse du flux de l'air sortant dans onze cheminées d'étables différentes

(en partie plusieurs fois) et mesuré la température à l'intérieur et à l'extérieur des étables.

2. Bases théoriques

Le tableau 2 indique la **quantité d'air spécifique** pour les différentes espèces animales. Avec

une différence de température de 10° C entre l'intérieur et l'extérieur de l'étable, ce chiffre se calcule selon la formule 1 [9]. La quantité d'air spécifique par UGB (97 m³/h) est spécifiée en tant qu'une unité de ventilation UGB. Cela permet de comparer les systèmes de ventilation utilisés pour des espèces animales différentes et de convertir les différentes catégories de poids en UGB (vache de 600 kg).

Tableau 2: Quantité d'air spécifique d'espèces animales différentes (avec une différence de 10° C entre la température ambiante et la température extérieure) et unité de ventilation UGB

Espèce animale	Poids kg	Température ambiante en hiver	Production de chaleur W	Quantité d'air spécifique m ³ /h	Unité de ventilation UGB
Vaches laitières	500	10	820	88	0,9
	600	10	906	97	1,0
	700	10	988	106	1,1
Bovins à l'engrais	150	16	371	40	0,4
	200	15	479	52	0,5
	300	15	639	69	0,7
	400	15	751	81	0,8
	500	15	829	89	0,9
Porcs à l'engrais	20 - 40	22 - 17	66 - 112	7 - 12	0,1
	60 - 100	16 - 15	151 - 222	16 - 24	0,2
Truies d'élevage sans porcelets	150	10	309	33	0,3
	200 - 250	10	359 - 400	39 - 43	0,4
	300 - 350	10	450 - 493	48 - 53	0,5
100 Poulets	200	18	1140	123	1,3

Formules:

Formule 1:	$V = Q/0,93 (t_a - t_e)$	(m ³ /h)
Formule 2:	$p_T = (g_e - g_i) H = 1,2 (t_a - t_e) H/273$	(mm CE)
Formule 3:	$v_r = 0,134 \sqrt{H (t_a - t_e)}$	(m/s)
Formule 4:	$p_v = (v_v^2)/16$	(mm CE)

V	m ³ /h	Quantité d'air spécifique
Q	W	Chaleur produite par la bête
t _a -t _e	°C	Différence entre température ambiante et température extérieure
p _T	mm CE	Ascendance par effet thermodynamique
v _r	m/s	Vitesse réelle de l'air dans la cheminée
g _e -g _i	kg/m ³	Différence de poids spécifique de l'air extérieur et intérieur
H	m	Hauteur ascensionnelle
p _v	mm CE	Ascendance provoquée par le vent
v _v	m/s	Vitesse du vent

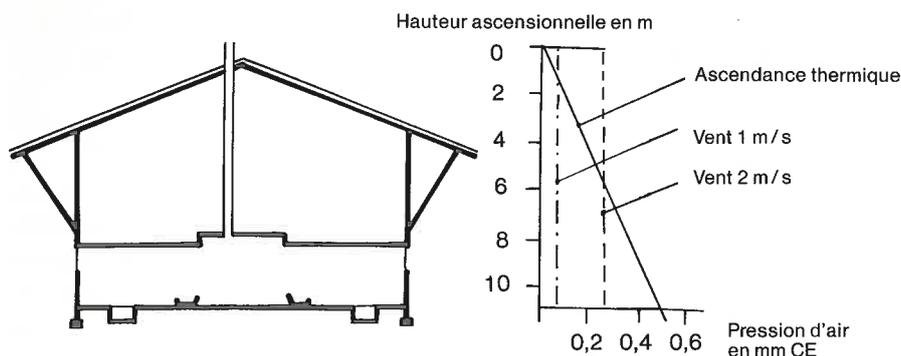


Fig. 2: Pression théorique provoquée par l'ascendance thermique (avec 10° C de différence de température) et par le vent (avec 1 et 2 m/s de vitesse).

Dans l'étable, le mouvement d'air est provoqué par l'**effet thermodynamique et par le vent**. Une différence de 10° C entre la température ambiante et la température extérieure et une hauteur ascensionnelle de 8 m engendrent une **ascendance thermique** de 0,35 mm CE (voir formule 2 et fig. 2). **Les orifices d'amenée d'air plus bas tirent mieux** et éliminent souvent l'effet des fentes de la ligne de l'égout du toit. Ainsi, les interstices dans l'encadrement des portes, les canaux à lisier et les systèmes de va-et-vient ne modifient pas seulement le mouvement de l'air, mais ils provoquent souvent un courant d'air. La vitesse du flux de l'air sortant par les cheminées dépend de la thermique. Elle est pourtant diminuée par des résistances au courant (fenêtre, entrée et sortie

de la cheminée, clapet d'étranglement, friction contre le tuyau). **La vitesse réelle du flux de l'air sortant** ne se monte qu'à environ 50% de la vitesse théorique [10] (voir formule 3). L'ascendance, nous l'avons dit, ne dépend pas seulement de l'effet thermodynamique, mais aussi du **vent** [10]. Selon la formule 4, des vitesses de vent jusqu'à 1 m/s provoquent une ascendance de 0,063 mm CE, valeur bien inférieure aux 0,35 mm CE mentionnés ci-dessus et causés par l'effet thermodynamique. A Tänikon (en tant que représentant typique de nombreuses régions du Plateau suisse), on mesure pendant la moitié de l'année des vitesses supérieures à 1,5 m/s. Avec des **cheminées de 3 m de hauteur ascensionnelle et une différence de température de 10°**

C, celles-ci provoquent davantage de pression que l'effet thermodynamique (voir fig. 2).

Dans la plupart des régions, **une direction principale du vent** prédomine. En été, il serait avantageux d'exposer l'étable au vent, mais en hiver des vents soudains risqueraient très vite de la refroidir.

3. Etables isolées

3.1 Généralités

Les tableaux 3 et 4 présentent les valeurs comparatives qui ont été établies dans 15 étables à faux-plafond et dans 25 étables sans plafond. Les valeurs qui sont indiquées en tant que valeurs spécifiques, se rapportent à une UGB.

