

INCIDENCE DE DIVERS SYSTEMES D'ENTRÉE D'AIR AU NIVEAU DES ANIMAUX

Observations en porcherie d'engraissement

C. DUTERTRE, P. ROUSSEAU, J.C. VAUDELET

*Institut Technique du Porc
Pôle Techniques d'Elevages, B.P. 3, 35650 Le Rheu.*

Dans des salles d'engraissement, 12 types d'entrée d'air par gaine, faux-plafonds perforés ou diffuseurs ont été étudiés en période hivernale. Les circuits d'air engendrés par chaque type d'entrée d'air sont mis en évidence à l'aide de fumigènes.

Des thermistances, placées dans le flux d'air principal de l'entrée à la sortie, enregistrent la température en continu sur la période 21h.00 - 7h.00 dans les deux compartiments de préparation de l'air neuf (couloir, gaine ou comble) et dans la salle à 0,10, 1,50 et 2,50 m du caillebotis.

Dans les salles équipées de gaine, le réchauffement de l'air neuf est important (gain de 3°C en moyenne contre 2°C dans les combles). Les gaines sont caractérisées par une section d'entrée d'air plus réduite (25 cm² par porc contre 50 cm² par porc) que les faux-plafonds. La température et la vitesse d'entrée du jet d'air neuf (1 m/s contre 0,5 m/s) est donc plus élevée.

Malgré ces avantages, la température au niveau des animaux est souvent inférieure à la température ambiante dans les salles équipées de gaines (jusqu'à 1,5°C de différence). Dans les salles avec faux-plafonds, même en intégrant l'effet de la vitesse d'air, l'écart moyen entre température ambiante, et température ressentie par les animaux dépasse rarement 1°C. Ce qui signifie que les faux-plafonds assurent d'une manière générale un meilleur mélange entre air neuf et air ambiant.

Les faux plafonds semblent donc plus sécurisants que les gaines, cependant la cohérence entre les composantes du système de ventilation (c'est-à-dire adéquation entre section d'entrée, diamètre des ventilateurs et effectif) ainsi que les réglages du boîtier de régulation importent plus pour la réussite de l'atelier que le type d'entrée d'air proprement dit.

Effect of several air inlet designs on the animals : pig fattening house recording

Twelve air inlet designs including air-duct, drilled false ceilings and air diffusers were studied in pig fattening houses during the winter period.

Thermistors were placed along the main air flow duct for continuous temperature recording from nine p.m. to seven a.m. in both air mixing compartments (passage, air-duct or roof) and inside the house.

In fattening houses equipped with air-duct, air preheating was important amounting to 3°C versus 2°C in the roof. Air-ducts are characterized by smaller air inlet section compared to false ceilings (25 cm² per pig versus 50 cm² per pig). Both temperature and velocity (1m/s versus 0.5 m/s) were therefore higher.

In spite of this advantage, ambient temperature at the level of the animals was often lower than that recorded in pig houses equipped with air-ducts (until 1.5°C less). In pig houses with false ceilings, the average deviation between ambient temperature and equivalent temperature at pig level was lower than 1°C. It means that false ceilings generally allow better mixing.

False ceilings seem to be more reliable than air-ducts but adequation between air inlet section, fans diameter and stock, together with adequate controls of the regulation box are more important conditions to obtain successful fattening results than the air inlet design itself.

INTRODUCTION

Les études effectuées en module physique à la station expérimentale de Villefranche de Rouergue par GRANIER et coll. ont permis de quantifier l'incidence de divers systèmes d'entrée d'air sur le microclimat au niveau des animaux.

Dans une quinzaine de porcheries équipées d'entrées d'air par gaines, faux-plafonds ou autres, des enregistrements de vitesse d'air et température au niveau des animaux ont été effectués au cours des hivers 89/90 et 90/91. L'objectif est de retrouver en élevage les résultats obtenus en module expérimental.

L'enregistrement des températures en continu dans les combles ou à l'intérieur des gaines permet également de comparer les divers systèmes d'entrée d'air sur la plan efficacité du réchauffement de l'air neuf.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

1.1. Les salles d'engraissement

Les porcheries retenues pour l'étude, sont récentes pour la plupart, donc en principe étanches et bien isolées. Les caractéristiques de ces diverses salles sont précisées dans les tableaux 1 et 2 :

Tableau 1

		Nb porcs par salle	Nb porcs par case	S, utile par case	S, utile par porc m ²	V/porc m ² /porc
Avec faux plafond	mini	78	12	7,8	0,56	1,8
	moy	85	13	8,7	0,65	2,0
	maxi	96	15	10,5	0,70	2,2
Sans faux plafond	mini	55	11	6,6	0,60	1,9
	moy.	100	12	8,0	0,65	2,8
	maxi	168	14	8,5	0,78	3,2

Tableau 2 - Coefficients de transmission surfacique exprimés en W / porc / °C

		Salle avec faux-plafond	Salle sans faux plafond
Salles du milieu	mini	1,0	1,1
	moy.	1,1	1,3
	maxi	1,3	1,6
Salles en pignon	mini	1,4	1,7
	moy.	1,5	1,9
	maxi	1,6	2,7

1.2. Les équipements

1.2.1. Ventilateurs

Les salles sont toujours ventilées en dépression. L'extraction est effectuée par l'intermédiaire d'une gaine en béton sous le couloir, ou bien directement sous le caillebotis. On parle alors

de «pompage direct».

Les ventilateurs sont directement en contact avec le milieu extérieur ou placés dans une cheminée, ce qui élimine les effets néfastes du vent. Les ventilateurs sont de type hélicoïdal à moteur glissant.

La régulation du niveau de ventilation est effectuée par des boîtiers électroniques de type numérique. Une sonde de température reliée au boîtier de régulation indique la température de la salle. C'est l'écart entre cette température et la température exigée par l'opérateur (température de consigne) qui détermine le niveau de ventilation.

Deux ventilateurs au plus assurent le renouvellement de l'air dans chaque salle. Leur démarrage est simultané («montage en parallèle») ou décalé dans le temps («montage en duo»).

1.2.2. Entrées d'air

Les 15 types d'entrée d'air étudiés sont décrits dans le tableau 3. La dénomination courante ou commerciale, ainsi que la section d'entrée d'air par porc sont également précisées dans tous les cas.

On distingue deux grandes classes d'entrées d'air : par faux-plafonds perforés ou diffuseur et les entrées d'air par gaine. Une troisième catégorie dans laquelle sont classés les autres systèmes.

Lorsque la section d'entrée d'air est variable, sont mentionnées les sections minimales et maximales de chaque système.

Le nombre de bouches d'admission par porc est précisé entre parenthèses.

1.3. Observations et mesures

1.3.1. Circuits d'air

Des fumées froides générées par un appareil fumigène (DRAEGER BRANDT, type Minimist) sont introduites dans le comble ou dans la gaine. L'air neuf pénètre dans la salle et se mélange à l'air ambiant. Le cheminement de ce flux d'air est noté pour chaque système sous forme de croquis. On repère le point de chute, c'est-à-dire l'endroit où tombe majoritairement le mélange air neuf/air ambiant dans la case.

1.3.2. Températures

Une centrale de mesure (GRANT, type écreuil 1206) permet d'enregistrer simultanément la température en 16 points différents toutes les deux minutes. 300 enregistrements par sonde (thermistance type CT-UV) sont effectués de 21h00 à 7h00, période pendant laquelle les animaux ne sont perturbés par aucune présence humaine.

Ces sondes sont placées d'une part à l'extérieur puis dans les deux compartiments de préparation de l'air neuf à savoir couloir et comble (ou gaine).

Ainsi, l'aspect réchauffement de l'air neuf jusqu'à sa pénétration dans la salle est abordé pour chaque système d'entrée d'air.

