Rapports ART
Anciennement: Rapports FAT
No 672 | 2006

Air d'amenée provenant d'une cavité sous la porcherie

Un système de ventilation pour les porcheries de mise bas permettant d'économiser de l'énergie

Ludo Van Caenegem, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen.
E-mail: ludo.vancaenegem@art.admin.ch

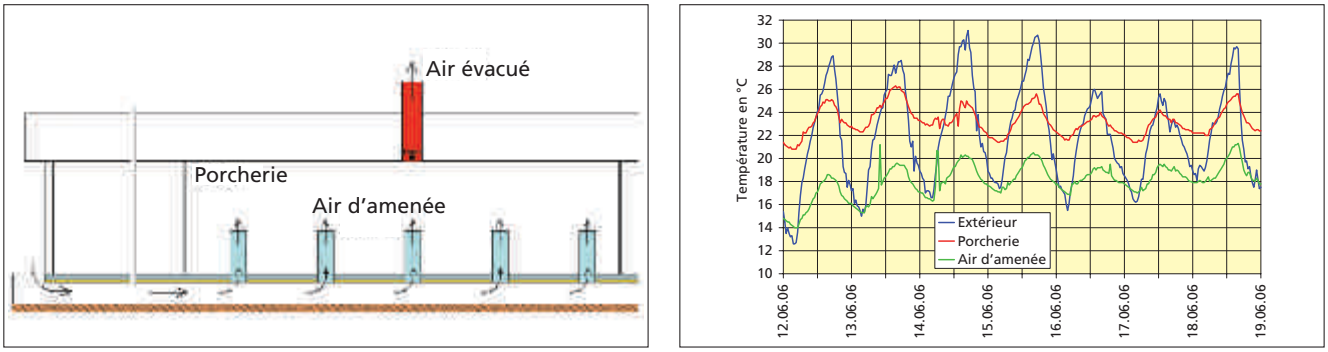

Fig. 1: Système d'aération avec acheminement de l'air sous la porcherie (a). Grâce à l'échange de chaleur avec la terre, la température de l'air d'amenée est nettement plus basse que la température extérieure (b).

Un climat d'étable sain est la condition sine qua non pour des conditions de production optimales dans les porcheries de mise bas. La température ambiante doit être adaptée aux besoins thermiques des truies, mais aussi à ceux des porcelets. Il faut éviter les températures élevées et les basses températures, de même que les fluctuations trop importantes. Lorsque l'air d'amenée entre directement dans la porcherie depuis l'extérieur sans passer par un dispositif de chauffage ou de refroidissement, la seule façon de réduire les fluctuations de température dans la porcherie consiste à réguler le taux d'aération en continu. Cette régulation est cependant limitée. D'une part, il n'est pas possible de réduire à volonté la quantité d'air frais en hiver à cause des germes et des substances nocives qui polluent l'atmosphère de la porcherie. D'autre part, en été, l'augmentation du taux d'aération permet de rafraîchir la porcherie uniquement tant que la température extérieure est inférieure à la température intérieure du bâtiment. Pour des questions de coûts, la plupart des porcheries de mise bas sont équipées d'une installation de chauffage, mais pas d'un groupe de réfrigération. En conséquence, les pertes de production sont lourdes lorsque les températures extérieures sont élevées.

Des études réalisées antérieurement à la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART ont montré que les échangeurs de chaleur souterrains équipés de tuyaux ondulés diminuent considérablement les fluctuations de températures quotidiennes de l'air d'amenée et permettent d'avoir un climat équilibré dans la porcherie toute l'année durant. L'installation de ce type d'échangeur de chaleur souterrain entraîne toutefois des investissements considérables.

C'est la raison pour laquelle on a étudié une alternative plus économique. Au lieu de faire passer l'air par des tuyaux ondulés, on le fait passer par une cavité située sous porcherie. Cet espace vide permet d'avoir un échange de chaleur continu entre l'air et la terre, les fondations, les canaux à lisier latéraux et la partie inférieure de la dalle en béton. Des mesures ont été effectuées dans deux porcheries équipées d'un tel système d'amenée d'air. Elles montrent que le fait de passer par l'espace vide sous la porcherie permet à l'air de gagner jusqu'à 12 °C en hiver et de perdre jusqu'à 10 °C en été.

Sommaire	Page
Problématique	2
Porcherie conçue selon le «système Krieger»	2
Mesures du climat	2
Porcherie 1	2
Porcherie 2	5
Comparaison avec l'aération conventionnelle	9
Comparaison de l'aération avec échangeur de chaleur	11
Conclusion	11
Bibliographie	11

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie DFE
Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problématique

Le climat dans les porcheries de mise bas doit répondre aux exigences des truies ainsi qu'à celles des porcelets. Sachant que dans les porcheries de mise bas bien isolées, l'aération peut entraîner jusqu'à 80 % des pertes de chaleur totales en hiver, on essaie de réduire le besoin de chauffage en régulant le taux d'aération et de limiter les fluctuations de températures au minimum à l'intérieur. Par conséquent, l'air est périodiquement de mauvaise qualité en hiver. Lorsque l'air extérieur pénètre directement dans la porcherie, il peut y avoir de grosses différences entre la température de l'air d'amenée et la température de l'air ambiant, d'où des courants d'air et des flux d'air froid à l'intérieur de la porcherie. C'est pourquoi les systèmes d'aération conventionnels sont généralement pourvus d'un dispositif de chauffage dans les porcheries de mise bas. Pour des questions de coûts, on renonce toutefois à l'installation d'un groupe de réfrigération et accepte d'avoir des truies stressées par la chaleur en été. Les échangeurs de chaleur souterrains avec tuyaux ondulés peuvent aussi bien remplacer un groupe de réfrigération qu'une installation de chauffage, mais entraînent des investissements élevés. Le système devient meilleur marché lorsque l'air frais passe par une cavité située sous la dalle au lieu de passer par des tuyaux ondulés. L'efficacité de cette technique a été testée dans deux porcheries de mise bas.

Porcherie conçue selon le «système Krieger»

Les porcheries de mise bas étudiées avec amenée d'air depuis un espace vide situé sous le bâtiment sont des porcheries conçues selon le «système Krieger» (ci-après porcherie Krieger). Ces porcheries sont des constructions essentiellement préfabriquées avec une très bonne isolation thermique. Les éléments du sol en béton préfabriqués prennent appui sur les canaux latéraux et sur une semelle filante avec socle préfabriqué au centre. De cette façon, on obtient une cavité sous la porcherie, qui peut être utilisée pour la prise d'air (fig. 2). Les éléments du sol sont revêtus d'un revêtement isolant Steinit de 4 cm d'épaisseur et sont pourvus d'une couche isolante de 5 cm en styrofoam (U = 0,58 W/m²K) sur la partie inférieure. Les parois et la toiture sont constituées de panneaux sandwich avec un noyau isolant en PUR de 80 mm (coefficient de transmission thermique U = 0,3 W/m² K.). La charpente est en acier galvanisé, les pannes en bois.
L'air frais, aspiré par l'espace vide entre le terrain et la dalle, arrive à hauteur d'appui dans la porcherie en passant par des cheminées (fig. 3). Les cheminées en acier inoxydable servent également de paroi de séparation entre l'aire de repos et l'aire de déjection. L'air s'échappe ensuite de la porcherie par une cheminée équipée d'un ventilateur. Une vanne est prévue sous la cheminée et permet de réguler le taux d'aération en plus du réglage du régime du ventilateur. Ce système permet d'augmenter le rapport des taux d'aération de 1:4 à environ 1:10.
Un échange de chaleur continu se produit sous la porcherie, entre l'air d'amenée d'une part et la surface du terrain d'autre part, les parois latérales des canaux à lisier, la semelle filante au centre et la partie inférieure du sol isolée de la porcherie. L'échange thermique avec le sol de la porcherie consiste en partie à récupérer la chaleur qui s'échappe par la dalle.

Mesures du climat

Pour appréhender l'échange de chaleur dans la cavité située sous la dalle, la température et l'humidité relative de l'air d'amenée (dans les cheminées), de l'air extérieur et de l'air intérieur ont été mesurées en continu. Dans la première porcherie, la période de mesure s'est étendue du 05.03.05 au 24.10.05, dans la deuxième porcherie du 22.06.05 au 28.06.06. Les données ont été enregistrées toutes les demi-heures à l'aide d'un Testo 177-H1. Aucune des deux porcheries n'était chauffée. Seul le chauffage du nid à porcelets a été mis en service en cas de besoin.

Porcherie 1

La porcherie comprend deux unités avec chacune huit box de mise bas (fig. 4). Le local de préparation des aliments se situe devant l'unité Sud. La température et l'humidité relative ont été mesurées dans

Fig. 2: Sous les dalles en béton préfabriqué se situe un espace libre qui peut être utilisé pour le conditionnement de l'air d'amenée (photo entreprise Krieger).