3.2 Forme de l'étable

La surface de base spécifique ainsi que la superficie spécifique et la transmission spécifique des étables à faux-plafond et des étables sans plafond sont semblables. La surface de base spécifique et la surface de base par cheminée des deux types d'étables varient largement (entre 6-17 m² et 32-156 m², selon le cas) sans que la ventilation tombe en panne. Dans les

Tableau 3: Etables: valeurs comparatives

		Etable à faux-plafond	Etable sans plafond	
			Stabulation entravée	Stabulation libre
Hauteur de l'étable	m	2,0-3,0	2,6-4,0	2,3-4,3
Surface de base spécifique de l'étable	m ² /UGB	6-17	8-13	5-14
Volume spéc. de l'étable	m ³ /UGB	11-45	21-40	16-57
Superficie spéc. de l'étable	m ² /UGB	12-30	14-23	9-24
Transmission spécifique	W/°C UGB	11-36	11-27	10-21

Tableau 4: Orifices pour l'air sortant: valeurs comparatives

		Etable à faux-plafond	Etable sans plafond	
			Stabulation entravée	Stabulation libre
Hauteur ascensionnelle	m	4,0-7,5	2,5-4,0	3,0-4,5
Surf. de base/cheminée	m ²	32-126	71-156	36-131
Nombre d'UGB/cheminée		3-14	6-17	6-17
Section transversale spéc. des cheminées	cm ² /UGB	157-330	133-313	147-373
Largeur de la fente	cm		8-40	20-30
Hauteur de la fente au-dessus du sol	m		4,5-5,0	6,0-7,5
Largeur de l'étable	m		13-16	14-25
Surface spéc. de la fente	cm ² /UGB		427-578	774-1286

étables occupées par un nombre limité de bêtes et les étables dont l'aire est séparée par un mur entrecoupé d'ouvertures (qui permettent de distribuer le fourrage du côté des animaux) ou peut être séparée par une bâche commandée par un treuil,

les valeurs mentionnées se rapprochent des limites inférieures des tableaux 3 et 4; les limites supérieures sont valables pour les étables d'engraissement. En moyenne, on peut compter 10 m² de surface de base par UGB et 100 m² par cheminée.

Les cheminées assurent la ventilation d'étables à faux-plafond de n'importe quelle forme de plan. Même la hauteur n'est pas importante: nous avons rencontré une étable haute de 2 m, où des solives faisaient le dessous de plafond.

Les étables sans plafond présentent toutes des toits en pente. Ainsi elles sont en moyenne plus hautes que les étables à faux-plafond. Leur hauteur peut se monter jusqu'à 4,3 m s'il s'agit d'une étable à stabulation libre. En même temps, le volume spécifique augmente jusqu'à 57 m³/UGB.

3.3 Isolation thermique et construction

Environ un tiers des étables examinées présentait le défaut typique d'une étable mal climatisée, c'est-à-dire la formation de moisissure au plafond, aux parois ou aux portes (fig. 3). Dans la plupart des cas, le bilan thermique de l'étable n'était pas équilibré, c'est-à-dire qu'en hiver la perte de chaleur à travers la façade (perte de transmission) plus l'effet de la ventilation (nécessaire pour faire sortir la vapeur d'eau) étaient supérieurs à la chaleur produite par les bêtes.

La **transmission spécifique** (superficie spécifique x indice k moyen du total de la façade) indique si la perte de transmission est trop importante. L'indice k peut donc être d'autant plus élevé que la superficie de l'étable est plus petite.

Les étables examinées présentaient une transmission spécifique qui variait entre 10 et 36 W/°C UGB (voir tableau 3). **Dans les étables à vaches, la transmission spécifique ne doit pas dépasser 14 W/°C UGB [6].**

Dans des étables sous-occupées ou pas suffisamment iso-



Fig. 3: Formation de moisissure sur un plafond revêtu de bois.

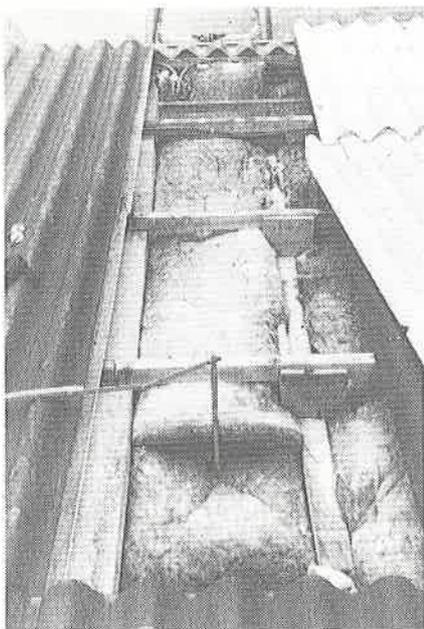


Fig. 4: Deux nattes de laine minérale mal jointes.

lées, il n'y a pas assez de chaleur pour faire sortir la vapeur d'eau. Avec un excédent de chaleur, le flux d'air dans l'étable augmente, et les gaz nocifs ainsi que la vapeur d'eau sont plus raréfiés. **Si l'étable est bien isolée, le climat en est d'autant plus constant et plus facile à régler. La condensation au plafond et aux parois ne se produit pas seulement si l'étable est sous-occupée ou mal isolée, mais elle est également due à des défauts d'isolation proprement dits [1]. Dès la planification, il faut repérer les ponts de refroidissement à éviter.** Les parois entre l'étable et les parties non chauffées doivent toujours être isolées. Les parties de l'étable peu aérées, telles que les coins morts, les boxes à veaux, les salles de traite ainsi que certaines parties du plafond qui sépare l'étable de la grange, doivent même particulièrement bien être isolées.

L'isolation de l'étable doit être appliquée de façon compétente. Le matériau d'isolation ne doit pas seulement envelopper l'étable comme un manteau,

mais il faut en plus qu'il soit aussi étanche que possible. A ce but, un blocage ou frein de vapeur qui ne laisse aucune lacune, est adossé au mur de l'étable (à la face intérieure). L'isolation ne doit nullement laisser passer de l'air froid (fig. 4). Des grillages ou des treillis en fil de fer empêchent qu'elle ne soit endommagée par des souris, des rats, des martres ou des oiseaux.

3.4 Réglage de la ventilation

Il serait évidemment idéal si la ventilation se réglait par elle-même. Mais la ventilation par système de gravité ne le permet pas, les températures basses exigent un étranglement. Le réglage s'effectue au moyen des orifices d'amenée d'air, du clapet d'étranglement dans les cheminées ou par une fente de faite réglable. Le clapet d'étranglement ne se règle que peu de fois par an et de façon **approximative** (en cas de grand froid ou d'une forte bise). Le **réglage de précision** par les portes, les fenêtres et des clapets compense les changements de la température et du vent.

Le degré de condensation aux fenêtres et aux portes par des journées froides indique si un réglage est nécessaire. Si l'étable n'est que faiblement aérée, la vapeur d'eau produite par les

bêtes (323 g/h par UGB) fait fortement augmenter l'humidité de l'air. Les parties de l'étable les moins isolées sont les premières à s'humidifier.

Dans une certaine mesure, la ventilation par système de gravité est pourtant autorégulatrice. Un étranglement trop fort réduit le débit d'air. Par conséquent, la différence entre la température ambiante et la température extérieure augmente, ce qui, en retour, fait augmenter l'ascendance et ainsi l'échange d'air. Si par contre l'étranglement est trop faible, l'échange d'air est d'abord trop fort. Mais il diminue à mesure que la différence de température diminue. Ainsi la température de l'étable s'établit à un certain niveau, suivant le degré d'étranglement.