D'autre part, des sondes sont placées dans la salle à divers niveaux :

Tableau 3 - Systèmes d'entrée d'air étudiés
Descriptif, dénomination et section d'entrée d'air par porc (S /porc)

Entrée d'air par faux-plafond	Réglettes perforées en PVC intercalées entre des plaques de polystyrène extrudé	VENTISOL	2 à 60 (130)
	Réglettes perforées en PVC intercalées entre des plaques de polystyrène extrudé	CUSTERS	35 à 140 (200)
	Polystyrène extrudé perforé	DIFUL'R	25 (50)
	Panneau de fibres de bois agglomérées	FIBRALITH	
	Tôle aluminium perforée	ALUMINIUM PERFORE	75 (90)
	Film d'aluminium tendu, poreux entrée par diffusion	ACC CELLOPLAST	80
	Polystyrène extrudé perforé	EXTRUDE PERFORE	40
Entrée d'air par gaine	Réglettes perforées en PVC placées sur une gaine en bois	Bois avec rails VENTISOL	1 à 35 (80)
	Trappes coulissantes placées sur une gaine en bois	BOIS AVEC TRAPPES	2 à 21 (0.1)
	Gaine en polyester surmontée de tuyaux PVC hauteur 0.4 m	POLYESTER	25 (0.4)
	Gaine en film plastique type polyane	POLYANE	25 (2.5)
Autres systèmes	Caisson encastré dans un faux-plafond en polystyrène extrudé, équipé de volets autoréglages	CAISSON AVEC VOLETS LEP	9 à 45 (0.2)
	Entrée d'air par le bas de la porte (couloir isolé)	SYSTEME HOLLANDAIS	80 (0.01)
	Entrée d'air par tuyaux placés à l'avant des cases	SYSTEME SUISSE	12 à 24 (0.1)
	Entrée d'air par fente dans un plafond en polystyrène extrudé	ENTREE D'AIR PAR FENTE	40 (0.01)

- au niveau des animaux, à 0,20 m du caillebotis, dans des cases situées à chaque extrémité de la salle. Dans chaque case, deux sondes sont installées : une à l'avant, l'autre en fond de case.

- à 1,40 m du caillebotis, dont 1 près de la sonde reliée au boîtier de régulation.

- à 2,40 m du caillebotis, près de l'entrée d'air.

Les données de la centrale sont transférées sur micro-ordinateur. A chaque emplacement matérialisé par une sonde, sont calculées sur la période de référence, les statistiques suivantes : températures moyenne, maximale et minimale et écart-type.

1.3.3. Vitesse d'air

Les vitesses d'air sont mesurées à environ 0,10/0,20 m du

caillebotis à l'avant et au fond des cases. La sonde anémométrique à fil chaud est reliée à un appareil multifonction (SOLOMAT, type MPM 500e. Précision $\pm 5\%$ de la valeur lue), et placée dans un flux d'air matérialisé à l'aide de tubes fumigènes (DRAEGER BRANDT, CH 25301).

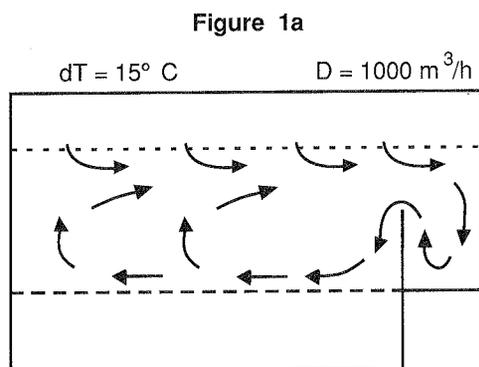
Les vitesses instantanées sont enregistrées par l'appareil pendant une trentaine de secondes. Ne sont retenues que les valeurs moyennes et maximales de chaque série de mesures. On effectue les séries de mesures à intervalles réguliers de 8h 00 à 16h 00 à l'avant et au fond de chaque case.

2. RÉSULTATS

2.1. Circuits d'air en période froide

2.1.1. Un point de chute à l'avant des cases

Cas des plafonds perforés et diffuseurs



Le flux d'air neuf provenant de combles se mélange à l'air ambiant. Ce mélange, relativement froid par rapport à la masse d'air chaude ambiante, tombe sur la zone la plus froide de la salle : le couloir.

Ce flux arrive finalement au niveau des animaux après avoir subi un réchauffement en remontant le long des barrières frontales situées à l'avant des cases.

Au contact des animaux, l'air se réchauffe progressivement et devient ascendant en fond de case.

Le point de chute, c'est-à-dire l'endroit de la case où tombe en majorité le flux de renouvellement après son entrée dans la salle, est situé à l'avant des cases. Le fait de mettre en place des barrières frontales pleines retarde la chute du mélange air neuf/air ambiant sur les animaux. D'où une amélioration probable du climat à l'avant des cases.

Cas des fentes sur couloir

Le circuit d'air principal est identique.

L'entrée d'air ici n'est pas répartie sur l'ensemble du faux-plafond mais concentrée au-dessus du couloir. Le mélange air neuf/air ambiant s'effectue à la fente par retour de la boucle.

Cas du système "hollandais" entrée d'air par le bas de la porte

Il s'agit ici d'une adaptation d'un système d'entrée d'air très répandu aux Pays Bas : l'entrée d'air par le bas de la porte. Ce système est utilisé en Bretagne avec des débits de renouvel-

Figure 1b

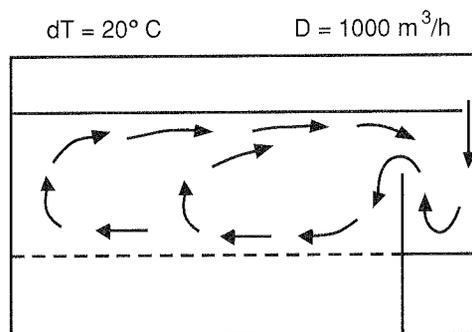
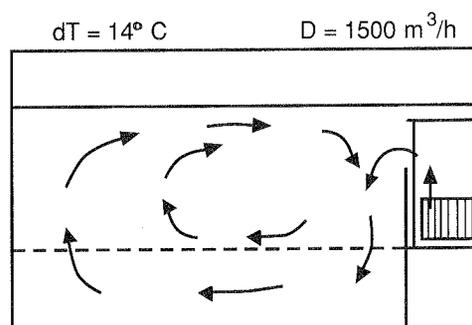


Figure 1c

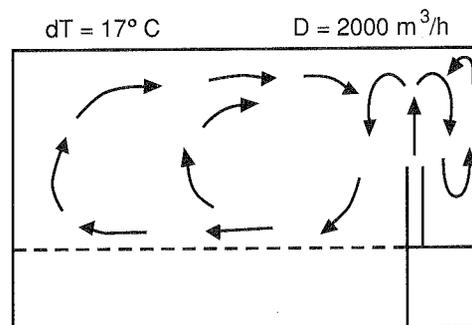


lement plus faibles, et surtout sans apports de chauffage dans le couloir ou dans les salles.

D'où les chutes d'air froid observées à l'avant des cases même avec des conditions extérieures relativement peu rigoureuses.

Système "suisse"

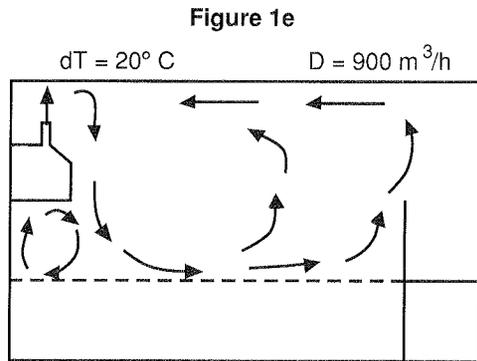
Figure 1d



L'entrée d'air est assurée par des tuyaux placés à l'avant des cases. L'air neuf est projeté dans le plan vertical. Le mélange air neuf/air ambiant tombe calmement à l'avant des cases. Contrairement aux cas précédents, des barrières pleines disposées à l'avant des cases ont peu d'intérêt ici compte tenu du circuit d'air principal observé. Il est primordial que la vitesse d'entrée soit élevée pour assurer un mélange air neuf/air ambiant important.