Fig. 3: Vue intérieure de la porcherie Krieger. L'air frais pénètre à l'intérieur de la porcherie par une cheminée située entre l'aire de repos et l'aire de déjection (photo entreprise Krieger).

le couloir central de la porcherie près de la caisse de sortie d'air, dans trois cheminées d'air frais différentes (B1, B4 et B15) et sous un avant-toit du côté Nord.

Température moyenne en °C

La température mensuelle moyenne dans la porcherie a varié de 5,6 °C durant la période de mars-octobre 2005, tandis que la différence de température était de 13,4 °C à l'extérieur pendant la même période (tab. 1). En juillet, la température moyenne de la porcherie était supérieure de 3,1 °C à la température extérieure moyenne. La température moyenne de l'air d'amenée dans les trois cheminées oscillait entre 8,5 et 18,3 °C. En juin, elle était inférieure de 1,2 °C du côté Nord (B15) par rapport au côté Sud (B1).

Température maximale en °C

La température maximale s'élevait à 34,1 °C à l'extérieur (juin) et à 29,3 °C à l'intérieur (juillet). La température maximale de l'air d'amenée était nettement plus basse dans le box 15 (côté Nord) par rapport aux box B1, B4 (plus au Sud). La température la plus élevée a été mesurée dans la cheminée d'amenée B4, ce qui est étonnant. Dans cette cheminée, la température maximale de l'air frais était parfois inférieure de 11 °C par rapport à la température extérieure maximale (fig. 5). La température maximale à l'intérieur de la porcherie n'était que légèrement supérieure à celle de l'air d'amenée. Ce phénomène est dû d'une part, aux taux d'aération élevés et d'autre part, à l'inertie thermique du sol en béton. Dans la période d'avril à octobre 2005, la température extérieure a dépassé les 26 °C pendant 256 heures. La température dans la porcherie n'a dépassé ce seuil que pendant 90 heures.

Température minimale en °C

La température extérieure minimale était de –9,0 °C, la température intérieure minimale de 11,2 °C. La température la plus basse de l'air d'amenée s'élevait à 0,1 °C (B1). Elle est nettement plus élevée du côté Nord, ce qui s'explique par l'acheminement plus long (air aspiré côté Sud). La température de l'air d'amenée est supérieure à la température de l'air extérieur. Cette différence peut aller jusqu'à 12,3 °C (fig. 6). Les basses températures à l'intérieur, en mars (11,3 °C) s'expliquent par la sortie des animaux et par le nettoyage de la porcherie. Les 11,2 °C relevés en mai sont dus à un taux d'aération trop élevé. A cette époque, la température extérieure était de 6 °C. La différence

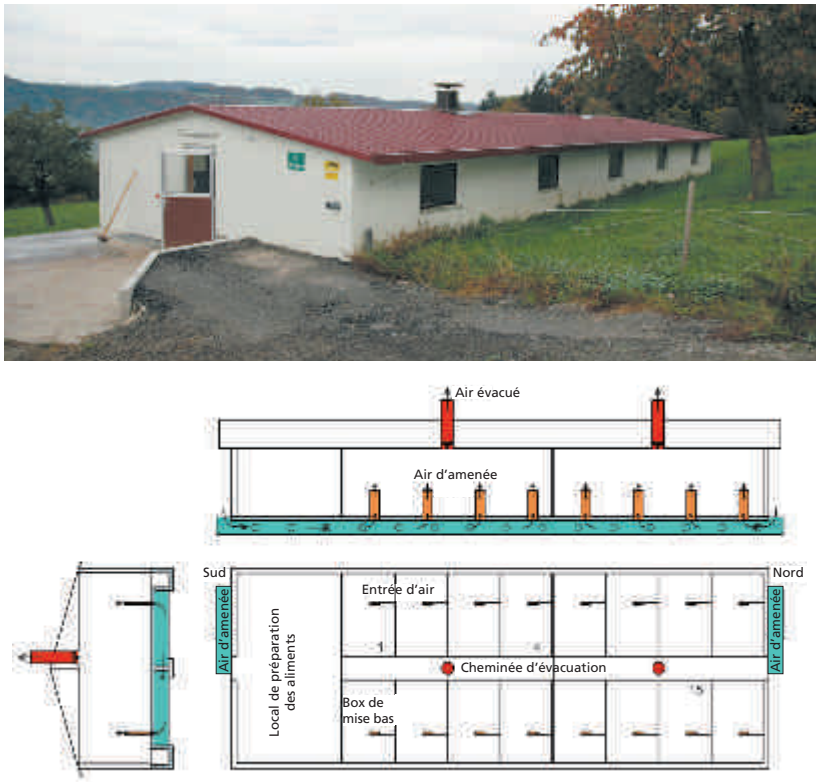

Fig. 4: Porcherie 1: porcherie conçue selon le système Krieger pour 2x8 box de mise bas. L'air peut être aspiré du côté Nord et du côté Sud sous la porcherie.

Tab. 1: Températures mensuelles moyennes de l'air extérieur, de l'air intérieur et de l'air d'amenée pour la porcherie 1.

	Air extérieur	Air intérieur	Air d'amenée B1	Air d'amenée B4	Air d'amenée B15
Mars	**6.6**	19.1	9.2	**8.5**	8.8
Avril	9.6	18.8	10.8	10.1	10.4
Mai	14.8	**17.2**	14.0	13.4	13.9
Juin	**20.0**	21.2	18.2	17.7	17.0
Juillet	19.7	**22.8**	**18.3**	18.2	18.0
Août	17.2	21.9	17.1	16.4	16.7
Septembre	16.1	22.2	17.0	15.9	16.2
Octobre	10.8	20.1	12.2	11.9	12.4

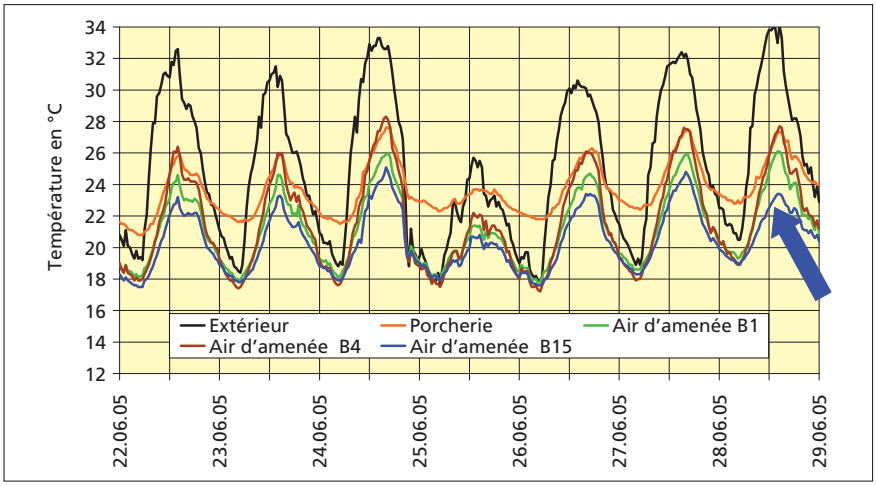

Fig. 5: Evolution de la température extérieure, intérieure et de celle de l'air d'amenée pour la porcherie 1 en juin 2005. La température maximale de l'air d'amenée est inférieure à la température maximale de l'air extérieur. La différence peut aller jusqu'à 11 °C.

maximale de température entre l'intérieur et l'extérieur a été relevée le 07.03.2005 et était de 27 °C (température extérieure –9,0 °C, température intérieure 18,0 °C).

Fluctuation moyenne de températures entre le jour et la nuit en °C

L'échange de chaleur sous la porcherie ne réduit pas seulement l'impact des températures extérieures extrêmes sur la température de la porcherie en hiver et en été. Il atténue également toute l'année durant, les fluctuations de températures de l'air d'amenée entre le jour et la nuit (tab. 2). C'est dans le box 15 que les fluctuations de températures de l'air d'amenée sont les plus atténuées. Pendant la période de mesure (mars-octobre 2005), cet effet représente en moyenne 60 % des fluctuations de la température extérieure.

Fluctuation maximale de températures entre le jour et la nuit en °C

C'est dans le box 15 que les fluctuations maximales entre les températures diurnes et nocturnes de l'air d'amenée sont les plus réduites (tab. 3). La fluctuation maximale entre le jour et la nuit était de 9 °C à l'intérieur de la porcherie en mai et de 8,3 °C en octobre. Malgré la très bonne isolation thermique, les valeurs élevées doivent être relativisées. Elles sont dues au nettoyage des box et à la sortie des animaux de la porcherie. Un bon réglage du régime de l'aérateur permet de limiter considérablement les fluctuations de températures à l'intérieur de la porcherie. C'est ce que montre l'évolution de la température le 4/5 juillet 2005. Ce jour-là, la température extérieure est passée de 29,8 °C à 12,2 °C en l'espace de 24 heures (différence entre le jour et la nuit: 17,6 °C). La température intérieure n'a varié que de 3,2 °C (de 24,7 à 21,5°C, fig. 7).