En été, les cheminées et davantage encore les fentes de faite sont pour ainsi dire inefficaces, car la différence entre la température ambiante et la température extérieure est trop faible [6]. Afin de soulager la chaleur dans l'étable, on ouvrira les fenêtres et les portes, on utilisera un ventilateur ou on fera pâturer le bétail pendant toute la journée. En planifiant des étables d'engraissement qui offrent moins de possibilités de contre-mesures, on choisira pour les orifices d'air sortant des sections transver-

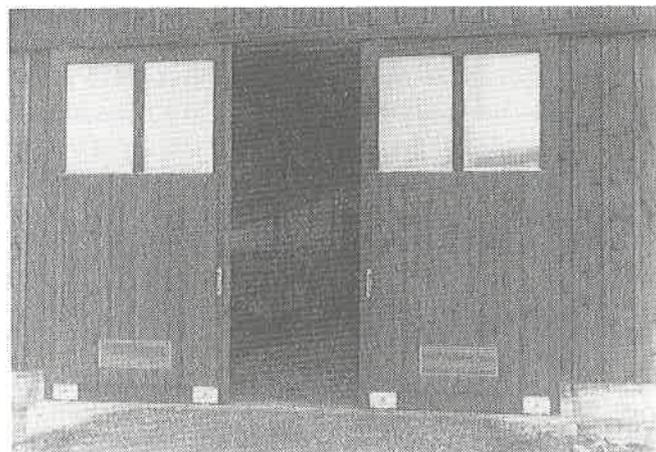


Fig. 5: Orifices d'amenée d'air insérés dans les portes de l'étable.

sales aussi bien dimensionnées que possible.

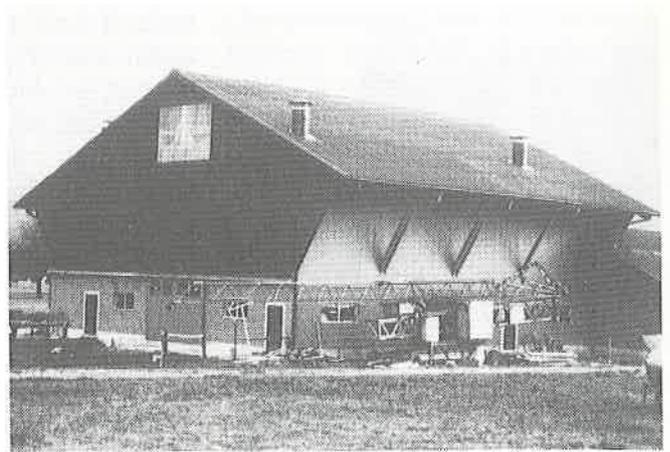
Le précepte le plus important de tout réglage est le suivant: afin de raréfier les gaz nocifs et pour diminuer l'humidité relative de l'air et le danger de condensation, on cherchera à obtenir un fort débit d'air en été tout aussi bien qu'en hiver. Le climat d'étable et l'état de santé des bêtes seront d'autant meilleurs. Les températures ambiantes relativement basses doivent être acceptées (en revanche, les bêtes produiront moins de vapeur d'eau).

4. Etables à faux-plafond

4.1 Les orifices d'amenée d'air

Les étables à faux-plafond sont presque toujours conçues en

Fig. 6: Vacherie à faux-plafond ventilée par cheminées.



tant qu'étables à stabulation entravée. En ce cas-là, **des portes à coulisse** (de préférence montées du côté est ou nord qui est souvent détourné du vent) et les **fenêtres** sont suffisantes **pour faire entrer l'air**. Toutefois il arrive en hiver que l'air entrant par les fenêtres crée l'impression de courant d'air. A la place des fenêtres nous recommandons

donc **pour l'hiver** de faire **entrer l'air** à travers des orifices genre **jalousie** (treillis contre les intempéries) qui sont insérés au bas des portes et qui ont environ 30×60 cm. De là, l'air est dirigé **vers la tête des bêtes, via l'axe de l'aire d'affouragement** (fig. 5). Les orifices de ce genre ne sont pas toujours réglables, mais on peut les rapetisser au

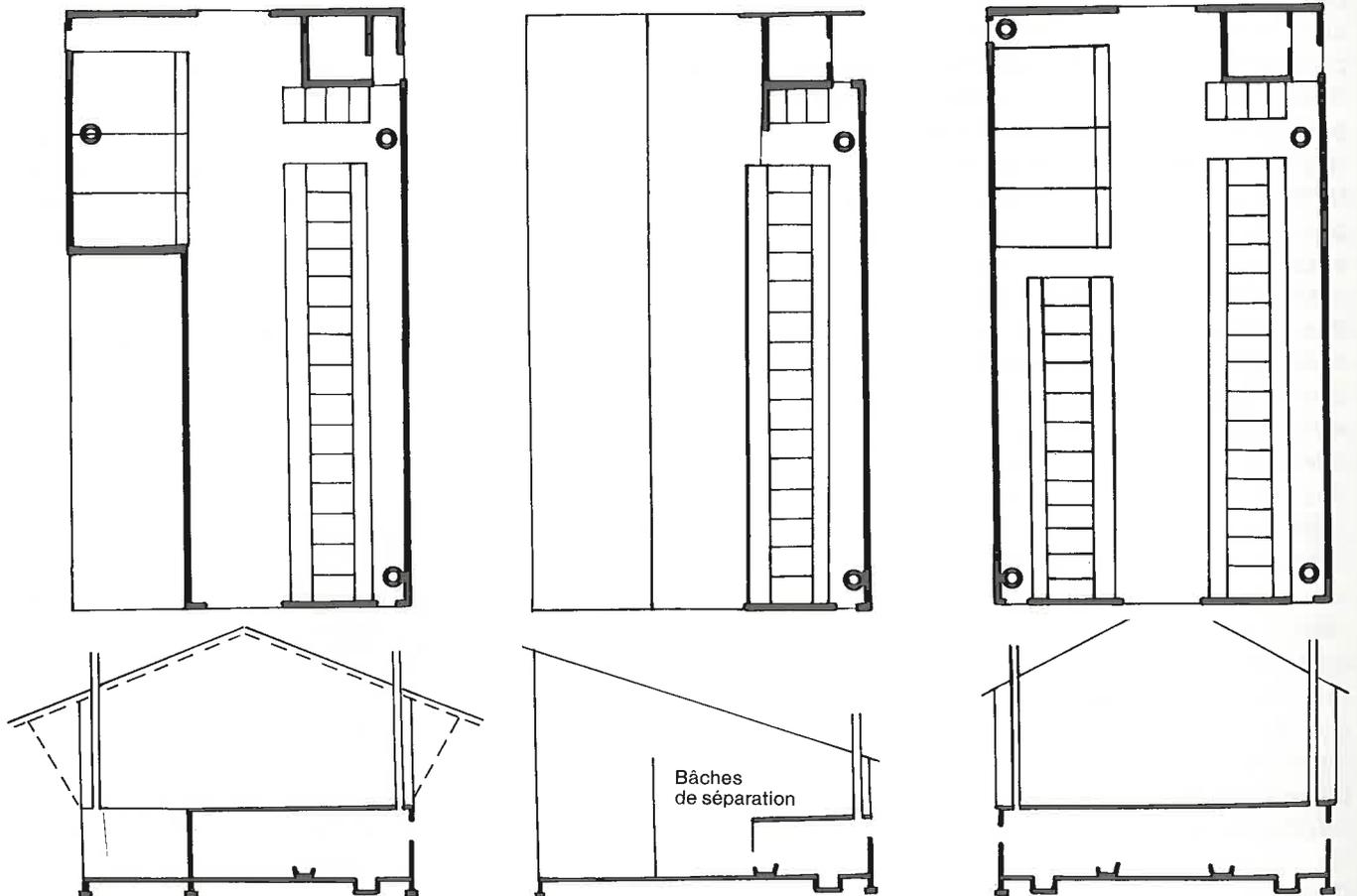


Fig. 7: Disposition des cheminées dans des étables à faux-plafond; les surfaces de plan sont divisées de façons différentes.

moyen de balles de paille ou de foin.