2.1.2. Un point de chute en fond de case

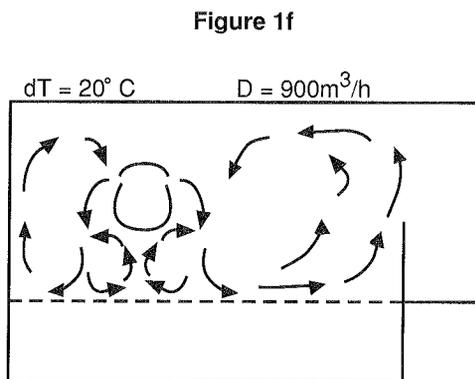
Cas des gaines murales en bois ou polyester



Ce système se rapproche du cas précédent dans la mesure où l'arrivée du mélange air neuf/air ambiant au niveau des animaux ne peut être différée par des barrières frontales pleines. Mais la projection de l'air neuf est effectuée ici en fond de case, d'où des conditions climatiques dans la case inverse.

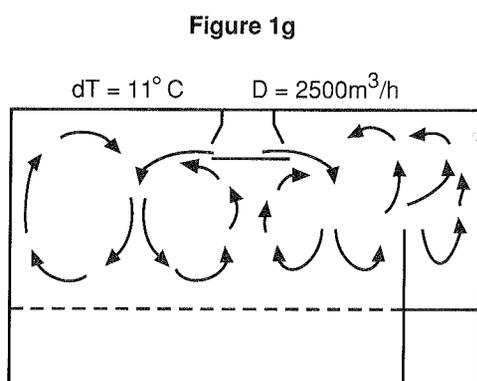
2.1.3. Deux points de chute

Cas des gaines polyanes



Des trous, effectués de part et d'autre de la gaine, assurent la projection de l'air neuf dans le plan horizontal. Les gaines sont placées aussi haut que possible dans le bâtiment de manière à différer les chutes d'air dans la case.

Cas des caissons avec volets LEP



On observe le même type de circuit d'air que dans le cas précédent, mais la présence de volets sur chaque face du caisson implique l'existence de circuits d'air dans le plan longitudinal, aussi importants que les circuits d'air décrits ci-dessus dans le plan transversal.

Les principes qui régissent la dynamique de l'air dans ce type de salle sont uniques. Deux phases se succèdent :

Premièrement, la masse d'air constituée d'un mélange entre air neuf et air ambiant, que l'on peut qualifier de froide, amorce un mouvement descendant (densité supérieure à celle de la masse d'air chaude ambiante).

Dans un deuxième temps, cette masse d'air se réchauffe progressivement au contact des animaux et devient ascendante.

Cette simple observation des circuits d'air laisse présager l'incidence de chaque type d'entrée d'air sur le climat au niveau des animaux.

Dans les salles équipées de plafonds perforés ou diffuseurs ou de fentes, les animaux bénéficient probablement de l'effet barrière. Dans les autres salles avec points de chute en fond de case, la protection constituée par les barrières frontales pleines ne joue pas. D'où la nécessité notamment dans ces cas d'obtenir au niveau de ces entrées d'air un jet rapide au débit minimum, de façon à différer la chute de la masse d'air froide sur les animaux.

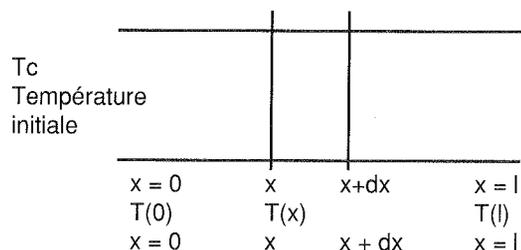
L'enregistrement des paramètres climatiques température et vitesse d'air au niveau des animaux permettra de compléter cette analyse.

2.2. Préparation de l'air neuf

2.2.1. Évolution de la température dans une gaine ou dans un comble

Approche théorique

Calcul du préchauffage dans une gaine



Conventions

- T_s = Température de la salle (en $^\circ \text{C}$)
- T_c = Température dans le couloir (en $^\circ \text{C}$)
- $T(x)$ = Température dans la gaine (en $^\circ \text{C}$) à une distance x de l'entrée d'air (en m)
- S = Surface de la tranche de largeur dx (en m^2)
- D = Débit (en m^3/h)
- C_v = Chaleur volumique de l'air (en $\text{Wh}/\text{m}^3/^\circ \text{C}$)
- Θ = Coefficient de transmission surfacique (en $\text{W}/\text{m}^2/^\circ \text{C}$)
- R = Rayon de la gaine (en m)

FLUX DE CHALEUR TRAVERSANT LA SURFACE PENDANT dt

$$dQ = \Theta \times dS \times (T_s - T(x)) \times dt \quad (1)$$

avec $dS = (2 \pi R) \times dx$ dans le cas d'une gaine
avec $dS = (L) \times dx$ dans le cas d'un faux-plafond

FLUX REÇU PAR LA TRANCHE dx PENDANT dt

$$dQ = C_v \times D \times dT \times dx \quad (2)$$

$$C_v = 0,34 \text{ Wh/m}^3/\text{°C}.$$

A L'ÉQUILIBRE (1) = (2) :

$$\frac{dT}{T_s - T(x)} = \frac{A \times \Theta}{0,34 \times D} \times dx \quad \left[\begin{array}{l} A = 2\pi R \\ \text{ou } A = L \end{array} \right]$$

En intégrant les deux membres entre $x = 0$ et $x = l$ on obtient :

$$T(l) = T_s - (T_s - T_c) \times \exp\left(-\frac{\Theta \times S}{0,34 \times D}\right) \quad (3)$$

$$\text{où } \Theta = \frac{0,34 \times D}{S} \times \ln \left[\frac{T_s - T_c}{T_s - T(l)} \right]$$

FLUX DE CHALEUR TRAVERSANT LA TOITURE

Cas d'une salle avec gaine

$$Q_1 = \frac{KS}{\cos \alpha} (T_s - T_e)$$

Cas d'une salle avec faux-plafond

Le flux élémentaire dQ_2 passant par la surface élémentaire

$$dS = \frac{L \, dx}{\cos \alpha} \quad \text{vaut :}$$

$$dQ_2 = \frac{KL}{\cos \alpha} \int_0^l (T(x) - T_e) \, dx$$

$$\text{avec } T(x) = T_s - (T_s - T_e) \times \exp\left[\frac{-Lx\Theta}{0,34 \times D}\right] \quad (3)$$

$$\text{d'où } Q_2 = \frac{KS}{\cos \alpha} \times (T_s - T_e) \times \left[1 - \frac{0,34 \times D}{\Theta \times S} \left(1 - \exp\left[\frac{\Theta \times S}{0,34 \times D}\right]\right) \right]$$

$$Q_2 = \frac{KS}{\cos \alpha} \times \beta \times (T_s - T_e)$$

$$\text{avec } \beta = 1 - \frac{1}{z} + \frac{e^{-z}}{z} \quad (4)$$

$$\text{et } z = \frac{\Theta \times S}{0,34 \times D}$$

K = coefficient de transmission surfacique en $\text{W/m}^2/\text{°C}$
 T_e = Température extérieure en °C .
 α = Pente du toit
 L = Largeur du faux-plafond en m

2.2.2. Résultats

L'intensité du réchauffement obtenu à 7h00 dans chaque compartiment de préparation de l'air neuf, ainsi que les débits et conditions de température sont précisés dans le tableau 4 pour chaque système d'entrée étudié.

A partir de ces données, on obtient un coefficient de transmission surfacique par le calcul, appelé ici Θ .

En parallèle figure le coefficient de transmission surfacique théorique (K) du matériau constituant la gaine ou le faux-plafond.

2.2.3. Réchauffement dans le couloir

Le couloir peut être un simple auvent fermé ou un couloir parfaitement isolé suivant les cas. Le réchauffement peut donc être nul (cas des salles équipées des gaines polyane n° 1 et polyester) ou valoir 5°C lorsque le couloir est situé au milieu d'un bâtiment double, et que les parois des salles côté couloir ne sont pas isolées (parpaing nu - $K = 3,0 \text{ W/m}^2/\text{°C}$).