Humidité relative

Associée à la température, l'humidité relative influence le bien-être des animaux. Plus la température de la porcherie est élevée, plus l'humidité relative devrait être basse (fig. 8).

En cas de températures élevées, des taux élevés d'humidité relative rendent difficile l'évacuation latente de la chaleur par les animaux (dégagement de chaleur par évaporation). Au mois de juillet 2005, l'humidité relative se situait principalement au-dessus du seuil-limite calculé selon la figure 8. L'humidité relative moyenne s'élevait à 75 % dans la porcherie, le seuil-limite moyen calculé sur la base de la figure 8

Tab. 2: Fluctuations moyennes de la température diurne et nocturne de l'air extérieur, de l'air intérieur et de l'air d'amenée pour la porcherie 1.

	Air extérieur	Air intérieur	Air d'amenée B1	Air d'amenée B4	Air d'amenée B15
Mars	7.5	2.7	4.8	4.3	2.5
Avril	7.7	2.9	5.2	4.5	3.0
Mai	9.6	4.6	6.3	5.5	3.4
Juin	11.0	3.8	5.8	6.0	4.0
Juillet	9.4	2.8	4.9	6.4	3.6
Août	7.9	2.5	5.1	5.4	3.2
Septembre	7.4	2.9	6.3	5.3	3.6
Octobre	5.7	2.6	4.4	3.8	2.5

Tab. 3: Fluctuations maximales de la température diurne et nocturne de l'air extérieur, de l'air intérieur et de l'air d'amenée pour la porcherie 1.

	Air extérieur	Air intérieur	Air d'amenée B1	Air d'amenée B4	Air d'amenée B15
Mars	11.3	7.5	9.6	8.5	4.5
Avril	13.6	6.2	12.3	9.7	7.1
Mai	15.6	**9.0**	11.5	9.7	7.6
Juin	15.6	6.6	11.0	10.8	7.6
Juillet	17.6	6.1	8.3	11.5	7.0
Août	13.0	4.8	10.3	10.2	6.7
Septembre	13.2	4.7	10.4	9.9	6.4
Octobre	15.7	**8.3**	14.4	10.6	10.6

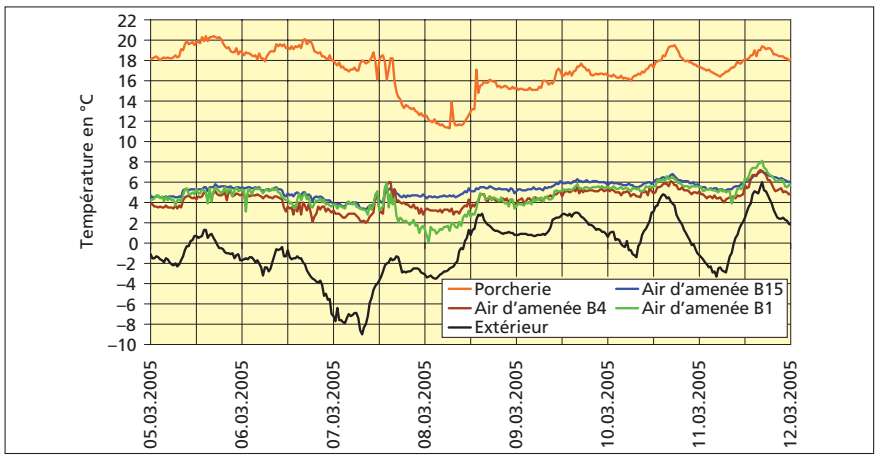

Fig. 6: Evolution de la température extérieure, intérieure et de celle de l'air d'amenée pour la porcherie 1. La température de l'air d'amenée est supérieure à la température de l'air extérieur. La différence peut aller jusqu'à 12,3 °C.

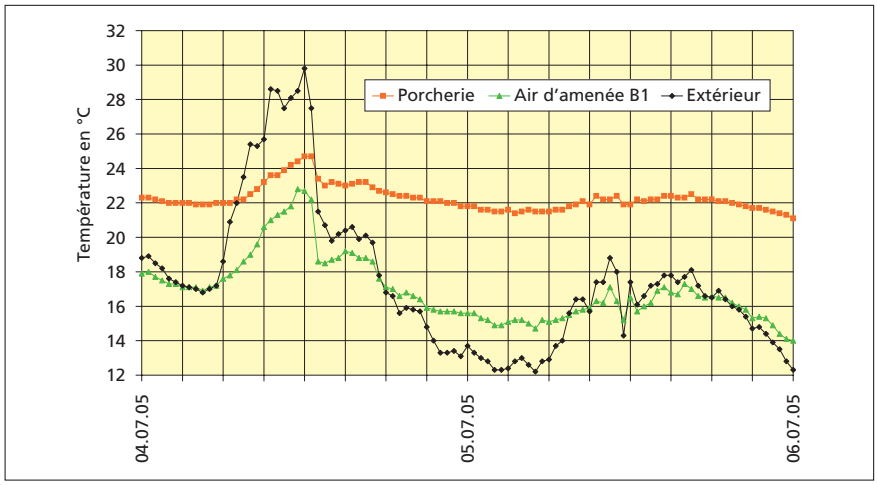

Fig. 7: Evolution sur deux jours: grâce à l'air d'amenée provenant de l'espace libre sous la porcherie et au réglage de l'aérateur, les fluctuations de températures à l'intérieur de la porcherie ne représentent que 20 % des fluctuations de la température extérieure.

était de 67,2 % (fig. 9). L'importante humidité relative à l'intérieur de la porcherie est due essentiellement à l'humidité relative extrêmement élevée de l'air extérieur suite aux conditions météorologiques.

Porcherie 2

La porcherie comprend deux unités avec chacune dix box de mise bas (fig. 10). Le local de préparation des aliments se situe devant l'unité Nord, de même qu'un atelier pour les truies taries, les verrats et un local de saillie. L'air extérieur peut être aspiré aux deux extrémités de la porcherie. Un enregistreur de données était suspendu dans la première unité (couloir central), un autre dans chaque cheminée d'air frais B4 et B17 et un dernier à l'extérieur sous un avant-toit.

Température moyenne en °C

La température mensuelle moyenne dans la porcherie a varié entre 16,5 et 23,1 °C pendant la période de juillet 2005 à juin 2006 (tab. 4). En juillet 2005, elle dépassait la température extérieure moyenne de 3,8 °C et en juillet 2006, de 5,0 °C. Pendant la période la plus froide (janvier 2006), elle était supérieure de 21,4 °C à la température extérieure moyenne. En hiver, la température moyenne de l'air d'amenée dans la cheminée B17 était nettement plus élevée que dans la cheminée B4. En décembre, la différence représentait en moyenne 2,4 °C. La température plus élevée dans la cheminée B17 s'explique par le trajet plus long parcouru par l'air frais jusqu'au box 17. La distance entre le box 4 et le box 17 représente environ 15 mètres.

Température maximale en °C

La température maximale s'élevait à 33,7 °C à l'extérieur et à 28,3 °C à l'intérieur. La température maximale de l'air d'amenée dans la cheminée B4 est nettement plus élevée que dans la cheminée B17 en été et plutôt plus basse en hiver. Le 28.07.05, la température maximale à l'intérieur de la porcherie (28,2 °C) était inférieure de 5,5 °C par rapport à la température extérieure (33,7 °C) et supérieure de 2,2 °C par rapport à la température maximale de l'air d'amenée dans la cheminée B4 (26,0 °C) (fig. 11). Entre le box 4 et le box 17, la température de l'air d'amenée a baissé de 2,8 °C supplémentaires ce jour-là, pour atteindre 23,2 °C. Dans la période de juillet 2005 à juin 2006, la température extérieure a dépassé les 26 °C pendant 130 heures. La température dans la porcherie n'a dépassé ce seuil que pendant 39 heures.