Les portes doivent bien fermer. Puisqu'elles ne présentent qu'une mince couche isolante (pour des raisons de construction), il est recommandé d'en recouvrir la face intérieure d'un enduit protecteur contre la condensation.

Certains agriculteurs laissent entrer l'air à travers les **gaines**. Cela fonctionne parfaitement bien à condition que le reste de l'étable soit étanche et que les cheminées soient hautes. Sinon, l'air entre à travers les orifices plus bas et sort par les gaines.

4.2 Les cheminées pour l'air sortant

Si la hauteur du plafond n'est pas partout la même, les cheminées doivent se situer aux endroits les plus hauts de l'étable (passage); sinon, l'air vicié ne sortira pas à cette hauteur. Si par contre la hauteur du plafond est partout la même, on placera les cheminées aux endroits les moins aérés du plafond (aux coins), car la circulation d'air prévient les coins morts et l'accumulation de vapeur d'eau (voir fig. 2, 6 et 7). Dans les boxes à veaux, les cheminées sont indispensables.

Les cheminées doivent être montées à fleur de plafond et elles devraient dépasser le faîte de plus de 50 cm si elles sont placées directement près de celui-ci. Une cheminée bien éloignée du faîte devrait dépasser la surface du toit de 1,5 m.

Les cheminées tirent d'autant mieux qu'elles sont plus hautes. Nous n'avons pas rencontré d'étables à faux-plafond dont la hauteur ascensionnelle était inférieure à 4 m (voir tableau 4). Si les cheminées ne sont pas assez hautes, des vents descendants risquent d'y

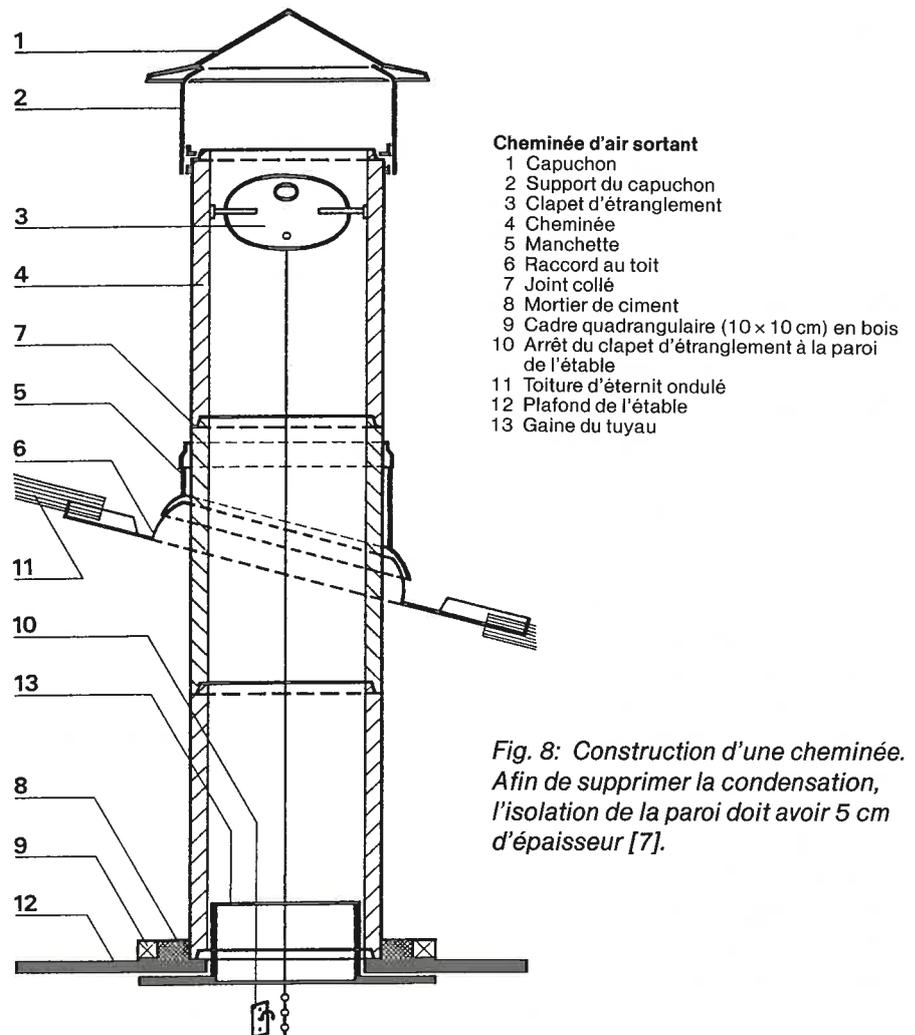


Fig. 8: Construction d'une cheminée. Afin de supprimer la condensation, l'isolation de la paroi doit avoir 5 cm d'épaisseur [7].

inverser le courant de l'air. Aussi les cheminées doivent être droites afin d'assurer la sortie de l'air et de faciliter le nettoyage. Si elles sont faites à la main, il faut utiliser un matériau résistant à l'eau. Les formes carrées de la section transversale sont préférables aux formes rectangulaires, car elles permettent mieux le montage ultérieur d'un ventilateur. Lors de la construction d'une nouvelle étable, il est recommandé de prévoir des trous de réserve dans le plafond: le montage ultérieur de cheminées sera plus facile.

Pour prévenir la condensation de l'air chaud qui sort, **la couche isolante des cheminées doit avoir une épaisseur de 5 cm**, ce qui correspond à une valeur k de $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$; la condensation qui degouline, risque d'augmenter

la résistance au courant. Le clapet d'étranglement ne devrait fermer que 80% de la section transversale de la cheminée. Nous recommandons de l'appliquer à la partie supérieure de la cheminée afin de prévenir l'entrée d'air froid (voir fig. 8).

Plus la **section transversale de la cheminée** est grande, plus petites sont la vitesse du flux d'air et, par conséquent, la résistance due au frottement (car celle-ci change au carré par rapport à la vitesse du flux d'air). Toutes sortes d'obstacles, tels que des rétrécissements de la cheminée, des coudes, couvercles et grilles protectrices, ainsi que des murs à revêtement rêche, augmentent la résistance au courant. D'autre part, il faut considérer que les cheminées à diamètre bien

dimensionné coûtent plus cher et qu'elles favorisent davantage le reflux d'air. – Quel diamètre faut-il donc choisir?