Dans le cas particulier du système «hollandais», le réchauffement dans le couloir est essentiel puisque l'entrée de l'air neuf se fait directement par le bas de la porte. Afin d'accroître le mélange entre air neuf et air ambiant, un ventilateur peut être installé au-dessus de la porte. L'air de la salle est alors recyclé et pulsé vers le bas de la porte.

Le résultat obtenu est probant puisque la température du mélange au niveau de l'entrée augmente ainsi de 5°C , qui s'ajoutent au 3°C gagnés dans le couloir.

2.2.4. Réchauffement dans les combles ou dans les gaines

La température de l'air neuf augmente en moyenne de 4°C en fin de comble et de $6,5\text{°C}$ en moyenne en fin de gaine.

Les gaines sont donc plus efficaces que les faux-plafonds et ceci malgré une surface d'échange en moyenne 2,5 fois plus faible (30 m contre 75 m).

Le calcul du coefficient Θ permet de corriger ces données brutes en tenant compte des conditions de température et des débits. On obtient Θ moyen = $4,9 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ pour les gaines et Θ moyen = $1,5 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ pour les faux-plafonds.

Cette différence provient d'une part de la nature des matériaux avec lesquels sont construits gaines et faux-plafonds. 4 matériaux sur 6 utilisés pour la construction de faux-plafonds sont isolants, ce n'est jamais le cas pour les 5 gaines étudiées.

Cependant, les 2 autres faux-plafonds (ACC1 et ALUMINIUM PERFORE) pourtant caractérisés par un coefficient K théorique élevé ($5 \text{ W/m}^2/\text{°C}$) donnent des résultats inférieurs aux gaines ($\Theta = 3,5$ et $2,0 \text{ W/m}^2/\text{°C}$).

L'effet perméodynamique engendré par une paroi ventilée peut expliquer cette opposition au transfert de chaleur de la salle vers le comble.

Dans le cas des gaines ou des faux-plafonds avec fente, seule une faible proportion de la surface d'échange est concernée par le phénomène, si bien que cet effet est pratiquement négligeable. K est dans ce cas proche de Θ .

Tableau 4

Gaines	Te	Ts	DT	Tc	T(l)	D	S	Θ	K
Polyester	7,5	22,0	14,5	7,5	12,5	1500	40	5,4	5
Polyane n°1	3,0	24,0	21,0	3,0	8,5	1100	30	3,7	5
Polyane n°2	0,0	20,0	20,0	2,5	7,5	850	18	5,4	5
Bois+ventisol	13,0	23,0	10,0	15,0	18,0	1300	40	5,2	3,5
Bois+trappes	2,5	21,5	19,0	3,0	10,0	600	20	4,8	3,5
Faux-plafonds	Te	Ts	DT	Tc	T(l)	D	S	Θ	K
Ventisol	13,0	24,0	11,0	15,0	16,0	2600	100	1,0	0,6
Diful'r	0,0	22,5	22,5	3,0	7,0	700	60	0,9	0,6
Aluminium	5,0	24,0	19,0	7,5	13,5	800	60	2,0	5
ACC 1	1,0	23,0	22,0	5,0	11,0	2000	80	3,5	5
Fente s.simpl	2,0	20,0	18,0	2,5	5,0	1000	70	0,7	0,6
Fente s.doubl	4,0 2	2,0	18,0	9,0	12,0	1000	80	1,1	0,8

5b

Tableaux 5 (a - b - c)

5a

Faux-plafonds	Stat.	Avant Case i = 1	Fond Case i = 2	Salle i = S
Ventisol h = 2,60 m	Ti moy. Ti mini σi	25,80 23,25 0,28	25,90 23,45 0,61	24,65 24,40 0,10
Diful'r h = 2,70 m	Ti moy. Ti mini σi	22,30 20,00 0,85	20,00 17,65 1,12	21,75 19,55 0,80
Aluminium h = 2,40 m	Ti moy. Ti mini σi	26,40 25,55 0,45	27,95 25,45 1,38	24,65 24,05 0,32
Custers n°1 h = 2,80 m	Ti moy. Ti mini σi	28,20 27,20 0,50	28,25 26,80 0,59	24,45 24,15 0,12
Custers n°2 h = 2,60 m	Ti moy. Ti mini σi	21,20 20,50 0,32	24,15 22,45 0,71	21,10 20,65 0,17
ACC1 h = 2,60 m	Ti moy. Ti mini σi	24,95 23,25 0,51	25,65 23,45 1,33	23,55 22,85 0,30
Perforé n°1 h = 2,50 m	Ti moy. Ti mini σi	23,85 22,85 0,55	23,85 23,25 0,25	24,45 23,60 0,27
Perforé n°2 h = 2,50 m	Ti moy. Ti mini σi	25,00 22,60 0,76	26,25 20,95 1,44	23,70 21,95 0,60
Fibralth h = 2,50 m	Ti moy. Ti mini σi	24,70 21,80 2,22	24,90 20,50 2,35	22,35 21,40 0,32
Moyenne	Ti moy. Ti mini σi	24,70 23,00 0,71	25,20 22,70 1,09	23,40 22,50 0,33

Gaines	Température	Avant Case	Fond Case	Sonde Salle
Polyester h = 2,60 m	Ti moy. Ti mini σi	23,25 22,15 0,65	22,30 21,70 0,56	22,45 22,15 0,22
Bois+Trappes h = 1,80 m	Ti moy. Ti mini σi	21,45 20,65 0,58	21,65 20,25 1,10	22,60 21,65 0,45
Bois+ventisol h = 2,10 m	Ti moy. Ti mini σi	25,55 23,75 0,94	23,75 22,00 0,56	24,60 24,15 0,21
Polyane n°1 h = 2,40 m	Ti moy. Ti mini σi	24,20 21,55 1,12	20,55 18,55 0,47	20,60 19,90 0,30
Polyane n°2 h = 2,10 m	Ti moy. Ti min σi	27,25 24,65 1,26	27,55 24,95 0,66	24,55 24,00 0,45
Moyenne	Ti moy. Ti mini	24,35 22,50	23,20 22,20	23,40 22,40

5c

Autres Systèmes	Température	Avant Case	Fond Case	Sonde Salle
Fente salle simple h = 2,40 m	Ti moy. Ti mini σi	15,10 14,20 0,32	22,85 20,35 1,45	20,40 20,05 0,14
Fente salle double h = 1,80 m	Ti moy. Ti mini σi	23,25 23,60 0,60	28,15 27,35 0,46	25,35 24,85 0,18
Caissons +LEP h = 2,40 m	Ti moy. Ti mini σi	26,95 23,65 1,32	25,40 21,40 0,98	25,85 24,90 0,62
Hollandais h = 0,50 m	Ti moy. Ti mini σi	17,40 16,10 0,55	24,15 23,50 0,27	24,95 24,35 0,36
Suisse h = 1,20 m	Ti moy. Ti mini σi	22,70 20,45 0,70	23,15 21,15 0,53	22,10 21,50 0,31

2.3. Températures

2.3.1. Fluctuations de température dans le temps, températures moyennes et circuits d'air

Dans le tableau 5, figurent les températures moyennes et minimales enregistrées au niveau des porcs à l'avant des cases ($i = 1$) et en fond de case ($i = 2$), au niveau de la sonde du boîtier de régulation ($i = S$).

Les 300 températures enregistrées par chaque sonde de 21h.00 à 7h.00 permettent de calculer un écart-type (σ_i) qui reflète les variations de température dans le temps.

La figure 2 présente les enregistrements obtenus dans la salle simple avec entrée d'air par faux-plafond aluminium perforé (2a) et dans la salle double avec entrée d'air par fente (2b) de 24h00 à 04h00. Les réglages des boîtiers de régulation dans les deux salles sont différents: plage de 6°C dans le premier cas contre 10°C dans le second cas. De plus, les conditions extérieures sont différentes également: amplitude thermique plus élevée dans le premier cas ($\delta T_e/\delta t = 0.7^\circ\text{C/h}$) que dans le second ($\delta T_e/\delta t = 0.3^\circ\text{C/h}$).