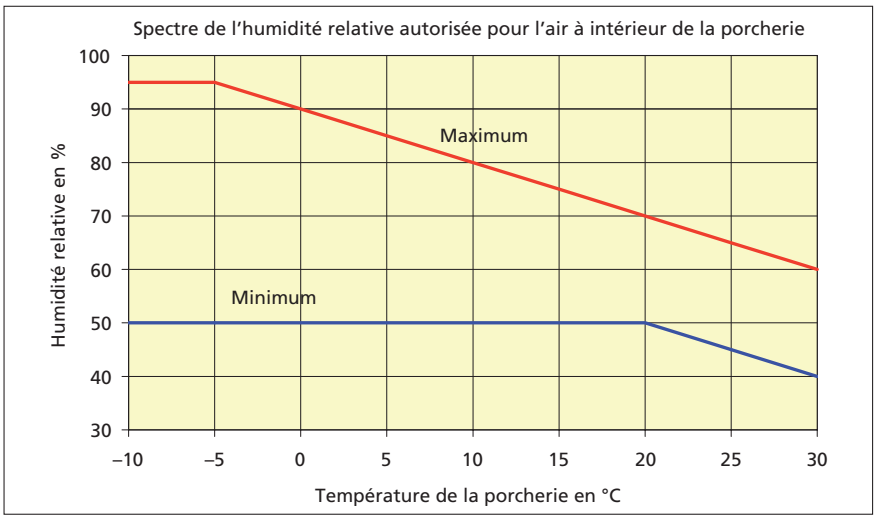

Fig. 8: Spectre d'humidité relative recommandé (C.I.G.R., 1992)

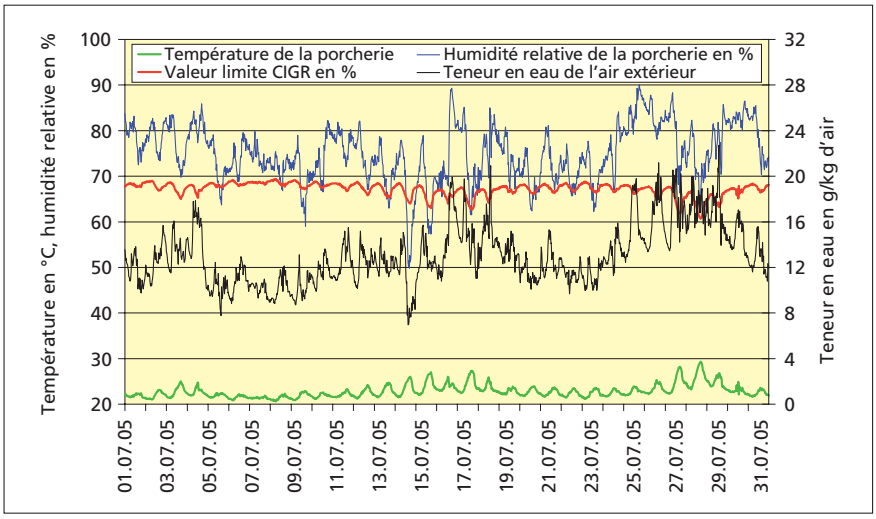

Fig. 9: Au mois de juillet 2005, étant donné le temps humide, l'humidité relative à l'intérieur de la porcherie se situait généralement au-dessus du seuil-limite défini à partir de la température de la porcherie selon la figure 8.

Tab. 4: Températures mensuelles moyennes de l'air extérieur, de l'air intérieur et de l'air d'amenée pour la porcherie 2.

	Air extérieur	Air intérieur	Air d'amenée B1	Air d'amenée B17
Juillet 05	18.6	22.6	17.2	17.5
Août 05	16.6	**23.1**	15.8	16.3
Septembre 05	15.6	21.5	15.2	16.5
Octobre 05	11.7	22.1	12.0	13.6
Novembre 05	4.1	18.4	7.1	9.2
Décembre 05	–0.3	**16.5**	3.7	6.1
Janvier 06	–2.4	19.0	3.0	4.8
Février 06	–0.1	19.4	3.9	4.7
Mars 06	3.6	19.2	6.4	6.8
Avril 06	8.9	19.4	9.6	10.1
Mai 06	13.6	21.7	13.0	13.5
Juin 06	17.9	22.9	16.3	16.4

Température minimale en °C

La température minimale s'élevait à –12,3 °C à l'extérieur et à 8,1 °C à l'intérieur. La température plutôt basse à l'intérieur de la porcherie le 15 décembre 2005 (8,1 °C) doit être relativisée. A cette époque, la porcherie n'était pas occupée et était en cours de nettoyage. Le même commentaire est valable pour les températures minimales en

février (10,7 °C) et en mars (11,0 °C). Dans le box B4, la température de l'air d'amenée a baissé jusqu'à –3,2 °C. Des températures de l'air d'amenée inférieures à zéro n'ont été relevées que pendant trois jours en hiver dans le box 4. Dans le box 17, la température de l'air d'amenée n'est passée en dessous de zéro (–0,1°C) que pendant une heure.

Pendant la période la plus froide (27.12.05 – 31.12.05), la température de la porcherie n'est pas descendue en dessous de 13,6 °C (fig. 12). La différence de température maximale entre l'air extérieur et l'air intérieur était de 29,9 °C. La grande différence de température permet de supposer qu'à cette période, le taux d'aération avait été considérablement réduit. En partant du faible taux d'humidité relative à l'intérieur de la porcherie (44 %), on peut cependant calculer que la concentration en CO_2 à ce moment-là n'était que légèrement au-dessus du seuil-limite recommandé à long terme (2000 ppm). L'influence du taux d'aération sur la différence entre les températures extérieure/intérieure est particulièrement nette le jour suivant (31.12.05). Malgré une température extérieure supérieure de près de 20 °C, la température à l'intérieur de la porcherie a chuté à 14 °C.

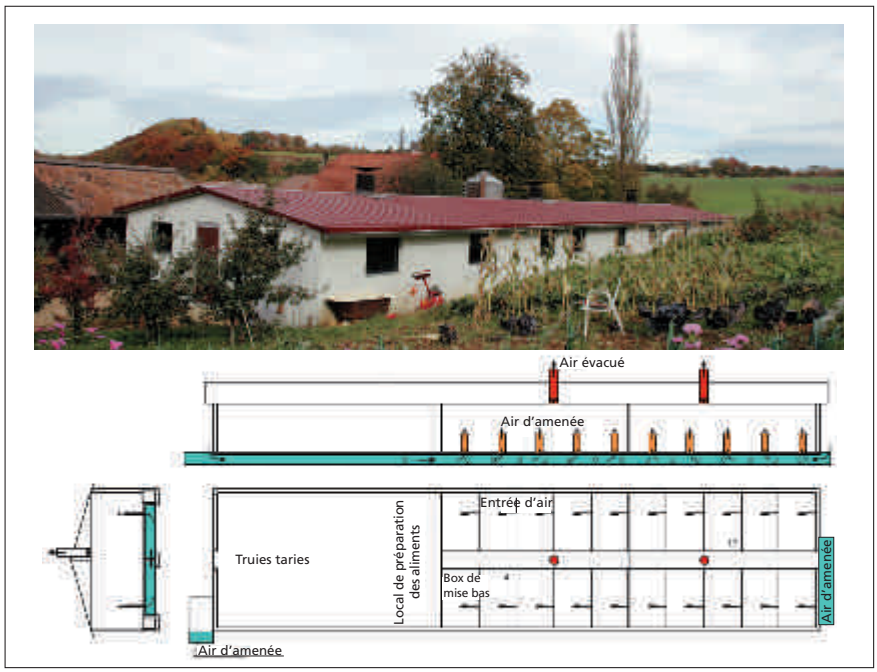

Fig. 10: Porcherie 2: porcherie conçue selon le système Krieger pour 2x10 box de mise bas. L'air peut être aspiré aux deux extrémités de la porcherie.

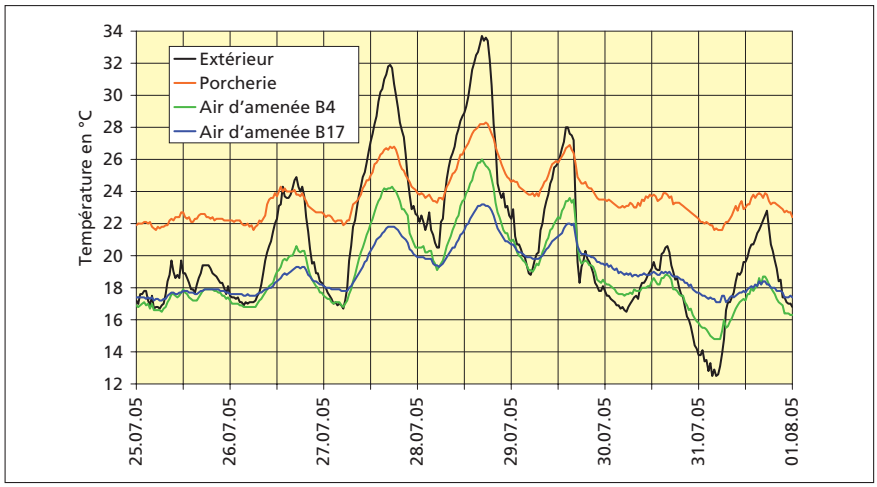

Fig. 11: Evolution de la température extérieure, intérieure et de celle de l'air d'amenée pour la porcherie 2 en juillet 2005. La température maximale de la porcherie est inférieure à la température maximale de l'air extérieur. La différence peut aller jusqu'à 5,5 °C.

Fluctuation moyenne de températures entre le jour et la nuit en °C

L'échange permanent de chaleur avec le terrain et la dalle en béton/les fondations limite les fluctuations de température de l'air d'amenée entre le jour et la nuit. En moyenne annuelle, ces fluctuations représentent environ 40 % des fluctuations de la température extérieure dans le box 4 et seulement 25 % dans le box 17. En hiver, étant donné le taux d'aération réduit et les fluctuations plus limitées de la température extérieure, les fluctuations entre les

Tab. 5: Fluctuations moyennes de la température diurne et nocturne de l'air extérieur, de l'air intérieur et de l'air d'amenée pour la porcherie 2.