Selon notre enquête (voir tableau 4), il ne faut pas autant de surface de section transversale que l'indique la Norme suisse du climat d'étable [9]; en voici les raisons:

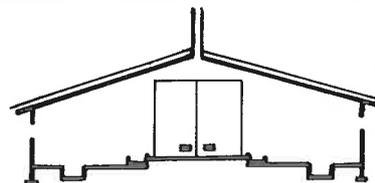
La section transversale des cheminées ne doit pas être adaptée à la quantité d'air spécifique d'été ($2-3^{\circ}\text{C}$ de différence de température), car en été l'air ne s'échappe pas entièrement à travers les cheminées (les fenêtres et les portes étant grandes ouvertes). Ce n'est qu'à partir d'une différence de 10°C entre la température ambiante et la température extérieure que les cheminées constituent la seule voie de passage pour l'air sortant. Puisque les différences de température allant en augmentant engendrent une réduction de la quantité d'air requise et qu'elles augmentent l'ascendance, il suffirait d'adapter la **dimension des cheminées à une différence de température de 10°C** . Pour calculer la section transversale des cheminées, il est donc indiqué de se baser sur les quantités d'air spécifiques données dans le tableau 2. La NSCE se base sur des différences de température de 5 et 10°C [9]. Avec une différence de 5°C , la quantité d'air requise et par conséquent la surface de section transversale pour l'air sortant sont deux fois plus grandes. Mais avec une différence de 10°C entre la température ambiante et la température extérieure, la chaleur produite par les bêtes (selon tableau 2) ne sort pas entièrement à travers les cheminées. Environ 10 à 15% en sont perdus par suite de la transmission de chaleur.

Enfin, nous avons établi dans

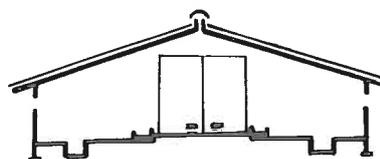
Tableau 5: Nombre d'UGB en fonction du diamètre et de la hauteur de la cheminée

Diamètre m	Surface m ²	UGB avec hauteur ascensionnelle de	
		4 m	8 m
0,43	0,15	5	7
0,53	0,22	8	11
0,64	0,32	11	16

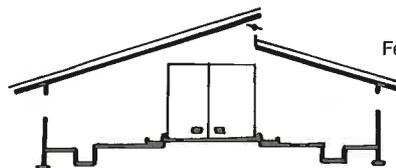
Fig. 9: Différentes possibilités de ventiler une étable isolée (sans plafond, à stabulation entravée). Construction de la fente de faite sur le toit en bâtière selon Sauter.



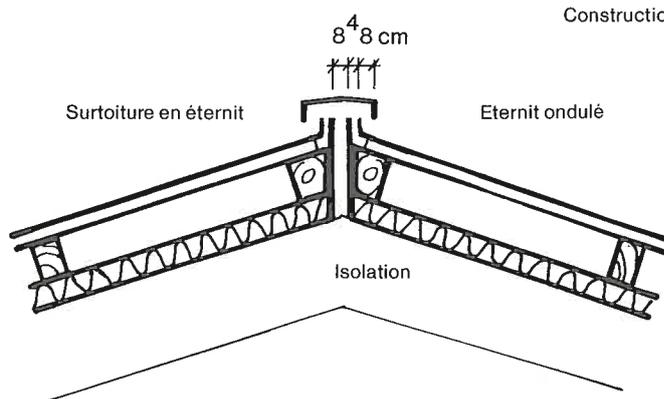
Cheminée dépassant le toit de 1,5 m



Fente de faite



Fente dans un toit en dents de scie



Construction d'une fente de faite

les **onze cheminées analysées (rondes, préfabriquées)**, avec des différences de température et des hauteurs ascensionnelles qui variaient, **une réduction moyenne de vitesse (due à des pertes de flux) à 51%**. Les calculs théoriques donnent environ 47% [2]. La réduction de vites-

se à 50% mentionnée ci-dessus (voir formule 3) est donc plus justifiée que la réduction à 32% en raison de laquelle la NSCE spécifie une surface de section transversale qui est d'environ 50% supérieure à celle que nous considérons comme étant nécessaire [9, 10].

Ainsi les trois diamètres offerts en Suisse pour les cheminées préfabriquées, sont suffisants pour les nombres d'UGB indiqués dans le tableau 5. Pour 4 m de hauteur ascensionnelle (hauteur minimale), il faut $290 \text{ cm}^2/\text{UGB}$ de surface de section transversale spécifique et pour 8 m (hauteur maximale) $200 \text{ cm}^2/\text{UGB}$. **Environ $250 \text{ cm}^2/\text{UGB}$ peuvent donc être considérés comme moyenne pour les étables à faux-plafond.** Ce chiffre correspond aux expériences faites [7]; l'utilisation pratique permet pourtant des écarts importants sans que la ventilation tombe en panne (voir tableau 4).

5. Etables sans faux-plafond

5.1 L'air entrant

Dans l'étable à stabulation entravée, l'air n'entre que par les portes et les fenêtres (fig. 9 et 10), dans l'étable à stabulation libre par contre le plus souvent à travers les orifices de la ligne de l'égout du toit (fig. 11 et 12). Les fenêtres ou les pentures de fenêtre de l'étable à stabulation libre sont pour ainsi dire toujours bien fermées. Les orifices de la ligne de l'égout avec des **plaques de guidage** (longues de plus de 1,5 m, isolées ou se constituant de plaques isolantes) **préviennent le courant d'air** (fig. 13). Des clapets appliqués devant ou derrière la plaque de guidage contrôlent la quantité d'air; dans d'autres cas, la plaque de guidage entière est réglable.

5.2 L'air sortant

L'air s'échappe par les cheminées ou la fente de faîte, qu'il s'agisse d'étables à stabulation entravée ou libre. (Les étables

Fig. 10: Etable (à stabulation entravée) avec fente de faîte. L'air entre par la porte et les fenêtres.