Les fluctuations de température dans le temps ne sont pas imputables au système d'entrée d'air mais liées au taux de décroissance horaire de la température extérieure. Le réglage du boîtier et notamment de la plage de variation (ou bande proportionnelle) est également important. Plus la plage est courte, plus les variations de flux d'air au niveau des animaux sont brutales, σ_i augmente. Le comportement des animaux peut également agir sur la variabilité des températures (mâchonnement des tuyaux de protection contenant les sondes, émission,...).

8 salles sur 9 équipées d'entrées d'air par faux-plafond ainsi que les salles avec systèmes «hollandais», «suisse» sont caractérisées par un avant de case plus froid que le fond ($T_1 \text{ moy} = 24,70^\circ\text{C}$ contre $T_2 \text{ moy} = 25,20^\circ\text{C}$ dans le cas des faux-plafond).

Dans les salles équipées de gaines, la situation est inverse ($T_1 \text{ moy} (24,35^\circ\text{C}) > T_2 \text{ moy} (23,20^\circ\text{C})$). Ces résultats sont logiques compte tenu des circuits d'air observés en période froide. Point de chute situé à l'avant dans les premières, au fond dans les secondes. Les porcs ont tendance à accentuer la différence entre T_1 et T_2 en créant une aire de couchage privilégiée du côté opposé au point de chute. Ce comportement est d'autant plus fréquent que la température au point de chute s'éloigne des recommandations habituelles ($24^\circ/25^\circ\text{C}$ sur caillebotis total).

Cette concentration d'animaux du côté opposé au point de chute peut également expliquer pourquoi les fluctuations de température y sont plus importantes.

Faux-plafonds	=	$\sigma_1 (0,71) < \sigma_2 (1,09)$
Gainés	=	$\sigma_1 (0,91) > \sigma_2 (0,67)$

Remarque :

Les sondes de température placées au niveau des animaux sont sur la trajectoire du flux de renouvellement. La sonde d'ambiance, placée dans une zone moins perturbée, est moins sensible aux variations de flux d'air neuf à l'entrée. La température y varie donc dans des proportions moindres ($0,1 < \sigma_2 < 0,8$ contre $0,28 < \sigma_1 < 2,35$).

2.3.2. Température ambiante et température au point de chute

À partir des données du tableau 5, on peut calculer l'écart moyen sur 10 h entre température au niveau des animaux et température ambiante. Ces écarts moyens seront notés δt_1 (avant case) et δt_2 (fond case) par analogie aux travaux effectués par GRANIER et coll. en 1989 à la station expérimentale de Villefranche de Rouergue. δt_1 dans le cas des faux-plafonds et δt_2 dans le cas des gaines sont particulièrement intéressants à étudier, car ils témoignent de l'importance du mélange obtenu entre air neuf et air ambiant au point de chute.

Les résultats obtenus avec les faux-plafonds sont assez homogènes. Dans 5 cas sur 7, $\delta t_1 > 1,0^\circ\text{C}$. Les gaines semblent être moins efficaces en moyenne : $\delta t_2 \text{ moyen} = -0,3^\circ\text{C}$.

Les gaines polyane et polyester malgré une section d'entrée d'air réduite ($25 \text{ cm}^2/\text{porc}$) sont tout juste satisfaisantes ($\delta t_2 = 0^\circ\text{C}$, $\delta t_2 = -0,1^\circ\text{C}$).

La gaine bois est moins sécurisante ($\delta t_2 = -0,9^\circ\text{C}$).

Aucun des autres systèmes étudiés, mis à part le système suisse, ne donnent de résultats satisfaisants. Le plus mauvais étant obtenu avec les entrées d'air par fente ($\delta t_1 = -5,3^\circ\text{C}$) et par le bas de la porte ($\delta t_1 = -7,5^\circ\text{C}$).

2.3.3. Variations de températures dans l'espace

Sur les figures 3a et 3b sont représentées les enregistrements de température à 0,10, 1,40 m et 2,40 m du caillebotis dans une des salles étudiées (gaine bois).

Les sondes 11 et 5 sont placées au niveau des porcs, les sondes 1 et 2 dans la gaine. 1 et 11 dans la case côté couloir, 2 et 5 dans la case à l'autre extrémité de la salle.

Le gradient thermique observé dans la gaine se retrouve dans la salle au niveau des animaux mais à un degré moindre (figure 2a).

Les températures à 1,40 m et 2,40 m sont proches de la température indiquée par la sonde du boîtier de régulation, mais la température au niveau des animaux (sonde 15) est inférieure à la température ambiante (sonde 10) ($\delta t_2 = -0,9^\circ\text{C}$).

La variabilité du facteur température dans l'espace est inévitable quel que soit le type d'entrée d'air, mais ne représente pas un inconvénient majeur dans la mesure où la température minimale enregistrée à l'instant t au niveau des animaux est proche des recommandations habituelles sur caillebotis total ($24^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$). Ce n'est pas le cas dans l'exemple précédent, mais cet objectif peut être atteint avec n'importe quel système dès lors que le réglage du boîtier de régulation est approprié (réglage des consignes de température).

2.4. Vitesse d'air au niveau des animaux

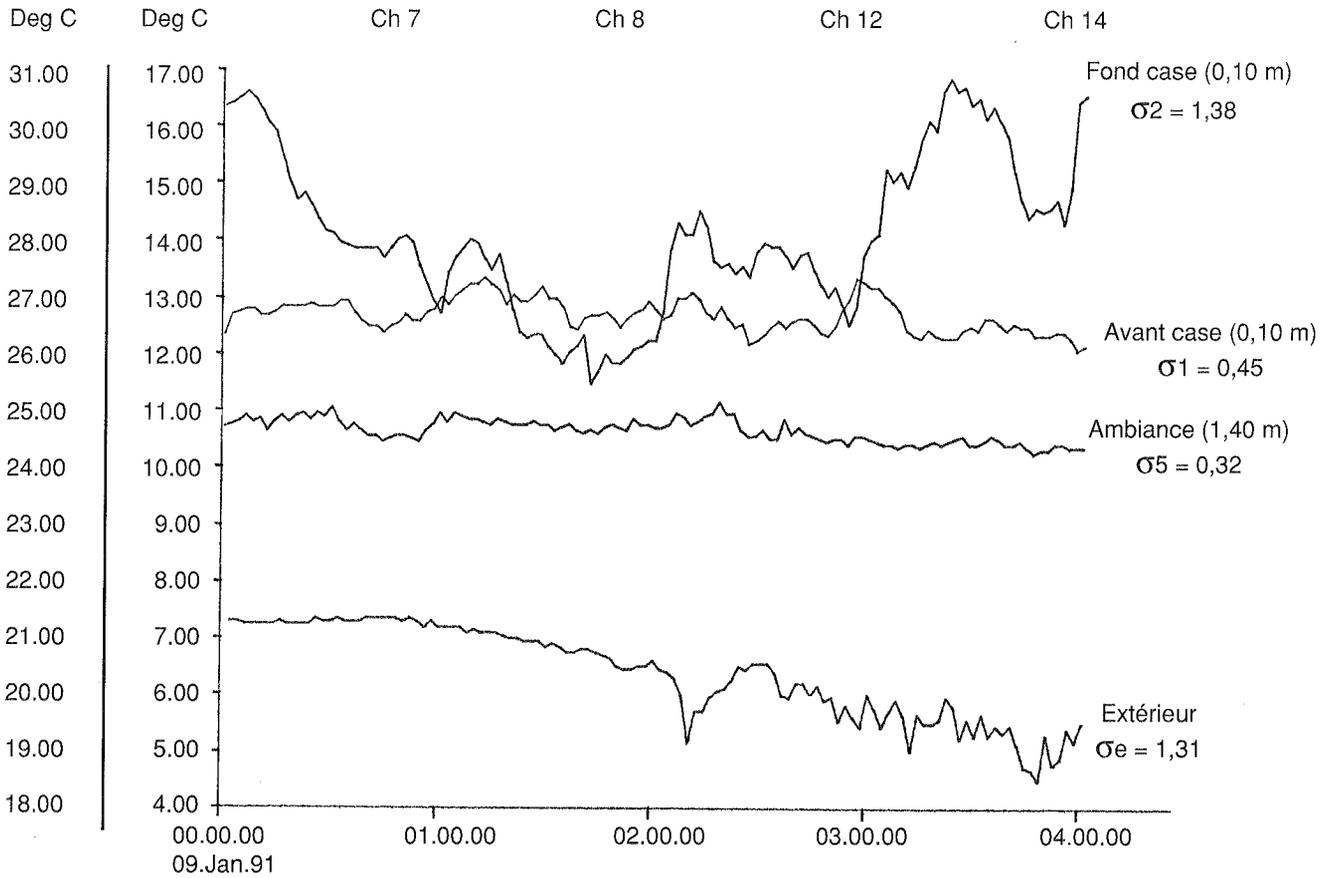
Dans le tableau 6 figurent, par système, la vitesse maximale enregistrée au cours des 5 séries de mesures (noté $V_1 M$), ainsi que la moyenne des maxima de chaque série ($V_1 M$).