	Air extérieur	Air intérieur	Air d'amenée B1	Air d'amenée B17
Juillet 05	9.6	2.5	4.3	2.2
Août 05	8.6	2.0	3.6	1.5
Septembre 05	8.3	2.2	3.5	1.6
Octobre 05	8.0	**1.7**	3.2	1.4
Novembre 05	6.5	1.9	2.2	1.6
Décembre 05	4.9	2.4	2.3	1.6
Janvier 06	6.6	2.2	1.9	2.0
Février 06	5.8	2.2	1.9	1.7
Mars 06	7.5	2.2	2.8	2.0
Avril 06	9.5	2.1	4.3	2.7
Mai 06	9.0	1.9	4.0	2.3
Juin 06	10.8	**2.8**	5.5	3.4

Tab. 6: Fluctuations maximales de la température diurne et nocturne de l'air extérieur, de l'air intérieur et de l'air d'amenée pour la porcherie 2.

	Air extérieur	Air intérieur	Air d'amenée B1	Air d'amenée B17
Juillet 05	15.7	5.0	7.8	4.3
Août 05	15.1	3.7	6.6	3.6
Septembre 05	13.7	3.9	6.1	2.7
Octobre 05	12.6	3.1	5.1	6.0
Novembre 05	13.3	4.8	5.0	4.3
Décembre 05	18.4	**8.3**	8.5	5.1
Janvier 06	13.4	4.7	4.2	6.3
Février 06	12.3	**8.5**	3.6	3.0
Mars 06	15.9	**9.2**	9.1	5.4
Avril 06	17.6	4.7	10.4	6.0
Mai 06	15.0	4.6	11.4	6.2
Juin 06	17.0	5.1	9.2	5.9

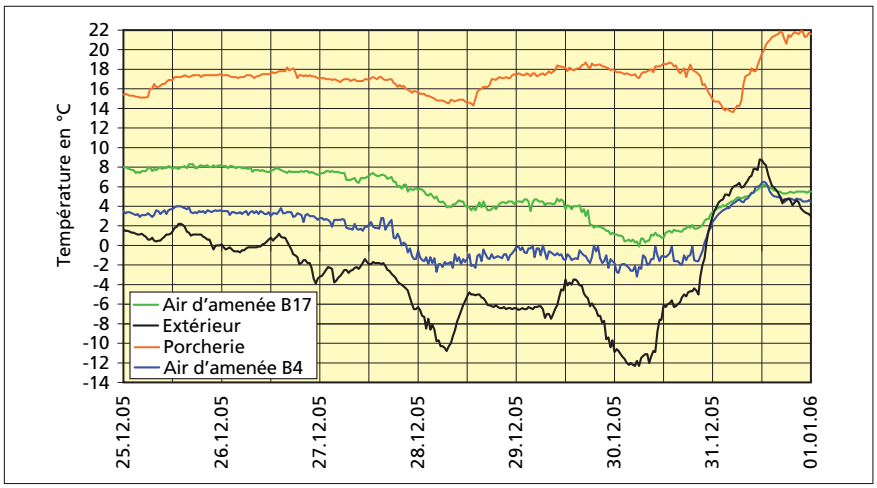

Fig. 12: Evolution de la température extérieure, intérieure et de celle de l'air d'amenée pour la porcherie 2. Entre le 29.12.05 et le 01.01.06, la température intérieure a tendance à évoluer à l'inverse de la température extérieure. Ce phénomène est dû au réglage des taux d'aération.

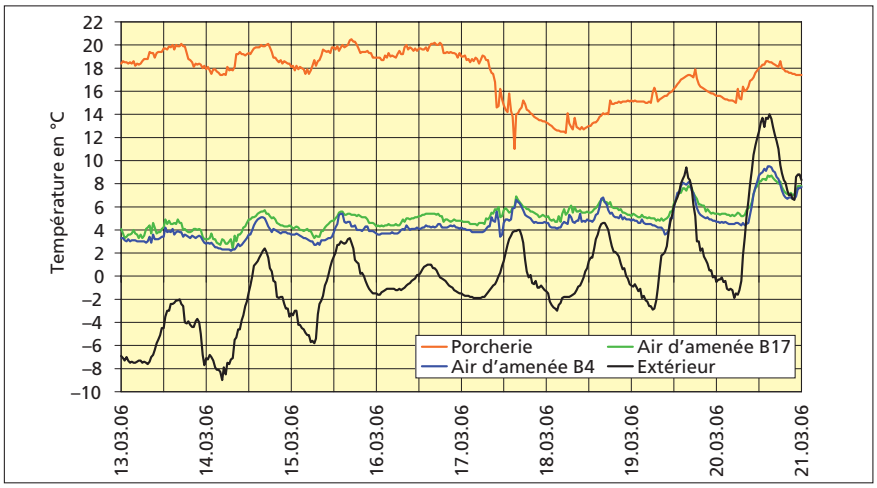

Fig. 13: Evolution de la température extérieure, intérieure et de celle de l'air d'amenée en mars 2006. L'importante fluctuation de la température de la porcherie le 17.03.06 est due au nettoyage du bâtiment.

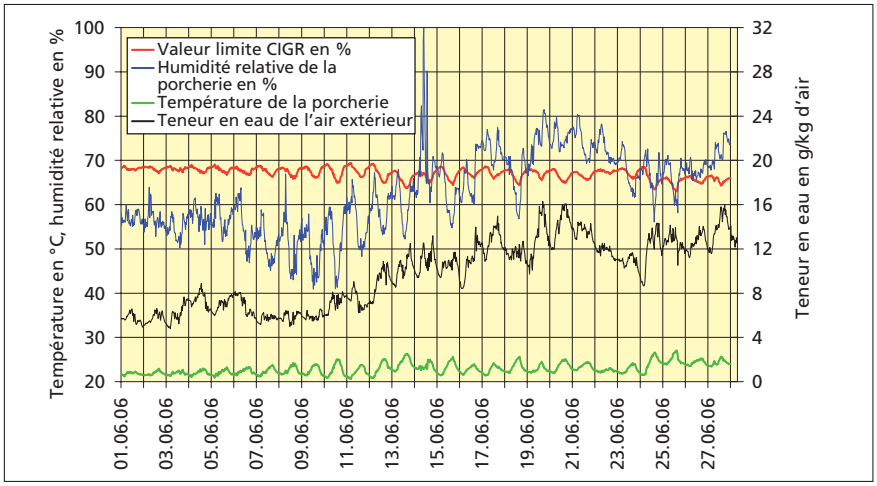

Fig. 14: Comme on pouvait s'y attendre, l'humidité relative à l'intérieur de la porcherie suit l'évolution de la teneur en eau de l'air extérieur. Dans la première moitié du mois, elle était inférieure au seuil-limite et supérieure pendant la seconde moitié. Ce seuil est défini dans la figure 8 à partir de la température de la porcherie.

températures diurnes et nocturnes de l'air d'amenée sont plus faibles qu'en été (tab. 5). Les fluctuations à l'intérieur de la porcherie sont comprises en moyenne entre 1,7 et 2,8 °C.

Fluctuation maximale de températures entre le jour et la nuit en °C

C'est dans le box 17 que les fluctuations maximales entre les températures diurnes et nocturnes de l'air d'amenée sont les plus faibles (tab. 6). En septembre, elles ne représentent que 20 % des fluctuations maximales des températures extérieures. Si l'on fait abstraction des fluctuations élevées de la température à l'intérieur de la porcherie en décembre (8,3 °C), février (8,5 °C) et mars (9,2 °C), qui sont dues au nettoyage de la porcherie et à la sortie des animaux (fig. 13), les fluctuations maximales de températures à l'intérieur se limitent à environ 5 °C sur 24 heures.

Humidité relative

En juin 2006, l'humidité relative moyenne dans la porcherie s'élevait à 62,8 %. Le seuil-limite moyen calculé selon la figure 8 était de 67,1% durant la même période. Si l'on fait abstraction du pic de 100 % le 14.06.06, qui est dû au nettoyage de la porcherie, l'humidité relative était nettement plus basse que le seuil-limite pendant la première moitié du mois. Pendant la seconde moitié, l'humidité relative était généralement supérieure au seuil-limite (fig. 14). Durant cette période, la teneur absolue en eau (g/kg d'air) dans l'air extérieur était très élevée. Dès que l'air extérieur contient plus de 12 g d'eau par kg d'air, l'humidité relative à l'intérieur de la porcherie dépasse le seuil-limite recommandé. La comparaison entre la teneur absolue en eau de l'air extérieur et de l'air intérieur montre que la forte humidité relative de l'air extérieur n'est pas la seule responsable de l'importante humidité atmosphérique à l'intérieur de la porcherie. Les taux d'aération, qui étaient périodiquement insuffisants, y sont également pour une bonne part. Ce phénomène est dû au réglage automatique de l'ordinateur qui gère le climat d'étable. En effet, ce dernier n'est généralement couplé qu'à la température de la porcherie.