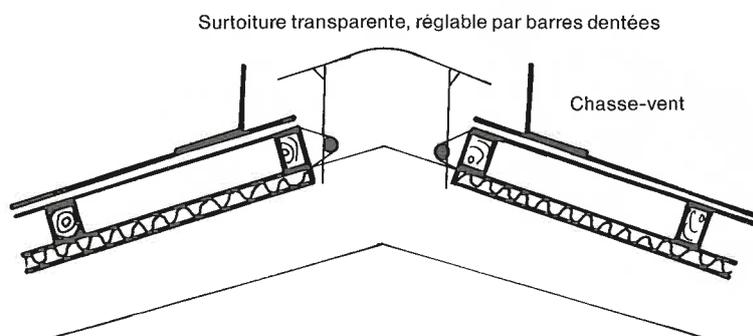
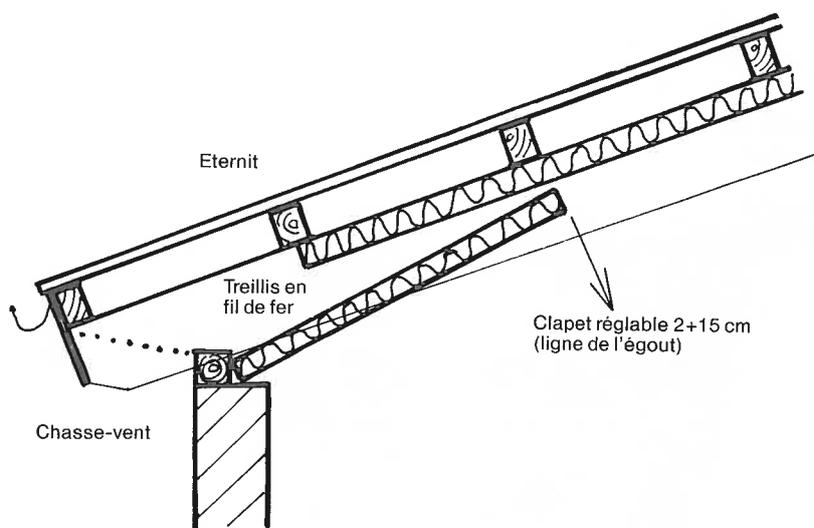
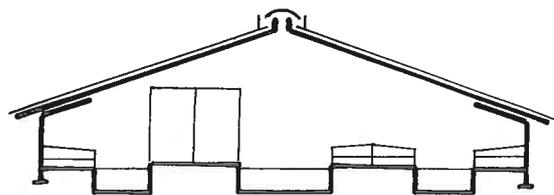
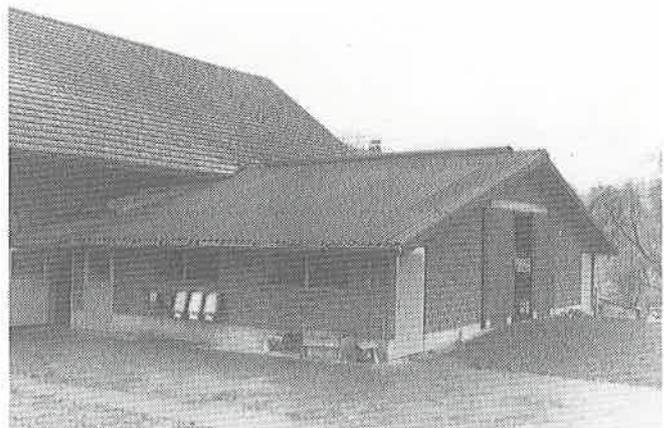


Fig. 11: Construction des fentes de faîte et des fentes dans la ligne de l'égout selon Rittel. Pour étables à stabulation libre, isolées et non-isolées.

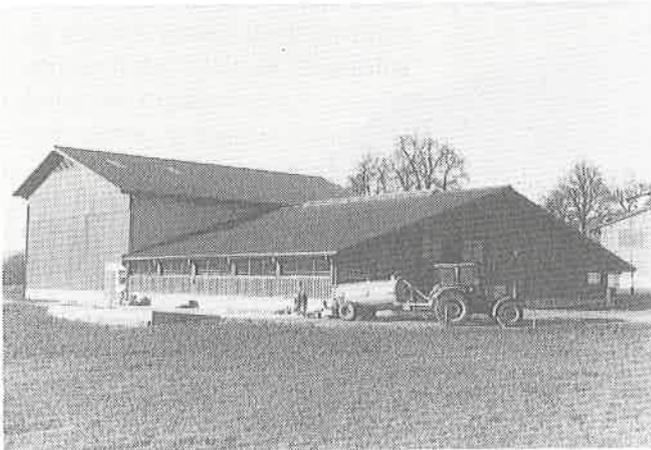


Fig. 12: Ventilation dans la ligne du faîte à l'égout. Les fenêtres de l'étable à stabulation libre sont bien fermées.

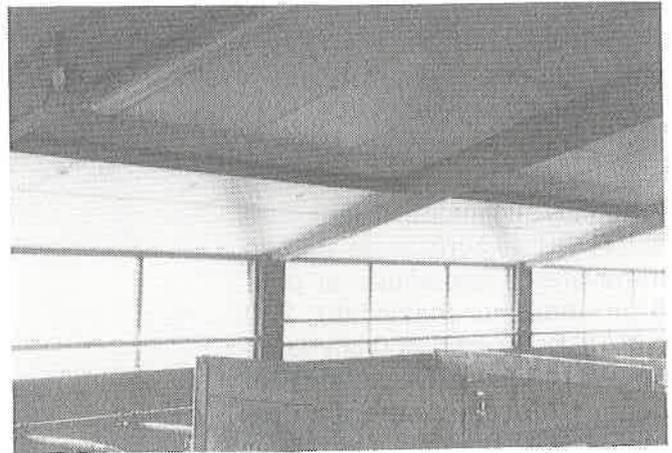


Fig. 13: Plaque de guidage (non-réglable, 1,5 m de long) en mousse plastique. L'air entrant est réglé au moyen de clapets montés sur la paroi.

pour bovins à l'engrais, les porcheries et les poulaillers [à l'exception de ceux pour dindons] sont très rarement ventilés par système de gravité; là, on préfère les ventilateurs.)

Les cheminées offrent une ventilation plus facile et moins problématique que les fentes (malheureusement les cheminées dépassant fortement le toit sont peu esthétiques). La hauteur

ascensionnelle varie entre 2,5 et 4,5 m (voir tableau 4); **3 m sont considérés comme hauteur ascensionnelle minimale.** Afin d'établir le nombre d'UGB par cheminée, nous recommandons (en raison de la faible hauteur ascensionnelle) les valeurs que le tableau 5 spécifie pour la hauteur ascensionnelle de 4 m (**300 cm²/vache**).

En ce qui concerne la fente de

faîte, il faut différencier entre stabulation entravée et stabulation libre. La fente de faîte des étables à stabulation entravée se situe à 4,5–5 m au-dessus du sol de l'étable, celle des étables à stabulation libre par contre à une hauteur de 6–7,5 m (en largeur, les fentes des deux types d'étables ne diffèrent pas forcément). **Au-dessus des étables à stabulation entravée, les toits en bâtière présentent des fentes non-réglables** (contrairement aux toits en dents de scie). La fente de faîte non-réglable est recouverte d'une surtoiture d'éternit.

L'air provenant de l'étable et celui qui vient de l'espace entre l'isolation et la plaque d'éternit ondulé recouvrant le toit, doivent sortir à la même hauteur, surtout si le matériau d'isolation est fait de laine minérale (voir fig. 10 et 11). Sinon, l'air sortant qui contient de la vapeur d'eau, risque de pénétrer dans l'espace mentionné et d'humidifier l'isolation sous l'influence de certaines conditions météorologiques.