Les pointes de vitesse maximales dépassent rarement 40 cm/s dans les salles équipées de gaines ou faux-plafonds. Avec les autres systèmes, les maxima sont généralement plus importants et proches de 50 cm/s .

Ces vitesses ne sont pas négligeables dans la mesure où les

Figure 2 - Amplitude thermique, réglage de boîtier et variation de températures dans le temps.

2a - Faux plafond perforé aluminium



2b - Fente dans salle double

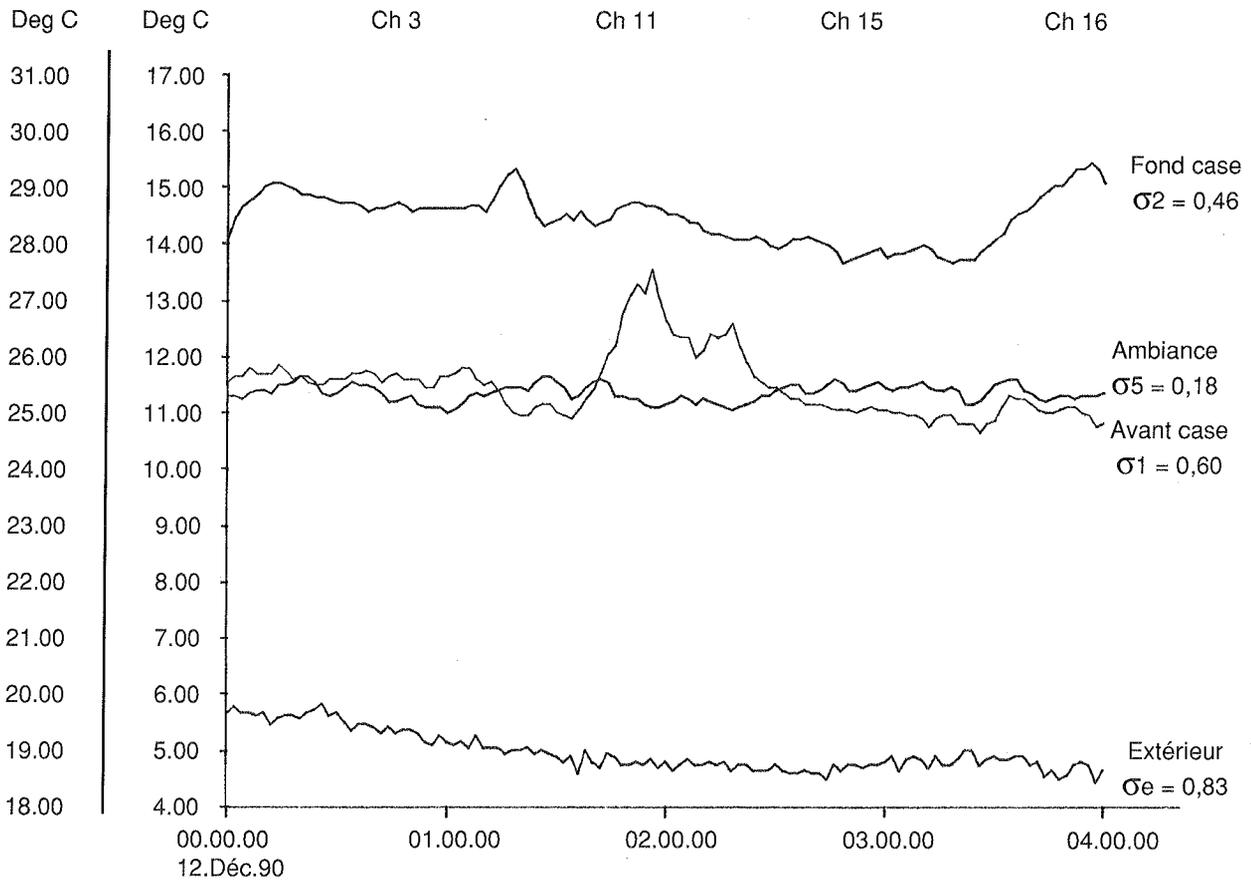


Figure 3a - Gradient thermique dans le plan horizontal

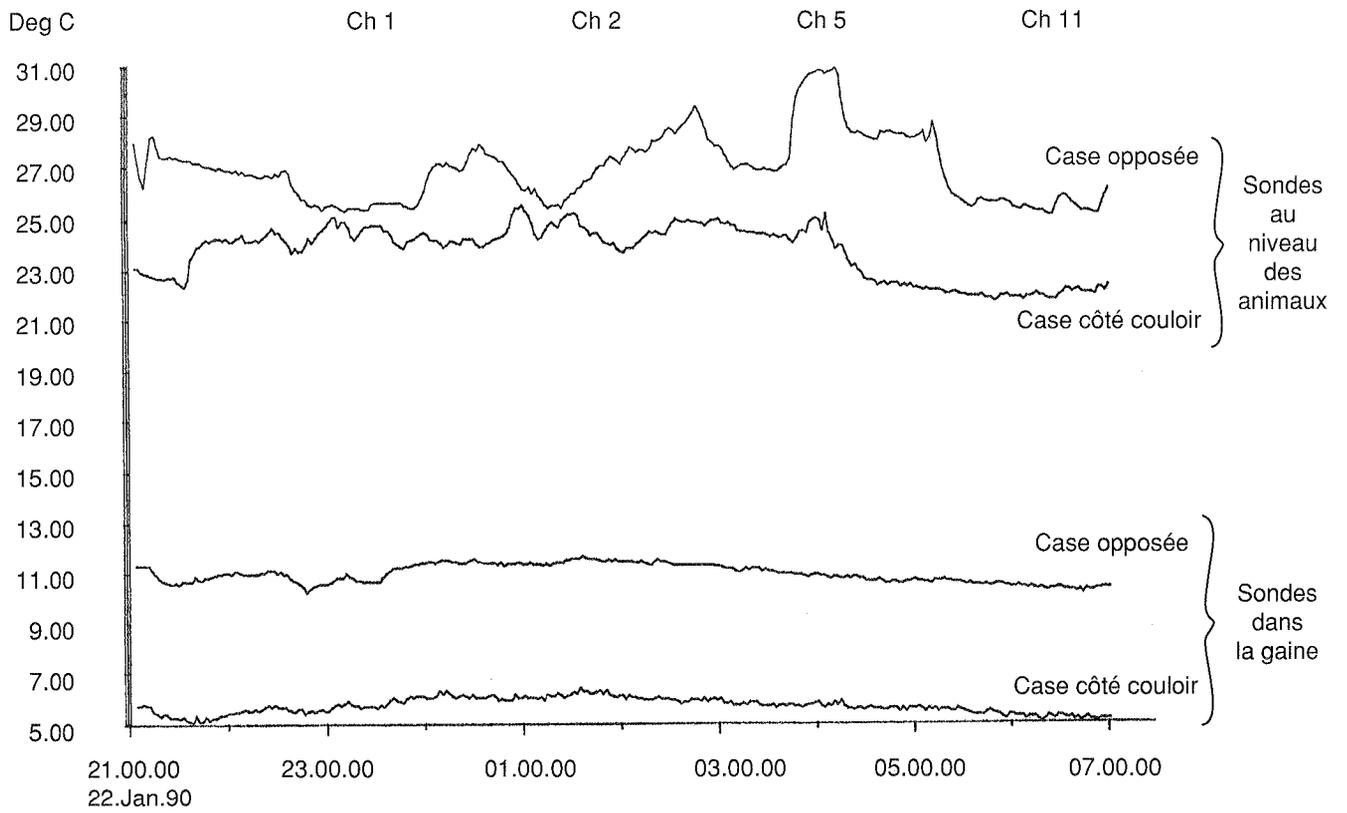
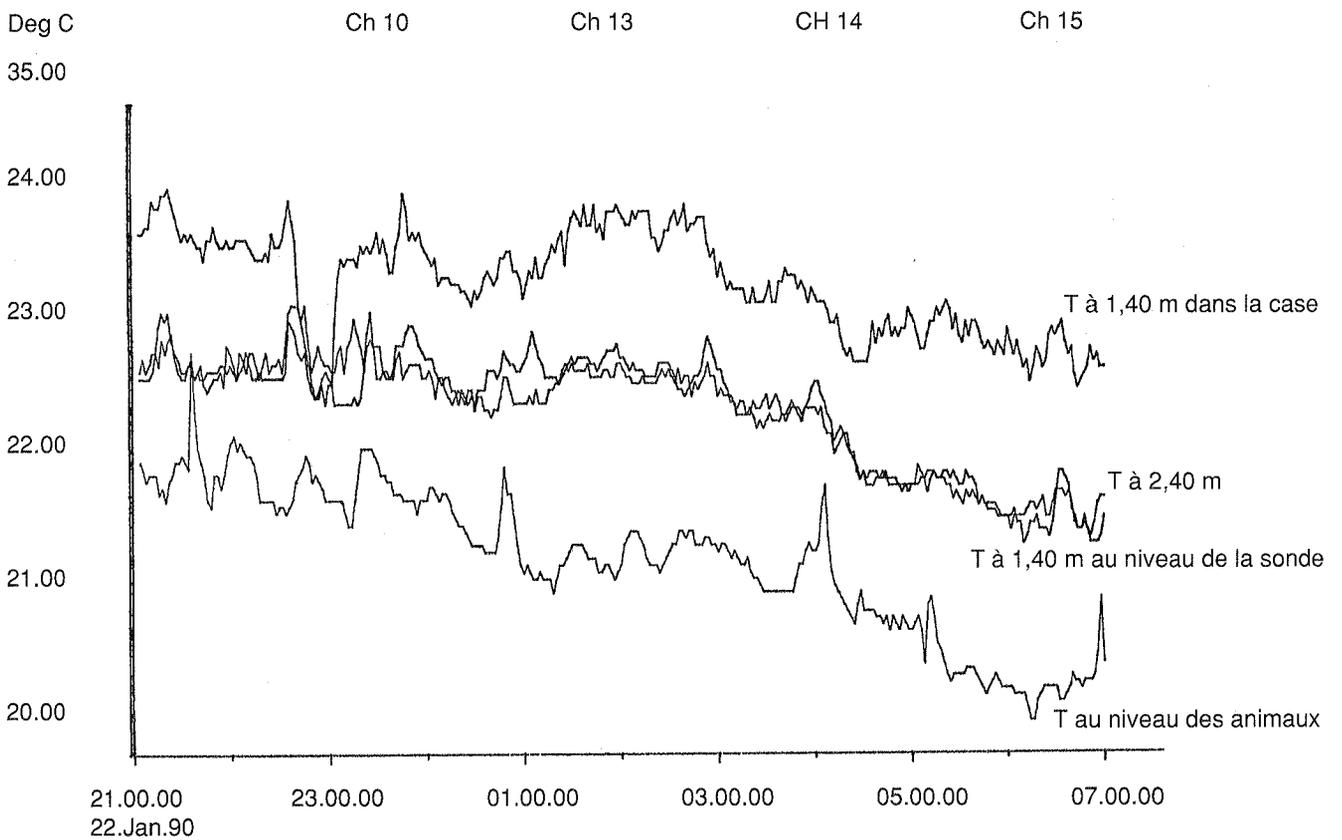


Figure 3b - Gradient thermique dans le plan vertical



porcs sont sensibles aux vitesses d'air supérieures à 20 cm/s. A cause de leur effet dépressif sur la température ambiante, ces vitesses exprimées dans le tableau en m/s peuvent être transformées en équivalent degrés Celsius. V1 M et V2 M en équivalent degré (ED) ajoutées à $\delta t1$ et $\delta t2$ permettent de calculer l'écart entre la température ressentie par les animaux et la température ambiante aussi bien à l'avant qu'au fond de la case.

Tableaux 6 -a - b - c - d - e - f

6a

Système	Avant de la case i = 1				
	V1 M m/s	V1 μ m/s	V1 μ E.D	$\delta t1$ μ °C	DEP1 E.D
Diful'r	0,25	0,25	- 1,0	+ 1,5	+ 0,3
Aluminium	0,20	0,15	0,0	+ 1,7	+ 1,7
Custers n°2	0,25	0,23	- 0,8	+ 0,1	- 0,7
ACC1	0,37	0,27	- 1,6	+ 1,5	- 0,3
Perforé n°1	0,39	0,28	- 1,8	- 0,6	- 2,5
Perforé n°2	0,27	0,20	0,0	+ 1,3	+ 1,3
Fibralth	0,36	0,25	- 1,2	+ 2,3	+ 1,1
Moyenne	0,30	0,23	- 0,8	+ 0,9	+ 0,1

6b

Système Gaines	V1M m/s	V1 μ m/s	V1 μ E.D	$\delta t1$ μ °C	DEP1 E.D