En hiver il n'y a aucun risque que l'humidité relative de la porcherie soit trop élevée, même en cas d'aération minimale (fig. 15). Au contraire, l'air a plutôt tendance à être trop sec. L'humidité absolue de l'air extérieur joue un rôle moindre qu'en été du fait de la faible quantité d'eau (2–5 g/kg d'air). Sachant qu'en hiver, la teneur en eau de

l'air extérieur est largement corrélée à la température, le réglage automatique des aérateurs, qui dépend aussi de la température, la prend indirectement en compte. Par conséquent, l'humidité relative à l'intérieur de la porcherie fluctue nettement moins qu'en été.

Puissance de chauffage et puissance frigorifique de l'échangeur de chaleur

Le réchauffement de l'air d'amenée permet d'économiser de l'énergie. Si l'on part d'un taux d'aération moyen de 1750 m³/h, la chaleur absorbée par l'air d'amenée dans la cavité sous la porcherie représente environ 8400 kWh pour l'hiver 2005/06 dans le cas de la deuxième porcherie (fig. 16). Avec un taux d'aération moyen de 8000 m³/h, la chaleur dégagée dans la cavité s'élève au total à 7200 kWh durant les mois de juillet-août 2005 et de mai-juin 2006 (fig. 16). L'économie d'énergie réalisée en été est hypothétique, car les producteurs renoncent généralement à l'installation d'un groupe de réfrigération. Toutefois, on obtient aussi un bénéfice financier en été, puisque les températures plus basses de la porcherie permettent d'obtenir de meilleurs résultats de production. Malgré des taux d'aération plus élevées, la quantité d'énergie échangée est plus faible en été qu'en hiver. Cette situation est due d'une part à l'hiver froid en 2005/06 et à l'été plutôt frais, et d'autre part aux déperditions de chaleur à travers la dalle en béton de la porcherie. En hiver, ce flux de chaleur se répercute de manière positive sur la température de l'air d'amenée. En été, l'effet est plutôt négatif.

Sachant qu'une partie de la puissance de chauffage est due à la récupération de la chaleur qui s'échappe par la dalle, il faut relativiser le gain net d'énergie lié au passage

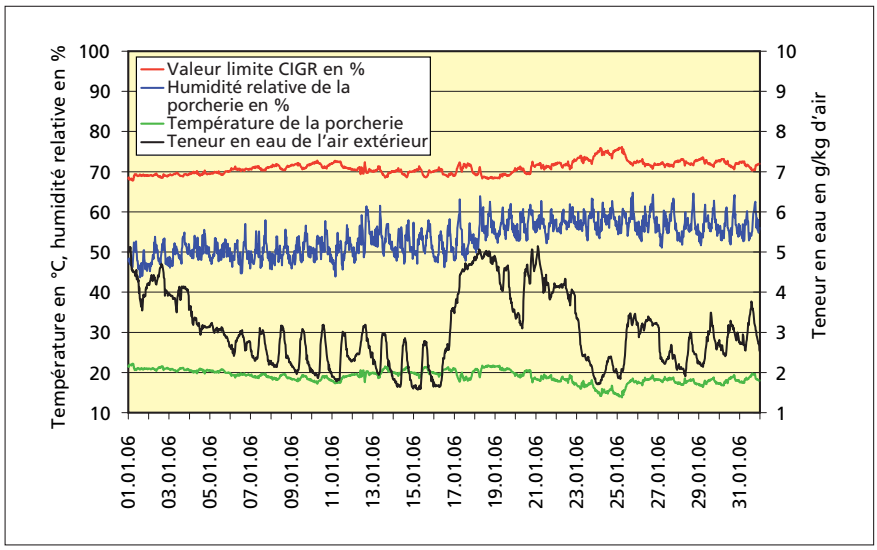

Fig. 15: En hiver, l'humidité relative de la porcherie risque d'être trop faible (cf. également fig. 8). Il faut alors humidifier l'air à l'intérieur du bâtiment.

Fig. 16: Absorption ou évacuation de la chaleur de l'air d'amenée dans la cavité située sous la deuxième porcherie Krieger durant les mois d'hiver et d'été.

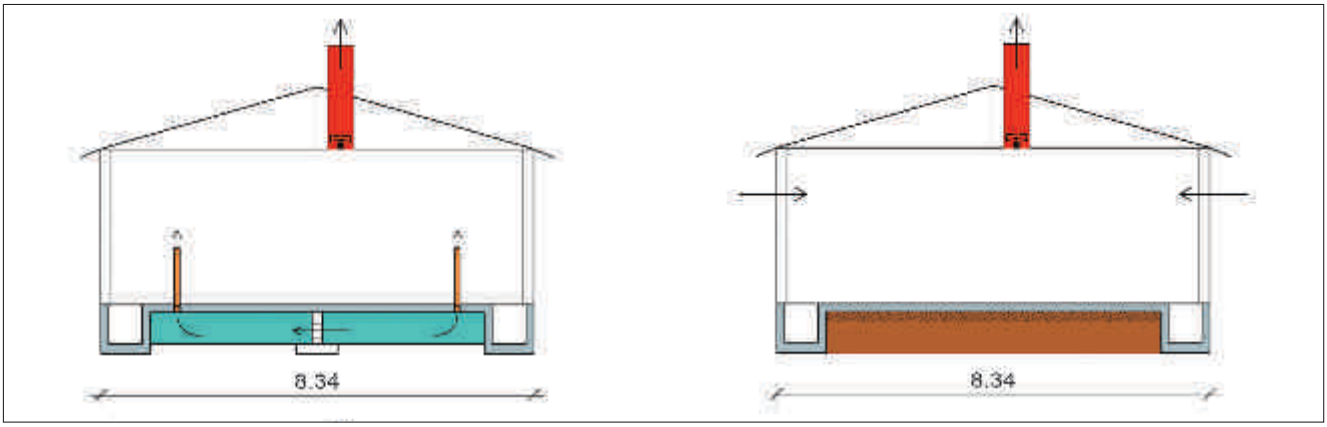

Fig. 17: Comparaison de deux systèmes d'aération. A gauche, porcherie conçue selon le système Krieger avec air d'amenée provenant d'un espace libre situé sous la porcherie, à droite, porcherie de référence avec air d'amenée provenant directement de l'extérieur et dalle en contact avec la terre.

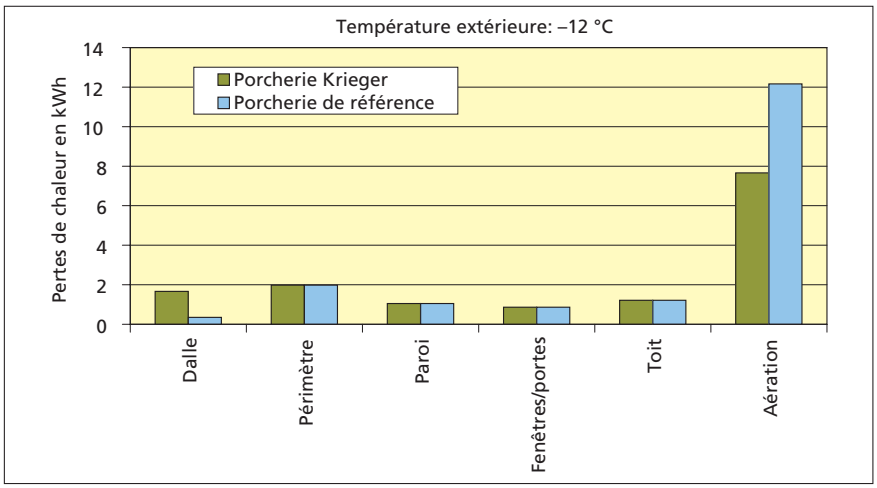

Fig. 18: Pertes de chaleurs dues à l'enveloppe du bâtiment et à la ventilation dans la porcherie Krieger (air d'amenée provenant de l'espace libre situé sous la porcherie) et dans la porcherie de référence (air d'amenée provenant directement de l'extérieur).

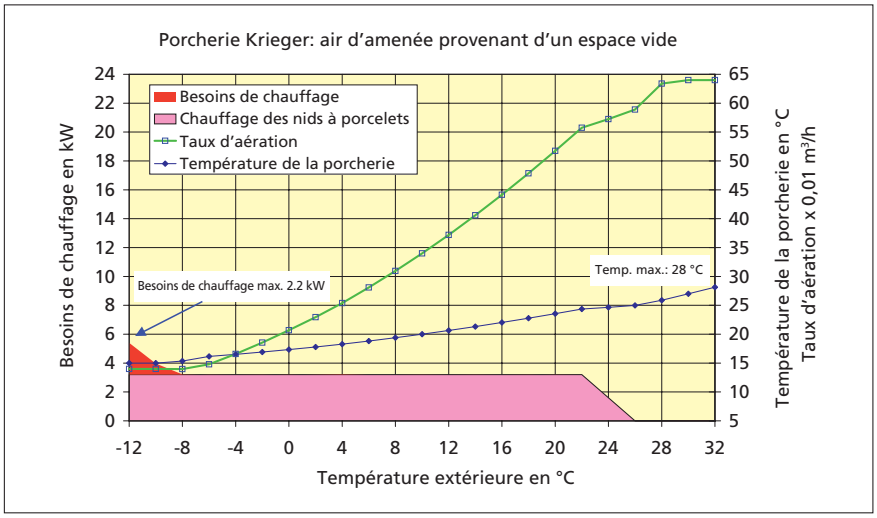

Fig. 19: Besoins de chauffage, taux d'aération nécessaires et température ambiante dans la porcherie Krieger (air d'amenée provenant de l'espace libre situé sous la porcherie) en fonction de la température extérieure.