La fente de faîte des étables à stabulation libre a jusqu'à 60 cm de large et ne sert pas seulement d'orifice pour l'air sortant. Recouverte d'une surtoitu-

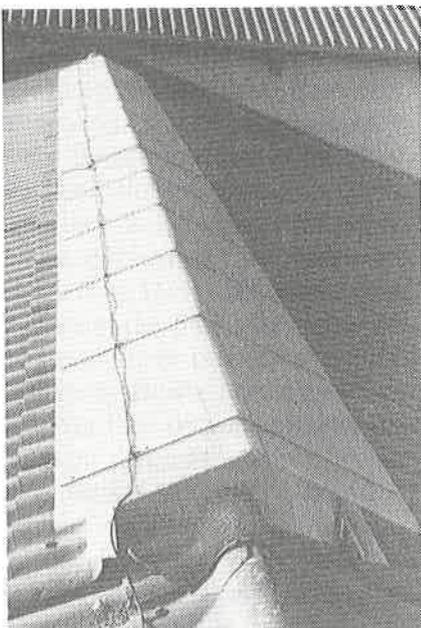


Fig. 14: Surtoiture transparente recouvrant la fente de faîte, à 15 cm au-dessus du toit, sans chasse-vent. Le clapet d'étranglement à l'intérieur de la fente de faîte est également transparent.

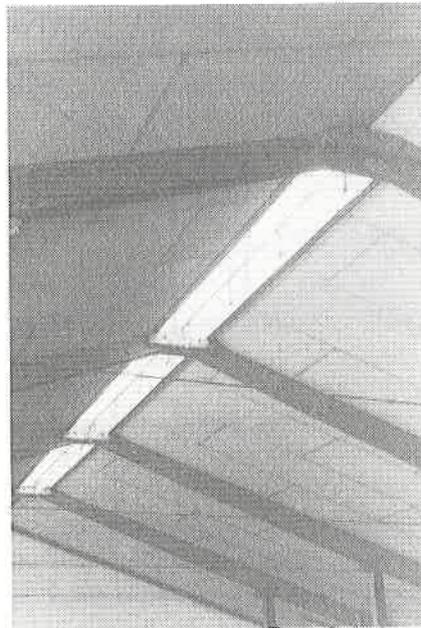


Fig. 15: Surtoiture transparente comme source de lumière.

re transparente en matière synthétique, elle sert également de source de lumière (voir fig. 14 et 15). Des **chasse-vent** dépassant le bord de la surtoiture des **deux côtés**, augmentent le tirage et empêchent l'entrée de pluie et de neige (fig. 12). L'étranglement d'air est assuré soit par un clapet monté à l'intérieur de la fente, soit par des clapets réglant les deux fentes entre le toit et la surtoiture, soit par le réglage de la surtoiture elle-même. La surface de fente proprement dite est la plus petite d'entre les deux surfaces, à savoir celle de la fente de faîte et celle des deux fentes entre le toit et la surtoiture. Le clapet à l'intérieur de la fente de faîte doit également être transparent. Puisque la surtoiture doit résister au vent et à des fluctuations de température importantes, il faut un matériau résistant aux intempéries et une fixation solide. La neige accumulée autour des fentes fond par suite de la chaleur sortante.

Les spécifications que la littérature fournit par rapport à la **largeur et à la surface des fentes**, sont contradictoires. Certains auteurs stipulent que la surface de fente dépend de la largeur de l'étable alors que d'autres considèrent le nombre de bêtes et la hauteur de l'étable comme étant les facteurs cruciaux [8]. Au cours de notre enquête, nous avons établi une surface de fente de faîte spécifique de 427–578 cm²/vache pour les étables à stabulation entravée et de 774–1286 cm² pour les étables à stabulation libre. **Ainsi les fentes présentent, pour l'air sortant, une section transversale spécifique qui est deux fois (étables à stabulation entravée) ou quatre fois (étables à stabulation libre) plus grande que celle des cheminées.** Cela est évident étant donné que les

Fig. 16:
Porcherie à
front ouvert vers
le sud.



fentes de faîte n'ont pour ainsi dire pas de hauteur ascensionnelle et que dans l'étable à stabulation libre, en été, l'air doit s'échapper entièrement à travers la fente de faîte (les fenêtres étant bien fermées). La surface totale des deux fentes dans la ligne de l'égout (orifices d'amenée d'air) doit être égale ou supérieure à la surface de la fente de faîte.

6. Etables non-isolées

La température ambiante des étables non-isolées ne dépasse la température extérieure que de quelques degrés pendant toute l'année. En hiver, la différence de température peut atteindre 3–8°C. **L'étable avec fente de faîte et fentes dans la ligne de l'égout, utilisée en tant qu'étable non-isolée, ne se distingue essentiellement de l'étable isolée, à stabulation libre, que par le manque d'isolation (le principe de ventilation étant le même).**

Dans la pratique, on a pourtant fait l'expérience que le plafond dégouline et les parois s'humidifient dans ce type d'étable. C'est pourquoi on y rencontre souvent non seulement des plafonds (6 cm et davantage), mais même des parois isolés. Ainsi

l'agriculteur atteint des températures plus élevées en hiver tout en évitant les inconvénients mentionnés.

Comme la température ambiante peut descendre en dessous de zéro, les conduites d'eau doivent être posées en sous-sol et elles doivent être isolées ou dégivrantes.

Une autre différence par rapport aux étables isolées, à stabulation libre, sans faux-plafond (tableaux 3 et 4): en moyenne, les étables non-isolées sont plus hautes (jusqu'à 6 m), et leur volume spécifique est plus grand (jusqu'à 85 m³/UGB); une étable non-isolée présentait une fente extrêmement haute (10 m). Les fentes de la ligne de l'égout ont jusqu'à 40 cm de largeur, et la surface de fente de faîte spécifique varie entre 1430 et 3540 cm²/UGB. Etant donné qu'un flux d'air cinq fois plus grand par rapport aux cheminées (ce qui correspond à une différence de température de 2°C au lieu de 10°C) exigerait déjà 1250 cm²/UGB, **nous recommandons une surface de fente de faîte supérieure à 1500 cm²/UGB.**

7. Etables à front ouvert

Les étables à front ouvert sont des étables non-isolées dont

une paroi ne ferme pas jusqu'en haut. Tout comme dans l'étable non-isolée, les bêtes n'y sont pas attachées aussi elles y sont gardées sur litière profonde. Là, où les bêtes sont installées, les parois ferment jusqu'en haut. Si en été le flux d'air est insuffisant, le bétail risque d'être harcelé par les mouches. Afin d'y remédier, on peut ouvrir les portes pour créer un léger courant d'air (voir fig. 16).

8. Exemple de planification

Admettons qu'une étable de 30 UGB converties selon tableau 2 soit équipée de cheminées. L'étable est munie d'un faux-plafond, elle a 2,7 m de haut, et sa surface de plan mesure environ 24 x 13 m. Quatre cheminées de 6 m de hauteur sont prévues. Selon le tableau 5, un diamètre de 53 cm par cheminée serait suffisant même pour 36 UGB, un diamètre de 43 cm par contre seulement pour 24 UGB. Mais puisque les spécifications du tableau 5 permettent de grands écarts, les deux diamètres sont possibles. Pour une étable non-isolée de la même grandeur, la fente de faîte, longue de 20 m, devrait présenter une largeur de plus de $30 \times 1500/2000 = 23$ cm.

8.1 Frais annuels

Quatre cheminées (hauteur: 6 m, diamètre: 43 cm) coûtent environ Frs. 8000.-, montage compris (selon offre). Pour l'amortissement (25 ans) et les intérêts (5% de 60% du capital investi), il faut compter des **frais annuels** de 7% du capital investi, soit Frs. 560.-.