Polyester	0,29	0,28	- 1,8	+ 0,8	- 1,0
Bois (Trappes)	0,26	0,18	0,0	- 1,1	- 1,1
Polyane n°1	0,41	0,33	- 2,5	+ 3,6	+ 1,1
Moyenne	0,32	0,26	- 1,6	+ 1,1	- 0,5

6c

Autres Systèmes	V1 M m/s	V1 μ m/s	V1 μ E.D	$\delta t1$ μ °C	DEP1 E.D
Fente (simple)	0,51	0,36	- 2,8	- 5,3	- 8,1
Fente (double)	0,49	0,35	- 2,7	- 0,1	- 2,8
LEP caisson	0,50	0,44	- 3,6	+ 1,1	- 2,5
Hollandais	0,40	0,34	- 2,6	- 7,5	- 10,1
Suisse	0,48	0,33	- 2,5	+ 0,6	- 1,9

6d

Système	Fond de la case i = 2				
	V2 M m/s	V2 μ m/s	V2 μ E.D	$\delta t2$ μ °C	DEP2 E.D
Diful'r	0,20	0,20	0,0	- 1,7	- 1,7
Aluminium	0,47	0,33	- 2,5	+ 3,3	+ 0,4
Custers n°1	0,21	0,17	0,0	+ 3,0	+ 3,0
ACC1	0,35	0,29	- 2,0	+ 2,1	+ 0,1
Extrudé n°1	0,36	0,25	- 1,2	- 0,6	- 1,8
Extrudé n°2	0,16	0,12	0,0	+ 2,4	+ 2,4
Fibralth	0,43	0,31	- 2,2	+ 2,5	0,0
Moyenne	0,31	0,24	- 1,0	+ 2,4	+ 1,4

6e

Système Gaines	V2 M m/s	V2 μ m/s	V2 μ E.D	$\delta t2$ μ °C	DEP2 E.D
Polyester	0,40	0,39	- 3,1	- 0,1	- 3,2
Bois (Trappes)	0,28	0,27	- 1,6	- 0,9	- 2,5
Polyane n°1	0,31	0,26	- 1,4	0,0	- 1,4
Moyenne	0,33	0,30	- 2,1	- 0,3	- 2,4

6f

Autres Systèmes	V2 M m/s	V2 μ m/s	V1 μ E.D	$\delta t2$ μ °C	DEP2 E.D
Fente (simple)	0,34	0,27	- 1,6	+ 2,4	+ 0,8
Fente (double)	0,35	0,24	- 1,4	+ 2,8	+ 1,4
LEP caisson	0,94	0,50	- 4,2	- 0,4	- 4,6
Hollandais	0,48	0,40	- 3,2	- 0,8	- 4,0
Suisse	0,24	0,19	0,0	+ 1,0	+ 1,0

$$\text{DEP 1} = \delta t1 + V1M$$

$$\text{DEP 2} = \delta t2 + V2M$$

De façon à pouvoir comparer nos résultats avec ceux obtenus par GRANIER et coll., 1991, la vitesse est transformée en équivalent degré d'après les données de CLARK 1981, c'est-à-dire avec des porcs de 20 kg sur flat-decks.