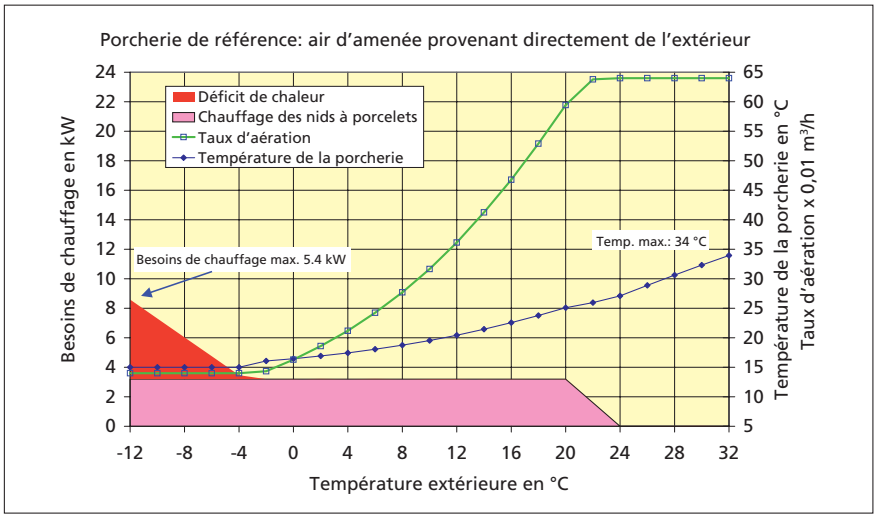

Fig. 20: Besoins de chauffage, taux d'aération nécessaires et température ambiante dans la porcherie de référence (air d'amenée provenant directement de l'extérieur) en fonction de la température extérieure.

de l'air par la cavité située sous la porcherie. Sur la base de calculs théoriques, le chapitre suivant analyse les avantages énergétiques réels de ce type d'aération par rapport à un système conventionnel.

Comparaison de l'aération de la porcherie Krieger et de l'aération conventionnelle

La comparaison porte d'une part, sur le modèle de base de la porcherie conçue selon le système Krieger (2x8 box de mise bas) avec air d'amenée provenant de l'espace vide situé sous le bâtiment et d'autre part, d'une porcherie de référence avec entrée directe d'air extérieur (fig. 17). L'enveloppe du bâtiment des deux porcheries est la même. Seule la dalle est différente. Dans la porcherie Krieger, un espace vide se situe sous la dalle. Dans la porcherie de référence, la dalle repose directement sur la terre. Dans la porcherie Krieger, la chaleur qui s'évacue dans la terre par la dalle dépend de la température moyenne de l'air dans l'espace vide sous la porcherie (données mesurées). Dans la porcherie de référence, les pertes de chaleur dépendent de la température de la terre. On a supposé que la température moyenne de la terre était de 12 °C à un mètre de profondeur et à un mètre de la paroi extérieure.

Situation en hiver

Lorsque la température extérieure est de moins 12 °C, les pertes totales de chaleur calculées dues à l'enveloppe du bâtiment et au système d'aération s'élèvent environ à 14,4 kW dans la porcherie Krieger et à environ 17,6 kW dans la porcherie de référence (fig. 18). Dans ce contexte, on suppose un taux d'aération de 1400 m³/h, ce qui correspond à une concentration en CO_2 de 2000 ppm (0,2 vol %). La porcherie Krieger perd environ 4,5 kW de chaleur de moins par l'aération, mais perd par contre 1,3 kW de plus par la dalle. Par conséquent, le gain net d'énergie lié à l'acheminement de l'air par l'espace vide sous la porcherie est de 3,2 kW. A condition que tous les chauffages de nids à porcelets (16x200 W) fonctionnent en continu, le déficit de chaleur dans la porcherie Krieger est d'environ 2,2 kW pour une température extérieure de moins 12 °C (fig. 19). Pour maintenir la température intérieure à 15 °C sans chauffer le bâtiment, il faudrait réduire le taux d'aération de 400 m³/h et le faire passer de

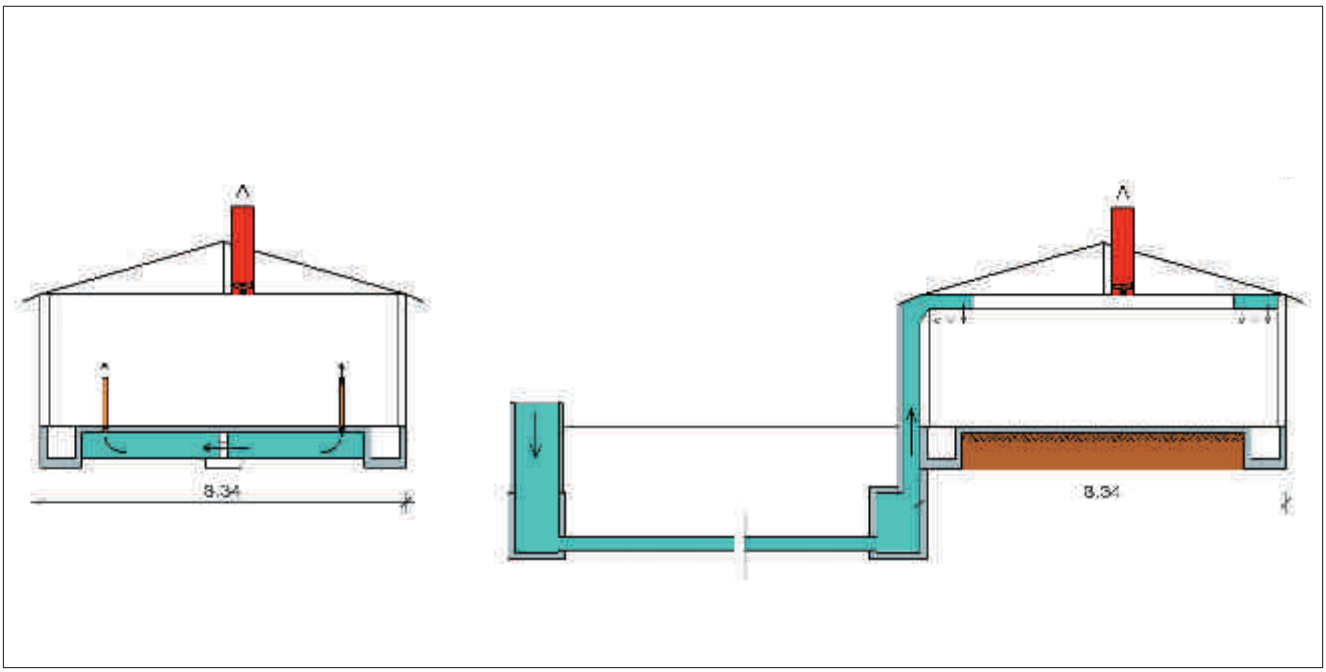

Fig. 21: Comparaison de deux systèmes d'aération. A gauche, porcherie conçue selon le système Krieger avec air d'amenée provenant d'un espace libre situé sous la porcherie, à droite, porcherie avec échangeur de chaleur souterrain avec tuyaux ondulés.

Tab. 7: Calcul du climat pour la porcherie-système (16 box de mise bas) comparée à la porcherie équipée d'un échangeur de chaleur souterrain avec tuyaux ondulés. Situation en hiver et en été (fig. 21)

	Porcherie-système	ECS
	Hiver	
Température extérieure en °C	–12	
Taux d'aération en m³/h	1400	
Température de l'air d'amenée en °C	0	–1
Température de la porcherie en °C	13.5	14.5
	Eté	
Température extérieure en °C	32	
Taux d'aération en m³/h	6400	
Température de l'air d'amenée en °C	24	22
Température de la porcherie en °C	28	26

Tab. 8: Investissements nécessaires pour un échangeur de chaleur souterrain à tuyaux ondulés pour 16 box de mise bas. Taux d'aération maximum 5400 m³/h (350 m³/h par box de mise bas). Etat des prix, mars 2007.