L'installation de quatre ventilateurs dans les parois latérales

ne coûte qu'environ Frs. 4000.-, montage compris. Mais là, il faut calculer un amortissement de 8 ans et outre les intérêts (5% de 60% du capital investi), 1,5% du capital investi pour des réparations, ce qui donne des frais annuels de 17% du capital investi, soit Frs. 680.-. S'y ajoutent les frais d'électricité.

En été, 30 UGB exigent environ 10'000 m³ d'air par heure. Pour y arriver, il faut compter 0,6 kW. En supposant que les ventilateurs marchent à une moyenne d'environ 50% de leur capacité maximale au cours de l'année, on peut s'attendre à une consommation d'électricité totale de 2638 kWh. Si on compte un prix de Frs. -.15 (moyenne du tarif de jour et du tarif de nuit), on arrive à des frais d'électricité de Frs. 394.- par an. Avec Frs. 1074.- au total, les **frais annuels** des ventilateurs sont donc **deux fois plus importants que les frais annuels des cheminées**.

Le prix d'un **dispositif de ventilation dans la ligne du faîte à l'égout** varie selon la construction; mais une installation de ce genre, longue de 20 m, **coûte deux à trois fois plus cher par an que les cheminées** (calcul fait sur la base des mêmes taux d'intérêt, mais d'une durée d'amortissement de seulement 15 ans et de 3% du capital investi pour les réparations). D'autre part, il faut considérer qu'en choisissant cette solution, on dispose en même temps d'une source de lumière.

9. Conclusions

Nous avons analysé une cinquantaine d'étables ventilées par système de gravité. Voici les résultats de notre enquête:

- dans les étables équipées d'une fente de faîte ou de cheminées, l'échange d'air est essentiellement provoqué par le vent si la différence entre la température ambiante et la température extérieure est inférieure à 10° C;
- si la différence de température dépasse 10° C et si la hauteur ascensionnelle est grande, un vent de plus de 1,5 m/s de vitesse renforce l'effet thermodynamique;
- la ventilation par cheminées ne dépend ni de la surface de plan ni de la hauteur de l'étable;
- dans les étables isolées, ventilées par système de gravité, le bilan thermique doit être équilibré (tout comme dans les étables à ventilateurs);
- une isolation trop faible et des défauts d'isolation provoquent souvent des retombées de condensation qui détériorent le matériau de construction; l'étranglement de la ventilation favorise la condensation;
- un fort échange d'air baisse la température ambiante et réduit le processus de condensation dans les étables sous-occupées ou mal isolées;
- pour l'air entrant, il faut avant tout prévoir des orifices bas, car ceux-ci tirent le mieux;
- dans les étables à stabulation entravée, les orifices insérés au bas des portes représentent en hiver la meilleure voie de passage pour l'air entrant; celui-ci atteint les bêtes via l'axe de l'aire d'affouragement;
- dans les étables à stabulation libre, les orifices d'amenée d'air se présentaient le plus souvent sous forme de plaques de guidage montées en dessous du plafond;

- la sortie de l'air vicié à travers les cheminées et les fentes de faite fonctionne bien;
- les cheminées doivent être montées sur la partie la plus élevée du plafond et à l'endroit le moins aéré;
- les cheminées revêtues d'un enduit synthétique à la face intérieure causent moins de perte de flux que l'indique la Norme suisse du climat d'étable;
- afin de déterminer la section transversale des cheminées, on peut bien se baser sur une différence de 10° C entre la température ambiante et la température extérieure; car si la différence de température n'atteint pas 10° C, l'air sort très souvent également par les portes et les fenêtres.
- bien que la surface de section transversale spécifique qui est nécessaire pour faire sortir l'air, varie largement, les moyennes suivantes peuvent servir de base pour la planification:
 - 250 cm²/UGB pour cheminées d'étables à faux-plafond,

- 300 cm²/UGB pour cheminées d'étables sans plafond,
- 500 cm²/UGB pour fentes non-réglables d'étables sans plafond, à stabulation entravée,
- 1000 cm²/UGB pour fentes réglables d'étables sans plafond, à stabulation libre, et
- plus de 1500 cm²/UGB pour les étables non-isolées;

- l'agriculteur peut lui-même monter les cheminées; elles ne consomment pas d'électricité et n'exigent pour ainsi dire pas d'entretien. Elles représentent le système de ventilation le meilleur marché.

10. Bibliographie

- [1] Bartussek, H., Stallklima und Lüftung, wichtige Umweltfaktoren in der Rinder- und Schweineproduktion, Beratungsservice Heft 11, Landtechnik und Bauwesen Folge 10, Gumpenstein, 1985
- [2] Ende, G., Lufttechnik, A. W. Gentner Verlag, Stuttgart 2/1960
- [3] Göbel, W., Stallgase und nicht funktionierende und funktionierende Stalllüftungen, FAT-intern, Tänikon, 1972
- [4] Göbel, W., Schwerkraftlüftung - ist sie sinnvoll?, FAT-intern, Tänikon, 1981
- [5] Klöppel, R., Stallklima I und II, Eigenverlag, Bredeneek, 1969
- [6] Mothes, E., Stallklima, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1973
- [7] Polyair, prospectus. (Cheminées: 200 cm² de section transversale par 500 kg de vache pour H > 6 m)
- [8] Rittel, L., Trauf-First-Lüftung, etwas für selbstbauwillige Landwirte?, dlz, pages 61 et 1652, München, 1981
- [9] Norme suisse du climat d'étable, ETH Zurich, 1983.
- [10] Zeisig, H. D., Kreitmeyer, J., Stallklima und Fragen der Wärmerückgewinnung bei Ställen mit Traufen-First-Lüftung, Tätigkeitsbericht 1981 der Landtechnik Weihenstephan, Hf. 1/1982, Freising.

Des demandes éventuelles concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique agricole doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications et les rapports de tests peuvent être obtenus directement à la FAT (8356 Tänikon).

BE	Furer Willy, 2732 Loveresse	Tél. 032 - 91 42 71
FR	Lippuner André, 1725 Grangeneuve	Tél. 037 - 82 11 61
TI	Müller A., 6501 Bellinzona	Tél. 092 - 24 35 53
VD	Gobalet René, 1110 Marcelin-sur-Morges	Tél. 021 - 801 14 51
VS	Pitteloud Camille, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 - 36 20 02
GE	A.G.C.E.T.A., 15, rue des Sablières, 1214 Vernier	Tél. 022 - 41 35 40
NE	Fahrni Jean, Le Château, 2001 Neuchâtel	Tél. 038 - 22 36 37
JU	Donis Pol, 2852 Courtemelon/Courtételle	Tél. 066 - 22 15 92

Les numéros des «Rapports FAT» peuvent être également obtenus par abonnement en langue allemande. Ils sont publiés sous le titre général de «FAT-Berichte». Prix de l'abonnement: Fr. 35.- par an. Les versements doivent être effectués au compte de chèques postaux 30 - 520 de la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural, 8356 Tänikon. Un nombre limité de numéros photocopiés en langue italienne sont également disponibles.