D'une manière générale, le fait d'inclure l'effet vitesse d'air

dévalorise davantage les systèmes autres que les gaines ou faux-plafonds.

La température ressentie par des animaux de 20 kg au point de chute serait en moyenne 2,4°C inférieure à la température ambiante (DEP 2) dans le cas des gaines et proche de la température ambiante avec des faux-plafonds (DEP1).

3. DISCUSSION - CONCLUSION

3.1. Intérêt et limite des résultats

Les résultats obtenus ont un intérêt scientifique limité dans la mesure où les types d'entrée d'air n'ont jamais été comparés dans des conditions strictement identiques (température extérieure, amplitude thermique, débit de l'installation de ventilation, charge en animaux, qualité d'isolation des salles,...).

Il ne s'agit donc pas ici de comparer l'incidence des divers systèmes d'entrée d'air sur le climat au niveau des animaux de manière fine, mais de vérifier si les grandes tendances observées en élevage vont dans le sens des résultats obtenus en module expérimental (ITP, Villefranche de Rouergue).

Les enregistrements de température et vitesse d'air au niveau des animaux sur une longue période constituent la principale originalité de ce travail. Les mesures en élevage sont habituellement ponctuelles et effectuées en un seul point de l'espace.

L'aspect préparation de l'air neuf après passages successifs dans le couloir et dans les gaines (ou combles) est également abordé. Dans ce domaine, les gaines sont caractérisées par une meilleure efficacité car elles sont en général fabriquées avec des matériaux non isolants.

L'écart entre les coefficients de transmission surfacique théorique (K) et calculé (Θ) peut s'expliquer par l'effet perméodynamique dans le cas des faux-plafonds aluminium. Il faut préciser que Θ est une valeur indicative compte tenu de l'incertitude sur la valeur des débits.

Autre source d'erreur, des volets, parfois placés à l'entrée des combles, orientent le flux d'air neuf vers le centre du comble. L'hypothèse d'un gradient thermique croissant de l'entrée à la fin du comble n'est pas vérifiée. L'utilisation du modèle théorique est dans ce cas abusive.

3.2. Conclusions

3.2.1. Gradients thermiques dans une porcherie

La configuration des circuits d'air implique des différences de températures intracas. Le gradient thermique est croissant de l'avant vers le fond de case si l'entrée d'air est assurée par un faux-plafond, et décroissant s'il s'agit d'une gaine.

Le réchauffement progressif de l'air neuf de l'entrée à la fin d'un comble (ou d'une gaine), lié aux différences de temps de séjour de l'air neuf dans ces compartiments, implique l'existence de différences de températures intercas. Le gradient thermique est croissant des cases les plus proches du couloir aux plus éloignées.

En plus de ces 2 gradients thermiques situés dans le plan horizontal l'un dans le sens transversal, l'autre dans le sens

longitudinal, on observe un troisième gradient dans le plan vertical cette fois. Si on tient compte de l'effet dépressif de la vitesse d'air, on constate que dans pratiquement tous les cas la température ressentie par les animaux au point de chute est inférieure à la température indiquée par la sonde reliée au boîtier de régulation.

Ce résultat doit être pris en considération lors du choix de la température de consigne.

3.2.2. Faux-plafonds plus sécurisants que les gaines

De la qualité du mélange entre air neuf et air ambiant, dépend le confort des animaux.

L'importance de ce mélange au niveau de l'entrée d'air dépend principalement de la température du jet d'air neuf et de sa vitesse de pénétration dans la masse d'air chaude ambiante.

Les gaines, pourtant caractérisées par une bonne préparation de l'air neuf et par une section d'entrée d'air totale réduite, n'assurent pas un climat aussi favorable au niveau des animaux que les faux-plafonds.

Les résultats obtenus par GRANIER (1989) au niveau d'une gaine montrent que l'augmentation du nombre de bouches d'admission (à surface d'entrée totale constante) améliore le climat au niveau des animaux. Les faux-plafonds, caractérisés par un fractionnement de la section d'entrée d'air totale 10 à 1000 fois plus important que les gaines, assureraient un meilleur mélange à l'entrée grâce à une augmentation de la surface d'échange entre air neuf et air ambiant.

La multiplication des bouches d'admission a cependant une limite car deux jets parallèles pénétrant dans une porcherie à faible distance l'un de l'autre, ont tendance à fusionner pour ne former qu'un seul jet (CHOSSON, 1987).

La supériorité des faux-plafonds perforés ou diffuseurs sur les autres systèmes s'explique aussi par la présence de barrières pleines à l'avant des cases qui diffèrent l'arrivée du flux de renouvellement sur les animaux.

Etant donnée, la configuration des circuits d'air dans les salles équipées de gaines, disposer de telles barrières ne présente aucun intérêt, du moins pour améliorer le climat au point de chute.

L'absence de barrières frontales pleines dans le module expérimental explique aussi que les Θ obtenus lors de l'étude entrées d'air par faux-plafonds» (GRANIER et al, 1991) soient pratiquement toujours négatifs alors que ceux mesurés en élevage dans des conditions proches (T extérieure, Débit) sont pratiquement toujours positifs.

3.2.3. Variations de température dans le temps

Les variations de flux d'air neuf à l'entrée commandées par le boîtier de régulation se retrouvent au niveau des animaux. Ces fluctuations de température et de vitesse d'air, plus ou moins importantes d'une salle à l'autre ($0,28 < \sigma < 2,35$), sont liées plus aux différents réglages des boîtiers de régulation qu'au type d'entrée d'air proprement dit.

La seule façon de réduire ces fluctuations brutales est d'augmenter la plage ou bande proportionnelle au niveau du boîtier de régulation.

Même si les faux-plafonds perforés ou diffuseurs assurent un meilleur climat au niveau des animaux que les autres types d'entrée d'air, on constate que le choix du système d'entrée d'air n'est pas essentiel.

La réussite de tout atelier passe par la cohérence entre tous les éléments du système de ventilation.

Les enregistrements effectués mettent en avant deux points très important en ce qui concerne le réglage des boîtiers de régulation.

- **Travailler avec des consignes de températures élevées** car dans le meilleur des cas la température indiquée par la

sonde du boîtier de régulation est égale à la température ressentie par les animaux.

- **Programmer des plages élevées** de façon à réduire les variations brutales de température et vitesse d'air au niveau des animaux.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ANDA pour son soutien financier qui a permis de mener à bien ce travail ainsi que les éleveurs des groupements de producteurs ARCO, COOPERL, COOPAGRI, DYNAL et PRESTOR qui nous ont accueillis.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHOSSON C., 1987. Techniporc, 10,(6),23-30.
- GRANIER R, CHOSSON C, RETIF E., ROUSSEAU P., 1989. Journées Rech. Porcine en France, 21, 245-252.
- GRANIER, R. GUEZOU P., MASSABIE P., ROUSSEAU P., 1991. Journées Rech. Porcine en France, 23, 1-10.