		Chiffres-clés				
Diamètre des tuyaux	m	0.2	0.25	0.315	0.4	0.5
Nombre de tuyaux	m	20	13	8	5	3
Longueur des tuyaux	m	10	15	21	30	39
Longueur totale des tuyaux	m	200	195	168	150	117
Entraxe des tuyaux	m	0.60	0.63	0.68	0.75	0.83
Longueur du canal d'air d'amenée/canal collecteur	m	12.0	8.2	5.4	3.8	2.5
Déblai	m³	547	538	515	553	551
Déblai + remblai	Fr./m³	10	10	10	10	10
Canal d'air d'amenée/canal collecteur	Fr./m	600	600	600	600	600
Tuyaux ondulés	Fr./m	17.75	21.30	28.19	41.96	60.69
		Investissements				
Déblai + remblai	Fr.	5474	5377	5155	5528	5513
Canal d'air d'amenée/canal collecteur	Fr.	14400	9840	6480	4560	3000
Tuyaux ondulés	Fr.	3551	4154	4736	6295	7100
Investissements totaux	**Fr.**	**23425**	**19371**	**16371**	**16383**	**15613**
Investissements en	**Fr./box de mise bas**	**1464**	**1211**	**1023**	**1024**	**976**

1400 m³/h à environ 1000 m³/h. Cette réduction ferait augmenter la concentration en CO_2 de 2000 à 2660 ppm. En revanche, en l'absence de chauffage, si l'on ne réduit pas le taux d'aération, la température de la porcherie chute de 15 °C à 13 °C. Lorsque les températures extérieures sont supérieures à –8 °C, le bilan énergétique est équilibré. Durant l'hiver 2005/06, la température extérieure est passée en dessous de la barre des –12 °C pendant trois heures sur le deuxième site. Elle est restée en dessous de –8 °C pendant 116 heures.

Dans la porcherie de référence, le déficit de chaleur est d'environ 5,4 kW lorsque la température extérieure est de –12 °C et la température intérieure de 15 °C (fig. 20). Pour équilibrer le bilan énergétique sans chauffer le bâtiment, il faudrait réduire le taux d'aération d'environ 620 m³/h. Cette réduction ferait augmenter la concentration en CO_2 à un niveau d'environ 3300 ppm. Si l'on ne réduit pas le taux d'aération, la température de la porcherie chute de 15 °C à 6,7 °C. Sans chauffage du bâtiment, le bilan énergétique n'est équilibré que lorsque les températures extérieures ne descendent pas en dessous de –2 °C. Or, durant l'hiver 2005/06, des températures extérieures inférieures à moins 2 °C ont été relevées pendant 988 heures sur le deuxième site.

Etant donné la température supérieure de l'air d'amenée, il est possible d'aérer davantage dans la porcherie Krieger lorsque les

températures extérieures sont basses, ce qui améliore la qualité de l'air.

Situation en été
Grâce au refroidissement de l'air, la porcherie Krieger reste nettement plus fraîche en été que la porcherie de référence. Avec une température extérieure de 32 °C, la différence de températures est d'environ 5 °C. Selon le calcul du bilan énergétique, la température monte jusqu'à 34 °C dans la porcherie de référence, tandis qu'elle atteint au maximum 28 °C dans la porcherie Krieger. Pour ramener la température à 28 °C dans la porcherie de référence, il faudrait disposer d'une puissance de refroidissement de 15 kW pour une température extérieure de 32 °C et un taux d'aération de 6400 m^3/h.

Comparaison de l'aération de la porcherie Krieger et de l'aération avec échangeur de chaleur souterrain

Avec un échangeur de chaleur souterrain (ECS), l'air d'amenée est aspiré par des tuyaux ondulés placés en profondeur dans le sol (fig. 21). La comparaison du climat des porcheries équipées des deux systèmes d'aération repose d'une part, sur les données de mesure de précédentes études sur les échangeurs de chaleur souterrains et d'autre part, sur les données de mesure (moyennes B4, B17) de la deuxième porcherie Krieger. Les calculs montrent qu'en hiver, malgré la température supérieure de l'air d'amenée, la température de la porcherie Krieger est inférieure de 1 °C à celle de la porcherie équipée d'un échangeur de chaleur souterrain avec tuyaux ondulés (tab. 7). Ce phénomène est dû aux pertes de chaleur plus élevées par la dalle. En été, la porcherie équipée d'un échangeur de chaleur souterrain avec tuyaux ondulés affiche des températures inférieures de 2 °C à celles de la porcherie Krieger grâce à la température plus basse de l'air d'amenée. Toutefois, ces deux degrés de différence dans la porcherie avec échangeur de chaleur souterrain impliquent des investissements nettement plus importants. En effet, suivant le diamètre des tuyaux, les investissements pour l'échangeur de chaleur souterrain avec tuyaux ondulés sont compris entre Fr. 976.– et 1464.– par box de mise bas (tab. 8). Par contre, les coûts supplémentaires pour l'aménagement d'un espace vide sous la porcherie ne sont que très limités grâce au mode de construction «système».

Conclusion

Dans la porcherie de mise bas conçue selon le système Krieger, l'air extérieur passe par un espace vide situé sous la dalle du bâtiment avant d'entrer dans la porcherie. Dans cet espace vide, un échange de chaleur continu se produit avec la terre, les canaux à lisier latéraux et les fondations ainsi qu'avec la partie inférieure de la dalle. Les mesures effectuées sur deux porcheries Krieger de ce type (16 et 20 box de mise bas) montrent que l'échange de chaleur sous la porcherie permet à l'air de gagner jusqu'à 12 °C en hiver et de perdre jusqu'à 10 °C en été. Plus le trajet parcouru par l'air d'amenée sous la porcherie est long, plus la différence de température est grande. Etant donné la température supérieure de l'air d'amenée, il est possible d'aérer davantage dans la porcherie Krieger lorsque les températures extérieures sont basses, ce qui améliore la qualité de l'air. Sur l'année, ce dispositif permet d'atténuer en moyenne 60 à 75 % des fluctuations de températures extérieures dans l'air d'amenée. Grâce aux températures équilibrées de l'air d'amenée, les fluctuations moyennes des températures diurnes et nocturnes dans la porcherie se limitent à deux ou trois degrés en dépit d'un taux d'aération élevé. Durant l'hiver 2005/06, la chaleur emmagasinée par l'air d'amenée dans l'espace vide s'élevait à 8400 kWh dans la deuxième porcherie. Dans les mois de juillet à août 2005 et de mai à juin 2006, la chaleur évacuée par l'air d'amenée représentait 7200 kWh.
Grâce au réchauffement de l'air d'amenée dans l'espace vide situé sous le bâtiment de la porcherie Krieger bien isolée, la chaleur des animaux et le chauffage des nids à porcelets suffisent à maintenir la température ambiante au-dessus de 13 °C même pendant la période la plus froide. Un tel résultat peut être obtenu sans devoir chauffer la porcherie et sans réduire trop les taux d'aération. En été, la température de la porcherie peut être maintenue à environ 28 °C, ce qui réduit considérablement le stress dû à la chaleur auquel sont soumises les truies.
Une comparaison théorique montre qu'avec un taux d'aération équivalent et sans chauffage, le fait de faire passer l'air d'amenée par un espace vide sous la porcherie en hiver permettait d'augmenter la température dans la porcherie jusqu'à 6 °C en hiver et de faire baisser la température jusqu'à 6 °C en été par rapport à un système d'aération conventionnel dans lequel l'air frais provient directement de l'extérieur. La puissance de chauffage et surtout la puissance de refroidissement de l'air d'amenée provenant d'un espace vide situé sous le bâtiment sont toutefois légèrement inférieures à celles de l'échangeur de chaleur souterrain à tuyaux ondulés. Par contre, les investissements nécessaires à la réalisation d'une cavité sous la dalle de la porcherie sont nettement plus bas que ceux nécessaires à la construction d'un échangeur de chaleur souterrain à tuyaux ondulés à côté de la porcherie.

Bibliographie

C.I.G.R., 1992. First Report of working group on Climatization of animal houses. UK-Aberdeen, 1984.

Hilty R., Van Caenegem L., Herzog D., 2005 Système de prix par modules unitaires. Agroscope FAT Tänikon, Ettenhausen.

Sagelsdorff R., Frank T., 1993. Wärmeschutz und Energie im Hochbau. Element 29 Schweizerische Ziegelindustrie, Zürich.

Van Caenegem L., Deglin D., 1998. Erdwärmetauscher für Mastschweineställe. FAT Schriftenreihe 48. Ettenhausen. S. 68

Van Caenegem L., Wechsler B., 2000. Stallklimawerte und ihre Berechnung. FAT Schriftenreihe 51. Ettenhausen. S. 89

Impressum

Edition: Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Les Rapports ART paraissent environ 20 fois par an. – Abonnement annuel: Fr. 60.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: ART, Bibliothèque, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@art.admin.ch, Internet: http://www.art.admin.ch
Les Rapports ART sont également disponibles en allemand (ART-Berichte).
ISSN .....
Les Rapports ART sont accessibles en version intégrale sur notre site Internet (www.art.admin.ch).